

ISSN 2580-1988



# PROSIDING

**SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO 2019**

“Implementasi Riset Teknologi Inovatif  
pada Era Revolusi Industri 4.0”

**Volume 5 Tahun 2020**

**Penyelenggara :  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Jakarta  
Kamis, 21 November 2019**



**Prosiding**  
**Seminar Nasional**  
**Teknik Elektro 2019**  
**Volume 5 Tahun 2020**

**Implementasi Riset Teknologi  
Inovatif pada Era Revolusi  
Industri 4.0**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**KAMIS, 21 NOVEMBER 2019  
AULA GEDUNG DIREKTORAT LANTAI 3  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
KAMPUS UI DEPOK**

DIPUBLIKASIKAN OLEH:

Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Jakarta  
Email: [snte@elektro.pnj.ac.id](mailto:snte@elektro.pnj.ac.id)  
Telp/fax : (021)7863531

**TIM EDITOR:**

Murie Dwiyanti  
Lingga Ghufira Oktariza  
Yani Haryani  
Mohamad Fathurahman  
Nuha Nadhiroh  
Dezetty Monika  
Septina Indrayani  
Fitri Elvira Ananda  
Sulis Setiowati

Buku Prosiding ini adalah berisi kumpulan artikel yang telah berhasil diseleksi. Mengutip sebagian atau seluruh isi dari buku ini harus mendapat izin langsung dari penulis.

Pihak penerbit tidak menambah atau mengurangi isi yang ada pada buku ini dan tidak bertanggungjawab apabila terdapat kesalahan.

Hak Cipta @Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Jakarta

**SAMBUTAN**  
**DIREKTUR POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Yang terhormat Para Keynote Speakers,  
Yang terhormat Para Pembantu Direktur,  
Yang terhormat Ketua Jurusan Teknik Elektro, dan  
Para Pemakalah dan Undangan yang Saya cintai,

Assalamu'alaikum Wr. Wb dan salam sejahtera,

Pertama-tama, izinkan saya mengucapkan selamat datang pada acara Seminar Nasional Teknik Elektro 2019 yang diadakan pada hari ini, Kamis 21 November 2019. Tentunya acara ini dapat terselenggara atas segala karunia Allah SWT yang diberikan kepada kita semua. Kegiatan ini merupakan salah satu dari tiga tugas pokok Dosen atau bagian dari Tri Dharma Perguruan Tinggi Sesuai Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi, Pasal 46 ayat 2 yang menyatakan bahwa semua hasil penelitian yang dilakukan para dosen itu wajib disebarluaskan kepada masyarakat khususnya masyarakat akademis.

Seminar SNTE ini yang bertemakan **Implementasi Riset Teknologi Inovatif Pada Era Revolusi Industri 4.0**, merupakan upaya para pendidik di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta untuk membuat para mahasiswa dan masyarakat akademis menjadi lebih siap dalam menghadapi serangan teknologi yang bertubi-tubi atau yang disebut dengan Technology Disruption. Selain itu, kegiatan SNTE 2019 ini merupakan ajang ilmiah pertemuan para praktisi dari industri, peneliti, dosen, mahasiswa dari berbagai Perguruan Tinggi dan Politeknik. Besar harapan kami, SNTE 2019 dapat meningkatkan kualitas penelitian masing-masing.

Kegiatan tahunan ini terselenggara baik dan sukses karena adanya kerjasama yang solid antara para pimpinan di Jurusan Teknik Elektro dengan panitia dan dosen di Jurusan Teknik Elektro.

Akhir kata, Saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh peserta yang telah mensukseskan acara seminar ini. Mudah-mudahan seminar ini, Anda semua mendapatkan manfaat yang sebesar-besarnya demi kemajuan institusi yang sama-sama kita cintai ini. Amin YRA.

Wassalamu'alaikum WR WB  
Depok, 21 November 2019  
Direktur PNJ

Abdillah S.E, M.Si  
NIP. 195903091989101001



**SAMBUTAN**  
**KETUA JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Assalamu'alaikum Wr. Wb dan salam sejahtera untuk kita semua,

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Rahmat dan Karunia Nya kepada kita semua sehingga Buku Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE) 2019 terbit. SNTE tahun 2019 bertemakan **Implementasi Riset Teknologi Inovatif Pada Era Revolusi Industri 4.0.**

Kegiatan SNTE 2019 diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta dengan maksud tujuan dapat menjadi sarana publikasi ilmiah hasil riset dalam bidang Teknik Elektro. Beberapa artikel SNTE 2019 yang terpilih akan diterbitkan pada Jurnal *Electrices*. Buku Prosiding SNTE 2019 telah mendapatkan nomor ISSN sebagai sebuah terbitan ilmiah berkala yang dapat di akses pada laman [www.jurnal.pnj.ac.id/index.php/snte](http://www.jurnal.pnj.ac.id/index.php/snte).

Dengan tema SNTE 2019, kami berharap hasil-hasil penelitian yang dipublikasikan pada Prosiding SNTE 2019 ini dapat bermanfaat dan berguna dalam menunjang tercapainya tujuan pemerintah dalam menghadapi era revolusi industri 4.0 dan kompetisi global. Selain itu, juga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan dosen maupun tenaga kependidikan dalam menunjang Tridharma Perguruan Tinggi.

Akhir kata, kami ucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak telah telah mendukung terselenggaranya kegiatan SNTE dan terbitnya Prosiding SNTE 2019. Semoga Jurusan Teknik Elektro PNJ semakin berkembang dan terus maju.

Depok, 21 November 2019  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Sri Danaryani, M.T.  
NIP. 19630503 199103 2 001

**SAMBUTAN  
KETUA PANITIA  
SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO 2019**

Kita bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena kasih dan rahmat-Nya kita dapat bertemu pada acara Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE) 2019 dengan tema **“Implementasi Riset Teknologi Inovatif pada Era Revolusi Industri 4.0”**. Memasuki era globalisasi terjadi fenomena perubahan bidang sains, teknologi, ekonomi, dan system informasi dengan perspektif yang lebih luas. Merupakan tantangan strategis perguruan tinggi dan instansi penelitian untuk mengaktualisasikan diri dalam menyelesaikan tantangan ini, serta mewujudkan sumber daya manusia yang berkualitas, unggul dan terampil memberdayakan IPTEK. Seminar Nasional Teknik Elektro 2019 mengundang pembicara utama Dr. Ir. Jumain Appe, M. Si dari Direktorat Jenderal Penguatan Inovasi, Ir. Judi Achmadi sebagai EVP Telkom Divisi Enterprise Service dan Dr A. Tossin Alamsyah sebagai Ketua Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro PNJ. SNTE 2019 diikuti sekitar 80 pemakalah dari berbagai Perguruan Tinggi di Indonesia.

Tidak lupa kami ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada para sponsor yang mendukung kegiatan ini sehingga dapat berjalan dengan baik. Dengan terselenggaranya seminar ini, kami selaku panitia menyampaikan bahwa kesuksesan SNTE 2019 tidak lepas dari dukungan, kerjasama, dan partisipasi dari semua pihak yang terkait. Selamat berseminar semoga kontribusi yang diberikan oleh para peneliti dapat bermakna untuk kemakmuran dan kesejahteraan umat manusia.

Depok, 21 November 2019  
Ketua,

Dr. Isdawimah  
NIP. 19630505 198811 2001

**SUSUNAN KEPANITIAAN**  
**Seminar Nasional Teknik Elektro 2019**

Penasihat	Abdillah, S.E., M.Si.
	Selaku Direktur Politeknik Negeri Jakarta
Pengarah	Dr.sc. H. Zainal Nur Arifin, Dipl-Ing. HTL, M.T.
	Selaku Pudir 1 Politeknik Negeri Jakarta
Penanggung Jawab	Ir. Sri Danaryani, M.T
	Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro
Ketua Pelaksana	Dr. Isdawimah, S.T., M.T
Sekretariat	Nuha Nadhiroh, S.T., M.T.
	Septina Indrayani, S.Pd., M.TESOL
	Illa Nurabika, S.Ak
Bendahara	Ir. Anik Tjandra, M.M.
	Yenniwarti Rafsyam, S. ST., M.T
Sie Acara dan Humas	Dr. Dra. Yogi Widiawati, M.Hum.
	Respati Prajna Vashti, S.Hum., M.Pd.
	Ikhsan Kamil, S.T., M.Kom.
Sie Prosiding	Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.
	Dezetty Monika, S.T., M.T.
	Lingga Ghufira Oktariza, S.Si., M.T.
	Yani Haryani, S.T., M.Pd.
	Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng
	Rahmat, S.ST., M.T.
Sie Konsumsi	Fitri Elvira Ananda, M.T
	Dra. Ardina Askum, M. Hum
Sie Publikasi, Dokumentasi, dan Sertifikat	Dra. Wartiyati, M.Si.
	M. Faturrahman, S.T., M.T.
	Ilham Yanuar, A.Md.
Sie Transportasi	Agus Setiawan, S.T., M.Kom.
	Fatahula, S.T., M.Kom.
Sie Sponsorship	Edi Ubaidillah
	Rika Novita Wardhani, ST., MT.
Sie Perlengkapan	Asri Wulandari, S.T., M.T.
	Drs. Indra Z. SS.T., M.Kom.
	Sila Wardono, ST. M.Si.
	Eka Firdaus

### **TIM PENILAI ARTIKEL**

1. Dr. Drs. Hartono Budi Santoso, M.T
2. Dr. Herlina, S.T, M.T
3. Dr. Tri Budi Santoso, S.T., M.T
4. Dr. I Gede Puja Astawa, S.T., M.T
5. Dr. Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D
6. Agus Wagyana, S.T, M.T
7. Dr. Handri Santoso, M.Eng
8. Riandini, S.T, M.Sc
9. Toto Supriyanto, S.T, M.T
10. Nana Sutarna, S.T, M.T, Ph.D

### **PEMBICARA UTAMA**

1. Dr. Ir. Jumain Appe, M. Si  
**Direktorat Jenderal Penguatan Inovasi Kemenristekdikti**
2. Ir. Judi Acmadi, M.M  
**EVP Telkom Divisi Enterprise Service**
3. Dr. Drs. A. Tossin Alamsyah, S.T, M.T  
**KPS Teknik Elektro Program Magister Terapan**

**JADWAL ACARA**  
**SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO (SNTE) 2019**

**Sesi Pembukaan dan Paparan Pembicara**

**Aula Lantai 3 Gedung Direktorat (Gedung Q) PNJ**

Waktu	Kegiatan
<b>08.00 – 08.30 WIB</b>	Registrasi Peserta
<b>08.30 – 09.00 WIB</b>	Pembukaan
	Menyanyikan Lagu Kebangsaan Indonesia Raya
	Laporan Ketua Panitia
	Sambutan Ketua Jurusan Teknik Elektro
	Sambutan Direktur Politeknik Negeri Jakarta dan Membuka Acara
	Pembacaan Doa
<b>09.00 – 10.00 WIB</b>	<b>Pembicara I:</b> Dr. Ir. Jumain Appe, M.Si (Direktorat Jenderal Penguatan Inovasi Ristekdikti) <b>“Implementasi riset teknologi inovatif”</b>
	Diskusi Panel
<b>10.00 – 10.45 WIB</b>	<b>Pembicara II:</b> Ir.Judi Achmadi (EVP Telkom Divisi Enterprise Service) <b>“Perkembangan implementasi teknologi inovatif pada industri”</b>
<b>10.45 – 12.00 WIB</b>	<b>Pembicara III:</b> Dr Drs A Tossin Alamsyah, S.T, M.T (KPS Teknik Elektro Program Magister Terapan) <b>“Inovasi material pasir silika sebagai substrat pada sensor”</b>
<b>12.00 – 13.00 WIB</b>	Istirahat, Sholat dan Makan Siang
<b>13.00 – 15.00 WIB</b>	Sesi Presentasi Paralel (Lantai 1 Gedung D, Politeknik Negeri Jakarta)
<b>15.00 – 15.30 WIB</b>	Penutupan

**SESI PARALEL****Ruang Seminar I (D109)****Gedung D Jurusan Teknik Elektro Lantai 1**

Waktu	No	Penulis	Judul
13.00 – 13.30	1	Dandun W, Abdul Aziz Abdullah, M Faishal Akbar	Rancang Bangun Wifi Extender 2.4 GHz
	2	Abdul Aziz Abdullah, Nanda Fadillah Ramadhan dan Dandun W	Sistem Kendali Drone Menggunakan SP Android dan Router Openwrt
	3	Fitri Farida, Sapta Nugraha	Analisis Kualitas Jaringan 4G LTE dengan Metode Drive Test pada Jalur Pelayaran Tanjungpinang-Batam
	4	Desi Kusuma Hapsari, Yohan Suryanto, dan Mohammad Fathurahman	Analisis Performansi Jaringan Backbone 2 X 10 Gbps Dan 2 X 100 Gbps Melalui Mekanisme Redundansi Untuk Peningkatan QOS Layanan Internet
13.30 – 13.55	1	Septian Rheno Widianto	Algoritma B217AN menggunakan Metode Spread Spectrum Berbasis PCMK/PCMB
	2	Mulyono	Kajian Sejumlah Metode Tertutup Untuk Mencari Akar-Akar Persamaan Non-Linier Secara Iteratif
	3	Sri Danaryani, Fira Mutia Ramaida	Design of the Detector and Monitoring System for violations of motorized parking vehicles integrated with the FTTH network
13.55 – 14.20	1	Anik Tjandra Setiati, Toto Supriyanto, Trianusa Putra	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Matahari Patch Array 2x1 Untuk Sistem Notifikasi Jadwal Mata Kuliah
	2	Toto Supriyanto, Achmad Farhan	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Disc Sector 2x2 Array Untuk Sistem Monitoring Ketinggian Air Sungai Menggunakan Wireless Sensor Network
	3	Wisnu Arif Kridawan, Rahmat	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Swastika Untuk Penguat Sinyal 4G Indoor Pada Frekuensi 1,8 GHz
14.20 – 14.45	1	Izzatul Maulidiyah	Pemodelan Sistem Kontrol Proses Inspeksi Botol Berbasis PLC LS XGT-0902
	2	Hengky Eliya Melati	Pemodelan Sistem Bottle Filling Process Pada Industri Minuman Kemasan Berbasis Simulator PLC Dan HMI
	3	Nuralam, Darwin	Pemodelan Machine Vision Untuk Pemilah Kualitas Telur Bebek Pada Skala Industri
14.45 – 15.10	1	Aisiyah Marfa B.B, Fauzan Maulana A, Laga Erlangga C, Rizal Adityo W	Simulasi Manuver Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang JJR-10 Menggunakan ETAP Berbasis SCADA
	2	Wardah Mauritsa Nabilah, Nurhadi Shadikin, A. Damar Aji	Perancangan Simulator Akuisisi Data dan Pemrograman Pembacaan Sensor Suhu pada Transformator 150 kV
	3	Abraham Akbar Kridoputro, Armando Putramala, Madeleine dan Isdawimah	Pemrograman Prototype Modular Production System Handling Menggunakan Bahasa Sequential Function Chart

**Sesi Paralel****Ruang Seminar II (D108)****Gedung D Jurusan Teknik Elektro Lantai 1**

Waktu	No	Penulis	Judul
13.00 – 13.30	1	Achmad Bastomi, M. Ali Makhrus dan Abduh Muhammad	Perancangan Model Pada Flow Indikasi Steam Ekspor Ammonia Pada Pabrik Pupuk Dengan Menggunakan Pendekatan Coefficient Valve
	2	Andi Iswahyudi, A. Tossin Alamsyah	Pemodelan Kendali Frekuensi Beban Pada Pembangkit Tenaga Listrik Surya On Grid
	3	Moch Bilal Z, Dimas N, Amar Fadillah dan Dadan N	Pemetaan Ruang dengan Metode Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Berbasis LiDAR
	4	Nico Talenta Marazola, Florentinus Budi Setiawan	Alat Pembaca Ketegangan Otot Yang Terintegrasi Dengan Bluetooth 4.0 Menggunakan ESP32
13.30 – 13.55	1	Christophorus Edward Setiawan Ghanie, Florentinus Budi Setiawan	Penerapan Sistem Pan-Tilt Camera untuk Deteksi Objek berdasarkan Warna menggunakan Raspberry Pi
	2	Mohammad Hiro, Sulis Setiowati	Simulasi Image Processing X-Ray Untuk Peningkatan Density Citra Menggunakan MATLAB
	3	Andrian Kurnia, Leonardus Heru Pratomo	Proses Milling PCB Menggunakan Printer 3D yang Berbasis Arduino Uno dan Driver CNC Sheild V3
13.55 – 14.20	1	Muhammad Ihwan Safari, Tossin Alamsyah	Analisis Hidrocarbon Berbasis Kontrol Fuzzy Pada Air Conditioner
	2	Samodro Rachmat Utomo, Andre Yulian A, Britantyo W	Pembacaan Suhu Menggunakan RTD-Interface di Indonesia Low Speed Tunnel
	3	Alifa Velda	Studi Perancangan Sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)
14.20 – 14.45	1	Latif Mawardi, Megajaya Pertiwi	Sistem Monitoring Limbah Industri Rayon
	2	Abdul Aziz, Sulis Setiowati, Andre Yulian Atmojo	Akuisisi Data Pengukuran Temperatur Berbasis LABVIEW
	3	Agustinus Adi Nugroho, Leonardus Heru Pratomo	Mesin CNC berbasis Arduino Uno R3 dengan hardware dan simulasi secara real-time pada desain 2D
14.45 – 15.10	1	Amanda Ayu Shafira	Sistem Kontrol Proses Transfer Cairan Paraffin Dari Trucking Area Menuju Tangki Pada Industri Farmasi
	2	Cahyaning Putri Wiranti, Grandyasa Assami, Iwa Sudrajat	Sistem Kontrol PID dan Proteksi Sistem Kerja Pompa Menggunakan Motor Control Center Pada Proses Gasoline Transfer Pump
	3	Safira Putri Wibowo, Rika Novita	Penentuan Parameter PID Dengan Metode Ziegler-Nichols Untuk Pengendalian Flow Indicator Controller 12 – FIC – 219 Pada Control Valve 12 – FV – 219

**Sesi Paralel****Ruang Seminar III (D107)****Gedung D Jurusan Teknik Elektro Lantai 1**

Waktu	No	Penulis	Judul
13.00 – 13.30	1	Wafa Khodijah, Riandini	Orifice Flow Meter pada Gas Metering System
	2	Amalia Rakhmawati, Dani Kurniawan	Perbandingan Nilai Ketidakpastian Bentangan Pengujian Diameter Pelat Orifice Antara Coordinate Measuring Machine Optik Dan Analisis Citra OpenCV
	3	Amalia Rakhmawati, Dani Kurniawan	Linieritas Periode Sensor Kapasitif Untuk Pengukuran Level Tangki Ukur
	4	Erni Nur Pratiwi, Endang Saepudin	Penentuan Parameter Kestabilan Dengan Metode Ziegler-Nichols Untuk Sistem Pengendalian Level Minyak Pada Vessel
13.30 – 13.55	1	Fadlioni, Haris Isyanto dan Prian Gagani C	Transistor dan Kapasitor Feroelektrik untuk Memori Non-volatile
	2	Aminuddin D, Syupriadi N, Zainal Nur Arifin	Implementasi Biotransduser Amperometrik Dengan Metode Teknologi Screen Printing
	3	Sutanto dan Nanang Rohadi	Pengaruh Penambahan Garam Dapur (NaCl) Terhadap Perubahan Arus Listrik dan Kandungan Logam Pada Pengolahan Air Limbah Industri Secara Elektrokoagulasi
13.55 – 14.20	1	Satria Arief Aditya, Tossin A dan Endang W	Inovasi Metode ANN-S Untuk Pengecekan Baterai Berbasis Labview
	2	M Ilyas Ahibma, Raihan Fauzan, B. S. R Purwanti, Nuralam	Sistem Identifikasi dengan Quick Response Code untuk Merkam Pengguna Komputer
	3	Anik Indarti, Nana Sutarna	Sistem Pengendalian Tekanan pada Atmospheric Fractionator Menggunakan Tuning PID ZieglerNichols
14.20 – 14.45	1	Abdyan Syuqran, Danu D, Supomo	Kalibrasi Temperatur Transmitter
	2	Niskie Nisrina Nufus, Supomo	Sistem Kontrol Proses Dosing Raw Material Berdasarkan Recipe pada Mixing Tank di Industri Farmasi
	3	Calvin Azizam Sihmanto	Studi Sistem Anti-Surge Control pada Kompresor Gas Sentrifugal Bertekanan Sedang
14.45 – 15.10	1	Oriska Chairunnisa, Iwa Sudradjat	Studi Pemilihan Flow meter untuk Fiscal Custody Transfer pada LPG Metering Sistem PT. X
	2	Zarqa Alya Sausan, Riandini	Ultrasonic Flow Meter pada Gas Metering System
	3	Dantika Djatniko	Turbin Meter pada Gas Metering System di Meter and Regulating Station (M/RS)



**Sesi Paralel****Ruang Seminar III (D106)****Gedung D Jurusan Teknik Elektro Lantai 1**

Waktu	No	Penulis	Judul
13.00 – 13.30	1	Aris Suryadi, Ahmad Solihin dan Berayan Munthe	Turbin Angin Savonius Hybrid Solar Cell sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Terpencil
	2	Jacky Kornelius, Ahmad Irsadi Hrp, dan Julita	Pengaruh Arah Orientasi Dan Sudut Kemiringan Modul Surya Terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Berbasis Internet Of Things Pada Charging Point Shelter
	3	Prian Gagani Chamdareno, Deni Almanda	Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Dengan Memanfaatkan Instalasi Air Bersih
	4	Andy Budiman Wibowo, Tossin Alamsyah, Soewarto	Analisa Kinerja Pju Tenaga Surya Berbasis Industri 4.0
13.30 – 13.55	1	Sumarjo, Tossin Alamsyah, Soewarto	Optimasi PLTS Terhadap Listrik Penerangan Menggunakan Metode IoT Sebagai Sarana Industri 4.0
	2	Soewarto, Tossin Alamsyah, Andy Budiman W	Perancangan dan Analisa Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) OFF-GRID 2000Wp
	3	Saipul, Kusnadi, Soewarto	Perancangan dan Analisa Filter RLC Pada Inverter PLTS 2000Wp
13.55 – 14.20	1	Vickry Yudian P, Tossin A dan Satria Arief A	Inovasi Model Lampu Taman Bertenaga Surya
	2	M Rafi, Tossin A dan Satria Arief Aditya	Inovasi Model Lampu Penerangan Jalan Bertenaga Surya
	3	Abdul Hadi, Zainal Abidin, Wan Muhammad Faizal	Analisa Proses Evaluasi Dan Efisiensi Energi Listrik Di Gedung D Politeknik Negeri Bengkalis
14.20 – 14.45	1	Rismawati	Optimasi Umur Transformator Melalui Peningkatan Kinerja Pendingin Minyak Transformator
	2	Indra, Fajar K, Rahmat Febriyanto P, Taufik H, Kusnadi	Pemeliharaan Transformator Transmisi 150/20kV pada GIS Cipinang
	3	Fahreza Rizky Ramadhan, Fauzan Amrullah, Kusnadi	Identifikasi Dan Peningkatan Kinerja Transformator GIS Duren Tiga 150/20 kV Dengan Metode Dissolved Gas Analysis Dan Filtrasi
14.45 – 15.10	1	Vivi Alfiana Utami, Adam Satrio, Nuha Nadhiroh	Analisa Ketidakpastian Kalibrasi Differential Pressure Gauge pada Gas Turbine Closed Cooling Water Pump A di UP Muara Karang
	2	Lukas Kristyanto Eska Putra, Yuni Rahmawati dan Langlang Gumilar	Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA) di PT. PLN AREA MADIUN
	3	Mujab dan A. Tossin Alamsyah	Optimasi Nilai Losses Untuk Mendapatkan Biaya Investasi dan Operasi Yang Optimum Pada Transformator 60 MVA 150/20 kV

**Sesi Paralel****Ruang Seminar III (D105)****Gedung D Jurusan Teknik Elektro Lantai 1**

Waktu	No	Penulis	Judul
13.00 – 13.30	1	Raden Nursyamsu, Tossin A, Kusnadi	Analisa Harmonik Dan Pengaruhnya Pada Transformator Distribusi Tenaga Listrik
	2	Rusly Abdillah	Pengaruh Harmonik Terhadap Kesalahan Pengukuran Pada Kwh Meter Analog
	3	Gopnar Sambudjo, Tossin Alamsyah, Soewarto	Metode Memperpanjang Umur LED PJU Pintar Berbasis Industri 4.0
	4	Imam Halimi, M. Fariz AR, Vita Dearn, Yusufal HN	Rancang Bangun Elevator Trainer Berbasis PLC Dengan Monitoring SCADA
13.30 – 13.55	1	Ayodhia Fitriaji, Tossin Al, Soewarto	Memperbaiki Nilai Tahanan Grounding Menggunakan Pompa Air Sebagai Aktuator
	2	Herman, Tossin Alamsyah, Soewarto	Pemanfaatan Sumur Resapan Untuk Pertahankan Nilai Tahanan Grounding
	3	Sandi Mulya	Evaluasi Peningkatan Resistensi Pertanahan pada Musim Kemarau
13.55 – 14.20	1	R. Ugrasena H. Wicaksono dan Leonardus H. Pratomo	Desain Inverter Satu Fasa 5 Tingkat Tipe Asimetris Berbasis Arduino Uno
	2	Reva Anugrah Ramdhana dan Leonardus Heru P	Implementasi Satu Fasa Inverter 7-Tingkat Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno
	3	Yova Christiana Agustin, Slamet Riyadi dan Leonardus H. Pratomo	Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Lima Tingkat Menggunakan DSPIC30F4012
14.20 – 14.45	1	Adnan Mulya Firdaus, Agung Prakoso, Naufal Fathurrahman, Isdawimah	Pemeliharaan DC Starter Generator pada Pesawat ATR 72-600
	2	Fariz Muhtadi, Febtian Adi Sanjaya, Khoirul Anam dan Bagja Gumilar	Rancangan Monitoring Generator Set Tipe Perkins Sebagai Logbook Digital di Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia
	3	Hikmah Ramadhan, Christian Abednego, Dian Figana	Sistem Deteksi Gangguan Jaringan Distribusi Listrik Tegangan Menengah pada SCADA di Gardu Hubung
14.45 – 15.10	1	Jimmy Reynaldi, Muhammad Reza Pahlevi, Ismujianto	Rancang Bangun Panel Mesin Making Core Menggunakan Smart Relay Zelio di PT. Bakrie Autoparts
	2	Binardi Achmadiansyah, Muhammad Haikal Faza, dan Nuha Nadhiroh	Pengujian dan Monitoring Relai Proteksi Arus Lebih pada Sistem Proteksi Panel Bus Coupler 150 kV GI Blimbing Baru
	3	Fadli Kurniawan, Ikhsanul Islah Purwo Wicaksono, Regif Satya Prasaja	Metode Pemeliharaan Sistem DC 240 V Pada Blok 5 PLTGU Muara Tawar

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN HAK CIPTA.....	ii
SAMBUTAN DIREKTUR POLITEKNIK NEGERI JAKARTA .....	iii
SAMBUTAN KETUA JURUSAN TEKNIK ELEKTRO.....	iv
SAMBUTAN KETUA PANITIA SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO 2019.....	v
SUSUNAN KEPANITIAAN .....	vi
TIM PENILAI ARTIKEL .....	vii
PEMBICARA UTAMA .....	vii
JADWAL ACARA .....	viii
SESI PARALEL .....	ix
DAFTAR ISI .....	xiv
<b>Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan Metode <i>Reliability Network Equivalent Approach</i> (RNEA) di PT. PLN Area Madiun</b>	
Lukas Kristyanto Eska Putra, Yuni Rahmawati dan Langlang Gumilar.....	1
<b>Alat Pembaca Ketegangan Otot yang Terintegrasi dengan Bluetooth 4.0 Menggunakan ESP32</b>	
Nico Talenta Marazola, Florentinus Budi Setiawan.....	7
<b>Pemanfaatan Turbin Angin Savonius Hybrid Solar Cell sebagai Pembangkit Listrik Daerah Terpencil</b>	
Aris Suryadi, Ahmad Solihin dan Berayan Munthe.....	13
<b>Transistor dan Kapasitor Feroelektrik untuk Memori <i>Non-volatile</i></b>	
Fadliondi, Haris Isyanto dan Prian Gagani Chamdareno.....	18
<b>Pemodelan Sistem <i>Bottle Filling Process</i> pada Industri Minuman Kemasan Berbasis Simulator PLC dan HMI</b>	
Hengky Eliya Melati.....	23
<b>Desain Inverter Satu Fasa 5 Tingkat Berbasis Arduino Uno</b>	
R. Ugrasena H. Wicaksono dan Leonardus H. Pratomo.....	28

<b>Rancangan dan Implementasi Satu Fasa Inverter 7-Tingkat Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno</b>	
Reva Anugrah Ramdhana dan Leonardus Heru Pratomo.....	34
<b>Mesin Gambar berbasis Arduino Uno R3 pada Desain Grafis</b>	
Agustinus Adi Nugroho, Leonardus Heru Pratomo.....	41
<b>Proses Milling PCB Menggunakan Printer 3D yang Berbasis Arduino Uno dan Driver CNC Sheild V3</b>	
Andrian Kurnia, Leonardus Heru Pratomo.....	47
<b>Rancang Bangun Panel Mesin Making Core Menggunakan Smart Relay Zelio di PT. Bakrie Autoparts</b>	
Jimmy Reynaldi, Muhammad Reza Pahlevi, Ismujiyanto.....	52
<b>Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Lima Tingkat Menggunakan DSPIC30F4012</b>	
Yova Christiana Agustin, Slamet Riyadi dan Leonardus H. Pratomo.....	58
<b>Identifikasi dan Peningkatan Kinerja Transformator GIS Duren Tiga 150/20 Kv Dengan Metode Dissolved Gas Analysis dan Filtrasi</b>	
Fahreza Rizky Ramadhan, Fauzan Amrullah, Kusnadi.....	63
<b>Pemeliharaan DC Starter Generator pada Pesawat</b>	
Adnan Mulya Firdaus, Agung Prakoso, Naufal Fathurrahman, Isdawimah.....	71
<b>Analisa Ketidakpastian Kalibrasi Differential Pressure Gauge pada Gas Turbine Closed Cooling Water Pump A di UP Muara Karang</b>	
Vivi Alfiana Utami, Adam Satrio, Nuha Nadhiroh.....	75
<b>Metode Pemeliharaan Sistem DC 240 V Pada Blok 5 PLTGU Muara Tawar</b>	
Fadli Kurniawan, Ikhsanul Islah Purwo Wicaksono, Regif Satya Prasaja, Murie Dwiyaniti.....	80
<b>Penentuan Parameter PID Dengan Metode Ziegler-Nichols Untuk Pengendalian Flow Indicator Controller 12 – FIC – 219 Pada Control Valve 12 – FV – 219</b>	
Safira Putri Wibowo, Rika Novita.....	84
<b>Penerapan Sistem Pan-Tilt Camera untuk Deteksi Objek Berdasarkan Warna Menggunakan Raspberry Pi</b>	
Christophorus Edward Setiawan Ghanie, Florentinus Budi Setiawan.....	92

<b>Optimasi Umur Transformator Melalui Peningkatan Kinerja Pendingin Minyak Transformator Dengan Menggunakan Metode “<i>Smart Cooling</i>”</b>	
Rismawati, Isdawimah, Ikhsan Kamil, Agus Indarto.....	97
<b>Evaluasi Peningkatan Resistensi Pertanahan pada Musim Kemarau</b>	
Sandi Mulya.....	104
<b>Analisis Performansi Jaringan Backbone 2 X 10 Gbps Dan 2 X 100 Gbps Melalui Mekanisme Redundansi Untuk Peningkatan QOS Layanan Internet</b>	
Desi Kusuma Hapsari, Yohan Suryanto, dan Mohammad Fathurahman.....	108
<b>Rancang Bangun Antena Mikrostrip <i>Patch Disc Sector 2x2 Array</i> Untuk Sistem <i>Monitoring Ketinggian Air Sungai Menggunakan Wireless Sensor Network</i></b>	
Toto Supriyanto, Achmad Farhan.....	115
<b>Pengaruh Penambahan Garam Dapur (NaCl) Terhadap Perubahan Arus Listrik dan Kandungan Logam Pada Pengolahan Air Limbah Industri Secara Elektrokoagulasi</b>	
Sutanto dan Nanang Rohadi.....	118
<b>Pemodelan <i>Machine Vision</i> Untuk Pemilah Kualitas Telur Bebek Pada Skala Industri</b>	
Nuralam, Darwin.....	127
<b>Linieritas Periode Sensor Kapasitif Untuk Pengukuran Level Tangki Ukur</b>	
Amalia Rakhmawati, Dani Kurniawan.....	132
<b>Perbandingan Nilai Ketidakpastian Bentangan Pengujian Diameter Pelat <i>Orifice</i> Antara <i>Coordinate Measuring Machine</i> Optik Dan Analisis Citra Opencv</b>	
Amalia Rakhmawati, Dani Kurniawan.....	135
<b>Perancangan Simulator Akuisisi Data dan Pemrograman Pembacaan Sensor Suhu pada Transformator 150K kV</b>	
Wardah Mauritsa Nabilah, Nurhadi Shadikin, A.Damar Aji.....	141
<b>Pengujian dan <i>Monitoring Relay</i> Proteksi Arus Lebih 7SJ82 pada Sistem Proteksi Panel <i>Bus Coupler</i> 150 kV GI Blimbing Baru</b>	
Binardi Achmadiansyah, Muhammad Haikal Faza, dan Nuha Nadhiroh.....	145
<b>Pemeliharaan Transformator Transmisi 150/20kV pada GIS Cipinang</b>	
Indra1, Fajar Kurniawan, Rahmat Febriyanto Putra, Taufik Hidayat, Kusnadi.....	153

<b>Pemrograman Prototype Modular Production System Handling Menggunakan Bahasa Sequential Function Chart</b>	
Abraham Akbar Kridoputro, Armando Putramala, Madeleine dan Isdawimah.....	158
<b>Analisis Kualitas Jaringan 4G LTE dengan Metode Drive Test pada Jalur Pelayaran Tanjungpinang-Batam</b>	
Fitri Farida, Sapta Nugraha.....	163
<b>Pemetaan Ruang dengan Metode <i>Simultaneous Localization and Mapping</i> (SLAM) Berbasis LiDAR</b>	
Moch Bilal Zaenal Asyikin, Dimas Novendra Pramudia, Amar Fadillah dan Dadan Nurdin Bagenda.....	168
<b>Pengaruh Arah Orientasi Dan Sudut Kemiringan Modul Surya Terhadap Pembangkit Listrik Tenga Surya <i>Off-Grid</i> Berbasis <i>Internet Of Things</i> Pada <i>Charging Point Shelter</i></b>	
Jacky Kornelius, Ahmad Irsadi Hrp, dan Julita.....	172
<b>Rancang Bangun <i>Elevator Trainer</i> Berbasis PLC Dengan <i>Monitoring Scada</i></b>	
Imam Halimi, M.Fariz AR, Vita Dearnı, Yusufal HN.....	183
<b>Sistem Monitoring Limbah Industri Rayon</b>	
Latif Mawardi, Megajaya Pertiwi.....	186
<b>Design of the Detector and Monitoring System for Violations of Motorized Parking Vehicles Integrated with the FTTH Network</b>	
Sri Danaryani, Fira Mutia Ramaida.....	190
<b>Rancang Bangun <i>Wifi Extender 2.4 GHz</i></b>	
Dandun Widhiantoro, Abdul Aziz Abdullah, Muhammad Faishal Akbar.....	194
<b>Sistem Kendali Drone Menggunakan SP Android dan Router Openwrt</b>	
Abdul Aziz Abdullah, Nanda Fadillah Ramadhan dan Dandun Widhiantoro.....	199
<b>Analisa Proses Audit Energi Listrik Di Gedung D Politeknik Negeri Bengkalis</b>	
Abdul Hadi, Zainal Abidin, Wan Muhammad Faizal.....	204
<b>Simulasi Image Processing X-Ray Untuk Peningkatan Density Citra Menggunakan MATLAB</b>	
Mohammad Hiro, Sulis Setiowati.....	210
<b>Algoritma B217AN menggunakan Metode <i>Spread Spectrum</i> Berbasis PCMK/PCMB</b>	
Septian Rheno Widiyanto, Yohan Suryanto.....	216

<b>Akuisisi Data Pengukuran Temperatur Berbasis LABVIEW</b>	
Abdul Aziz Ash Shiddiq, Sulis Setiowati, Andre Yulian Atmojo.....	224
<b>Kajian Sejumlah Metode Tertutup Untuk Mencari Akar-Akar Persamaan Non Linier Secara Iteratif</b>	
Mulyono.....	228
<b>Inovasi Metode ANN-S Untuk Pengecekan Baterai Berbasis LabVIEW</b>	
Satria Arief Aditya, Tossin Alamsyah dan Endang Wijaya.....	235
<b>Inovasi Model Lampu Taman Bertenaga Surya</b>	
Vickry Yudian Pradana, Tossin Alamsyah dan Satria Arief Aditya.....	239
<b>Inovasi Model Lampu Penerangan Jalan Bertenaga Surya</b>	
Muhammad Rafi, Tossin Alamsyah dan Satria Arief Aditya.....	243
<b>Analisa Harmonik Dan Pengaruhnya Pada Transformator Distribusi Tenaga Listrik</b>	
R. Nursamsu, Tossin Alamsyah dan Kusnadi.....	248
<b>Pengaruh Harmonik Terhadap Kesalahan Pengukuran kWh Meter Analog</b>	
Rusly Abdillah, Tossin Alamsyah dan Kusnadi.....	253
<b>Analisis Hidrocarbon Berbasis Kontrol Fuzzy Pada Air Conditioner</b>	
Muhammad Ihwan Safari, Tossin Alamsyah.....	258
<b>Rancang Bangun Antena Mikrostrip Matahari Patch Array 2x1 Untuk Sistem Notifikasi Jadwal Mata Kuliah</b>	
Anik Tjandra Setiati, Toto Supriyanto, Trianusa Putra.....	261
<b>Implementasi Biotranduser Amperometrik Dengan Metode Teknologi Screen Printing</b>	
Aminuddin Debaraja, Syupriadi Nasution, Zainal Nur Arifin.....	266
<b>Perancangan Logbook Digital Untuk Memonitor Parameter Kelistrikan Generator Set</b>	
Fariz Muhtadi, Febtian Adi Sanjaya , Khoirul Anam dan Bagja Gumilar.....	272
<b>Sistem Identifikasi dengan Quick Response Code untuk Merekam Pengguna Komputer</b>	
Muhammad Ilyas Ahibma, Raihan Fauzan, B. S. Rahayu Purwanti, Nuralam.....	278
<b>Pemodelan Kendali Frekuensi Beban Pada Pembangkit Tenaga Listrik Surya On Grid</b>	
Andi Iswahyudi, A.Tossin Alamsyah.....	286

<b>Pemanfaatan Sumur Resapan untuk Mempertahankan Nilai Tahanan <i>Grounding</i></b> Herman, Tossin Alamsyah dan Soewarto.....	291
<b>Memperbaiki Nilai Tahanan <i>Grounding</i> Menggunakan Pompa Air sebagai Aktuator</b> Ayodhia Fitriaji, Tossin Alamsyah dan Soewarto .....	294
<b>Optimaliasi Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>OFF-GRID</i> 2000Wp</b> Soewarto, Tossin Alamsyah, Andy Budiman.....	298
<b>Meningkatkan Keandalan PJU Tenaga Surya Dengan <i>Monitoring</i> Baterai dan <i>Control Charger</i></b> Andy Budiman Wibowo, Tossin Alamsyah, Soewarto.....	301
<b>Memperpanjang Masa Pakai LED Penerangan Jalan Dengan Metode <i>Sun Tracking</i></b> Gopnar Sambudjo, Tossin Alamsyah, Soewarto.....	305
<b>Optimasi PLTS Terhadap Listrik Penerangan Menggunakan Beban DC</b> Sumarjo, Tossin Alamsyah, Soewarto.....	308
<b>Optimasi Nilai Losses Untuk Mendapatkan Biaya Investasi dan Operasi yang Optimum Pada Transformator Tenaga</b> Mujab, A. Tossin Alamsyah.....	311
<b>Rancang Bangun Antena Mikrostrip <i>Patch</i> Swastika Untuk Penguat Sinyal 4G Indoor Pada Frekuensi 1,8 GHz</b> Wisnu Arif Kridawan, Rahmat .....	315





## Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) di PT. PLN Area Madiun

Lukas Kristyanto Eska Putra<sup>1</sup>, Yuni Rahmawati<sup>2</sup> dan Langlang Gumilar<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang, Kota Malang, 65145, Indonesia

E-mail: [apelkroak6@gmail.com](mailto:apelkroak6@gmail.com)<sup>1</sup>, [yuni.rahmawati.ft@um.ac.id](mailto:yuni.rahmawati.ft@um.ac.id)<sup>2</sup>, [langlang.gumilar.ft@um.ac.id](mailto:langlang.gumilar.ft@um.ac.id)<sup>3</sup>

### Abstrak

Keandalan sistem distribusi merupakan kemampuan sistem untuk menyalurkan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas memuaskan. Kualitas keandalan pelayanan energi listrik dapat dilihat dari seberapa sering terjadi pemadaman dan lamanya pemadaman yang terjadi dalam selang waktu tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV pada PT. PLN Area Madiun. Metode yang digunakan adalah *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA), di mana nilai dari indeks keandalan dari setiap peralatan utama sistem distribusi diperhitungkan dalam mencari nilai indeks keandalan sistem secara menyeluruh, kemudian *software* ETAP sebagai referensi. Dari hasil penelitian 3 penyulang didapatkan hasil perhitungan indeks keandalan dengan menggunakan metode RNEA, nilai SAIFI penyulang Taman adalah sebesar 4,3934 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 11,616 (jam/pelanggan/tahun). Pada penyulang Setyabudi nilai SAIFI sebesar 3,6492 dan nilai SAIDI sebesar 10,2242. Penyulang Manguharjo nilai SAIFI sebesar 7,8549 dan nilai SAIDI sebesar 22,0054. Sedangkan hasil simulasi dengan *software* ETAP pada penyulang Taman nilai SAIFI sebesar 5,8956 dan nilai SAIDI sebesar 12,0220. Penyulang Setyabudi nilai SAIFI sebesar 4,2062 dan nilai SAIDI sebesar 10,6672. Penyulang Manguharjo nilai SAIFI sebesar 9,7138 dan nilai SAIDI sebesar 22,2098.

*Keywords: distribution network of 20 kV, ETAP, reliability index, RNEA*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan setiap tahun sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan perekonomian, hal ini dipengaruhi oleh adanya peningkatan dan perkembangan jumlah penduduk serta jumlah investasi yang semakin meningkat serta akan memunculkan berbagai industri-industri baru yang tidak sedikit jumlahnya (Devi Ali, 2016). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa energi listrik merupakan bagian terpenting bagi kehidupan manusia. Sehingga energi listrik harus tersalurkan dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan kehidupan manusia maupun industri demi menunjang aktivitas sehari-hari.

Peran utama dari sistem distribusi tenaga listrik berfungsi menyalurkan energi listrik secara andal dan terus menerus dari sistem transmisi menuju ke beban

atau pelanggan. Secara umum sistem didefinisikan sebagai kumpulan sejumlah sub-sistem atau komponen yang berhubungan satu sama lain guna menjalankan fungsi tertentu, sedangkan secara umum keandalan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan sistem untuk memberikan suatu pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang sempurna. Semakin meningkatnya kebutuhan akan energi tenaga listrik, maka akan menuntut pula suatu tenaga listrik untuk mempunyai keandalan sistem dalam penyediaan dan penyaluran energi listrik pada jaringan distribusi.

Evaluasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV di Penyulang Taman, Setyabudi dan Manguharjo di Kota Madiun, Jawa Timur. Pemilihan 3 penyulang dalam penelitian ini karena masyarakat yang teraliri listrik dari penyulang Taman memiliki kualitas yang baik

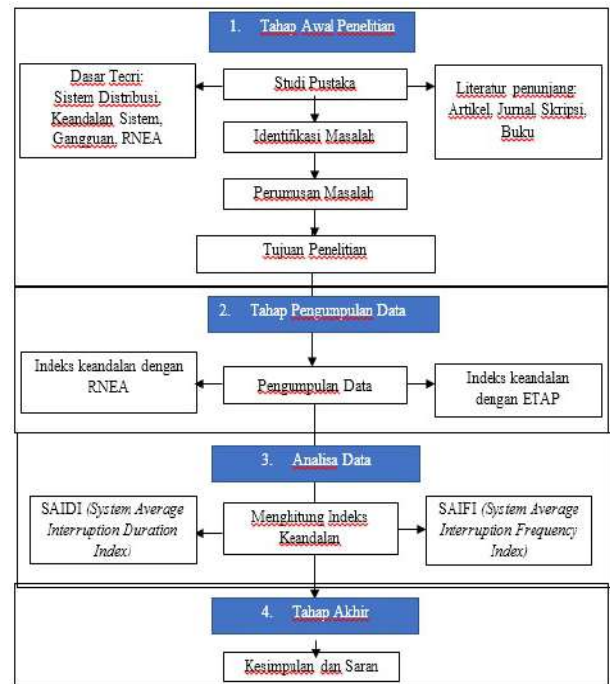
dengan 2 kali padam sedangkan pada penyulang Setyabudi dengan 4 kali padam dan penyulang Manguharjo memiliki kualitas yang buruk karena 10 kali padam dalam 1 tahun. Metode RNEA ini merupakan penyederhanaan dari metode FMEA, dan merupakan solusi dari masalah yang dihadapi metode FMEA, (Billinton & Wang, 1998). Dengan demikian, perlu dilakukan evaluasi keandalan sistem secara berkala pada jaringan distribusi. Pada tugas akhir ini peneliti mengkaji tentang evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV di area Madiun PT. PLN Rayon Kota Madiun dengan menggunakan metode RNEA, kemudian hasil perhitungan dari metode RNEA dibandingkan dengan hasil perhitungan *software* ETAP. Indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi antara lain adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa keandalan jaringan ditribusi tegangan menengah 20 kV di penyulang Taman, Setyabudi dan Manguharjo Kota Madiun dengan menggunakan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA). Pada Gambar 1 ditunjukkan diagram rancangan penelitian, hal pertama yang harus dilakukan adalah menghitung indeks keandalan menggunakan metode RNEA dan kemudian membandingkan hasil perhitungan metode RNEA dengan *software* ETAP. Perhitungan menggunakan metode RNEA dapat dilakukan dengan menyederhanakan jaringan dahulu dari yang kompleks menjadi sederhana, maka perhitungan dapat dilakukan secara maksimal. Pada perhitungan menggunakan metode RNEA jaringan cabang diganti dengan ekuivalen.

Berdasarkan alur rancangan penelitian mengenai keandalan sistem distribusi, terdapat permasalahan yang teridentifikasi yaitu untuk mengevaluasi sistem jaringan distribusi yang begitu kompleks dan banyak, sehingga diperlukan penyederhanaan jaringan dengan menggunakan metode RNEA. Peneliti melakukan penyederhanaan jaringan dan menghitung indeks keandalan pada penyulang cabang, penyulang utama dan *load point* menggunakan metode RNEA dan kemudian hasil perhitungan dibandingkan dengan simulasi ETAP.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif yang diperoleh dalam bentuk angka yang dapat dihitung dan berupa data historis. Data yang diperoleh dari pencatatan historis perusahaan yaitu *Single Line Diagram*, data jumlah pelanggan, data pelanggan padam, data jumlah gangguan, dan data lama gangguan. Data tersebut berguna untuk menganalisis keandalan sistem distribusi tenaga listrik dengan menghitung indeks keandalan (SAIDI dan SAIFI).

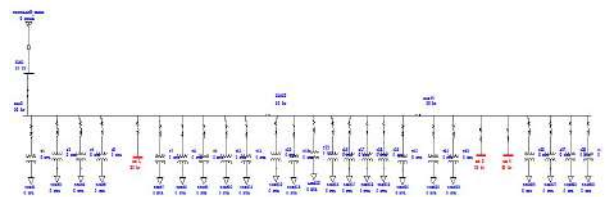


Gambar 1. Alur Rancangan Penelitian

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Penyulang Taman

Dalam perhitungan indeks keandalan titik beban dengan metode RNEA yang dilakukan pertama adalah mereduksi penyulang cabang dan mengganti dengan ekuivalen seksi cabang sehingga sistem distribusi yang kompleks diubah menjadi sistem distribusi umum.



Gambar 2. Reduksi Penyulang Taman

Berdasarkan Gambar 2 diatas terdapat 3 saluran cabang, dalam perhitungan indeks keandalan titik beban dengan metode RNEA saluran cabang tersebut diganti dengan saluran ekivalen, sehingga saluran ekivalen dapat dihitung menggunakan rumus

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (1)$$

$$U_e = \sum_{i=1}^m \lambda_i r_i \quad (2)$$

$$r = \frac{U_e}{\lambda_e} \quad (3)$$

Dengan keterangan:

$\lambda_e$  = Laju kegagalan ekivalen cabang

$U_e$  = Total ketidakterediaan ekivalen cabang

$r$  = Rata-rata waktu perbaikan

Tabel 1. Indeks Keandalan Penyulang Taman

Komponen	$\lambda$	U	r	P L G	SAIF I	SAI DI
LP 1	3,60	5,464	1,516	1	3,604	5,464
	408	24	126		08	24
LP 2	3,60	5,464	1,516	1	3,604	5,464
	408	24	126		08	24
LP 3	3,60	5,464	1,516	36	1322,	2005,
	408	24	126	7	697	376
LP 4	3,60	5,464	1,516	42	1513,	2294,
	408	24	126	0	714	981
LP 5	5,23	10,96	2,093	17	916,1	1918,
	508	224	997	5	39	392
LP 6	5,23	10,96	2,093	39	2078,	4352,
	508	224	997	7	327	009
LP 7	5,23	10,96	2,093	32	1717,	3595,
	508	224	997	8	106	615
LP 8	5,23	10,96	2,093	56	2936,	6149,
	508	224	997	1	88	817
LP 9	5,86	13,32	2,270	15	891,6	2024,
	608	024	723	2	442	676
LP 10	5,86	13,32	2,270	36	2164,	4915,
	608	024	723	9	584	169
LP 11	5,86	13,32	2,270	38	2240,	5088,
	608	024	723	2	843	332
LP 12	4,79	9,560	1,995	32	1533,	3059,
	108	24	425	0	146	277
LP 13	4,79	9,560	1,995	31	1513,	3021,
	108	24	425	6	981	036
LP 14	4,79	9,560	1,995	9	43,11	86,04
	108	24	425		972	216
LP 15	4,79	9,560	1,995	48	2323,	4636,
	108	24	425	5	674	716
LP 16	4,79	9,560	1,995	2	9,582	19,12
	108	24	425		16	048
LP 17	3,73	12,35	3,312	20	761,1	2521,
	108	824	242	4	403	081
LP 18	3,60	11,58	3,213	30	1081,	3474,
	408	224	647	0	224	672
LP 19	3,60	11,58	3,213	31	1146,	3683,
	408	224	647	8	097	152
LP 20	3,60	11,58	3,213	11	403,6	1297,
	408	224	647	2	57	211
LP 21	3,60	11,58	3,213	1	3,604	11,58
	408	224	647		08	224
LP 22	3,60	11,58	3,213	39	1405,	4517,
	408	224	647	0	591	074

LP 23	3,64	12,09	3,319	1	3,643	12,09
	308	424	784		08	424
LP 24	3,60	11,58	3,213	44	1589,	5107,
	408	224	647	1	399	768
LP 25	3,60	14,10	3,912	19	684,7	2679,
	408	224	854	0	752	426
LP 26	3,60	14,10	3,912	32	1160,	4540,
	408	224	854	2	514	921
LP 27	3,79	15,09	3,980	30	1152,	4589,
	208	624	992	4	792	257
LP 28	3,83	15,60	4,074	1	3,831	15,60
	108	824	11		08	824
LP 29	4,17	15,99	3,829	1	4,177	15,99
	708	624	527		08	624
LP 30	4,17	15,99	3,829	22	927,3	3551,
	708	624	527	2	118	165
LP 31	4,17	15,99	3,829	14	597,3	2287,
	708	624	527	3	224	462
LP 32	4,17	15,99	3,829	76	317,4	1215,
	708	624	527		581	714
LP 33	4,17	15,99	3,829	31	1324,	5070,
	708	624	527	7	134	808
LP 34	3,60	14,10	3,912	1	3,604	14,10
	408	224	854		08	224
LP 35	3,60	14,10	3,912	12	461,3	1805,
	408	224	854	8	222	087
LP 36	3,60	14,10	3,912	20	746,0	2919,
	408	224	854	7	446	164
LP 37	3,63	14,60	4,012	1	3,639	14,60
	908	224	619		08	224
TOTAL				79	3499	9252
				65	3,93	1,43
					SAIFI	4,393
						462
					SAIDI	11,66

**SUMMARY**

**System Indexes**

SAIFI	5.8956 f / customer.yr
SAIDI	12.0220 hr / customer.yr
CAIDI	2.039 hr / customer interruption
ASAI	0.9986 pu
ASUI	0.00137 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

Gambar 3. Indeks Keandalan Penyulang Taman Menggunakan Software ETAP

### 3.2 Penyulang Setyabudi

Teknik evaluasi perhitungan indeks keandalan Penyulang Setyabudi dengan menggunakan metode RNEA sama seperti evaluasi sebelumnya pada penyulang Taman. Pada penyulang Setyabudi didapatkan hasil perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI menggunakan metode RNEA sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= 3,649212 \text{ padam / pelanggan / tahun} \\ \text{SAIDI} &= 10,2242195 \text{ jam / pelanggan / tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI menggunakan *software* ETAP sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= 4,2062 \text{ padam / pelanggan / tahun} \\ \text{SAIDI} &= 10,6672 \text{ jam / pelanggan / tahun} \end{aligned}$$

### 3.3 Penyulang Manguharjo

Teknik evaluasi perhitungan indeks keandalan Penyulang Setyabudi dengan menggunakan metode RNEA sama seperti evaluasi sebelumnya pada penyulang Taman. Pada penyulang Setyabudi didapatkan hasil perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI menggunakan metode RNEA sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= 7,854 \text{ padam / pelanggan / tahun} \\ \text{SAIDI} &= 22,0054 \text{ jam / pelanggan / tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI menggunakan *software* ETAP sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= 9,7138 \text{ padam / pelanggan / tahun} \\ \text{SAIDI} &= 22,2088 \text{ jam / pelanggan / tahun} \end{aligned}$$

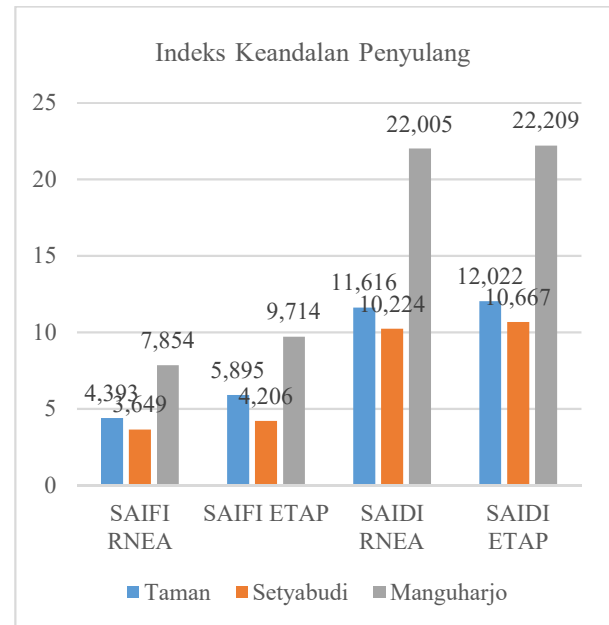
Berdasarkan hasil perhitungan indeks keandalan menggunakan metode RNEA dan simulasi *software* ETAP terdapat perbedaan atau selisih perhitungan. Berdasarkan data tersebut juga dapat diperoleh *margin error* nilai indeks keandalan menggunakan metode RNEA dan simulasi *software* ETAP. Besar *margin error* dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%error = \frac{ETAP - RNEA}{RNEA} \times 100\% \quad (4)$$

Persentase perhitungan metode RNEA dan ETAP pada penyulang Taman sebesar 34,19% untuk nilai SAIFI dan SAIDI sebesar 3,49%, pada penyulang Setyabudi persentase perbandingan nilai SAIFI sebesar 15,26% dan SAIDI sebesar 4,32%, pada penyulang Manguharjo persentase perbandingan nilai SAIFI sebesar 23,68% dan SAIDI sebesar 0,92%. Perbedaan perhitungan ini dikarenakan perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih.

Pada evaluasi keandalan menggunakan *software* ETAP diketahui bahwa ada perbedaan aturan pengambilan nilai *switching time* sehingga mempengaruhi hasil terutama pada nilai SAIDI. Sedangkan pada metode RNEA diketahui hasilnya cukup jauh dari program ETAP karena dilakukan

penyederhanaan jaringan dan dalam perhitungan banyak hal-hal yang diabaikan. Grafik perbandingan antara metode RNEA dan ETAP dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Indeks Keandalan Penyulang

Hasil perhitungan indeks keandalan sistem pada Gambar 4 kemudian dibandingkan dengan standar PLN untuk mengetahui apakah memenuhi standar atau belum. Standar yang digunakan berdasarkan SPLN 68-2 tahun 1986 yaitu SAIFI = 3,2 kali / pelanggan / tahun dan SAIDI = 21 jam / tahun. Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa pada Penyulang Taman, Setyabudi dan Manguharjo tidak memenuhi standar PLN baik pada perhitungan menggunakan RNEA maupun ETAP. Perlu dilakukan upaya peningkatan keandalan untuk memenuhi standar PLN pada semua penyulang. Sedangkan perbandingan indeks keandalan SAIDI diketahui bahwa indeks keandalan SAIDI pada penyulang Taman sudah memenuhi standar PLN baik perhitungan menggunakan metode RNEA maupun ETAP. Pada penyulang Setyabudi indeks keandalan SAIDI sudah memenuhi standar PLN baik perhitungan menggunakan metode RNEA maupun ETAP. Pada penyulang Manguharjo indeks keandalan SAIDI belum memenuhi standar PLN baik perhitungan menggunakan metode RNEA maupun ETAP.

Semakin panjang suatu saluran maka indeks SAIFI dan SAIDI semakin besar maka untuk mengkompensasi nilai laju kegagalan dibutuhkan *fuse* yang banyak karena *fuse* berfungsi untuk menurunkan nilai  $\lambda$  tiap *load point*, begitu pula dengan *sectionalizer* dengan semakin panjang suatu saluran maka dibutuhkan *sectionalizer* yang banyak untuk mengkompensasi dari

adanya durasi saat *reair time* berlangsung. Dengan adanya *sectionalizer* maka gangguan dapat dilokalisir dengan manuver aliran daya, hal tersebut sebagai bentuk perbaikan sistem distribusi agar memenuhi standar dari PLN.

Upaya peningkatan keandalan sistem pada semua penyulang dapat dilakukan pendekatan secara internal yaitu dengan menambahkan *fuse* pada saluran ekuivalen, sehingga pemadaman dapat dilokalisir. Setelah dilakukan upaya perbaikan keandalan dengan rekonfigurasi jaringan menggunakan *software* ETAP pada semua penyulang maka, akan menimbulkan perubahan nilai yaitu penurunan nilai SAIDI dan SAIFI akibat penambahan *fuse*.

Pada penyulang Taman nilai SAIDI dan SAIFI menurun menjadi

SAIFI = 4,1069 padam / pelanggan / tahun

SAIDI = 9,3067 jam / pelanggan / tahun

Pada penyulang Setyabudi nilai SAIDI dan SAIFI menurun menjadi

SAIFI = 3,5813 padam / pelanggan / tahun

SAIDI = 10,1287 jam / pelanggan / tahun

Pada penyulang MAngharjo nilai SAIDI dan SAIFI menurun menjadi

SAIFI = 6,8547 padam / pelanggan / tahun

SAIDI = 15,4717 jam / pelanggan / tahun

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari evaluasi dan simulasi, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

4.1 Pada hasil studi mengenai analisis performa jaringan distribusi pada penyulang Taman, Setyabudi dan Manguharjo didapati gangguan yang terjadi pada penyulang Taman, Setyabudi dan Manguharjo adalah gangguan permanen dan gangguan temporer yang disebabkan oleh berbagai macam kelompok dan jenis gangguan. Hasil analisis performa pada penyulang Taman menunjukkan kondisi sehat, penyulang Setyabudi dengan kondisi sakit dan penyulang Manguharjo dengan kondisi Kritis.

4.2 Pada hasil evaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN Area Madiun menggunakan metode RNEA dan membandingkan dengan *reliability assesment* pada *software* ETAP di dapat hasil:

a. Penyulang Taman dengan menggunakan metode RNEA

SAIFI = 4,3934 SAIDI = 11,616

Dengan perhitungan *reliability assesment* ETAP

SAIFI = 5,8956 SAIDI = 12,0220

b. Penyulang Setyabudi dengan menggunakan metode RNEA

SAIFI = 3,6492 SAIDI = 10,2242

Dengan perhitungan *reliability assesment* ETAP

SAIFI = 4,2062 SAIDI = 10,6672

c. Penyulang Manguharjo dengan menggunakan metode RNEA

SAIFI = 7,8549 SAIDI = 22,0054

Dengan perhitungan *reliability assesment* ETAP

SAIFI = 9,7138 SAIDI = 22,2088

Selisih perhitungan metode RNEA dan ETAP pada penyulang Taman sebesar 34,19% untuk nilai SAIFI dan SAIDI sebesar 3,49%, pada penyulang Setyabudi persentase nilai SAIFI sebesar 15,26% dan SAIDI 4,32%, pada penyulang Manguharjo presentase perbandingan nilai SAIFI sebesar 23,68% dan SAIDI 0,92%.

4.3 Pada upaya perbaikan pada penyulang Taman didapat hasil indeks keandalan SAIFI sebelum adanya upaya perbaikan adalah sebesar 5,8956 dan setelah adanya upaya perbaikan dengan penambahan *fuse* maka indeks keandalan SAIFI menjadi 4,1069, kemudian untuk indeks SAIDI sebelum perbaikan sebesar 12,0220 dan setelah perbaikan sebesar 9,3067. Pada upaya perbaikan pada penyulang Setyabudi didapat hasil indeks keandalan SAIFI sebelum adanya upaya perbaikan adalah sebesar 4,2062 dan setelah adanya upaya perbaikan dengan penambahan *fuse* maka indeks keandalan SAIFI menjadi 3,5813, kemudian untuk indeks SAIDI sebelum perbaikan sebesar 10,6672 dan setelah perbaikan sebesar 10,1287. Pada upaya perbaikan pada penyulang Manguharjo didapat hasil indeks keandalan SAIFI sebelum adanya upaya perbaikan adalah sebesar 9,7138 dan setelah adanya upaya perbaikan dengan penambahan *fuse* maka indeks keandalan SAIFI menjadi 6,8547, kemudian untuk indeks SAIDI sebelum perbaikan sebesar 22,2088 dan setelah perbaikan sebesar 15,4717.

#### 5. Daftar Acuan

[1] Afandi, Ahmad. 2017. Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN (PERSERO) UPJ Jombang Menggunakan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Surabaya: Universitas Negeri Surabaya

[2] Billinton. R & Allan. R.N, 1996. *Reliability Evaluation of Power System*. Plenum press, New York.

[3] Billinton. R & Wang. P, 1998. *Reliability Network Equivalent Approach to Distribution System Reliability Evaluation*. IEEE Proc-Gener. Distrib, vol. 145, no 2.

[4] Chandra. G, 2012. Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV di PT. PLN Distribusi Jawa

Timur Kediri dengan Metode Simulasi *Section Tehnique*. Institut Sepuluh November.

[5] Mazidi, P. & Sreenivas, G. N, 2013. *Reliability Analysis of A Radial Distributed Generation Distribution System*, IEEE, ISSN (PRINT):2231-5284, Vol. 3 Issue 2.

[6] Nanzain, Syahmi. 2017. Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) di PT.PLN Rayon Mojokerto. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

[7] Nugroho, Sukmoyo, Adhito. 2012. Studi Keandalan Sistem Distribusi 20kV di Bengkulu dengan Menggunakan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Jurusan Teknik Elektro FTE. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

[8] Pabla A. S, 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta: Penerbit Erlangga

[9] Prabowo, T, dkk. 2013. Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pekalongan 8 dan 12. Jurusan Teknik Elektro FTE. Semarang: Universitas Diponegoro.

[10] PT. PLN (persero). 2010. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL 2010-2019). Jakarta.

[11] SPLN 52-3: 1983, Pola Pengaman Sistem, Bagian Tiga: Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV. Indonesia. 1983.

[12] SPLN 59 : 1985. Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara.

[13] Suswanto, Daman, 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama. Padang: Penerbit Universitas Negeri Padang.

[14] Tanjung, A. 2012. Analisis Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan *Electrical Transient Analysis Program*. Teknik Elektro Fakultas Teknik. Pekanbaru: Universitas Lancang Kuning.

[15] Widiyanto, F, dkk. 2013. Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 13 Bus Dengan Menggunakan Program ETAP 7.0. Teknik Elektro Surakarta: Universitas Surakarta.



## Alat Pembaca Ketegangan Otot yang Terintegrasi dengan Bluetooth 4.0 Menggunakan ESP32

Nico Talenta Marazola<sup>1</sup>, Florentinus Budi Setiawan<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl.Pawiyatan Luhur IV, Kota Semarang, 50234, Indonesia

E-mail: [nicotalenta.008@gmail.com](mailto:nicotalenta.008@gmail.com) , [fbudis@yahoo.co.id](mailto:fbudis@yahoo.co.id)

### Abstrak

Beberapa tahun terakhir, kesadaran manusia akan pentingnya hidup sehat mulai meningkat, hal ini dapat dilihat dari banyaknya orang yang melakukan kegiatan olahraga pada pagi maupun sore hari. Saat sedang berolahraga ketika otot terus dipaksa melakukan aktivitas maka otot akan mengalami kelelahan dan meningkatkan resiko terjadinya cedera pada otot. Dalam penelitian ini akan dibahas tentang penggunaan sensor pembaca ketegangan otot (Elektromiografi) berbasis ESP32 untuk membaca ketegangan otot yang terjadi saat digunakan untuk beraktivitas khususnya saat berolahraga. Alat ini dapat digunakan untuk membaca tingkat ketegangan otot secara langsung, karena memiliki ukuran yang kecil dan ringan sehingga dapat ditempel pada kaki, kemudian hasil pembacaan dikirim oleh bluetooth dan dapat langsung dilihat pada gawai Android.

### Abstract

*In a few years, human awareness about the important of healthy life are increasing, this is can be seen from the numbers of people who doing sport activities in the morning and evening. When excercising while the muscle are forced into high activities, it may cause the fatigue and injury to the muscle. This research will explain the use of ESP32 based muscle tension reading sensor (electromyography) to read muscle tension that occurs when used in sport activities. This device can be used to read the level of muscle tension directly, it because this device has a small size and light weight so it can be attached to the feet. The reading result will sent by bluetooth and can be directly seen on the android device.*

*Keywords: Android, Bluetooth, Electromyography, ESP32*

### 1. Pendahuluan

Olahraga telah menjadi sebuah kebutuhan untuk memenuhi keperluan akan kesehatan tubuh. Didalam tubuh manusia, yang terdiri dari berbagai macam otot memiliki peran penting dalam setiap aktivitas, ketika otot mengalami kelelahan atau kesalahan pada saat olahraga maka kinerja otot akan mengalami penurunan dan meningkatkan resiko cedera pada otot. Otot yang tegang atau cedera menyebabkan terjadinya pembengkakan pada otot, kram dan berbagai masalah lainnya. Berdasarkan hal tersebut, makalah ini dirancang untuk membaca ketegangan otot yang terjadi pada saat digunakan untuk aktivitas olahraga. tujuan alat ini adalah untuk menampilkan tingkatan ketegangan otot secara *realtime*.

Sehingga saat otot mengalami ketegangan maksimal, pengguna dapat beristirahat atau menurunkan intensitas olahraga agar meminimalkan resiko cedera. Alat ini memanfaatkan ilmu Elektromiografi (EMG) yang mempelajari teknik kegiatan perekaman elektrik yang terjadi pada otot ketika berkontraksi [1].

Makalah ini dirancang dengan modul berukuran kecil yang dapat ditempel pada kaki pengguna dan dapat memberikan informasi ketegangan otot melalui aplikasi pada gawai Android sehingga dapat langsung dianalisa. Hasil tes laboratorium menunjukkan perbedaan ketegangan pada saat otot melakukan aktivitas olahraga dengan intensitas yang berbeda. Semakin tinggi intensitas olahraga maka, semakin tinggi hasil yang ditampilkan dalam aplikasi Android.



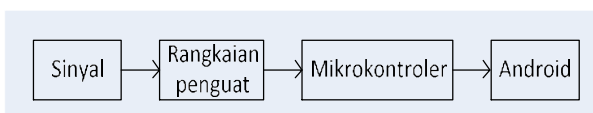
## 2. Metode Penelitian

Sinyal yang dihasilkan otot manusia, terjadi karena proses terbentuknya tegangan yang dibaca oleh elektroda yang menempel di permukaan kulit. *Impuls* yang dihasilkan pada saat otot mengalami ketegangan dibaca menggunakan elektroda sebagai *ACTION POTENSIAL* atau yang biasa disebut *Motor Unit Action Potensial* (MUAP). Sinyal impuls tersebut muncul akibat proses *Polarisasi* dan *Depolarisasi* dua ion penting dalam sel-sel otot yaitu *Natrium* (Na<sup>+</sup>) dan *Potassium* (K<sup>+</sup>). Proses terjadinya tegangan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *Polarisasi* (Penegangan Otot), *Depolarisasi* (Pelemasan Otot), dan kondisi istirahat [2].

### 2.1 Elektromiografi

Elektromiografi merupakan perekam aktivitas otot yang diambil dari permukaan kulit tubuh. Hasil dari penjumlahan stimulasi listrik serat otot yang dibaca oleh elektroda [3]. Sejak dekade 2000-an, elektromiografi sudah diaplikasikan untuk penelitian di bidang medis dan digunakan untuk diagnosis gangguan neuromuscular. Perkembangan elektromiografi sudah pernah sering diaplikasikan untuk prosthetics, robotika, dan sistem kontrol lainnya. Pada makalah ini dikembangkan sebuah elektromiografi dengan ukuran kecil sehingga mudah dibawa dan digunakan. Alat ini terdiri dari beberapa komponen berupa penguat, *High Pass Filter* (HPF), *Low Pass Filter* (LPF).

Prinsip kerja alat ini terjadi ketika otot betis dideteksi menggunakan elektroda, kemudian dikuatkan dan diolah oleh *op-amp* pada rangkaian EMG, lalu sinyal keluaran pada rangkaian EMG diolah oleh mikrokontroler yang kemudian mengirimkan data keluaran tersebut ke aplikasi Android melalui *bluetooth*. Hasil pembacaan dapat ditampilkan pada layar ponsel pengguna. Ini dapat dilihat seperti diagram blok pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram blok sistem.

Gambar 1 merupakan diagram sistem kerja alat pembacaan sinyal, setelah dibaca oleh elektroda, sinyal kemudian dikuatkan didalam rangkaian penguat atau biasa disebut dengan *operational amplifier*, *op-amp* merupakan sebuah komponen elektronik yang terdiri dari rangkaian transistor dan komponen lainnya yang dikemas dalam *Integrated Circuit* (IC) dimana IC ini memiliki dua *input* pembalik dan non-pembalik dengan sebuah *input* terminal [4]. *Op-amp* berfungsi sebagai komponen multiguna yang termasuk dalam rangkaian analog [5].

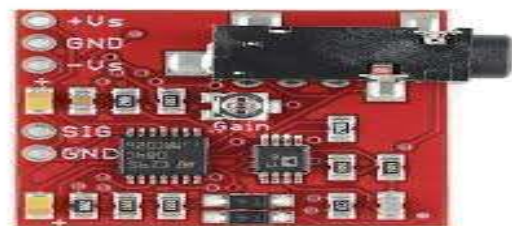
Dalam penelitian ini digunakan 2 buah *Op-Amp* untuk menguatkan sinyal, yaitu AD620 dan TL084. IC AD620 digunakan sebagai penguat karena komponen ini memiliki kemampuan yang dapat menguatkan 1 hingga 1000 kali tergantung pengali yang diinginkan [6]. Pengali AD620 diperoleh dari R<sub>g</sub>, yang didapat dari rumus :

$$R_g = 1 + (49,4 \text{ k}) / (G - 1) \quad (1)$$

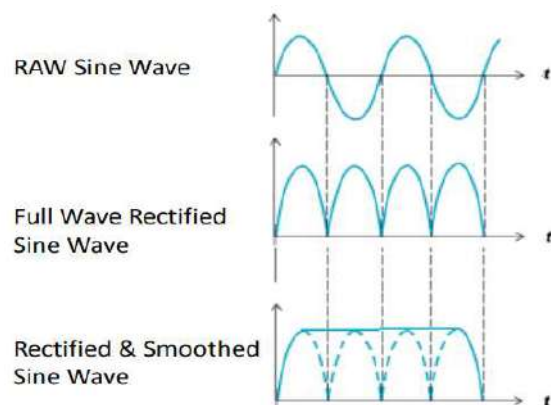
R<sub>g</sub> = Nilai Resistor yang akan digunakan

G = Nilai penguat yang diinginkan

Pada alat ini digunakan modul *Muscle Sensor V3* untuk membaca sinyal keluaran dari elektroda dengan baik. Sinyal keluaran pada modul *Muscle Sensor V3* digunakan sebagai referensi dalam pembuatan modul sensor otot. Modul ini terdiri dari beberapa komponen yang berfungsi untuk mendukung pengukuran sinyal ketegangan yang dihasilkan oleh otot atau bisa disebut Elektromiografi. [7]. Alat ini dapat dilihat seperti Gambar 2.



Gambar 2. Modul *Muscle Sensor V3*

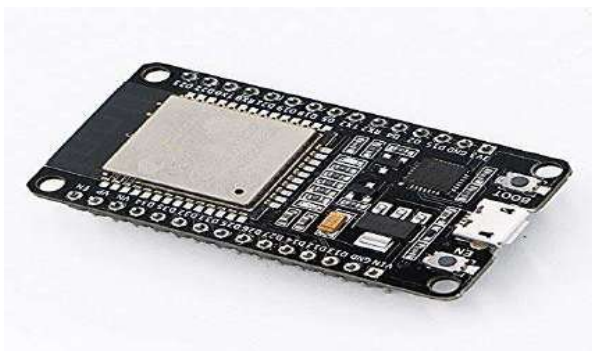


Gambar 3. Sinyal keluaran Modul *Muscle Sensor V3* .

Pada gambar 3 menunjukkan sinyal keluaran pada Modul *Muscle Sensor V3* setelah dikuatkan, diperbaiki dan dihasluskan [7]. Setelah sinyal otot terbaca dan dapat dikuatkan dengan baik, kemudian hasil pembacaan otot dikirimkan ke Mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan komponen berbentuk IC, yang berfungsi sebagai penerima sinyal masukan. Sinyal tersebut kemudian diolah menjadi sinyal keluaran sesuai program

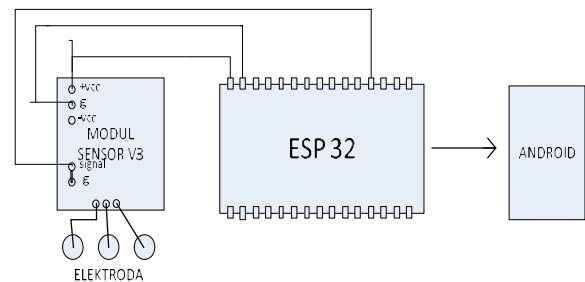
yang di *inject* sehingga dapat memberikan sinyal keluaran sesuai seperti program yang diberikan didalamnya. Dalam penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32, yang berfungsi sebagai pengolah data pembacaan sinyal otot yang kemudian dikirim melalui *bluetooth*. Hasil pembacaan sinyal pada otot dapat ditampilkan pada layar ponsel. Secara sederhana mikrokontroler dapat dikatakan sebagai otak dari suatu perangkat [8].

Mikrokontroler ESP32 dapat dihubungkan dengan perangkat mobile dan aplikasi IoT [9]. Dalam penelitian ini Mikrokontroler ESP32 berfungsi untuk memproses hasil sinyal keluaran dari modul sensor otot untuk ditampilkan pada sebuah aplikasi Android.

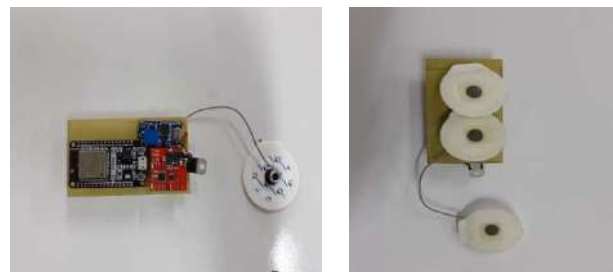


Gambar 4. Bentuk fisik ESP32

aplikasi Serial Bluetooth. Berikut merupakan rangkaian alat penelitian ini seperti Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk rangkaian alat



Gambar 7. Bentuk Fisik *Prototype* (a) tampak depan (b) tampak belakang

## 2.2 Bagian otot yang diuji

Pada penelitian ini, bagian otot yang diuji menggunakan alat pengukur ketegangan otot diletakkan pada betis (*Gastronecmius*). Letak bagian kaki yang di uji dapat dilihat dalam Gambar 5



Gambar 5. Letak otot *Gastronecmius*

## 3. Hasil Pengujian

Pada penelitian ini menggunakan elektroda untuk membaca sinyal otot yang kemudian dihubungkan ke komponen Muscle sensor untuk menguatkan sinyal dan memberikan data pembacaan sinyal otot yang kemudian diolah oleh Mikrontroller ESP32 untuk dikirim melalui *bluetooth* dan dapat ditampilkan di layar ponsel melalui



Gambar 8. Implementasi Alat Pada Bagian Kaki Yang Diuji

Dengan menggunakan *prototype* pada gambar 7 dilakukan pengujian dengan cara berlari sejauh 5 Kilometer dan diambil sample pada titik 100 meter, 1 Kilometer dan 3 Kilometer. Implementasi pada alat yang diuji dapat dilihat pada gambar 8, hasil pengujian dapat ditampilkan pada aplikasi Serial Bluetooth yang nilai pengukurannya ditampilkan pada tabel 1, tabel 2, dan tabel 3 dibawah ini. Disertai hasil dari nilai yang dibuat grafik seperti gambar 9, gambar 10, gambar 11 dan juga hasil pengukuran yang ditampilkan pada layar ponsel melalui aplikasi Serial Bluetooth:

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Subjek 1

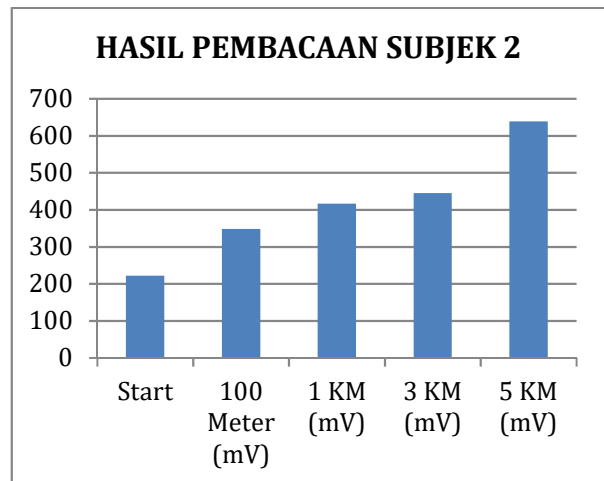
Nilai Hasil Pembacaan Otot Betis				
SUBJEK 1				
Start	LARI 100 M (mV)	LARI 1 KM (mV)	LARI 3 KM (mV)	LARI 5 KM (mV)
236	358	462	557	647
226	314	436	563	628
232	371	422	563	688
212	399	446	557	726
263	405	413	546	624
297	384	460	552	687
235	378	430	585	607
189	351	430	499	511
Rata -rata	236,2	370	437,3	552,7



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran ketegangan pada Subjek 1

Tabel 2. Tabel Hasil Pengujian Subjek 2

Nilai Hasil Pembacaan Otot Betis				
SUBJEK 2				
Start	LARI 100M (mV)	LARI 1 KM (mV)	LARI 3 KM (mV)	LARI 5 KM (mV)
196	316	371	378	651
228	539	354	469	624
216	487	431	458	637
215	318	499	446	690
206	314	423	451	750
266	257	528	436	580
203	259	337	530	650
248	296	392	394	525
Rata -Rata	222,2	348,25	416,8	445,2



Gambar 10. Grafik hasil pengukuran ketegangan pada Subjek 2

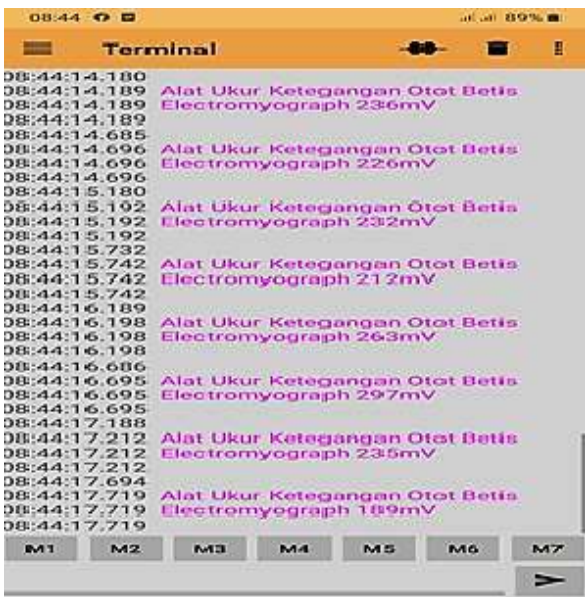
Tabel 3. Tabel Hasil Pengujian Subjek 3

Nilai Hasil Pembacaan Otot Betis				
SUBJEK 3				
Start	LARI 100 M (mV)	LARI 1 KM (mV)	LARI 3 KM (mV)	LARI 5 KM (mV)
270	415	533	509	490
387	353	473	541	698
249	428	501	663	638
238	448	543	551	432
216	422	499	496	621
229	337	440	476	600
167	389	415	531	608
180	534	373	434	495
Rata -Rata	242	415,75	472,1	525,1

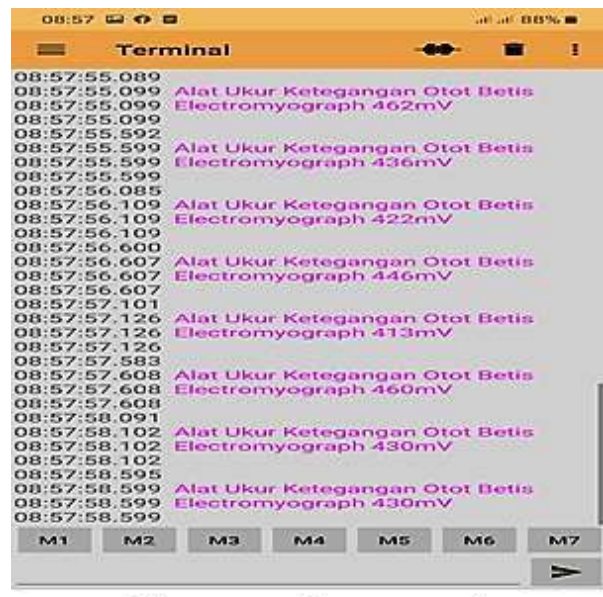


Gambar 11. Grafik hasil pengukuran ketegangan pada Subjek 3

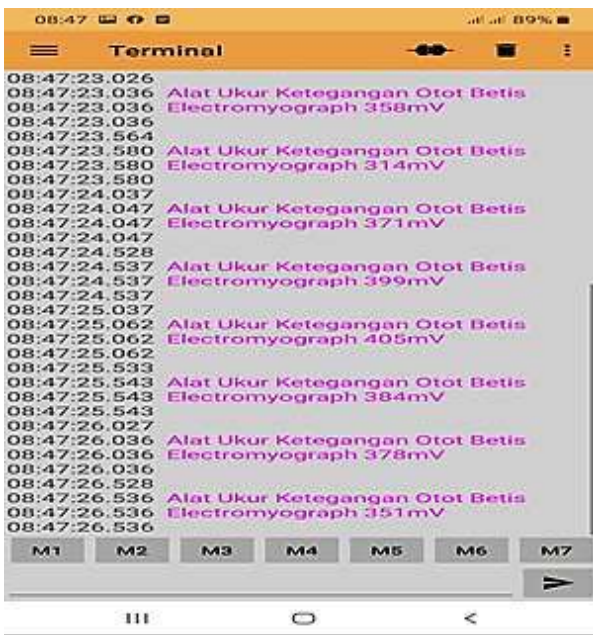




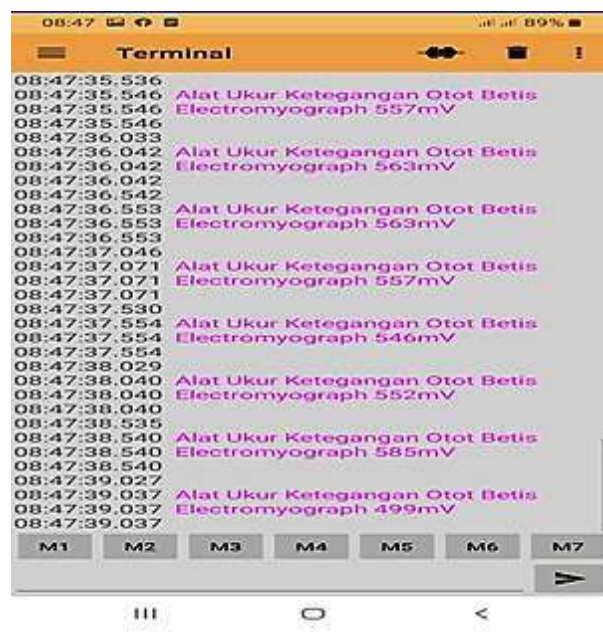
Gambar 12. Contoh hasil pembacaan ketegangan otot subjek pada saat posisi start



Gambar 14. Contoh hasil pembacaan ketegangan otot subjek pada saat berlari sejauh 1 Km



Gambar 13. Contoh hasil pembacaan ketegangan otot subjek pada saat berlari 100 m



Gambar 15. Contoh hasil pembacaan ketegangan otot subjek pada saat berlari 3 Km



Gambar 16. Contoh hasil pembacaan ketegangan otot subjek pada saat berlari sejauh 5 Km

Dapat dilihat pada gambar 12, gambar 13, gambar 14, gambar 15 dan gambar 16 merupakan hasil pembacaan dari nilai ketegangan otot yang terjadi dan ditampilkan pada layar ponsel. Terlihat pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 bahwa semakin jauh jarak yang ditempuh, maka ketegangan otot yang terjadi semakin tinggi nilainya. Tingginya nilai tersebut, dihitung dari algoritma yang telah dijelaskan pada makalah ini. Berdasarkan estimasi kuadrat akar sinyal EMG, ditunjukkan bahwa semakin lama waktu dan intensitas olahraga seseorang, maka semakin meningkat pula kelelahan pada otot [10].

#### 4. Kesimpulan

Berdasar pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan prototipe, dapat disimpulkan semakin tinggi intensitas olahraga yang dilakukan, maka nilai hasil keluaran pada alat pembaca ketegangan otot semakin meningkat. Alat ini dapat mengontrol kegiatan olahraga yang dapat dihubungkan melalui aplikasi Serial Bluetooth pada ponsel Android untuk mengurangi resiko terjadinya cedera

#### 5. Daftar Acuan

[1] Y. O. F. B. S. S. Wijaya, “Desain dan

Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot,” pp. 201–205, 2014.

[2] F. B. Setiawan and Siswanto, “Electromyography (EMG) signal compression using sinusoidal segmental model,” *ICITACEE 2015 - 2nd Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. Green Technol. Strength. Inf. Technol. Electr. Comput. Eng. Implementation, Proc.*, pp. 169–172, 2016.

[3] N. Pah and D. K. Kumar, “Classification of electromyograph for localised muscle fatigue using neural networks,” *ANZIIS 2001 - Proc. 7th Aust. New Zeal. Intell. Inf. Syst. Conf.*, no. November, pp. 271–275, 2001.

[4] R. F. Adiputra and F. B. Setiawan, “Robot arm controlled by muscle tension based on electromyography and PIC18F4550,” *Proc. - 2016 3rd Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2016*, pp. 37–41, 2017.

[5] T. Kackar, S. Suman, and P. K. Ghosh, “Design of high gain low power operational amplifier,” *Int. Conf. Electr. Electron. Optim. Tech. ICEEOT 2016*, no. 1, pp. 3270–3274, 2016.

[6] F. B. Setiawan and Siswanto, “Multi channel electromyography (EMG) signal acquisition using microcontroller with rectifier,” *Proc. - 2016 3rd Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2016*, pp. 21–24, 2017.

[7] Advancer Technologies, “Muscle Sensor v3,” *Datasheet*, no. February 2013, pp. 2–5.

[8] A. Hussain, M. Hammad, K. Hafeez, and T. Zainab, “Programming a Microcontroller,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 155, no. 5, pp. 21–26, 2016.

[9] S. Bipasha Biswas and M. Tariq Iqbal, “Solar Water Pumping System Control Using a Low Cost ESP32 Microcontroller,” *Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2018-May, pp. 1–5, 2018.

[10] G. Biagetti, P. Crippa, L. Falaschetti, S. Orcioni, and C. Turchetti, “Wireless surface electromyograph and electrocardiograph system on 802.15.4,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 62, no. 3, pp. 258–266, 2016.

## Pemanfaatan Turbin Angin Savonius Hybrid Solar Cell sebagai Pembangkit Listrik Daerah Terpencil

Aris Suryadi<sup>1\*</sup>, Ahmad Solihin<sup>2</sup> dan Berayan Munthe<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Enjineri Indorama,  
Kembang Kuning, Jatiluhur, Purwakarta, 41152, Indonesia

*aris.suryadi@pei.ac.id\**

### Abstrak

Kebutuhan listrik di daerah terpencil sangat diidamkan oleh masyarakat yang tinggal di daerah tersebut. Untuk mewujudkan hal tersebut dibuatlah alat ini guna memanfaatkan energi angin dan matahari sebagai media utama dari pembangkitan listrik. Tujuan penelitian ini untuk mengembangkan potensi energi alternatif sebagai media pembangkit listrik yang dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik alternatif pada daerah terpencil. Turbin angin vertikal tipe savonius bentuk helix yang memiliki torsi besar, berputar dengan kecepatan angin rendah dengan ukuran turbin tinggi 80 cm, diameter 25 cm yang dihubungkan dengan generator dan dipasangkan pada konstruksi mekanik dengan tinggi 200 cm dan terpasang panel kontrol dan solar cell pada kapasitas 20 WP. Turbin angin savonius helix membutuhkan kecepatan angin minimal 2,45 m/s untuk awal putaran. Pembangkitan dari generator menghasilkan tegangan sebesar 18,64 volt pada putaran generator 304 rpm disaat tanpa beban sedangkan dalam keadaan berbeban putaran pada generator sebesar 281,3 rpm, tegangan generator sebesar 11,73 volt serta daya yang dihasilkan sebesar 0,038 watt pada kecepatan angin sebesar 5 m/s.

*Keywords: hybrid, turbin angin, savonius helix, solar cell*

### I. Pendahuluan

Energi Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting baik untuk saat ini maupun di masa yang akan datang. Energi listrik yang kita gunakan saat ini masih berasal dari pembangkit listrik konvensional. Pembangkit konvensional untuk saat ini bukan tidak mungkin akan memunculkan banyak ancaman seperti semakin banyaknya polusi dan cadangan bahan fosil yang berkurang [1].

Salah satu cara untuk mengembangkan pembangkit yang tidak merusak lingkungan yaitu dengan memanfaatkan energi alternatif diantaranya adalah energi surya dan energi angin. Pada tahun 2014 Badan Pusat Statistik Kabupaten Purwakarta (BPSKP) telah mencatat rata-rata kecepatan angin terbesar di daerah purwakarta yaitu 4,17 m/s dan temperatur rata-rata 25°C [2]. Teknologi turbin angin dan *solar cell* menjadi solusi yang efektif untuk mengeliminasi ketergantungan terhadap penggunaan sumber energi konvensional.

Turbin angin tipe savonius adalah salah satu dari turbin angin *Vertical Axis Wind Turbine* yang mudah berputar pada kondisi kecepatan angin rendah. Turbin angin savonius memiliki *self starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi [3]. *Solar cell* adalah suatu komponen yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Dimana keduanya adalah pembangkit listrik yang membutuhkan energi alternatif, sehingga ramah lingkungan. Kedua pembangkit tersebut dapat digabungkan atau biasa disebut dengan pembangkit listrik *Hybrid* merupakan energi alternatif yang dapat diaplikasikan di daerah terpencil sekalipun [3], [4].

#### 1.1. Sistem Konversi Energi Angin

Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian



diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi angin yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin.

Energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah: [5]

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Dimana :

$P$  : Daya angin (W)

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

$A$  : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\rho$  : Kerapatan udara 1.1726 kg/m<sup>3</sup>

Dalam mendesain turbin angin harus mempertimbangkan berapa besar daya yang dibutuhkan, kemudian kecepatan angin, dan yaitu berapa jumlah blade yang harus digunakan, hal pertama yang diperhatikan dalam desain turbin angin adalah *Tip Speed Ratio (TSR)* atau perbandingan kecepatan di tiap turbin angin (ujung) dan kecepatan angin yang didapat oleh turbin.

Menghitung *TSR* dapat menggunakan persamaan:

$$\lambda = \frac{\pi n D}{60 v} \quad (2)$$

Dimana :

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

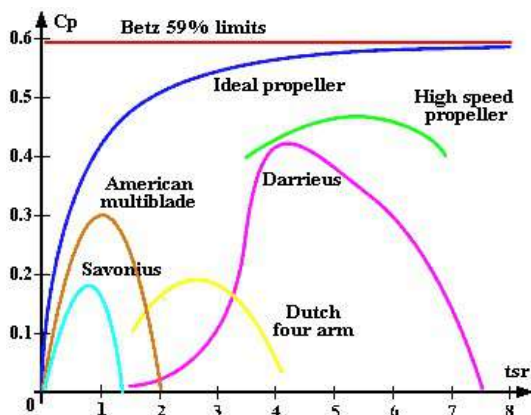
$\lambda$  : *Tip Speed Ratio*

$D$  : Diameter rotor (m)

$n$  : Putaran rotor (rpm)

$\pi$  : 3,14 atau 22/7

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh seorang ilmuwan Jerman bernama Albezt Betz, didapatkan efisiensi maksimum turbin angin, yaitu sebesar 0,593 angka ini disebut Betz Limit dalam gambar 1.



Gambar 1. Koefisien daya pada turbin angin

## 1.2 Turbin Angin Tipe Savonius Helix

Bentuk *Helix*, memiliki performa yang mirip dengan penambahan *multiple stage* pada rotor. Osilasi momen pada beroperasi dengan menggunakan rotor *Helix*, berkurang secara signifikan. Secara umum, berdasarkan penelitian, performa *Helix* tidak jauh berbeda dari performa profil *semi-circular*, tetapi bentuk *Helix* memiliki performa cukup baik pada setiap konfigurasi dan cenderung stabil pada nilai  $C_p$  tertinggi dengan  $\lambda=0,7$  untuk kedua nilai. Nilai  $C_p$  tertinggi yang diraih adalah 0,25 [6].

## 1.3. Solar Cell

*Solar cell* atau sel surya adalah semikonduktor yang terdiri dari *diode p-n junction*, dimana cahaya matahari mampu dikonversikan menjadi energi listrik. Sel surya bisa disebut pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai ke bumi.

Sel *Photovoltaic (PV)* adalah perangkat elektronik yang pada dasarnya mengubah energi matahari menjadi energi listrik [7]. Cara kerja dari *Photovoltaic cell* sangat tergantung kepada sinar matahari yang diterimanya [8]. Saat sinar matahari menghadap ke sel surya, energi maksimum dapat disimpan di dalam akumulator atau baterai, dibandingkan dengan posisi panel surya yang normal. Hal ini bisa diterapkan di mana saja untuk meningkatkan efisiensi panel surya [9].

## 1.4. Generator DC

Prinsip kerja generato berdasarkan percobaan faraday, maka garis gaya magnet akan memotong kumparan, maka pada kumparan akan timbul gaya gerak listrik (ggl) yang ditandai dengan gerakan jarum dari galvanometer. Apabila batang magnet tersebut digerakkan maju-mundur (arah gerak berubah-ubah), maka polaritas ggl yang dihasilkan akan berubah-ubah yang ditandai dengan gerakan jarum galvanometer bergerak arah kanan dan kiri [9], [10].

Generator DC dalam keadaan operasi, dimana kumparan jangkarnya yang berada di rotor berputar, maka kumparan jangkar tersebut akan memotong garis-garis gaya magnet medan kutub, maka pada kumparan jangkar terbangkit untuk generator DC sebesar [9].

$$E_A = \frac{P}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot N \cdot \phi \quad (3)$$

Dimana:

$E_A$  : Tegangan ggl jangkar

$n$  : Putaran

$\phi$  : Medan magnet

$P$  : Jumlah kutub

$N$  : Jumlah lilitan

## II. Metode Penelitian

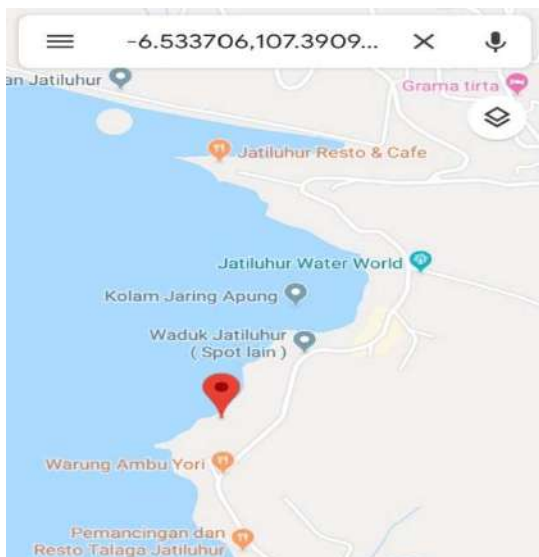
Metode penelitian yang diterapkan dengan melakukan studi kepustakaan sejalan dengan eksperimen. Studi kepustakaan yang dilakukan untuk mencari materi yang mendukung serta sesuai dengan materi penelitian dan sebagai bahan perbandingan dasar yang terdapat pada teori dan rangkaian yang dibuat.

### 2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan mempelajari referensi dan literatur. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan survei ke lokasi pengujian serta melakukan pengukuran kecepatan angin yang ada. Tahap kedua adalah memilih turbin *savonius helix* dan merancang dudukannya, menentukan kebutuhan rangkaian pengendali, inverter dan pemilihan baterai/accu. Tahap ke tiga melakukan evaluasi rancangan sistem selanjutnya tahap keempat melakukan pengukuran dan uji coba kelayakan perangkat apakah sudah sesuai dengan perancangan dan menghasilkan daya yang direncanakan.

### 2.1. Lokasi Penerapan

Pada gambar 2 terlihat lokasi (pin merah) penerapan untuk daerah terpencil di tepi Waduk Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat tepatnya di pelabuhan biru pada posisi 107 m diatas permukaan laut (DPL) dan koordinat 6°53'37" Lintang Selatan dan 107°39'09" Bujur Timur.



Gambar 2. Lokasi penerapan

## III. Eksperimental

Eksperimental telah dilakukan untuk perhitungan kapasitas turbin, kapasitas accumulator, dan daya solar cell digunakan untuk mengetahui seberapa besar daya yang di hasilkan perhari untuk mengisi accumulator

sampai penuh, sehingga dapat digunakan kembali ketika accumulator sudah melakukan *discharging* [9].

### 3.1. Perhitungan Kapasitas Turbin

Untuk mengetahui daya angin yang dihasilkan dapat dihitung seperti dibawah ini:

Diketahui:

$$\rho : 1,1726 \text{ kg/km}^3$$

$$v : 3 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

$$A : 0,19 \text{ m}^2$$

seperti pada persamaan (1) maka daya angin didapat:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,1726 \times 0,19 \times 3^3 \\ &= 3 \text{ W} \end{aligned}$$

Perhitungan *TSR* bertujuan untuk mengetahui perbandingan kecepatan di tiap turbin angin (ujung) dan kecepatan angin yang didapat oleh turbin.

Diketahui:

$$D : 0,50 \text{ m}$$

$$n : 50 \text{ rpm (diasumsikan)}$$

$$v : 3 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

seperti pada persamaan (2) maka *TSR* didapat:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\pi D}{60v} \\ &= \frac{3,14 \times 50 \times 0,50}{60 \times 3} \\ &= 0,43 \end{aligned}$$

### 3.2. Pemilihan Kapasitas *Accumulator*

Pemilihan *accumulator* dilakukan dengan data beban dan lama waktu yang di butuhkan untuk pemakaian.

Diketahui:

$$\text{Beban} : 5 \text{ W}/12\text{V} \rightarrow 0,41 \text{ A}$$

$$\text{Waktu} : 12 \text{ jam}$$

Kapasitas *accumulator* dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{\text{beban}} = \frac{I_s}{\text{waktu}}$$

Dimana:

$$I_{\text{beban}} : \text{Arus beban (A)}$$

$$I_s : \text{Kapasitas arus accumulator (Ah)}$$

$$\text{Waktu: Waktu pemakaian (jam)}$$

Jadi,

$$\begin{aligned} I_s &= I_{\text{beban}} \times \text{waktu} \\ &= 0,41 \text{ A} \times 12 \text{ jam} \\ &= 4,92 \text{ Ah} \rightarrow \text{di bulatkan menjadi } 5 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Dari perhitungan yaitu 5 Ah tetapi karena kapasitas *accumulator* dengan kapasitas seperti itu sulit didapatkan, maka digunakan *accumulator* berkapasitas lebih besar yaitu 7 Ah, sehingga pemakaian lebih lama dari 12 jam.

Untuk mengetahui daya *accumulator* dapat dihitung dengan rumus:

$$P_{\text{accumulator}} = U \times I_s$$

Dimana:

$$P_{\text{accumulator}} : \text{Daya accumulator (watt hour)}$$

$$U : \text{Tegangan (Vdc)}$$



Jadi,  
 $P_{accumulator} = U \times I_s$   
 $= 12 \text{ Vdc} \times 7 \text{ Ah}$   
 $= 84 \text{ Wh}$

### 3.3. Daya Solar Cell

Pada  $W_p$  (watt *peak*) optimal adanya saat sinar matahari terik adalah 5 jam dari jam 11:00 sampai 16:00, sehingga daya/hari *solar cell* dapat diketahui dengan rumus:

$$P_h = P \times \text{waktu (jam)}$$

Dimana:

$P_h$  : Daya perjam (Wh/hari)

$P$  : Daya *solar cell* (W)

Waktu : lama pengisian (jam)

Jadi,

$$P = P \times 5 \text{ jam}$$

$$= 20 \times 5 \text{ jam}$$

$$= 100 \text{ Wh/hari}$$

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan antara lain yaitu pengujian minimal kecepatan angin, *output* generator turbin angin dan pengujian lapangan.

### 4.1. Pengujian Kecepatan Minimal Angin

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui turbin yang telah dibuat dapat digunakan atau tidak. Selain itu juga pengujian dilakukan untuk mengetahui batas minimal kecepatan angin untuk memutar awal turbin.

Tabel 1. Pengujian Kecepatan Minimal Angin

Pengujian ke-	Tak berbeban	Berbeban ( <i>accumulator</i> )
	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Angin (m/s)
1	2,15	2,42
2	2,32	2,48
3	2,34	2,42
4	2,37	2,46
5	2,28	2,54
6	2,37	2,41
7	2,43	2,57
8	2,18	2,38
9	2,47	2,63
10	2,23	2,48

### 4.2. Pengujian Output Generator Turbin

Pengujian *output* generator turbin dilakukan untuk mengetahui berapa putaran, tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh generator terhadap kecepatan angin.

Tabel 2. Pengujian Output Generator

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
2,12	1,18	0,21	0,316
2,53	2,28	0,33	0,754
2,94	3,95	0,42	0,258
3,54	6,35	0,74	4,837
3,78	6,86	0,82	6,440
3,92	7,56	0,86	7,468
4,22	9,68	1,56	15,246
4,46	10,63	1,78	18,751
4,84	11,82	2,54	27,815
5,55	11,87	3,36	39,179

### 4.3. Pengujian di lokasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan kinerja dari pembangkit listrik *hybrid* untuk *charging* dan *discharging accumulator* dengan beban lampu LED 10 watt. Pengujian dilakukan selama 24 jam dengan pengecekan layar dari *solar charger controller* untuk mengetahui nilai tegangan dan kapasitas *accumulator* setiap 3 jam sekali.



Gambar 5. Pengujian di lokasi

Dari hasil pengujian di daerah terpencil di tepi Waduk Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat tepatnya di pelabuhan biru pada posisi 107 m diatas permukaan laut (DPL) dan koordinat 6°53'37" Lintang Selatan dan 107°39'09" Bujur Timur di dapatkan seperti tabel 3. Terlihat bahwa pada tabel 3 pada jam 06.00 sampai dengan jam 15.00 merupakan proses *charging* sedangkan sekitar pukul 18.00 sampai dengan 06.00 pagi merupakan proses *discharging*.

Tabel 3. Pengujian di lokasi

Pengujian ke-	Jam	Tegangan Accumulator (Vdc)	charging	Discharging
1	18:00	12,26		√
2	21:00	12,53		√
3	00:00	12,28		√
4	03:00	11,65		√
5	06:00	11,38	√	√
6	09:00	11,52	√	
7	12:00	13,85	√	
8	15:00	14,21	√	
9	18:00	12,86		√

Adapun pengujian di lokasi daerah terpencil di tepi Waduk Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat tepatnya di pelabuhan biru pada posisi 107 m diatas permukaan laut (DPL) dan koordinat 6°53'37" Lintang Selatan dan 107°39'09" Bujur Timur.

## V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian lapangan pembangkit listrik *hybrid* menggunakan turbin angin *savonius helix* dan *solar cell* untuk kecepatan angin minimal 2,53 m/s tegangan yang dihasilkan oleh generator sebesar 2,28 V dengan arus yang terukur 0,33 mA pada daya yang dihasilkan 0,754 mW, sedangkan untuk kecepatan angin maksimal 5,55 m/s tegangan yang dihasilkan oleh generator sebesar 11,87 V dengan arus yang terukur 3,36 mA pada daya yang dihasilkan 39,179 mW.

## Ucapan Terima Kasih

Peneliti haturkan ucapan terima kasih kepada **Yayasan Pendidikan Indorama (YPI)** yang telah mendanai penelitian dosen internal ini, dengan perjanjian kontrak penelitian Nomor : **004/LPPM-PEI/VIII/2018**.

## Daftar Acuan

[1]. Prasetyo, Septian Dhimas. 2018. *Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin Dan Sel Surya Untuk Penerangan Jalan Raya*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

[2]. Badan Pusat Statistik Kabupaten Purwakarta. 2015. *Purwakarta Dalam Angka 2015*. Purwakarta.

[3]. Suryadi, A., Asmoro, P., & Ahmad, S. (2019). *Hybrid Electric Power Plant Using Wind Turbine Savonius Helix and Solar Cell as an Alternative Power Source in the Lightning Tower at Flashing Lights*. ADI Journal on Recent Innovation (AJRI), 1(1), 1-6.  
DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.34306/ajri.v1i1.3>

[4]. Sargolzaly J. 2007. "Prediction of the Power Ratio In Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks". Internasional Journal of Energy and Environment, Issue 2, Volume 2.

[5]. Erich Hau. 2005. *Wind Turbine Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, 2<sup>nd</sup> Edition, terjemahan Horst von Renuard, Springer, Germany.

[6]. Indra Bayu Aditya. 2012. *Desain Vertical Axis Wind Turbine Tipe Savonius Optimalisasi Kecepatan Angin Rendah*. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia. Depok.

[7]. Upasani, Mayuri dan Patil, Sagita. 2018. *Grid Connected Solar Photovoltaic System With Battery Storage For Energy Management*. Proceedings Of The Second International Conference On Inventive System And Control (ICISC 2018). IEEE Xplore Compliant-Part Number: CFP18J06-ART, ISBN: 978-105386-0807-4. ©2018 IEEE.

[8]. Zulfikar, Dafi dan Broto Wisnu. 2016. "Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga". Jurnal. Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016. Vol. V, Oktober 2016. P-ISSN: 2339-0654

[9]. Suryadi, Aris. 2015. Diktat Pembangkit Energi Listrik & Lab. Purwakarta. Politeknik Enjinerling Indorama

[10]. Munthe, Berayan. 2016. Modul Belajar Motor Listrik 1. Purwakarta. Politeknik Enjinerling Indorama.

## Transistor dan Kapasitor Feroelektrik untuk Memori *Non-volatile*

Fadliondi<sup>1</sup>, Haris Isyanto<sup>2</sup> dan Prian Gagani Chamdareno<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta,  
Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Pusat 10510

E-mail: [fadliondi@ftumj.ac.id](mailto:fadliondi@ftumj.ac.id)

### Abstrak

Feroelektrik merupakan material yang dipakai sebagai insulator gerbang pada transistor efek medan yang dipakai untuk memori *non-volatile*. Disipasi daya pada memori *non-volatile* harus dikurangi dengan cara mendesain transistor feroelektrik sehingga bisa mendapatkan divais yang bisa beroperasi dengan tegangan yang kecil dan menghasilkan arus yang besar karena dengan memperkecil tegangan, ukuran divais bisa dikurangi. Untuk mencapai hal tersebut, simulasi dan analisa adalah sangat penting karena dengan simulasi dan analisa, waktu dan biaya bisa dikurangi dan hasil yang optimal bisa didapatkan.

*Keywords: ferroelectric, memory, non-volatile, capacitor*

### 1. Pendahuluan

Disipasi daya pada rangkaian elektronika yang terintegrasi sangat bergantung terhadap tegangan yang dibutuhkan untuk menswitch transistor efek medan ke keadaan on atau off [1]. Pengurangan tegangan operasi sangat dibutuhkan untuk mengurangi konsumsi daya, memperkecil dimensi divais dan menurunkan harga per transistor [2], [3]. Bagaimanapun juga, distribusi Boltzmann dari elektron-elektron merepresentasikan sebuah batas rendah fundamental 60 mV per dekade pada suhu ruang [4]. Penggunaan kapasitansi negative diferensial feroelektrik telah diusulkan untuk menyelesaikan masalah ini dengan meningkatkan tegangan gerbang dari sebuah transistor efek medan secara pasif [5]. Secara teori, adalah mungkin untuk menyetabikan keadaan kapasitansi negative feroelektrik sepanjang kapasitansi total dari sistem adalah positif melalui penghubungan seri antara insulator gerbang feroelektrik dan kapasitansi semikonduktor positif pada transistor [6]. Beberapa kasus dalam peningkatan kapasitansi pada heterostruktur feroelektrik-dielektrik telah dilaporkan sejauh ini [7]–[9]. Selanjutnya, transien kapasitansi negative telah terobservasi secara langsung pada kapasitor feroelektrik dengan memberikan tegangan denyut pekada jaringan R-C dengan memakai lead zirconate titanate (PZT) [10]. Bagaimanapun juga, untuk penerapan pada transistor, feroelektrik film tipis HfO<sub>2</sub> lebih disukai karena kompatibel dengan standar manufaktur semikonduktor dan karena karakter

feroelektrik dengan tebal sekurang-kurangnya 5 nm [11]–[15].

### 2. Metode Penelitian

Sebuah kapasitor didefinisikan sebagai dua buah konduktor yang bisa memegang muatan yang berlawanan dan nilai kapasitansinya akan berubah jika jarak dan posisi relatif antara dua konduktor berubah akibat gaya luar [16]. Nilai kapasitansi sebuah kapasitor diberikan oleh  $C = \epsilon_0 \epsilon_r w_c l_c / d_0$  di mana adalah  $\epsilon_0$  nilai permitivitas ruang bebas ( $8,8546 \times 10^{-12}$  F/m),  $\epsilon_r$  permitivitas relative,  $w_c$  dan  $l_c$  masing-masing adalah lebar dan panjang elektroda kapasitor dan adalah  $d_0$  jarak celah antara elektroda [17]. Fenomena feroelektrik didefinisikan sebagai fenomena dimana material menunjukkan sebuah polarisasi spontan dan reversible di bawah pengaruh medan listrik dari luar [18]–[20]. Bahan feroelektrik digunakan pada kapasitor penyimpanan pada dynamic random access memory (DRAM) [21], [22]. Transistor efek medan feroelektrik adalah sebuah transistor di mana yang menjadi insulator gerbangnya adalah bahan feroelektrik. Memori non volatile didefinisikan sebagai memori yang bisa mempertahankan keadaannya meskipun catu daya dimatikan [23], [24]. Analisis data pada penelitian ini adalah simulasi, permodelan dan studi literature. Sangat penting untuk memilih sebuah set data yang merepresentasikan sebuah sklus tunggal dari gelombang medan listrik yang kemudian bisa dipakai

untuk mengkonstruksikan loop polarisasi terhadap medan listrik. Titik titik data yang berkorespondensi dengan titik-titik awal dan akhir dari sebuah loop diidentifikasi menggunakan sebuah “threshold routine” yang mendeteksi ketika gelombang medan listrik menyebrangi sumbu waktu horizontal dengan kemiringan baik positif maupun negative. Ketika titik-titik data yang diperlukan telah diidentifikasi, muatan Q yang tersimpan oleh sampel uji pada waktu t yang diberikan dihitung dengan integrasi numerik dari data arus I yang diberikan oleh persamaan 1.

$$Q(t) = \int_{t_1}^{t_2} Idt \dots \dots \dots (1)$$

Perpindahan dielectric D bisa dihitung dengan rapat muatan permukaan yang diberikan oleh persamaan 2 di mana A adalah luar permukaan sampel uji.

$$D(t) = \frac{Q(t)}{A} \dots \dots \dots (2)$$

Permukaan sample uji bisa diasumsikan lingkaran sehingga

$$A = \pi r^2 \dots \dots \dots (3)$$

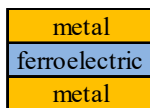
Pada kebanyakan kasus untuk feroelektrik dengan permitivitas yang tinggi, polarisasi P pada waktu yang diberikan hampir sama dengan perpindahan dielektrik D. Bagaimanapun juga, sebuah koreksi sedikit diperlukan untuk memberikan hasil yang akurat untuk dielektrik dengan permitivitas yang rendah.

$$D(t) = P(t) - \epsilon_0 E(t) \dots \dots \dots (4)$$

atau

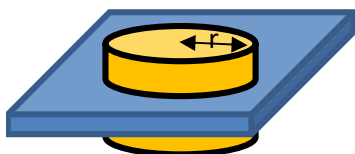
$$P(t) = D(t) - \epsilon_0 E(t) \dots \dots \dots (5)$$

Gambar 1 menunjukkan penampang melintang kapasitor feroelektrik dimana material feroelektrik diapit oleh 2 buah thin film logam. Logam di sini bias berupa emas (Au), perak (Ag) atau yang lain.



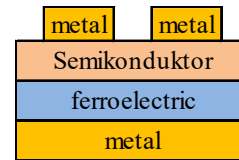
Gambar 1. Skematik penampang melintang kapasitor feroelektrik.

Gambar 2 adalah skematik 3 dimensi dari kapasitor feroelektrik. Di sini terminal yang berbahan metal bisa berbentuk lingkaran atau persegi.



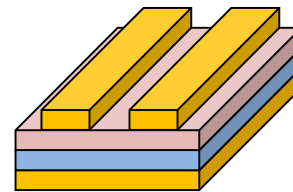
Gambar 2. Skematik 3 dimensi kapasitor feroelektrik.

Gambar 3 menunjukkan penampang melintang transistor efek medan metal feroelektrik semikonduktor. Metal di sebelah kiri atau kanan berfungsi sebagai terminal drain atau source. Sementara metal yang di bawah adalah terminal gate.



Gambar 3. Skematik penampang melintang transistor efek medan metal feroelektrik semikonduktor.

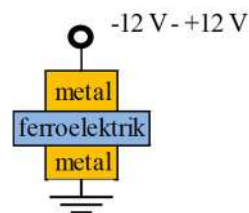
Skematik 3 dimensi dari transistor efek medan metal feroelektrik semikonduktor ditampilkan pada Gambar 4. Arus drain akan meningkat jika jarak antara terminal drain dan source diperkecil.



Gambar 4. Skematik 3 dimensi transistor efek medan metal feroelektrik semikonduktor.

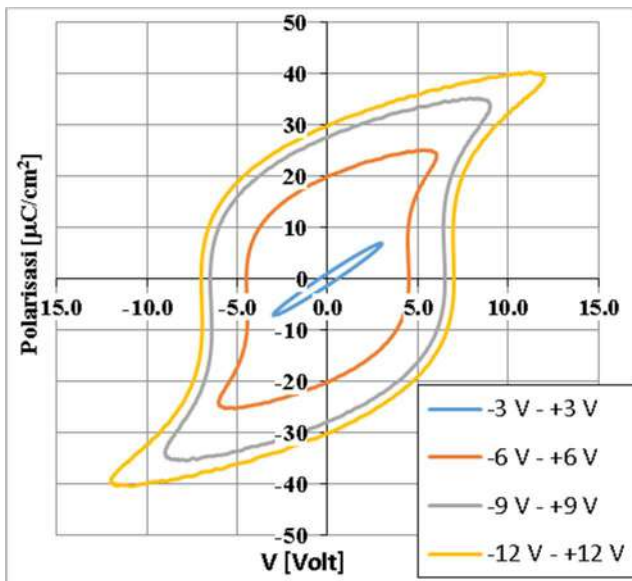
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengembangan model loop hysteresis yang sederhana dan penentuan factor yang mempengaruhi bentuk hysteresis masih menjadi sebuah tantangan yang menarik untuk studi teori. Cara pengukuran kapasitor feroelektrik ditunjukkan pada Gambar 5 dimana tegangan diberikan pada salah satu metal dan metal yang lainnya diground kan.



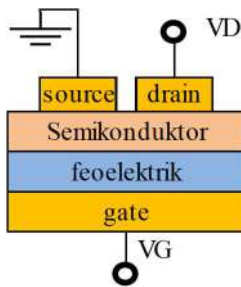
Gambar 5 Skematik pengukuran polarisasi kapasitor feroelektrik.

Gambar 6 adalah kurva hysteresis dari feroelektrik. Sumbu horizontalnya bisa dalam tegangan atau medan listrik (tegangan dibagi ketebalan), sedangkan sumbu vertikalnya adalah polarisasi.

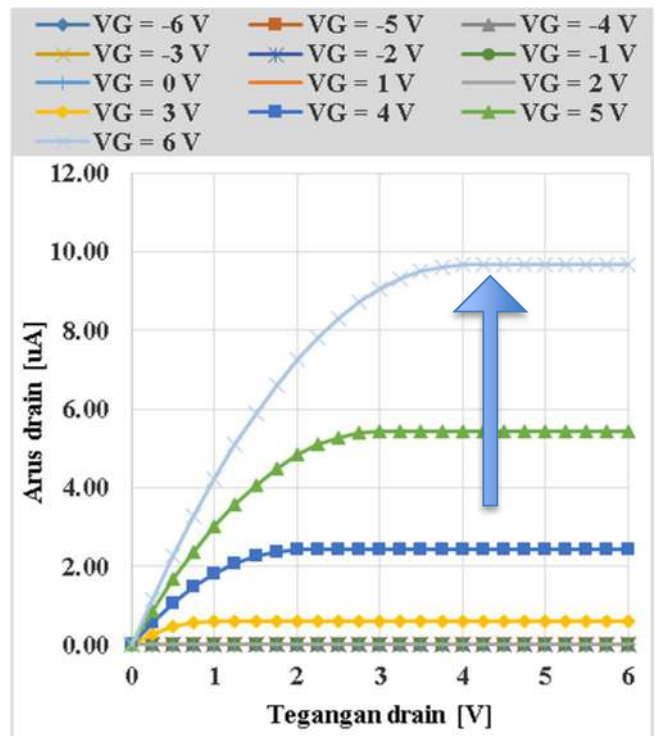


Gambar 6 Kurva histerisis polarisasi versus tegangan dari bahan ferroelektrik.

Gambar 7 menunjukkan skematik pengukuran karakteristik arus drain terhadap tegangan drain dengan VG yang divariasikan. Gambar 8 adalah karakteristik  $I_D$ - $V_D$  MOSFET. Sumbu datar adalah tegangan drain dan sumbu tegak adalah arus drain. Secara keseluruhan, ketika tegangan gate menuju positif, besar arus drain source menjadi bertambah seiring dengan bertambahnya tegangan drain. Pertambahan arus drain source seiring dengan perubahan tegangan gate ke arah positif diakibatkan oleh bertambahnya muatan pembawa elektron negatif yang terinduksi oleh tegangan gate positif. Sementara ketika tegangan drain semakin positif, arus drain source bertambah, tetapi pada suatu tegangan arus menjadi jenuh dan tidak bertambah lagi pada suatu tegangan drain positif.



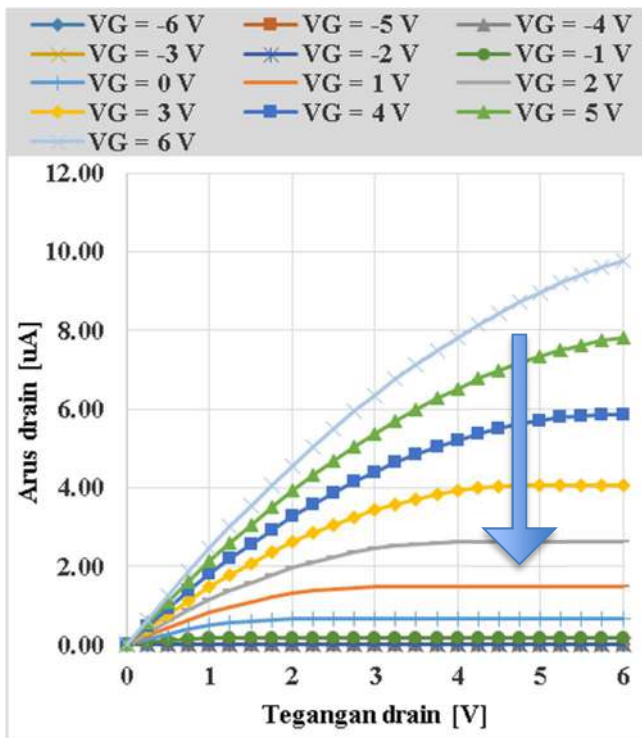
Gambar 7 Skematik pengukuran arus drain terhadap tegangan drain dengan tegangan gate yang berbeda-beda.



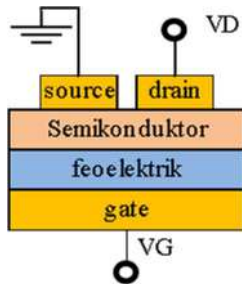
Gambar 8 . Kurva arus drain terhadap tegangan drain dengan gate diberi bias -6 V ke +6V.

Gambar 9 menunjukkan kurva arus drain terhadap tegangan drain. Ketika  $V_G > V_{TH}$  dan  $V_D < V_G - V_{TH}$ , transistor menjadi hidup dan sebuah kanal terbentuk yang memungkinkan arus mengalir antara drain dan source. Saat ini, transistor beroperasi seperti resistor yang dikendalikan oleh tegangan gate relative terhadap tegangan source dan drain. Ketika  $V_G > V_{TH}$  dan  $V_D > V_G - V_{TH}$ , transistor menjadi on dan kanal terbentuk yang memungkinkan arus mengalir antara drain dan source. Karena tegangan drain lebih besar dari tegangan source, electron menyebar dan konduksi tidak melalui kanal sempit tetapi melalui distribusi arus 2 atau 3 dimensi yang lebih luas. Keadaan ini disebut pinch-off untuk mengindikasikan kekurangan daerah kanal di dekat drain. Gambar 10 menunjukkan skematik pengukuran karakteristik arus drain terhadap tegangan drain dengan VG yang divariasikan



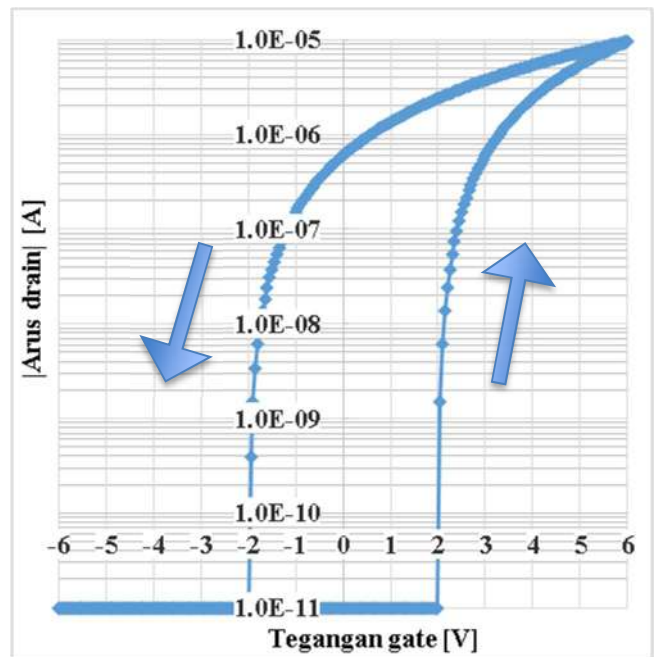


Gambar 9 . Kurva arus drain terhadap tegangan drain dengan gate diberi bias +6 V ke -6V.



Gambar 10 Skematik pengukuran arus drain terhadap tegangan gate.

Gambar 11 menunjukkan kurva arus drain terhadap tegangan gate.



Gambar 11 . Kurva nilai mutlak arus drain terhadap tegangan gate.

#### 4. Kesimpulan

Feroelektrik adalah bahan yang digunakan untuk insulator gerbang di transistor efek medan yang dipakai untuk memori non-volatile. Non-volatile memory adalah memori yang datanya bisa ditulis serta dihapus, tetapi data akan tetap ada walaupun dalam kondisi off. Adapun hubungan antar hasil simulasi dengan judul adalah bahwa polarisasi spontan dari bahan feroelektrik mengimplikasikan sebuah efek hysteresis yang bisa dipakai sebagai sebuah fungsi memori. Dari kurva polarisasi terhadap tegangan dan kurva arus drain terhadap tegangan gate, bisa disimpulkan bahwa, meskipun saat dayanya 0 (tegangan 0), besar arus dan polarisasi masih bisa dipertahankan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta yang telah memberikan dukungan moril dan materil dalam penulisan artikel ini melalui skema HIBAH PENELITIAN PAKARTI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JAKARTA yang berdasarkan KEPUTUSAN DEKAN NO 99 TAHUN 2019, Berita Acara Nomor 56/PAKARTI-FT-UMJ/IX/2019 dan Kontrak nomor 368/F.4-UMJ/IX/2019.

## Daftar Acuan

- [1] E. Pop, "Energy dissipation and transport in nanoscale devices," *Nano Research*, vol. 3, no. 3, pp. 147–169, Mar. 2010.
- [2] R. H. Dennard, F. H. Gaensslen, V. L. Rideout, E. Bassous, and A. R. LeBlanc, "Design of ion-implanted MOSFET's with very small physical dimensions," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 9, no. 5, pp. 256–268, 1974.
- [3] G. E. Moore, "Electronics 38, 114 (1965)," *Google Scholar GM Moore, Proc. IEEE*, vol. 86, p. 82, 1998.
- [4] V. V. Zhirmov and R. K. Cavin, "Nanoelectronics: Negative capacitance to the rescue?," *Nature Nanotechnology*, vol. 3, no. 2, p. 77, 2008.
- [5] S. Salahuddin and S. Datta, "Use of negative capacitance to provide voltage amplification for low power nanoscale devices," *Nano letters*, vol. 8, no. 2, pp. 405–410, 2008.
- [6] S. Salahuddin and S. Datta, "Can the subthreshold swing in a classical FET be lowered below 60 mV/decade?," in *2008 IEEE International Electron Devices Meeting*, 2008, pp. 1–4.
- [7] A. Islam Khan *et al.*, "Experimental evidence of ferroelectric negative capacitance in nanoscale heterostructures," *Applied Physics Letters*, vol. 99, no. 11, p. 113501, 2011.
- [8] D. J. Appleby *et al.*, "Experimental observation of negative capacitance in ferroelectrics at room temperature," *Nano letters*, vol. 14, no. 7, pp. 3864–3868, 2014.
- [9] W. Gao *et al.*, "Room-temperature negative capacitance in a ferroelectric–dielectric superlattice heterostructure," *Nano letters*, vol. 14, no. 10, pp. 5814–5819, 2014.
- [10] A. I. Khan *et al.*, "Negative capacitance in a ferroelectric capacitor," *Nature materials*, vol. 14, no. 2, p. 182, 2015.
- [11] T. S. Bösccke, J. Müller, D. Bräuhaus, U. Schröder, and U. Böttger, "Ferroelectricity in hafnium oxide thin films," *Applied Physics Letters*, vol. 99, no. 10, p. 102903, 2011.
- [12] J. Müller, P. Polakowski, S. Mueller, and T. Mikolajick, "Ferroelectric hafnium oxide based materials and devices: Assessment of current status and future prospects," *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, vol. 4, no. 5, pp. N30–N35, 2015.
- [13] J. Muller *et al.*, "Ferroelectricity in simple binary ZrO<sub>2</sub> and HfO<sub>2</sub>," *Nano letters*, vol. 12, no. 8, pp. 4318–4323, 2012.
- [14] M. H. Park *et al.*, "Ferroelectricity and antiferroelectricity of doped thin HfO<sub>2</sub>-based films," *Advanced Materials*, vol. 27, no. 11, pp. 1811–1831, 2015.
- [15] M. Hoffmann *et al.*, "Stabilizing the ferroelectric phase in doped hafnium oxide," *Journal of Applied Physics*, vol. 118, no. 7, p. 072006, 2015.
- [16] D. Zhang and B. Wei, "Design and analysis of a collision detector for hybrid robotic machine tools," *Sensors & Transducers*, vol. 193, no. 10, p. 67, 2015.
- [17] S. Cruz, D. Dias, J. C. Viana, and L. A. Rocha, "Inkjet printed pressure sensing platform for postural imbalance monitoring," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 10, pp. 2813–2820, 2015.
- [18] R. E. Newnham and L. E. Cross, "Ferroelectricity: The foundation of a field from form to function," *MRS bulletin*, vol. 30, no. 11, pp. 845–848, 2005.
- [19] T. Shimada and T. Kitamura, "Multi-physics properties in ferroelectric nanowires and related Structures from first-principles," *Nanowires*, p. 353, 2010.
- [20] R. Ramesh and N. A. Spaldin, "Multiferroics: progress and prospects in thin films," *Nature materials*, vol. 6, no. 1, p. 21, 2007.
- [21] B.-E. Park, H. Ishiwara, M. Okuyama, S. Sakai, and S.-M. Yoon, *Ferroelectric-Gate Field Effect Transistor Memories*. Springer, 2016.
- [22] X. Wang *et al.*, "Two-dimensional negative capacitance transistor with polyvinylidene fluoride-based ferroelectric polymer gating," *npj 2D Materials and Applications*, vol. 1, no. 1, p. 38, 2017.
- [23] T. Y. H. ERIC, "Non-volatile Polymer Memory for Si IC Applications," 2009.
- [24] G. Sun, "Exploring memory hierarchy design with emerging memory technologies," 2014.

## Pemodelan Sistem *Bottle Filling Process* pada Industri Minuman Kemasan Berbasis Simulator PLC dan HMI

Hengky Eliya Melati

Prodi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425, Indonesia

E-mail: [eliya1707.65@gmail.com](mailto:eliya1707.65@gmail.com)

### Abstrak

Sistem *Bottle Filling Process* pada industri kecil masih dilakukan secara manual, belum menggunakan kontrol otomatis yang dapat mengefektifkan pekerjaan. Dengan melakukan pengembangan sistem *filling* menggunakan kontrol otomatisasi akan meningkatkan kompetensi sebuah industri dalam menghasilkan produk, selain itu dengan sistem kontrol otomatis juga dapat dilakukan monitoring berlangsungnya proses dengan adanya tampilan HMI dari sistem tersebut. Perancangan sistem pengisian dengan program dalam bentuk ladder diagram serta pemodelan *Human Machine Interface* sebagai pengontrol menunjukkan beberapa keuntungan setelah dilakukan simulasi, yakni diantaranya lebih efektif dan efisien. Sementara itu untuk pengaplikasian pada sebuah plant industri diharapkan untuk lebih ditingkatkan keakuratan dalam pembuatan sistem tersebut.

*Keywords: Control System, Filling bottles, HMI, XG5000, XP Builder*

### 1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya teknologi pada saat ini menuntut industri untuk memiliki kompeten, efisiensi dan produktivitas yang tinggi. Salah satu unsur dari aspek tersebut yakni sangat dibutuhkannya sistem pengontrolan jarak jauh dalam perindustrian. Teknologi-teknologi baru untuk pengontrolan jarak jauh pun semakin meningkat. Konvergen antara teknologi kendali, informasi, dan komunikasi telah menghasilkan teknologi pengendali terdistribusi atau Distributed Control System (DCS), yang salah satu komponen di dalamnya adalah Programmable Logic Control (PLC). Programmable Logic Controller (PLC) pada dasarnya adalah sebuah komputer yang khusus dirancang untuk mengontrol suatu proses atau mesin (Setiawan, 2006), teknologi dengan sistem kontrol PLC dapat mengefektifkan berjalannya proses dengan baik. Penggunaan microprocessor yang menggunakan programmable logic controller (PLC) memiliki standar efisiensi, dan keandalan yang tinggi (Yao, 2017). Kontrol PLC dapat dimonitoring lewat tampilan *Human Machine Interface* yang mana memudahkan teknis dalam memantau proses yang dikerjakan.

Salah satu proses yang dapat diaplikasikan menggunakan sistem kontrol PLC yakni pengisian botol dalam industri minuman kemasan, dengan diaplikasikan kontrol PLC dimungkinkan akan meningkatnya

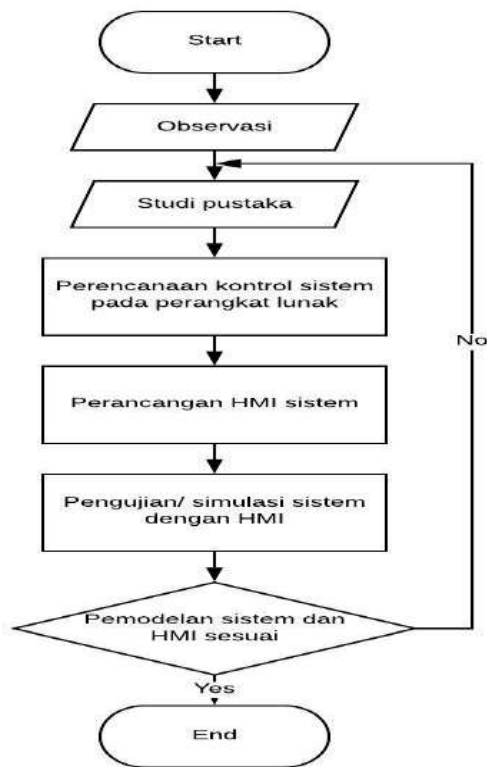
keefektifan proses pengisian. Dalam penelitian ini pun nantinya akan dirancang ladder program untuk proses pengisian botol secara otomatis serta pada tahap akhirnya dapat dihitung berapa jumlah botol yang sudah terisi dalam proses tersebut.

### 2. Metode Penelitian

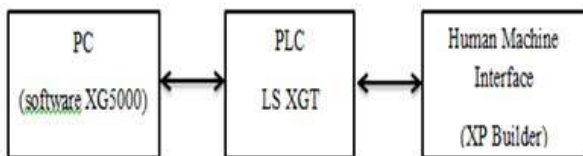
Metode yang dipakai dalam penulisan paper ini menggunakan metode deskripsif. Dimana metode ini menjelaskan, menganalisa dan mengklarifikasi dengan teknik pengumpulan data. Adapun data-data yang dikumpulkan mula-mula disusun, dijelaskan kemudian dianalisa secara teliti dan disimpulkan secara deduktif. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada sistem digunakan metode ON- OFF dimana sinyal kontrol akan tetap pada satu keadaan dan akan berubah ke keadaan lainnya bergantung pada nilai error positif atau negative (Airlangga, 2017). Alur kerja sistem yaitu diawali dengan input lalu dilanjutkan ke proses dan menghasilkan output seperti dijelaskan pada diagram blok kerja sistem Gambar 2.





Gambar 1. Diagram Alur Metode Penelitian



Gambar 2. Diagram Blok Kerja Sistem

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini dijelaskan perangkat dari sistem tersebut (flowchart sistem pada Gambar 3) :

1. PC (XG5000)  
XG5000 merupakan perangkat lunak (software) yang digunakan sebagai simulator suatu program kontrol berbasis PLC LS, program dapat disimulasikan pada PLC dan ditampilkan dalam HMI dengan terlebih dahulu dilakukan konfigurasi.
2. XP Builder  
XP Builder adalah perangkat lunak antar muka berbasis Human Machine Interface (HMI) yang digunakan sebagai tampilan sebuah plant untuk memonitor dan mengontrol.
3. PLC  
PLC LS merupakan PLC keluaran LS IS (Safii, 2016) digunakan sebagai controller modul konveyor.
4. RS-232

RS-232 merupakan downloader yang digunakan untuk menghubungkan PLC dengan komputer serta untuk mentransfer data dari komputer ke PLC.

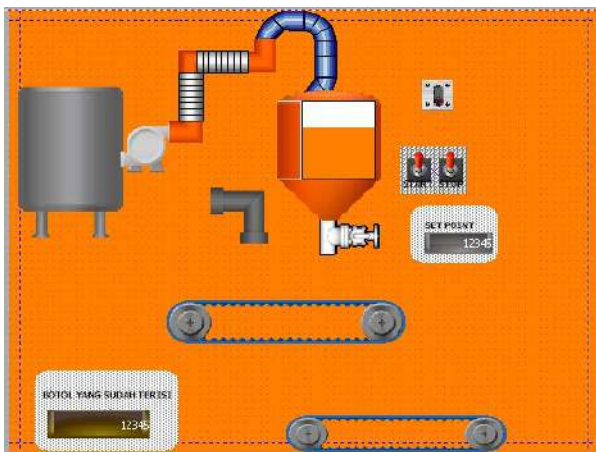
5. Motor  
Motor sebagai penggerak konveyor pada plant sistem yang dikendalikan.



Gambar 3. Flowchart Sistem Pengisian Botol

6. *Push Button*  
 Dalam pemodelan sistem ini memiliki 2 *Push Button* yaitu *start* dan *stop*. Masing-masing digunakan untuk menghidupkan sistem dan memberhentikan sistem.
7. *Proximity Sensor*  
 Sensor *Proximity* merupakan sensor jarak yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan botol-botol kosong di atas konveyor, ketika sensor ini mendeteksi adanya botol maka PLC memberikan perintah untuk proses pengisian.
8. *Solenoid Valve*  
 Solenoid valve merupakan device elektromagnetik dimana menggunakan arus untuk menghasilkan medan magnet yang dapat mengatur mekanisme laju aliran fluida (Manhas 1 et al., 2019). ditempatkan pada pipa pengisian yang akan terbuka untuk mengalirkan cairan ke dalam botol ketika sensor jarak telah mendeteksi keberadaan botol.

Gambar 4 adalah Rancangan HMI Sistem.



Gambar 4. Tampilan HMI

Sistem *Bottle Filling Process* menunjukkan proses dimana cairan yang telah diolah dan ditempatkan pada tanki sementara dimasukkan ke dalam botol - botol kosong hasil pengolahan, sehingga menghasilkan suatu produk yang siap saji dalam hal ini minuman dalam kemasan botol.

Cara kerja sistem *Bottle Filling Process* yaitu diawali dengan menentukan set point yang diinginkan pada HMI, kemudian tombol *Start* dapat menghidupkan konveyor hingga dapat bergerak membawa botol- botol kosong yang ke tempat pengisian. Proses pengisian akan berlangsung ketika sensor posisi mendeteksi adanya keberadaan botol tepat di bawah selang pengisian, pada keadaan itu konveyor berhenti dan valve pengisian akan terbuka mengalirkan cairan yang ditampung di penampung sementara ke dalam botol. Pengisian botol berlangsung selama beberapa detik berdasarkan lamanya waktu pengisian yang diatur oleh sebuah counter, diasumsikan lamanya pengisian untuk satu

buah botol yaitu 4 detik untuk ukuran 330 ml dimana cairan telah mencapai batas pengisian dan botol sudah berhasil terisi sehingga motor dalam keadaan ON kembali. Konveyor kembali bergerak membawa botol yang telah terisi ke dalam tempat penyimpanan sementara sebelum proses selanjutnya.

Ladder Diagram Sistem

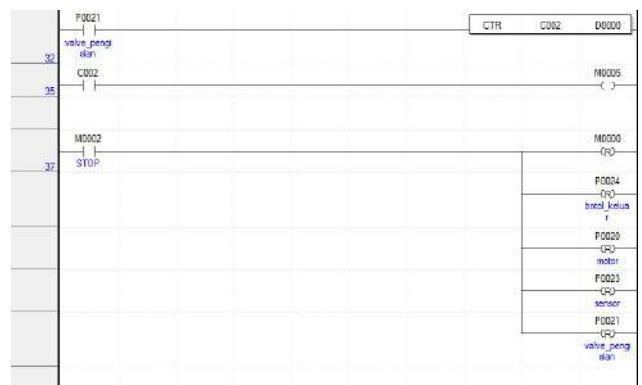


Gambar 5. Ladder Diagram *Bottle Filling Process*

Pada ladder diagram di atas, ditunjukkan kontak M0000 sebagai push button On sistem yang akan memulai proses dengan keluarnya botol- botol kosong P0024 disertai dengan fungsi latching dengan memori internal M0004. Kontak M0005 merupakan kontak memori internal yang berfungsi sebagai output counter C002 sebagai penghitung banyaknya botol.

Setelah output P0024 berhasil bekerja maka fungsi komparator yang merupakan inputan set point akan menjalankan motor setelah diberikan nilai.

Motor sebagai penggerak konveyor diberikan fungsi *blinking* T1s yaitu sebagai otomatisasi counter CTR dalam perhitungannya. Fungsi Komparasi pada P0023, M0004, dan P0021 sebagai waktu dimana sensor mendeteksi, valve terbuka, hingga proses pengisian dimulai. Nilai yang tertera pada D0000 merupakan nilai set point yang diinginkan.



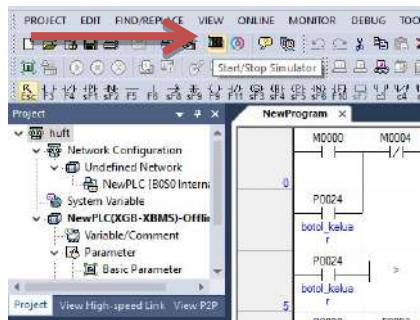
Gambar 6. Ladder Diagram *Bottle Filling Process*

Pada ladder selanjutnya dimana proses pengisian berlangsung setelah terbukanya solenoid valve, counter

C002 merupakan penghitung botol- botol yang sudah terisi dengan disesuaikan nilai set point dalam D0000. Tombol Stop untuk menghetikan proses, keluaran pada tombol stop diberikan inisial Reset sebagai perintah untuk menghentikan sistem tersebut.

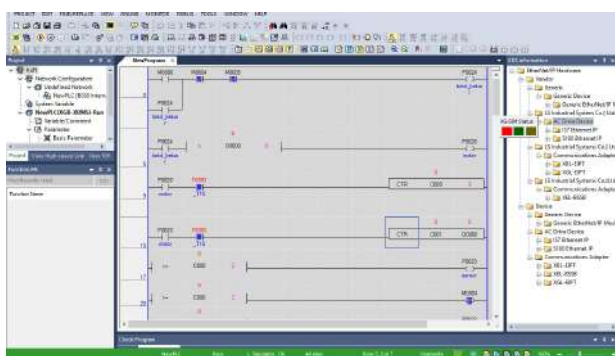
Setelah perancangan program ladder diagram dan pemodelan HMI untuk proses, maka dilakukan simulasi untuk menguji kecocokan antara ladder program dengan tampilan HMI. Sebelumnya dalam pemodelan HMI dengan software XP Builder pengalamatan disesuaikan dengan alamat yang yang digunakan pada program ladder, agar simulasi dapat berjalan dengan baik dan tidak terjadi error sistem.

Untuk melakukan simulasi, pertama- tama kita menjalankan simulator pada XG5000 dengan menekan tombol start simulator berikut.



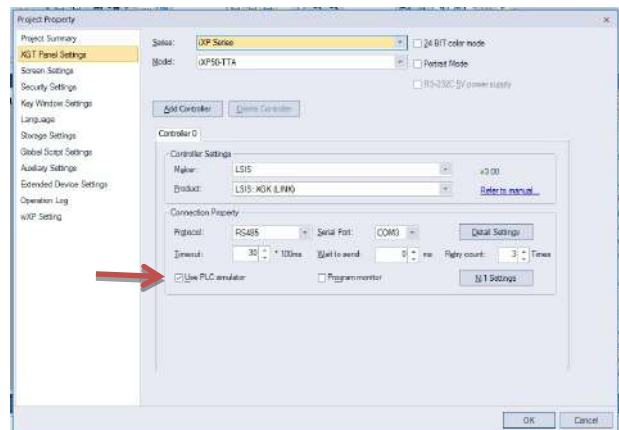
Gambar 7. Start Simulator

Maka tampilan simulator akan ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 8. Tampilan Simulator ON

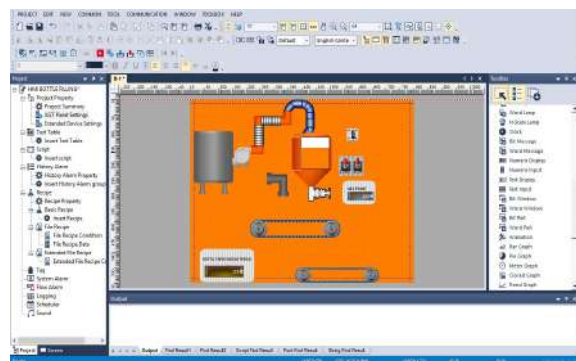
Kemudian langkah selanjutnya adalah mengkonfigurasi software XP Builder untuk dapat menampilkan proses sesuai dengan program yang diinginkan, yaitu dengan memilih use PLC simulator pada project property.



Gambar 9. Konfigurasi Pada XP Builder

Setelah itu kita dapat menjalankan simulasi dengan menekan tombol *simulation* sehingga HMI dapat langsung menunjukkan berlangsungnya proses.

Pada tampilan HMI mula- mula kita tentukan berapa banyak produk yang diinginkan dengan memasukan jumlah set point pada *numeric input* kemudian proses akan langsung memulai hingga satu proses yang diinginkan selesai (sesuai set point). Selama berjalannya proses pengisian ini akan diketahui jumlah botol yang telah terisi yang tertera dalam *numeric display*.



Gambar 10. Tampilan HMI Pada XP Builder

### Hasil

Sistem kontrol pada HMI ini disesuaikan dengan program pada ladder diagram. Tombol Start ditekan untuk memulai proses yang sudah diinput set point nya. Counter pada program ladder yang berfungsi untuk menghitung banyaknya botol yang terisi ditampilkan dalam bentuk *numeric display* pada panel HMI.

Sementara itu tombol Stop digunakan untuk menghentikan semua proses yang sedang berlangsung seperti alarm emergency apabila terdapat suatu kesalahan dalam proses.

Setelah disimulasikan proses pengisian dalam satu botol dilakukan dalam waktu 4 detik, asumsi ini hanya dalam

pelaksanaan simulator karena tidak dilakukannya pengujian secara langsung. Sementara itu untuk pengujian simulator dari jumlah set point yang ditentukan pada simulator berjalan dengan sesuai.

**Tabel 1. Hasil Simulasi**

Pengujian ke - <i>Set point</i>	Jumlah botol	Jumlah botol terhitung
1	5	5
2	6	6
3	10	10
4	15	15
5	25	25

Tabel 1 menunjukkan hasil produksi dimana pada pengujian awal hingga akhir botol yang terhitung sesuai dengan set point yang diinginkan. Maka dapat disimpulkan presentase penghitungan jumlah botol yang terisi 100%.

#### 4. Kesimpulan

PLC memiliki keunggulan dari pengontrol biasa dalam hal perawatan, instalasi ulang, dan pengawatannya. Berdasarkan pengujian simulasi dan analisis sistem maka sistem kontrol *Bottle Filling Process* yang dibuat dalam ladder diagram dan tampilan HMI dapat berjalan sesuai dengan sebagaimana mestinya. Namun perlu dikaji lagi dan dilakukan uji lapangan untuk dapat menghasilkan proses dengan waktu yang tepat dalam lamanya pengisian dimana waktu pengisian selama 4 detik dalam program ini baru diasumsikan untuk

simulator saja karena tidak dilakukan pengujian secara langsung.

#### Daftar Acuan

- [1] W. Yao, L. Fengyan, X. Miao, B. Yan, *Design of the Control System for Plate Cutting Machine*, 4th International Conference on Machinery, Materials and Computer (MACMC), volume 150, 2017, pp. 691 – 694.
- [2] F. G. Airlangga, *Perancangan Sistem Automasi dengan Programmable Logic Controller (PLC) OMRON CPM1-A terhadap Purwarupa Filling Bottle And Cupping Machine Sebagai Pengemasan Susu Dengan Perangkat Keras Konveyor*, Skripsi Tek. Elektro, Univ. Diponegoro, 2017.
- [3] C. A. C Safii, *Penerapan Scada untuk PLC pada Plant fermentor di PT. Miwon Indonesia*, Skripsi, Dept. Teknologi dan Informatika. Eng., Institut Bisnis dan Informatika STIKOM Surabaya., Surabaya, 2016.
- [4] I Setiawan, *Programmable Logic Controller dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol*, Andi Yogyakarta, 2006.
- [5] K. Manhas, M. Dogra, R. Tiwari, J. Sharma, *Design and Implementation of Bottle Filling Automation System for Food Processing Industries using PLC*, International Journal of Power Electronics Controllers and Converters, volume 4, issue 1.

## Desain Inverter Satu Fasa 5 Tingkat Berbasis Arduino Uno

R. Ugrasena H. Wicaksono<sup>1</sup> dan Leonardus H. Pratomo<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, Indonesia

Email : [aryougrasena@yahoo.com](mailto:aryougrasena@yahoo.com)<sup>1</sup>, [leonardus\\_hp@yahoo.com](mailto:leonardus_hp@yahoo.com)<sup>2</sup>

### Abstrak

*Inverter* dengan harmonisa tegangan keluaran rendah banyak digunakan pada aplikasi energi terbarukan saat ini. Masalah utama pada *inverter Multilevel* adalah banyaknya saklar daya yang digunakan. Pada makalah ini dibahas tentang pengerjaan *hardware inverter* 5 tingkat. *Inverter* yang dibuat adalah tipe asimetris yang dimaksudkan untuk menghemat pemanfaatan saklar daya pada *inverter*. Pada *inverter* ini menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno* untuk keluaran sinyal *Carrier*. Kemudian sinyal referensi atau sinyal AC dihasilkan dari pensaklaran untuk mengeluarkan gelombang keluaran *inverter* yang dapat di implementasikan pada beban R dan L yang lebih baik. Dari hasil ujicoba dilaboratorium *inverter* 5 tingkat ini berjalan dengan baik dan memiliki harmonisa tegangan keluaran (THD) sebesar 3,96%.

### Abstract

*Inverters with low output voltage harmonics are widely used in renewable energy applications today. The main problem with Multilevel inverters is the number of power switches used. This paper discusses about working on 5 level inverter hardware. The inverter is made asymmetric type which is intended to save the use of power switches on the inverter. This inverter uses Arduino Uno microcontroller for Carrier signal output. Then the reference signal or AC signal is generated from the switching to output an inverter-generated wave that can be implemented at a better R and L load. From the results of testing in this 5 level inverter laboratory, it runs well and has a output voltage harmonics (THD) of 3.96%.*

*Keywords: Arduino Uno , Inverter , Multilevel , Switching*

## 1. Pendahuluan

DI era moderen ini hampir kehidupan sehari-hari menggunakan energi listrik, energi tersebut pada umumnya di dapatkan dari pembangkit listrik tenaga uap, air dan angin. Salah satu pembangkit listrik yang terbarukan adalah tenaga surya. Sistem pembangkit listrik tenaga surya membutuhkan alat yang mengubah sumber tegangan *Direct Current (DC)* ke *Alternating Current (AC)* yang disebut *inverter*. Pada umumnya *inverter* memiliki 2 jenis yaitu *half bridge* dan *full bridge* berdasarkan topologinya dibagi menjadi *Flying capacitor*, *Diode-clamped*, dan *Cascade* [1]. *Inverter* bertingkat umum dibentuk dari tiga topologi dasar tersebut sedangkan topologi yang lain dikembangkan dari gabungan atau modifikasi topologi dasar untuk membentuk *inverter* bertingkat lainnya [2]. Untuk membentuk *inverter* bertingkat umumnya

membutuhkan banyak saklar daya, contohnya rangkaian *half bridge* menggunakan dua switch sedangkan pada *full bridge* menggunakan empat switch dimana *output full bridge* lebih baik dibandingkan *half bridge* [3]. Dilihat dari banyaknya saklar daya akan mengakibatkan rangkaian kendali yang semakin rumit, tidak efisien dan mahal [4].

Simulasi *inverter* 5 tingkat dirancang, dan dimanfaatkan untuk mengatasi masalah ini. *Inverter* jenis ini memiliki nilai harmonisa tegangan dan arus keluaran pada tingkatan yang sama. Perbedaannya adalah besar sumber yang tidak sama satu sama lain atau sering disebut asimetris. Keuntungan lainnya adalah mampu menekan nilai rugi-rugi pensaklaran baik di komponen saklar daya dan antar komponen saklar daya [5]. Semakin tinggi tingkatan *inverter* akan mengakibatkan nilai harmonisa tegangan dan arus keluaran yang kecil.



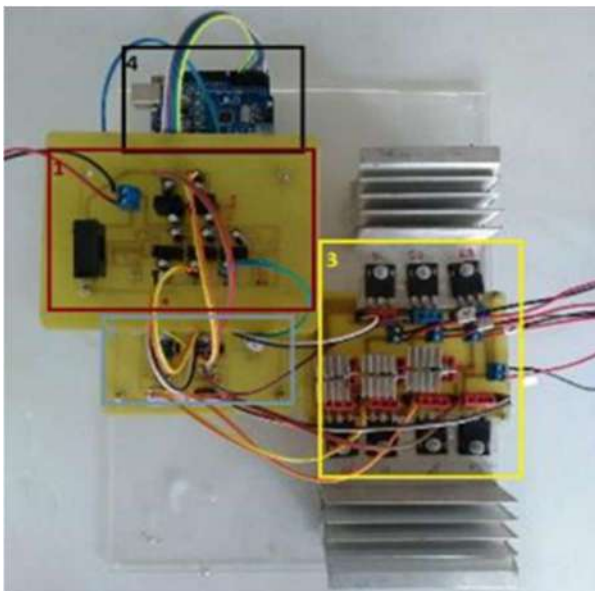
Dibandingkan dengan *inverter* 5 tingkat yang telah diteliti, *inverter* bertingkat asimetris memiliki nilai kandungan harmonisa keluaran yang rendah [6]. Nilai harmonisa yang tinggi akan berakibat pada umur komponen dan gangguan jaringan distribusi. Nilai tingkat kecacatan atau dikenal dengan nama *Total Harmonics Distortion* (THD) suatu *inverter* diukur menggunakan standar harmonisa IEEE [7].

Menanggapi keterbatasan *inverter* konvensional, makalah ini mengusulkan desain *inverter* 5 tingkat baru dengan menggunakan perangkat lunak *PowerSimTech* (PSIM). Dalam makalah ini diutamakan topologi *inverter* 5 tingkat yang lebih sederhana dan mudah yang dikembangkan tetapi menghasilkan kualitas keluaran yang sama [8], [9].

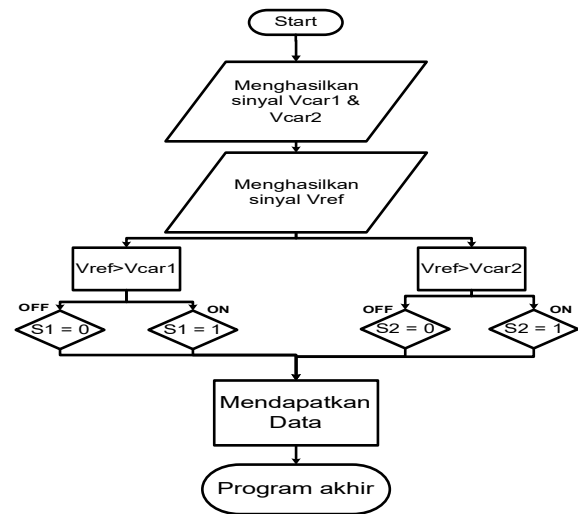
## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah rancangan bangun dari *inverter* 5 tingkat tipe asimetris dan bagaimana pensaklaran dalam *inverter* ini dapat dikendalikan melalui sebuah *decoder* serta komparasi untuk mendapatkan tingkatan yang diinginkan menggunakan pendekatan konstruksi asimetris pada *inverter*. Pada metode ini pula akan dibahas mengenai mode operasi pada *inverter* yang dirancang sehingga dapat memunculkan 5 tingkat pada keluarannya.

### 2.1 Perancangan Hardware Inverter 5 Tingkat



Gambar 1. Prototipe inverter 5 tingkat



Gambar 2. flow chart sistem kerja

Pada gambar 1 adalah *prototype* dari *inverter* 5 tingkat tipe asimetris yang dibuat di laboratorium dan Gambar 2 adalah *flowchart* sistem kerja. *Prototype* yang dibuat memiliki 4 bagian utama untuk menghasilkan keluaran yang diinginkan:

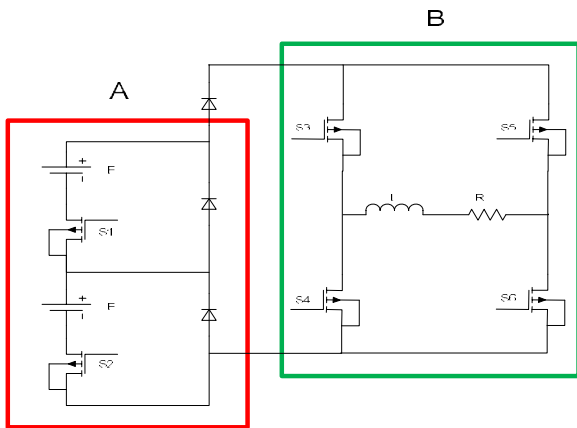
1. Rangkaian catu daya penggerak saklar daya: digunakan catu daya DC-DC konverter terisolasi dengan jenis B1212S-1W sebanyak 5 buah.
2. Rangkaian penggerak saklar, digunakan IC TLP250 sebagai isolasi elektronis sebanyak 5 buah dan IC IRF2111 sebanyak 2 buah untuk membentuk polaritas.
3. Saklar daya, digunakan tipe Mosfet irf250.
4. Mikrokontroler, digunakan tipe Arduino Uno

Pada penelitian ini dibutuhkan juga beberapa *software* atau perangkat lunak yaitu :

1. *PowerSimTech* (PSIM) sebagai *software* simulasi membuat rangkaian *inverter* beserta cara kerjanya pada penelitian ini.
2. *Microsoft Office Visio* sebagai *software* membuat gambar rangkaian *inverter* pada penelitian ini.

### 2.2. Cara Kerja Hardware

Pada bagian ini dibahas mode-mode operasi atau pensaklaran yang mungkin terjadi dari topologi *inverter* 5 tingkat. *Inverter* 5 tingkat diterapkan dengan menggunakan 6 saklar daya aktif dan 3 saklar pasif dan 2 sumber tegangan DC. *Inverter* ini terdiri dari 2 bagian yaitu yang Pertama (A) terdiri dari 2 buah saklar daya aktif (S1 – S2) dan 3 buah saklar daya pasif, dan yang kedua (B) terdiri dari 4 buah saklar daya aktif (S3 – S6) difungsikan sebagai pembalik polaritas tegangan dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Rangkaian daya *inverter* 5 tingkat tipe asimetris ditunjukkan seperti pada gambar 3.



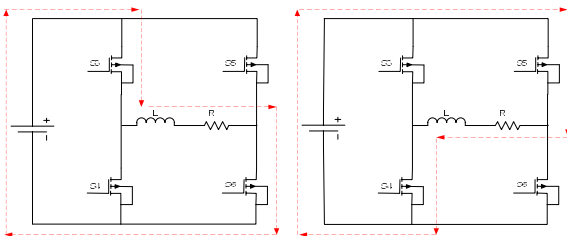
Gambar 3. Pembagian Tahap Saklar

Bagian B (S3 – S6) merupakan *polarity* generator yang mengubah polaritas bagian A (S1 – S2). Bagian ini terhubung langsung pada keluaran konstruksi *inverter* dengan bagian B (S3 – S6) terdiri dari 2 konstruksi *half-bridge* dua lengan. Keluaran *inverter* dihubungkan ke beban menghasilkan sebuah gelombang keluaran 5 tingkat dan pemasangan L yang ber-orde mH berfungsi sebagai filter pasif pada sistem.

Pensaklaran dalam konstruksi *inverter* 5 tingkat ini memiliki 5 mode operasi utama untuk membangkitkan keluaran 5 tingkat. Dimana mode operasi ini dinamakan mode operasi 0 sampai 4 sehingga bernilai total 5 mode yang akan di jelaskan dibawah.

### 2.2.1. Mode Operasi 0 (Arus Putar)

Mode operasi 0 (arus putar) akan memiliki tegangan  $V_{in} = 0E$ , maka arus dari sumber tegangan akan mengalir ke beban dan akan kembali ke sumber tegangan melalui saklar daya ini yang disebut *freewheeling*. Berikut ini adalah ilustrasi mode 0, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mode Operasi 0 (Arus Putar)

Pada kondisi ini pada bagian beban akan merasakan tegangan keluaran sama dengan  $0E$ , seperti persamaan (1).

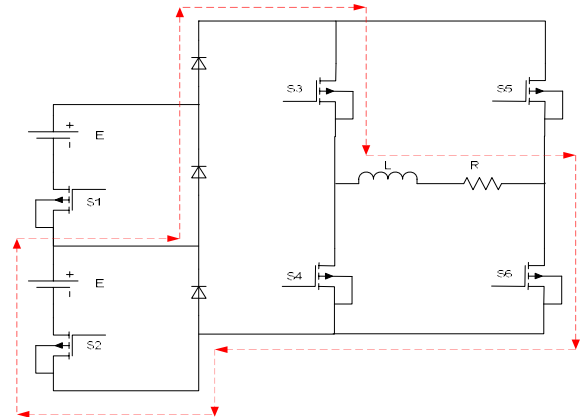
$$V_{in} = 0E \quad (1)$$

Pasangan saklar pada S3 – S6 dan S4 – S5 tidak diperbolehkan salah karena akan menghasilkan sebuah konstruksi *short circuit*, yang harus dihindari dalam konstruksi pembuatan alat kedepannya.

### 2.2.2. Mode Operasi 1

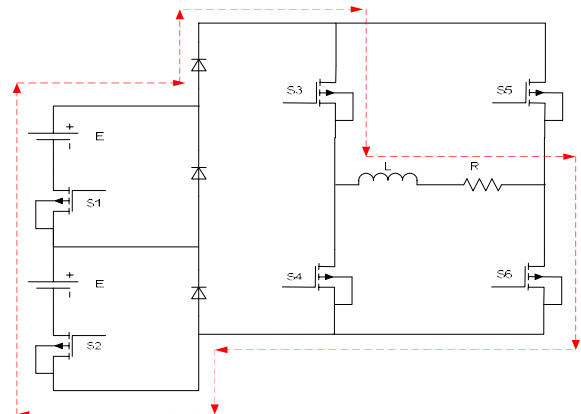
Pada mode operasi ini saklar pada bagian A yaitu S2 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. masukan pada sistem  $V_{in} = E$ , maka akan menghasilkan tegangan keluaran  $V_{out} = E$ , atau seperti persamaan (2).

$$V_{in} = E \quad (2)$$



Gambar 5. Mode Operasi 1

### 2.2.3. Mode Operasi 2



Gambar 6. Mode Operasi 2

Pada mode operasi ini saklar pada bagian A yaitu S1 dan S2 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. masukan pada sistem  $V_{in} = 2E$ , maka akan menghasilkan tegangan keluaran  $V_{out} = 2E$ , atau seperti persamaan (3).

$$V_{in} = 2E \quad (3)$$

### 2.2.4. Mode Operasi 3 dan 4

Mode operasi 3 dan 4 merupakan setengah siklus *negatif* dengan polaritas yang terbalik dari Mode operasi 1 dan 2 dengan pergantian polaritas yang dilakukan pada bagian B(S3 – S6) pada konstruksi *Inverter*. Mode operasi yang telah dijelaskan dari mode operasi 0 – 4 dapat dituliskan dan dijabarkan pada sebuah tabel pensaklaran seperti yang terlihat pada Tabel 1. yang memperlihatkan penghidupan saklar pada setiap mode operasi.

Tabel 1. Pensaklaran Mode Operasi

A		B				V0
S1	S2	S3	S4	S5	S6	
1	1	1	0	0	1	2E
0	1	1	0	0	1	E
0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0	-0
0	1	0	1	1	0	-E
1	1	0	1	1	0	-2E

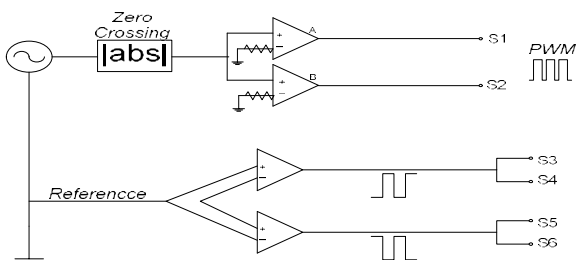
Keterangan :

1 : Saklar daya ON

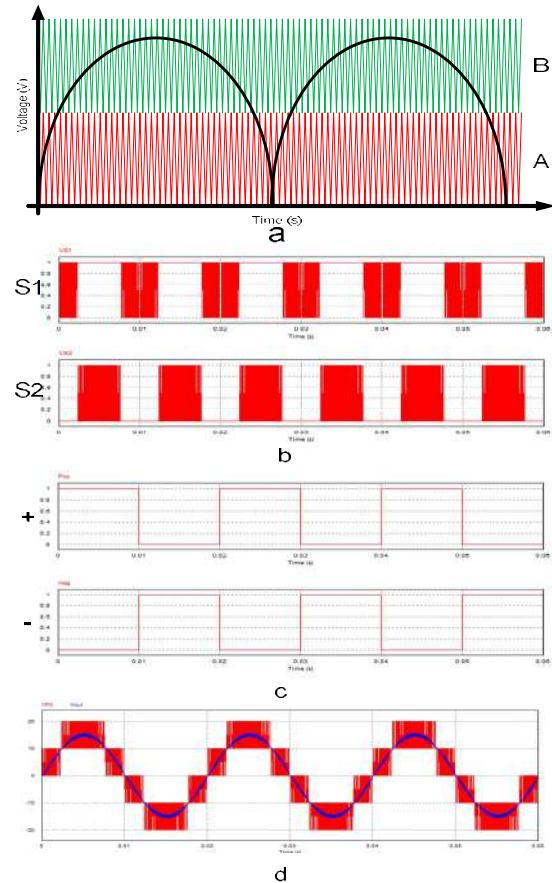
0 : Saklar daya OFF

### 2.2.5. Rangkaian MLPS

Berdasarkan dari Tabel 1 sebelumnya dapat dibuat rangkaian penggerak saklar daya S1 dan S2 dengan menggunakan aljabar *Boolean* dan rangkaian penggerak saklar daya S3 – S6 dapat diimplementasi dengan menggunakan rangkaian deteksi persilangan nol yang selalu bekerja pada frekuensi 50 Hz. Rangkaian ini berfungsi untuk pensaklaran pada penelitian *inverter* 5 tingkat. Berikut ini rangkaian MLPS secara lengkap untuk kendali *inverter* 5 tingkat, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian MLPS untuk inverter 5 tingkat Berikut ini adalah pola pembentukan MLPS pada simulasi *PSIM* masing-masing saklar untuk membentuk tegangan keluaran *inverter* 5 tingkat, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. (a) Komparasi Sinyal SPWM , (b) Sinyal MLPS di S1 – S2 , (c) Sinyal pembalik polaritas,(d) Tegangan keluaran *inverter* 5 tingkat .

## 3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

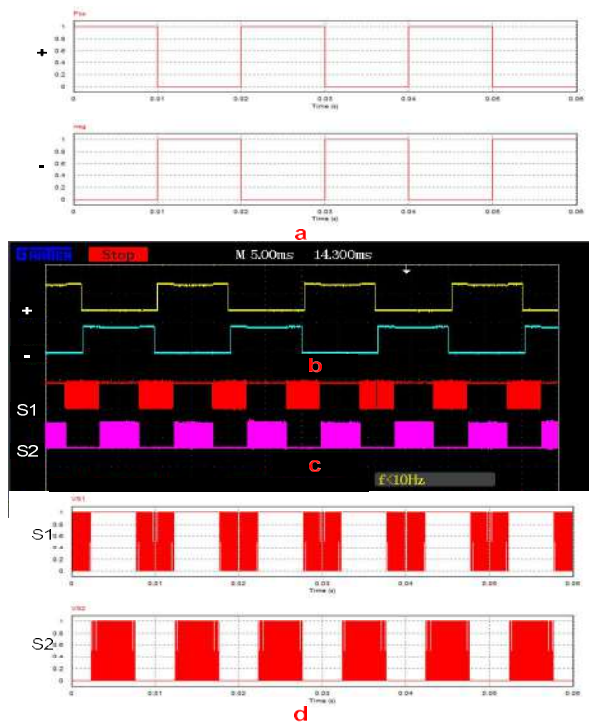
Pengujian dilakukan untuk memastikan rancangan yang telah dibuat, berikut ini parameter simulasi dan *prototype inverter* 5 tingkat tipe asimetris seperti pada Tabel 2.



Tabel 2. Parameter Simulasi

Device	Units
DC Input E	10 V
Inductive Filter	2 mH
Load Resistor	12 Ω
Reference AC Peak Amplitude	3 V
Reference AC Frequency	50 Hz
Carrir Triangular Vpp	2 V
Carrir Triangular Frequency	10kHz
Carrir Duty Cycle	0.5
DC Offset Carrier A	0 V
DC Offset Carrier B	2 V
Print Time	0.02 s

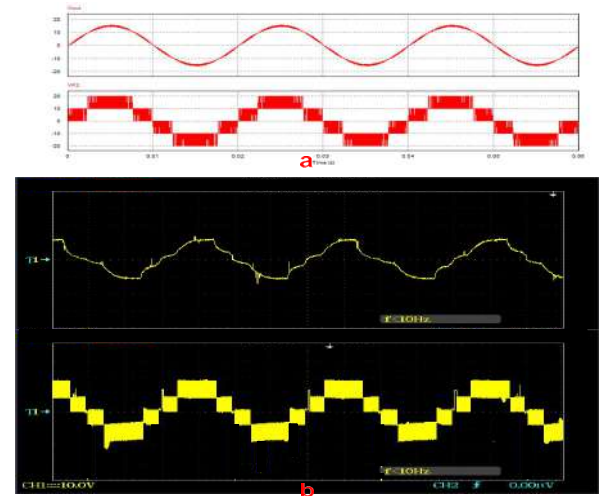
Pada tahap pembuktian yang pertama dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Power Simulator*, hasil simulasi pembalik polaritas untuk mengerakkan saklar daya S3 – S6 terlihat pada Gambar 9 (a), sedangkan pengujian purwarupa seperti pada Gambar 9 (b). Dari hasil simulasi dan pengujian purwarupa nampak memiliki kesamaan yaitu memiliki polaritas positif dan negatif dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Selanjutnya untuk mendapatkan gelombang MLPS pada saklar daya S1 dan S2, seperti Gambar 9 (d). *Verifikasi* tahap kedua dilakukan dengan pengujian purwarupa untuk gelombang MLPS untuk saklar daya S1 dan S2, seperti pada Gambar 9 (c).



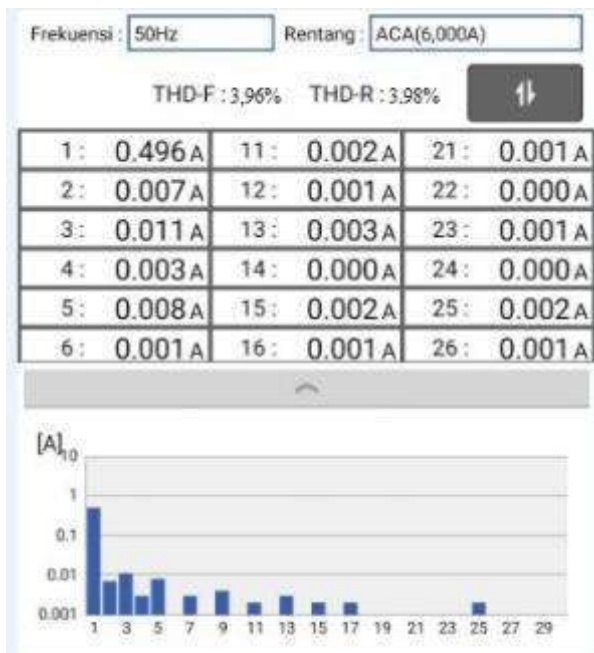
Gambar 9. Gelombang perlintasan nol S3 – S6 pada simulasi(a), Pengujian pada Osiloskop Digital(b) Pengujian pada Osiloskop Digital gelombang MLPS (S1 dan S2) (c), Simulasi (d).

Setelah gelombang MLPS pada masing-masing saklar daya dipastikan benar, maka pengujian dilanjutkan di bagian keluaran *inverter* 5 tingkat. Gambar 10 (a) adalah hasil simulasi yang dilakukan. Gelombang keluaran *inverter* ini terbukti dapat membentuk 5 tingkat. Sebagai tahap akhir dilakukan pengujian purwarupa seperti pada Gambar 10 (b). Gelombang keluaran hasil pengujian purwarupa pada tegangan +24V,+12V,+0V,-0V,-12V,-24V. Komponen *fundamental* dapat diperoleh dengan baik dengan memasang tapis induktor sebesar 2mH. Berdasarkan simulasi dan pengujian purwarupa *inverter* 5 tingkat dapat berjalan dengan baik.

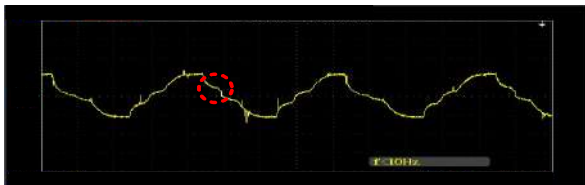
Agar mengetahui tingkat kecacatan gelombang keluaran dari *inverter* 5 tingkat dilakukan pengukuran kandungan THD tegangan menggunakan *digital power meter* HIOKI. Besarnya THD gelombang tegangan keluaran didapatkan nilai sebesar 3.96% seperti pada gambar 11. Pada tahap pengujian didapatkan nilai yang lebih rendah dari pada rekomendasi IEEE 519 yaitu sebesar 5% dikarenakan faktor pembalik polaritas yang selalu memaksa polaritas membalik, sedangkan tapis yang digunakan relatif besar sehingga ada keterlambatan, hal ini terlihat jelas seperti pada Gambar 12.



Gambar 10. Gelombang keluaran *inverter* 5 tingkat pada simulasi. (a), Hasil pengujian(b).



Gambar 11. Pengukuran THD menggunakan HIOKI



Gambar 12. Efek pembalikan polaritas terhadap bentuk gelombang

#### 4. Kesimpulan

*Inverter* 5 tingkat yang dirancang telah disimulasikan dan diuji di laboratorium kampus. *Inverter* ini mampu menghasilkan nilai gelombang tegangan keluaran sebanyak 5 tingkat. THD hasil pengujian didapatkan sebesar 3.96%, hal ini dikarenakan tapis yang besar sehingga terjadi kecacatan akibat pembalikan polaritas.

Dibandingkan dengan topologi *inverter* bertingkat konvensional keterbatasan (*flying capacitor*, dan *diode clamp*) yang membahas dengan ukuran *inverter* dan jumlah saklar *asimetris* 5 tingkat *inverter* menggunakan lebih sedikit gerbang saklar untuk jumlah tingkatan yang lebih tinggi.

#### 5. Daftar Acuan

- [1] W. Kastawan, "Konverter DC / AC ( Inverter ) Multilevel," *Konvert. DC/AC Multilevel I*.
- [2] J. Rodríguez, J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel inverters: A survey of topologies, controls, and applications," *IEEE*

*Trans. Ind. Electron.*, vol. 49, no. 4, pp. 724–738, 2002.

- [3] Z. Fuadi, M. Ashari, F. A. P, and A. Photovoltaic, "Perancangan dan Simulasi Full Bridge Inverter Lima Tingkat dengan Dual Buck Converter Terhubung Jaringan Satu Fasa," *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, p. : 2337–3539 (2301-9271), 2014.
- [4] B. R. Praveen, "Design and Implementation of Cascade H Bridge Multilevel Inverter NC3PS-2016," pp. 129–134.
- [5] M. M. Mathew, "Integrated Single Stage Standalone Solar PV Inverter," pp. 1–6, 2017.
- [6] F. A. Samman, R. Ahmad, and M. Mustafa, "Perancangan , Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa," no. September, 2018.
- [7] D. Committee, I. Power, and E. Society, *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society*, vol. 2014, 2014.
- [8] H. Matalata and I. Hamid, "Pengembangan Topologi Inverter Multilevel Tiga Tingkat Satu Fasa Tipe Diode Clamped Dengan," no. 3, 2016.
- [9] P. Sotoodeh and R. D. Miller, "A Single-Phase 5-Level Inverter with FACTS Capability using Modular Multi-Level Converter ( MMC ) Topology," no. Mmc, pp. 1229–1234, 2013.

## Rancangan dan Implementasi Satu Fasa Inverter 7-Tingkat Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno

Reva Anugrah Ramdhana<sup>1</sup> dan Leonardus Heru Pratomo<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, Indonesia

Email: [revaanugrah@gmail.com](mailto:revaanugrah@gmail.com) , [leonardus\\_hp@yahoo.com](mailto:leonardus_hp@yahoo.com)

### Abstrak

*Inverter* dengan harmonisa tegangan keluaran rendah banyak digunakan pada aplikasi energi terbarukan. Masalah utama pada *inverter* tingkat jamak adalah banyaknya saklar daya yang digunakan. Pada makalah ini dibahas tentang implementasi *inverter* 7-tingkat. *Inverter* yang diimplementasi adalah tipe asimetris yang dimaksudkan untuk menghemat pemanfaatan saklar daya. Dengan konfigurasi rangkaian daya dibagi menjadi dua yaitu A dan B. Pada bagian (A) yang mempunyai frekuensi yang tinggi untuk menghasilkan level tegangan dan bagian (B) yang mempunyai frekuensi rendah untuk menghasilkan polaritas pada pensaklaran di *inverter* ini, dengan konfigurasi tersebut hanya membutuhkan jumlah saklar yang lebih sedikit dibandingkan dengan konfigurasi yang konvensional. *Inverter* ini menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno* untuk keluaran sinyal *Carrier*. Topologi ini menghasilkan THD 2,20% yang sangat rendah. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan simulasi menggunakan aplikasi power simulator.

### Abstract

*Inverters with low output voltage harmonics are widely used in renewable energy applications. The main problem of multiple-level inverters is too much the power switches used. This paper discusses the implementation of 7-level inverters. The inverter implemented is asymmetrical type which is intended to save the use of the power switch. The configuration of the power circuit divided into two, namely A and B. In part (A) which has a high frequency to produce a voltage level and part (B) which has a low frequency to produce polarity on the switching in this inverter, with this configuration only requires a number of fewer switches compared to conventional configurations. This inverter use Arduino Uno as microcontroller for Carrier signal output. This topology produces a 2.20% THD which is very low. In this research, simulation is made using a power simulator application.*

*Keywords: Arduino Uno, Inverter 7 Level, THD*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Sekarang ini sumber energi fosil masih menjadi sumber utama pembangkit listrik. Namun semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya tersebut akan meningkatkan kesadaran manusia mencari energi alternatif misalnya pembangkit tenaga surya [1].

Sebuah *inverter multilevel* adalah jenis konverter daya elektronik yang dapat memberikan atau menghasilkan yang diinginkan *Alternating Current (AC)* tingkat tegangan pada output dari konverter menggunakan beberapa nomor dari tingkat yang lebih rendah *Direct*

*Current (DC)* sumber tegangan sebagai masukan dengan / tanpa menggunakan rangkaian filter [2]. Penggunaan *inverter* sebagai peralatan elektronika daya sangat luas. *Inverter* konvensional yang paling sederhana mempunyai output berupa gelombang kotak, sedikit lebih kompleks menggunakan teknik SPWM (*Sinusoidal Pulse Wide Modulation*) sebagai kontrol *switching* komponen semikonduktor (MOSFET) [3].

Dengan meningkatkan jumlah tingkatan di *inverter*, tegangan *output* memiliki langkah menghasilkan lebih banyak bentuk gelombang tegangan, yang memiliki distorsi harmonik berkurang [4]. *Inverter* sumber tegangan menghasilkan tegangan keluaran atau saat ini dengan level 0 atau  $\pm V_{dc}$ , maka total distorsi harmonik

juga rendah [5]. Keunggulan saklar juga menjadi lebih sedikit. Dan, filter yang dibutuhkan untuk menghaluskan tegangan *output* kecil karenanya, sistem ini kompak, lebih ringan dan jauh lebih murah [6]. Paper ini menyarankan sebuah tipe *inverter* dengan konstruksi asimetris 7-tingkat, disimulasikan dengan PSIM.

Yang akan dibahasnya lebih lanjut tentang rancangan yang diajukan penulis, rangkaian dan mode operasinya. Disebutkan sebelumnya, kekurangan dari metode konvensional dari *inverter* (contohnya inverter 3 tingkat) umumnya menghasilkan nilai harmonisa yang cukup tinggi di keluaran tegangannya [7],[6]. Meskipun dinyatakan nilai harmonisa yang diregulasi melalui IEEE yang disarankan dan implementasi yang dilakukan. Nilai tingkat kecacatan atau dikenal dengan nama *Total Harmonics Distortion* (THD) suatu *inverter* diukur menggunakan standar harmonisa IEEE[8]. Bahkan setelah mengimplementasikan topologi inverter yang umum (contohnya *diode clamp, flying capacitor*) [9] batasan dari topologi ini berkisar pada jumlah saklar yang digunakan dan mode operasi yang dikendalikan yang akan berpengaruh pada efektifitas aplikasi PLTS Mandiri.

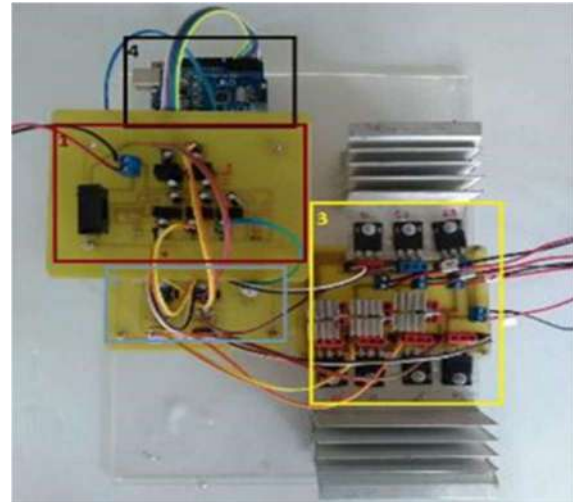
## 2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah rancangan bangun dari simulasi inverter 7-tingkat tipe asimetris dan bagaimana pensaklaran dalam *inverter* ini dapat dikendalikan melalui sebuah *decoder* serta komparasi untuk mendapatkan tingkatan yang diinginkan menggunakan pendekatan konstruksi asimetris pada *inverter*. Pada metode ini pula akan dibahas mengenai tahapan mode operasi pada inverter yang dirancang sehingga dapat memunculkan 7-tingkat pada keluaran.

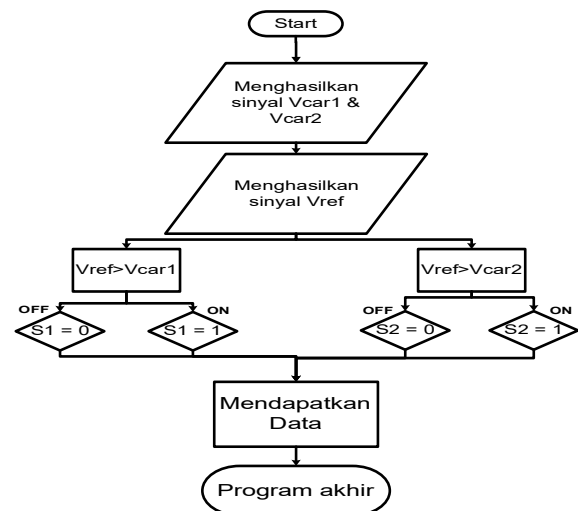
### 2.1 Perancangan Hardware Inverter 7-Tingkat

Gambar 1 dan gambar 2 dibawah ini merupakan rancangan *hardware* dan *flowchart* 7-tingkat tipe asimetris yang dibuat di laboratorium. *Prototype* yang dibuat memiliki 4 bagian.

1. Rangkaian catu daya penggerak saklar daya menggunakan catu daya DC-Dc konverter terisolasi dengan jenis B1212-1W sebanyak 5 buah.
2. Rangkaian penggerak saklar, digunakan I TLP 250 sebagai isolasi elektronis sebanyak 5 buah, dan IC IRF 211 sebanyak 2 buah untuk membentuk polaritas.
3. Saklar daya menggunakan tipe Mosfet IRF 250
4. Mikrokontroler menggunakan tipe Arduino Uno



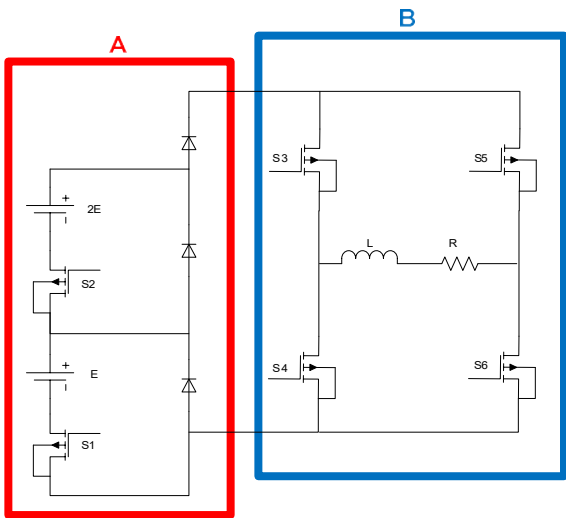
Gambar 1. *Prototype inverter 7-tingkat tipe asimetris*



Gambar 2. *Flowchart cara kerja inverter 7 Tingkat*

### 2.2. Cara Kerja Hardware

Pada bagian ini dibahas mode-mode operasi atau pensaklaran yang mungkin terjadi dari topologi *inverter 7 tingkat*. *Inverter 7 tingkat* diterapkan dengan menggunakan 6 saklar daya aktif dan 3 saklar pasif dan 2 sumber tegangan DC. *Inverter* ini terdiri dari 2 bagian yaitu yang Pertama (A) terdiri dari 2 buah saklar daya aktif (S1 – S2) dan 3 buah saklar daya pasif, dan yang kedua (B) terdiri dari 4 buah saklar daya aktif (S3 – S6) difungsikan sebagai pembalik polaritas tegangan dengan frekuensi sebesar 50 Hz.



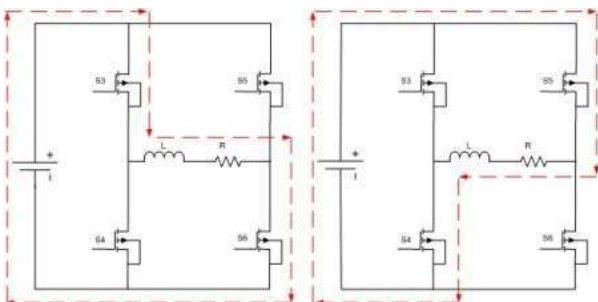
Gambar 3. Pembagian Tahap Saklar

Bagian B (S3 – S6) merupakan *polarity* generator yang mengubah polaritas bagian A (S1 – S2). Bagian ini terhubung langsung pada keluaran konstruksi *inverter* dengan bagian B (S3 – S6) terdiri dari 2 konstruksi *half-bridge* dua lengan. Keluaran *inverter* dihubungkan ke beban menghasilkan sebuah gelombang keluaran 7 tingkat dan pemasangan L yang ber-orde mH berfungsi sebagai filter pasif pada sistem.

Pensaklaran dalam konstruksi *inverter* 7 tingkat ini memiliki 7 mode operasi utama untuk membangkitkan keluaran 7 tingkat. Dimana mode operasi ini dinamakan mode operasi 0 sampai 6 sehingga bernilai total 7 mode yang akan di jelaskan dibawah.

### 2.2.1 Mode Operasi 0 (Arus Putar)

Pada bagian A (S1 – S2) dimatikan atau berlogika “0”. dan pada pensaklaran di bagian B (S3 – S6) memiliki 2 mode utama yang menghasilkan tegangan keluaran bernilai 0E atau 0V. Jalur mode operasi pada mode operasi 0 dapat dilihat melalui gambar 4. (1).



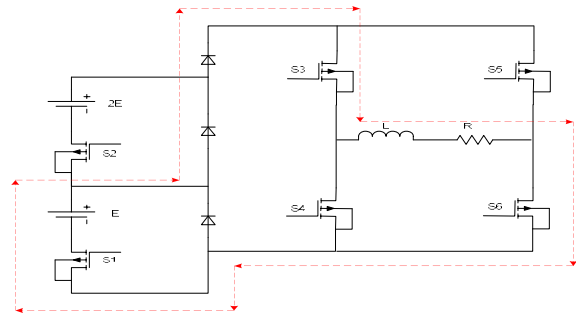
Gambar 4. Mode Operasi 0

$$V_{in} = 0 \quad (1)$$

Mode operasi 0 memiliki 2 operasi utama pada pensaklaran di bagian B (S3 – S6). Bagian A (S1 – S2) berlogika “0” dan operasi pertama pasangan saklar S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1” dan berkebalikan, pada operasi kedua pasangan saklar S4 dan S5 dihidupkan berlogika “1”. Pasangan saklar ini harus dihidupkan secara bergantian. Proses ini disebut dengan nama *freewheeling*. Menghasilkan keluaran yang bernilai 0V, yang didapatkan dari  $V_{in} = 0$  maka analisa keluaran adalah  $V_{out} = 0$ .

### 2.2.2 Mode Operasi 1

Pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. Mode operasi pertama dapat dilihat pada gambar 5. (2).



Gambar 5. Mode Operasi 1

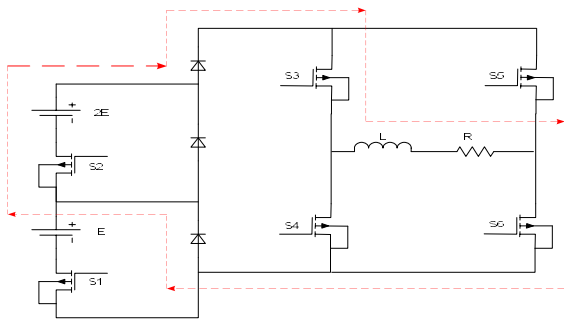
$$V_{in} = 1E \quad (2)$$

Pada mode operasi pertama saklar pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. masukan pada sistem  $V_{in} = E$ , maka akan menghasilkan keluaran tegangan keluaran  $V_{out} = E$ .

### 2.2.3 Mode Operasi 2

Pada bagian A (S1 – S2) yaitu S2 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. Mode operasi pertama dapat dilihat pada gambar 6. (3).





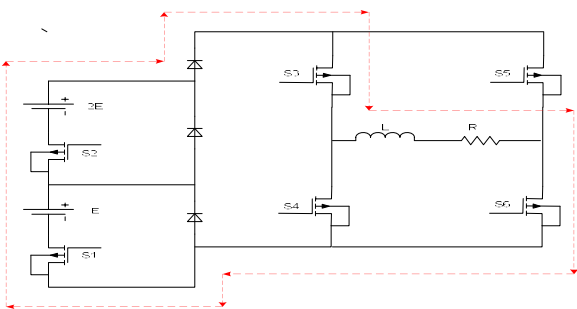
Gambar 6. Mode Operasi 2

$$V_{in} = 2E \quad (3)$$

Pada mode operasi pertama saklar pada bagian A (S1 – S2) yaitu S2 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. masukan pada sistem  $V_{in} = 2E$ , maka akan menghasilkan keluaran tegangan keluaran  $V_{out} = 2E$ .

### 2.2.4 Mode Operasi 3

Pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dan S2 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. Mode operasi pertama dapat dilihat pada gambar 7. (4).



Gambar 7. Mode Operasi 3

$$V_{in} = 3E \quad (4)$$

Pada mode operasi pertama saklar pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dan S2 dihidupkan atau berlogika “1” dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika “1”. masukan pada sistem  $V_{in} = 3E$ , maka akan menghasilkan keluaran tegangan keluaran  $V_{out} = 3E$ .

Mode Operasi 4 – 6 merupakan setengah siklus negatif dengan polaritas yang terbalik dari Mode Operasi 0 – 3 dengan pergantian polaritas yang dilakukan pada bagian B (S3 – S6) pada konstruksi *inverter*.

Mode operasi yang telah dijelaskan dari mode operasi 0 – 3 dapat dituliskan dan dijabarkan pada sebuah tabel pensaklaran seperti yang terlihat pada Tabel 1.

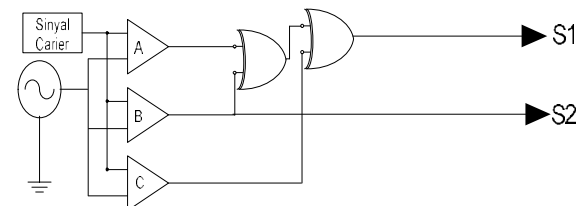
TABEL 1. Pensaklaran Mode Operasi

Stage A		Stage B				Vo
S1	S2	S3	S4	S5	S6	
1	1	1	0	0	1	3E
0	1	1	0	0	1	2E
1	0	1	0	0	1	E
0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	-E
0	1	0	1	1	0	-2E
1	1	0	1	1	0	-3E

Keterangan:

1 : Saklar daya ON  
0 : Saklar daya OFF

Berdasarkan dari Tabel 1 dapat dibuat rangkaian penggerak saklar daya S1 – S2 dengan menggunakan aljabar *boolean* dan secara rangkaian gerbang dapat terlihat seperti pada Gambar 8.

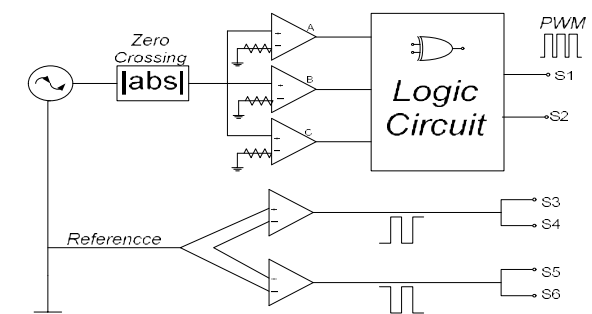


Gambar 8. Gerbang XOR untuk S1 – S2

$$S1 = ((C \oplus (B \oplus A)) \quad (5)$$

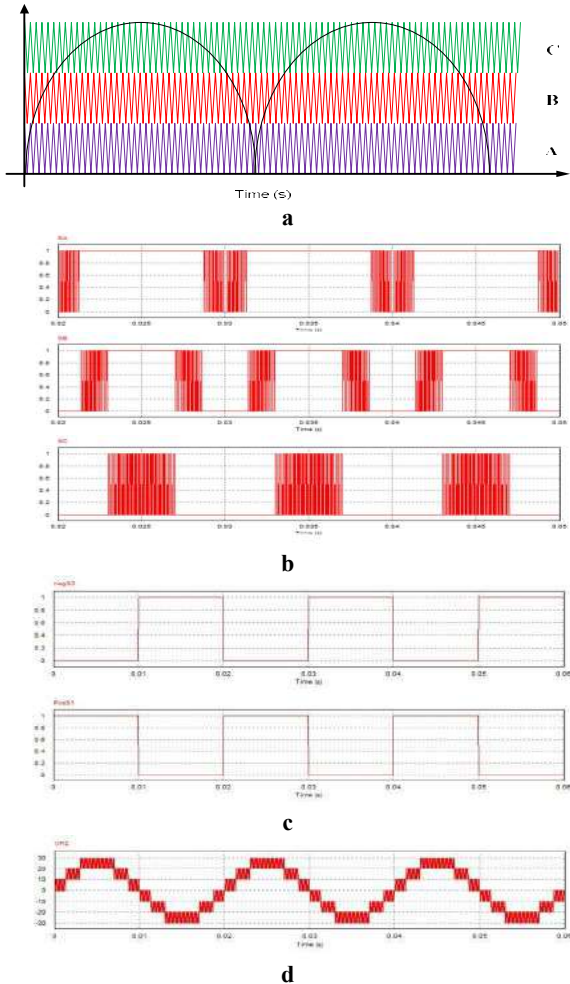
$$S2 = B \quad (6)$$

Dari rangkaian penggerak saklar daya S3 – S6 dapat diimplementasi dengan menggunakan rangkaian deteksi persilangan nol yang selalu bekerja pada frekuensi 50 Hz. Berikut ini rangkaian MLPS secara lengkap untuk kendali *inverter* 7-tingkat, seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian MPLS untuk inverter 7-tingkat

Berikut ini adalah pola pembentukan MLPS pada masing-masing saklar untuk membentuk tegangan keluaran *inverter* 7-tingkat, seperti pada gambar 10.



Gambar 10. (A) Komparasi sinyal spwm, (B) Sinyal MPLS di S1-S3, (C) Sinyal pembalik polaritas, (D) Tegangan keluaran *inverter* 7-tingkat

### 3. Hasil Pengujian Dan Analisis

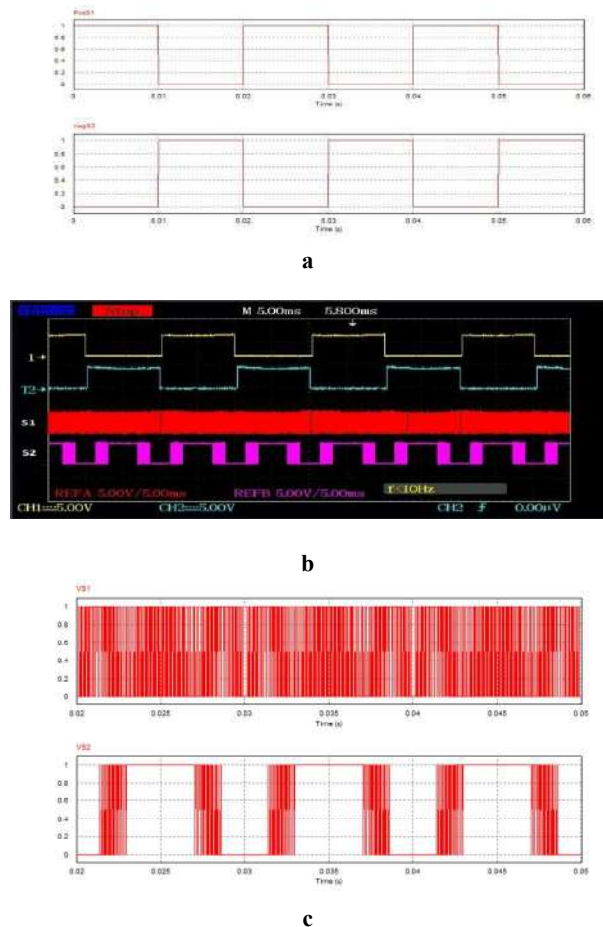
Pengujian dilakukan untuk memastikan rancangan yang telah dibuat, berikut ini parameter simulasi *inverter* 7-tingkat tipe asimetris seperti pada tabel 2.

TABEL 2. Parameter Simulasi

Device	Units
Dc Input	20V
Dc Input 2E	10V
Inductiv Filter	2mH
Load Resistor	12 $\Omega$
Refrence AC Peak Amplitude	5V
Refrence AC Frequency	50Hz

Carrier Triangular Vpp	2V
Carrier Triangular Frequency	10kHz
Carrier Duty Cycle	0.5
DC Offset Carrier A	0V
DC Offset Carrier B	2V
DC Offset Carrier C	4V
Print Time	0.02

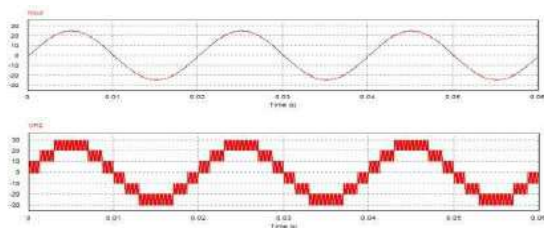
Pada tahap verifikasi yang pertama dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Power Simulator*, didapatkan gelombang MLPS untuk saklar daya S1 – S2, seperti pada gambar 11 (a). Verifikasi tahap kedua dilakukan dengan pengujian purwarupa untuk gelombang MLPS untuk saklar daya S1 – S2, seperti pada gambar 11 (b). Pada gambar 12 tampak bahwa gelombang MLPS untuk masing-masing saklar daya S1– S2 memiliki bentuk yang sama. Dari hasil simulasi dan pengujian purwarupa nampak bahwa memiliki kesamaan yaitu memiliki polaritas positif dan negatif dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Selanjutnya untuk mendapatkan gelombang MLPS pada saklar daya S1 dan S2, seperti gambar 11 (c).



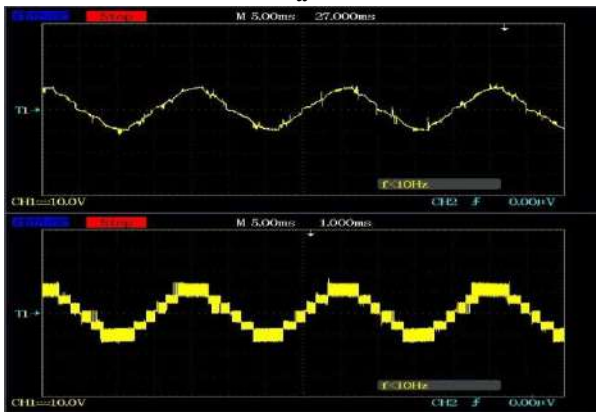
Gambar 11. Gelombang perlintasan nol S3 – S6 Simulasi (a), Pengujian pada Osiloskop Digital Pengujian pada Osiloskop Digital gelombang MLPS (S1 dan S2) (b), Simulasi (c).

Setelah gelombang MLPS pada masing-masing saklar daya dipastikan benar, maka pengujian dilanjutkan di bagian keluaran *inverter* 7 tingkat. Gambar 12 (a) adalah hasil simulasi yang dilakukan. Gelombang keluaran *inverter* ini terbukti dapat membentuk 7 tingkat. Sebagai tahap akhir dilakukan pengujian purwarupa seperti pada gambar 12 (b). Gelombang keluaran hasil pengujian purwarupa pada tegangan +24 V, +12V, +0V, 12V, -24V. Komponen fundamental dapat diperoleh dengan baik dengan memasang tapis induktor sebesar 2mH. Berdasarkan simulasi dan pengujian purwarupa *inverter* 7-tingkat dapat berjalan dengan baik.

Dari hasil simulasi dan pembuatan alat pada laboratorium didapatkan hasil yang sama membentuk tegangan tingkat sebanyak 7-tingkat. *Inverter* dengan mode operasi ini mampu mengurangi stress tegangan yang didapat pada komponen saklar daya. Pengujian kualitas keluaran *inverter* dilakukan dengan cara melakukan pengujian *Total Harmonic Distortion* sebesar 2,20 dengan menggunakan *digital power meter* HIOKI seperti gambar 13.

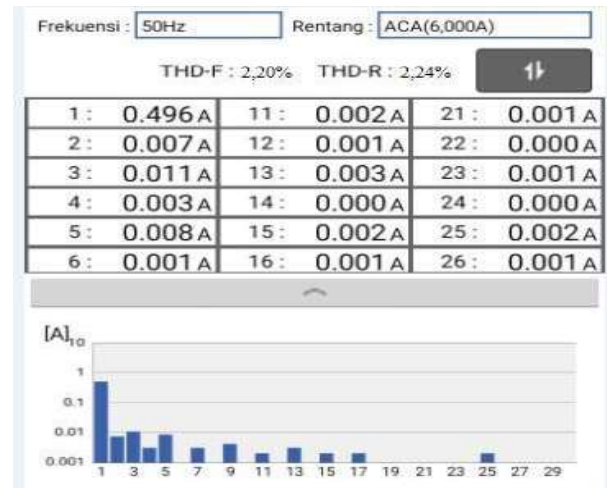


a



b

Gambar 12. Gelombang keluaran *inverter* 7- tingkat Simulasi. (a), Pengujian(b).



Gambar 13. Pengukuran THD menggunakan HIOKI

#### 4. Kesimpulan

*Inverter* 7-tingkat yang dirancang dan disimulasikan mampu menghasilkan nilai gelombang tegangan keluaran sebanyak 7-tingkat. Dan THD yang diperoleh sebesar 2,20, yang berarti bahwa alat tersebut mempunyai kualitas yang baik tidak melampaui batas yang ditetapkan oleh IEEE senilai 5%. Dengan hasil THD yang rendah tersebut membuktikan bahwa alat yang dibuat dapat diaplikasikan sebagai salah satu sumber tegangan yang baik.

#### 5. Daftar Acuan

- [1] Y. I. Raharjo, L. H. Pratomo, J. Pawiyatan, L. Iv, and B. Dhuwur, "Implementasi MLPDS  $\frac{1}{2} \lambda$  pada AT mega 8535 untuk Aplikasi *Inverter* 5-Tingkat," no. July, pp. 52–56, 2017.
- [2] S. A. Zulkifli, S. Salimin, and E. Elektronik, "Penyidikan terhadap Proporsional Resonant Kontrol saat ini untuk 7-Level Multilevel *Inverter* dengan Mengurangi Switching Perangkat," 2018.
- [3] "INVERTER MULTI LEVEL TIPE JEMBATAN SATU FASA TIGA TINGKAT DENGAN MIKROKONTROLER AT89S51 A. Warsito, M. Facta, E. Aptono. T.Y \*)," vol. 28, no. 2, 2007.
- [4] J. Rodríguez, J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel *inverters*: A survey of topologies, controls, and applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 49, no. 4, pp. 724–738, 2002.



- [5] S. N. Rao, D. V. A. Kumar, and C. S. Babu, "New multilevel inverter topology with reduced number of switches using advanced modulation strategies," *Proc. 2013 Int. Conf. Power, Energy Control. ICPEC 2013*, pp. 693–699, 2013.
- [6] L. H. Pratomo, F. D. Wijaya, and E. Firmansyah, "Capacitor Bank Voltage Equilibrium for MPPT in Single-Phase Single-Stage Five-Level Inverter for PV-Grid Application," *TELKOMNIKA Indones. J. Electr. Eng.*, vol. 14, no. 1, 2015.
- [7] L. Mohammed and A. Ali, "A Novel Design of 7- Level Diode Clamped Inverter," no. April, 2019.
- [8] IEEE Power and Energy Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE Std. 519-2014*, no. September, p. 29, 2014.
- [9] A. Fatchurahman, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa 9-Tingkat Tipe Asimetris," pp. 24–25, 2019.

## Mesin Gambar berbasis Arduino Uno R3 pada desain grafis

Agustinus Adi Nugroho<sup>1</sup>, Leonardus Heru Pratomo<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1  
Bendan Dhuwur, Semarang, 50324, Indonesia

*e-mail: agustinus.4di.nugroho@gmail.com*

### Abstrak

Gagasan utama di balik makalah ini adalah untuk mengimplementasikan mesin *Computer Numerical Control* (CNC) yang murah, dengan ukuran yang lebih kecil, mudah dioperasikan, dan fleksibel dengan tiga sumbu X, Y dan Z pada desain grafis. Terdapat tiga motor stepper digunakan untuk mengontrol gerakan kertas pada sumbu X dan Y dan satu motor stepper pada sumbu Z untuk menggerakkan spidol. Mikrokontroler Arduino Uno yang diintegrasikan dengan modul CNC *Shield* digunakan untuk mengontrol sinkronisasi secara tepat dari ketiga motor stepper selama proses pencetakan/ menggambar. Arduino Uno diprogram dengan menggunakan bahasa G-Code dari komputer yang terhubung ke Arduino melalui kabel USB dengan bantuan *software* bCNC untuk mengontrol pergerakan dan sinkronisasi motor. Mesin cetak diimplementasikan dan diuji dengan mencetak logo yang berisikan gambar dan tulisan pada kertas foto (180mm × 120mm) dengan menggunakan spidol. Ukuran kertas yang kecil dikarenakan dimensi yang dibuat pada mesin CNC yang berukuran kecil. Dengan desain yang sederhana, murah dan dapat dicapai dengan menggunakan komponen yang tersedia secara komersial.

Kata kunci: Mesin Gambar, Mesin CNC, Desain Grafis, mikrokontroler Arduino, Pemrograman CNC

### Abstract

*The main idea behind this paper is to implement a low-cost, easy-to-operate, and flexible Computer Numerical Control (CNC) machine with three X, Y and Z axes in graphic design. There are three stepper motors used to control the movement of paper on the X and Y axes and one stepper motor on the Z axis to move the markers. The Arduino Uno microcontroller which is integrated with the CNC Shield module is used to precisely control the synchronization of the three stepper motors during the printing / drawing process. Arduino Uno is programmed using the G-Code language from a computer connected to Arduino via a USB cable with the help of bCNC software to control motor movement and synchronization. The printing press was implemented and tested by printing logos containing images and writing on photo paper (180mm × 120mm) using markers. The small paper size is due to the dimensions made on the small CNC machine. With a simple design, inexpensive and can be achieved using commercially available components.*

*Keywords: Drawing Machines, CNC Machines, Graphic Design, Arduino microcontrollers, CNC Programming*

## 1. Pendahuluan

Mesin CNC adalah suatu proses yang menggunakan komputer untuk mengontrol proses pembuatan seperti *plotter*, mesin bubut, dan sebagainya. Saat ini mesin CNC banyak digunakan untuk proses memotong, mengelas, merakit robot. Karena berkembangnya teknologi pada komputer menjadi sangat mudah dalam menambahkan beberapa fitur baru ke dalam mesin CNC. CNC adalah singkatan dari *Computer Numerical Control*. CNC merupakan perubahan revolusioner dalam dunia

elektronik dari pekerjaan manual menjadi otomatis dengan mikrokontroler digital [1]. Mesin CNC dikontrol melalui komputer untuk menggerakkan *tool* seperti, matabor, laser, dsb pada proses manufaktur. Saat ini, di bidang industri otomotif mesin CNC banyak digunakan untuk memotong, mengelas dan merakit robot.

Laboratorium Servomekanisme MIT menemukan bahasa pemrograman kontrol numerik pertama pada akhir 1950-an, mereka menggunakan *g-code* dalam implementasi alat. G-code (a.k.a. RS-274) adalah Bahasa pemrograman

yang paling banyak digunakan dalam pemrograman kontrol numerik untuk mengontrol peralatan mesin CNC. Dengan bahasa pemrograman G yang membuat programmer dapat mengontrol arah dan kecepatan di mesin CNC, sehingga motor dapat mengikuti jalur yang telah ditentukan dalam program. Konsep yang sama termasuk untuk mesin lain seperti untuk menggambar, mengebor, membentuk, dan mencetak 3D [2].

Namun, banyak proyek berbeda yang diimplementasikan untuk mesin CNC berukuran kecil dengan biaya relatif rendah seperti; Sundar Pandian dan S. Raj Pandian yang telah mempresentasikan hasil pengembangan pabrik CNC vertikal tiga sumbu dengan berbiaya rendah dan cocok untuk digunakan dalam laboratorium teknik mesin, dengan total biaya sistem pengembangan sekitar 1/20 dari anggaran yang ada. Mesin CNC yang dibuat saat ini digunakan di laboratorium [3]. Kajar J. Madekar dkk menunjukkan bahwa penggunaan pemrograman G-code untuk mengendalikan motor untuk mesin CNC berukuran kecil dapat memberikan akurasi yang lebih baik seperti pada mesin CNC pada umumnya dan dapat mengurangi beban kerja, pergerakan sumbu X, Y, Z yang digerakkan oleh motor dapat dilihat secara langsung pada komputer sehingga dapat memulai atau hentikan mesin kapan pun diperlukan dan karenanya membuat mesin kecil membawa fleksibilitas untuk melakukan pekerjaan [4].

Gagasan utama dalam makalah ini adalah untuk mengimplementasikan mesin gambar CNC berukuran kecil yang dapat menggambar gambar ataupun tulisan di atas kertas kecil; menggunakan tiga motor stepper sebagai aktuator linier pada sumbu X, Y dan Z. Mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan modul CNC Shield mengontrol sinkronisasi yang tepat dari ketiga sumbu selama proses penggambaran.

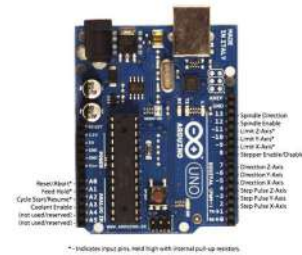
## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Komponen yang digunakan

Dalam penelitian ini dibutuhkan peralatan berupa komponen *hardware* dan *software* yang akan dijelaskan sebagai berikut:

#### 2.1.1 Arduino Uno

Merupakan mikrokontroler yang berbasis mikrokontrol ATmega328P (*datasheet*). Mikrokontroler Arduino Uno memiliki *input/output* digital sebanyak 14 pin yang terdiri dari 6 pin yang dapat digunakan untuk *output* PWM (*Pulse Width Modulation*) dan 6 pin *input* analog. Terdapat tombol reset, konektor catu daya 9 – 12volt DC dan memiliki penyimpanan sebesar 32KB. [5]



Gambar 1. Arduino Uno R3

Dalam pemrogramannya Arduino diprogram menggunakan Bahasa C atau C++ dalam *software* Arduino IDE dan dengan menggunakan kabel USB untuk menghubungkan dengan komputer.

#### 2.1.2 CNC Shield V3

CNC Shield merupakan modul pengaman yang dikoneksikan dengan Arduino untuk membaca *g-code*. Agar CNC Shield bekerja perlu menginstal *grbl* pada Arduino.



Gambar 2. CNC Shield

Pada gambar 2 terdapat tempat *driver* motor *stepper* yang terdiri dari sumbu x, y, z dan a. namun yang akan digunakan hanya sumbu x, y, z. CNC Shield memerlukan tegangan 8-36volt DC sebagai daya untuk motor *stepper*.

Tabel 2.1 Pengaturan mikro step

M1	M2	M3	Motor step
Low	Low	Low	Full
High	Low	Low	1/2
Low	High	Low	1/4
High	High	Low	1/8
High	High	High	1/16

Pada tabel 2.1 merupakan pengaturan mikro step pada motor *stepper* melalui CNC Shield. M1, M2, M3 merupakan pilihan dimana *Low* berarti tanpa soket penghubung dan *High* menggunakan soket penghubung [6].

#### 2.1.3 Driver Stepper A4988

A4988 adalah driver mikro stepping untuk mengendalikan motor *stepper* bipolar.



**Gambar 3. Driver motor stepper**

Pada gambar 3 terdapat lima pilihan mikro step pada driver A4988 yaitu *full-step*, *half-step*, *a quarter-step*, *eight-step* dan *sixteenth-step*. Terdapat potensio untuk mengatur arus keluaran dengan tegangan nominal 3 hingga 5.5 V DC. Untuk arus maksimum 2 ampere diperlukan *heat sink* (pendingin) dan tanpa *heat sink* untuk arus 1 ampere [7].

#### 2.1.4 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah motor DC yang bergerak dalam langkah diskrit. Pada bagian stator pada motor memiliki banyak kumparan yang diatur dalam kelompok yang disebut "fase". Dengan memberi tegangan pada setiap fase secara berurutan, motor akan berputar, selangkah demi selangkah. Dengan langkah yang dapat diatur komputer untuk mencapai posisi yang tepat dan mengontrol kecepatan. Oleh sebab itu motor stepper cocok untuk pekerjaan yang membutuhkan presisi yang tinggi. [8]



**Gambar 4. Motor stepper**

Pada gambar 4, motor *stepper* yang digunakan yaitu NEMA17 17HS4401 dengan kriteria *step angle 1.8 degree* dengan nilai arus 1.7 ampere dan dapat menahan torka sebesar 40N.cm (*datasheet*)

#### 2.1.5 Power supply

Dalam pengoperasian mesin CNC diperlukan tegangan searah. Dengan menggunakan *power supply* yang berfungsi untuk mengkonversikan tegangan dari tegangan bolak-balik (AC) 220 volt ke dalam tegangan searah (DC) 12 volt sebagai catu daya pada motor *stepper*.



**Gambar 5. Power supply**

Pada gambar 5, memiliki *input* tegangan 220V AC dengan frekuensi 50Hz. Terdapat empat *output* pada *power supply* yaitu +12, -12, -12, +12 V DC 10 ampere yang tertera pada *power supply*.

#### 2.1.6 CorelDRAW

Merupakan salah satu *software* yang berfungsi untuk mendesain gambar 2 dimensi yang nantinya hasil desain gambar akan diproses pada *software* mesin gambar.

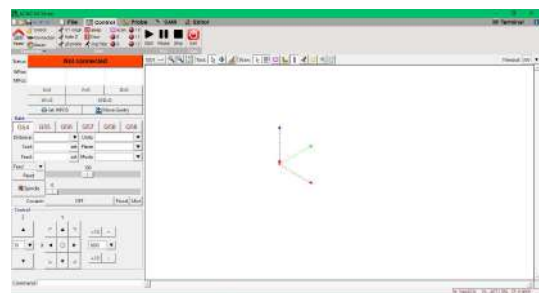


**Gambar 6. CorelDRAW 2019**

Gambar 6 merupakan logo dari *software* CorelDRAW 2019 yang dapat diunduh melalui internet. Penulis menggunakan *software* ini dikarenakan dapat mengekspor file dalam bentuk .dxf (*AutoCAD/ Computer Aided Design*) yang berupa *g-code*, agar gambar yang telah dibuat dapat diproses pada mesin gambar.

#### 2.1.7 bCNC

Merupakan salah satu *software* simulasi mesin CNC tiga sumbu yaitu x, y, z. *software* bCNC dapat mengeksekusi beberapa file yang menggunakan Bahasa G atau *g-code*.



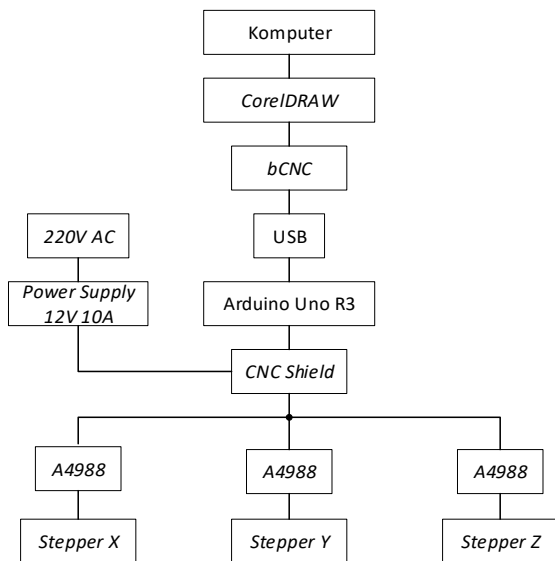
**Gambar 7. Software bCNC**

bCNC diinstall menggunakan python.exe dengan bantuan *Command Prompt* yang tersedia pada sistem operasi Windows.

## 2.2 Perancangan dan cara kerja alat

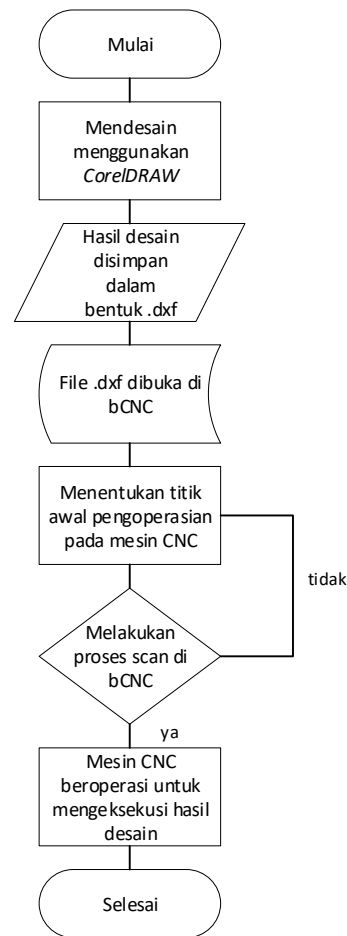
Dalam perancangan mesin CNC membutuhkan komputer sebagai *human interface* yang berguna untuk membuat desain gambar menggunakan *software* CorelDRAW. Setelah desain dibuat, maka desain perlu di simpan dalam

bentuk ekstensi .dxf (AutoCAD/ Computer Aided Design) yang nantinya file tersebut akan dibuka dalam *software* bCNC yang telah terkoneksi dengan Arduino tipe Uno R3 melalui kabel USB. Terdapat modul CNC *Shield* yang telah terhubung dengan 14 port I/O pada Arduino dan driver motor *stepper* yang telah terhubung pada modul CNC *Shield* yang akan menggerakkan masing-masing motor *stepper*. Terdapat *power supply* dengan *output* 12V DC 10A yang berguna untuk menyuplai tegangan pada motor *stepper* melalui modul CNC *Shield*. Pada gambar 8, merupakan diagram perancangan alat pada mesin CNC.



Gambar 8. Diagram perencanaan pembuatan mesin CNC

Setelah merencanakan alat, pada gambar 9 merupakan proses perencanaan desain pada mesin CNC menggunakan spidol dengan media kertas. Mulai dari mendesain menggunakan *software* CorelDRAW, membuka hasil desain dalam bentuk .dxf (AutoCAD/ Computer Aided Design) pada *software* bCNC yang telah terhubung dengan Arduino melalui kabel USB, lalu menentukan titik awal mesin CNC melalui *software* bCNC, setelah itu mesin CNC melakukan proses scanning. Jika proses scanning gagal, ulangi lagi dalam menentukan titik awal. Setelah melalui proses scanning, tekan tombol start pada *software* bCNC. Proses pengerjaan gambar pada mesin CNC bekerja sesuai desain yang telah dibuat. Lama waktu yang dikerjakan tergantung dari desain yang telah dibuat.



Gambar 9. Proses kerja mesin CNC

### 3. Hasil dan Pembahasan

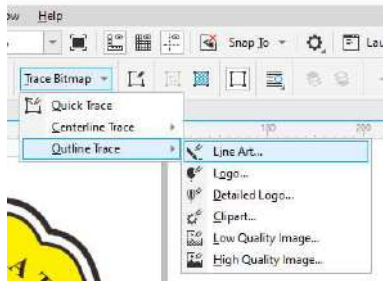
Setelah alat dibuat, selanjutnya membuat desain pada *software* CorelDRAW, sebagai contoh desain yang sudah ada peneliti menggunakan logo Universitas Soegijapranata pada gambar yang diunduh melalui media internet dengan dengan ekstensi .png (Portable Network Graphics). Selanjutnya gambar disesuaikan pada panjang dan lebar area yang dapat dijangkau mesin CNC. Pada mesin CNC yang dibuat dapat menjangkau dengan panjang 180mm dan lebar 120mm.



Gambar 10. Logo Universitas Soegijapranata

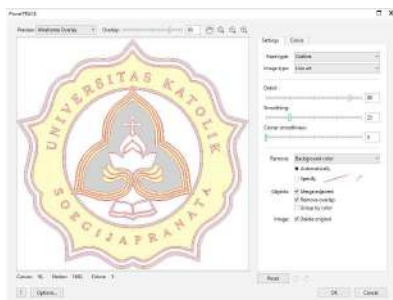


Selanjutnya gambar diedit menggunakan *software CorelDRAW* menggunakan *bitmap tool* yang tersedia di *CorelDRAW*.



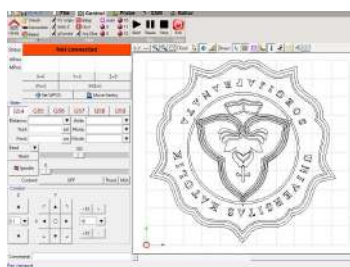
**Gambar 11. Cara membuat *outline***

Pada gambar 11 merupakan langkah dalam membuat *outline* pada *software CorelDRAW*.



**Gambar 12. Hasil *outline* yang dibuat.**

Pada gambar 12, hasil *outline* dapat dilihat pada gambar garis yang tebal. Selanjutnya hasil *outline* disimpan dengan ekstensi *.dxf* (*AutoCAD/ Computer Aided Design*).



**Gambar 13. *Software* bCNC**

Pada gambar 13, adalah hasil logo yang diedit pada *software CorelDRAW* dan dibuka menggunakan *software* CNC yaitu bCNC



**Gambar 14. Komponen pada Mesin Gambar**

Pada gambar 14, (a) merupakan tombol *emergency*, yang berguna untuk mereset/ menghentikan kinerja motor *stepper* saat beroperasi ketika ada gangguan. (b) merupakan mikrokontrol *Arduino* sebagai proses pemrograman bahasa *G* (*g-code*) yang terintegrasi pada (c) *CNC Shield* yang terhubung dengan driver motor *stepper* A4988 untuk menggerakkan motor *stepper*. (d) merupakan *power supply* dengan *output* tegangan  $\pm 12$  volt DC dan arus maksimum 10 A sebagai catu daya pada motor *stepper* melalui *CNC Shield*. (e) merupakan sumber tegangan 220 volt AC dengan frekuensi 50 Hz dari PLN yang masuk pada *power supply*.



**Gambar 15. Hasil Desain Mesin Gambar**

Pada gambar 15, merupakan hasil desain mesin gambar yang terdiri dari (a) motor *stepper* yang berguna untuk menggerakkan spindel pada sumbu Z ke atas dan ke bawah, (b) motor *stepper* untuk menggerakkan kertas foto pada sumbu Y untuk maju dan mundur, (c) motor *stepper* untuk menggerakkan kertas foto pada sumbu X ke kanan dan ke kiri. Dan (d) merupakan tombol *emergency*.





**Gambar 16. Hasil logo pada mesin grafis CNC**

Pada gambar 16, merupakan hasil logo yang telah dibuat menggunakan Mesin Gambar melalui *software* bCNC dengan menggunakan spidol dan kertas foto sebagai media menggambar. Terdapat hasil yang kurang sempurna karena pada spidol tidak diberi pegas, sehingga spidol terlalu menekan pada kertas gambar. Diperlukan pegas agar spidol dapat menyentuh kertas foto secara fleksibel.

#### 4. Kesimpulan

Dalam makalah ini, membahas tentang mesin gambar tiga sumbu CNC. Mesin gambar CNC pada umumnya mahal, perawatan yang sulit dan membutuhkan operator yang sangat terampil. Dengan mesin gambar dengan konsep kinerja CNC pada umumnya dapat mengatasi masalah ini. Dengan biaya yang lebih rendah, mudah dioperasikan dan tidak memerlukan operator yang sangat terampil. Dari segi desain alat sangat cocok untuk pemodelan domestik. Dengan gerakan yang akurat dan presisi, yang dapat dikontrol dengan komputer yang memudahkan operator dalam mengontrol mesin CNC. Selama proses pencetakan mesin gambar harus sangat stabil karena dapat menyebabkan kesalahan dalam hasil akhir. Pada bagian baur pada motor perlu pelumasan secara berkala dari waktu ke waktu agar motor dapat bekerja dengan baik. Sinkronisasi antara motor sangat penting untuk operasi yang benar. Selama proses menggambar harus diperhatikan.

#### 5. Daftar Acuan

[1] Kajal J. Madekar, Kranti R. Nanaware, Pooja R. Phadtare, Vikas S. Mane, "*Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling*", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 02 Feb 2016.

[2] Ismail N. Aman, Lateef M. Anas, "*Microcontroller – Based Plotter Machine*", Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences (NJES) Vol.21 No.3, 0218 pp.350 - 355

[3] Sundar Pandian, S. Raj Pandian, "*A Low-Cost Build-Your Own Three Axis CNC Mill Prototype*", International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER), Volume-2, Issue-1, 2014.

[4] Kajal J. Madekar, Kranti R. Nanaware, Pooja R. Phadtare, Vikas S. Mane, "*Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling*", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 02 Feb 2016.

[5] Verma, M, *WORKING, OPERATION AND TYPES OF ARDUINO MICROCONTROLLER*, 6(6), June 2017, pp. 155-158.

[6] Ahkmed K. Tanzim dkk, "*A Micro-Controller Controlled 3 Axis CNC Machine for Engraving and Designing*", School of Engineering and Computer Science., BRAC University., Dhaka, Bangladesh, 2017.

[7] Anubhavi S. Pawar, Monali J. Halunde, Shabanam M. Nayakawadi Ms. P. P. Mirajkar, "*3-AXIS DRAWING MACHINE*", 4(3), Mar 2017, pp. 693-697.

[8] Anubhavi S. Pawar, Monali J. Halunde, Shabanam M. Nayakawadi Ms. P. P. Mirajkar, "*3-AXIS DRAWING MACHINE*", 4(3), Mar 2017, pp. 693-697.

## Proses *Milling* PCB Menggunakan *Printer* 3D yang Berbasis Arduino Uno dan Driver CNC Shield V3

Andrian Kurnia<sup>1</sup>, Leonardus Heru Pratomo<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl.Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang 50234, Indonesia

Email : [Andriankurnia9a@gmail.com](mailto:Andriankurnia9a@gmail.com)

### Abstrak

Pada zaman sekarang yang telah memasuki era industri 4.0 yang dimana proses pembuatan untuk menghasilkan suatu produk diperlukan waktu hanya sebentar saja, hal ini didukung dengan peralatan yang sudah canggih dan maju pula. Dalam dunia elektronika khususnya pada pembuatan *Printed Circuit Board* (PCB) kini sudah bisa lebih cepat dalam prosesnya hal tersebut dapat terjadi berkat adanya alat *3D printing*, dengan bantuan alat ini pembuatan PCB akan lebih cepat, presisi dan otomatis. PCB merupakan komponen dasar dari rangkaian elektronika, menggunakan alat *3D printing* lapisan permukaan PCB akan dikikis sebagian yang disebut dengan proses *milling*. Proses *miling* rangkaian permukaan PCB berlangsung dengan otomatis dengan memasukan format *file* Gcode, DXF, dan Gbr yang sebelumnya telah dibuat pada aplikasi *copperCAM*. Dengan menggunakan metode ini dapat mengurangi pembuatan PCB dengan metode pelarutan atau menggunakan *feri chloride* (FeCL) sehingga menjadikan pembuatan PCB lebih efisien dan ramah lingkungan.

### Abstract

*In the era industry 4.0, where the manufacturing process to make product only take a short time, this is because the manufacturing was supported by sophisticated and advanced equipment as well. In the electronic world especially in the process of PCB manufacturing now are getting faster. This can be happen with 3d printing machine, with this device the process of making PCB become faster and automatically. PCB is basic component of the electronic circuit, the 3D printing process of making PCB will scrape the surface with milling method. the schematic. The milling process of creating PCB surface will become automatically by input Gcode, DXF, dan Gbr file format that has been create before using copperCAM application. Using this method will reduce the function of feri chloride (FeCL) in the making process of PCB also make the manufacturing more efficient and eco friendly.*

**Keywords :** PCB, 3D Printing, Proses Milling, Gcode

### 1. Pendahuluan

PCB atau *Printed Circuit Board* Merupakan suatu komponen atau bahan yang mempunyai jalur rangkaian yang dimana nantinya akan dipasang atau diletakkannya komponen elektronika. Untuk pembuatan PCB pada umumnya secara konvensional

yang membutuhkan beberapa proses, seperti mencetak pada kertas foto dahulu, lalu proses sablon gambar lalu menghilangkan kertas yang menempel di PCB[1], sehingga yang menempel hanya gambar rangkaiannya saja.

Awalnya printer hanya untuk mencetak gambar dan tulisan saja, namun dengan perkembangan

teknologi seperti saat ini *printer* akan berubah fungsi, saat ini teknologi *Printer 3D* dengan mesin tersebut pembuatan jalur rangkaian di PCB dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan mendetail sehingga teknologi ini menjadi tren pada saat ini, *printer 3D* saat ini sangatlah mahal hal ini dikarenakan konstruksi dan bahan yang rumit[2]. Berdasarkan uraian diatas dikembangkan Teknik lain untuk mengatasi keterbatasan ini, yaitu dengan proses milling secara langsung.

Pada makalah ini dibahas tentang 3D printing untuk menggambar PCB menggunakan proses *miling* yang dimana nanti lapisan tembaga akan dikikis sesuai gambar yang sudah ditentukan sebelumnya pada aplikasi *copperCAM* kemudian dikonversikan kedalam bentuk gerak yang dilakukan oleh motor stepper. Dengan adanya 3D *printing* ini pembuatan PCB akan lebih cepat dan menghemat waktu, didalam perancangan alat ini membutuhkan 3 buah motor stepper untuk sumbu yaitu sumbu X, Y, dan Z dan satu buah motor DC yang bertipe 775.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Komponen yang digunakan

Dalam implementasi alat ini membutuhkan *hardware* dan *software* pendukung untuk dapat menjalankan alat tersebut yang akan dijelaskan sebagai berikut :

#### a. Arduino Uno

Di dalam implementasi alat ini digunakan mikrokontroler arduino uno. Arduino uno merupakan mikrokontroler yang berbasis ATmega 328, yang didalamnya memiliki 14 pin *input* digital, dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol *reset*, dan arduino uno merupakan driver yang mudah dalam penggunaannya [3].



Gambar 1. Board Arduino uno

#### b. CNC Shield V3

CNC atau *Computer Numerical Control* adalah sebuah modul yang digunakan untuk mesin ukir, 3D *printing*,

dan perangkat yang berbasis CNC lainnya yang akan dipasang diatas mikrokontroler arduino. CNC *shield* sendiri mempunyai beberapa pin dan slot yang berfungsi sebagai input dan output dari beberapa komponen, seperti motor *stepper*, *limit endstop*, *emergency* dan lainnya. CNC dapat berkerja dengan prosen mengubah Gcode menjadi gerak mekanik pada motor stepper yang terhubung di CNC *shield*[2].



Gambar 2. CNC Shield V3

#### c. Motor Stepper

Mesin 3D *printing* ini, menggunakan motor stepper, sebagai atuator atau penggerak sumbu X, Y dan Z. Penentuan motor stepper didasarkan pada beban yang ditanggung oleh motor stepper dimana motor stepper menggerakkan sumbu X, Y dan Z. Sehingga motor stepper tersebut dapat dikendalikan dengan mudah dan memiliki ketelitian yang tinggi. Adapun motor yang digunakan pada perancangan alat ini adalah motor *stepper* model 17HS4401 dengan torsi 40 Nm minimal dan torsi maksimal 2.2 Nm[4].

Gambar 3. Motor stepper 17HS4401



#### c. Power Supply

Power supply adalah perangkat yang berfungsi penyedia utama daya tegangan dc bagi CNC controller, motor stepper, dan toll/ spindle. Fungsi dasar dari power supply ini dijaga konstan agar memberikan suplai yang optimal bagi motor dan spindle [5].



Gambar 4. Power Supply

c. Target 3001!

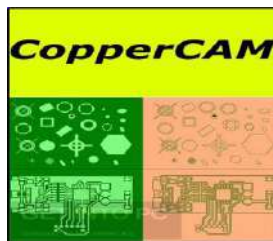
Target 3001! Merupakan *software* yang digunakan untuk membantu mendesain skema rangkaian elektronik pada PCB. Fitur komponen yang terdapat pada *software* cukup lengkap menjadikannya sebagai salah satu *software* yang banyak digunakan pada kalangan akademis.



Gambar 4. Tampilan utama dari *software* TARGET 3001

d. CopperCAM

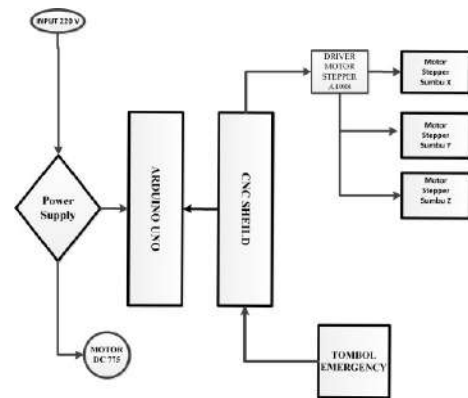
Untuk menjalankan mesin 3D *printing* ini harus memasukan *file Gcode* yang telah dibuat sebelumnya pada Target 3001 kemudian file tersebut dimasukan ke aplikasi *CopperCAM*. *CopperCAM* sendiri merupakan aplikasi yang digunakan untuk membuat jalur pengikisan sehingga mesin akan berjalan sesuai dengan yang telah ditentukan dalam aplikasi ini [6].



Gambar 5. Aplikasi *CopperCAM*

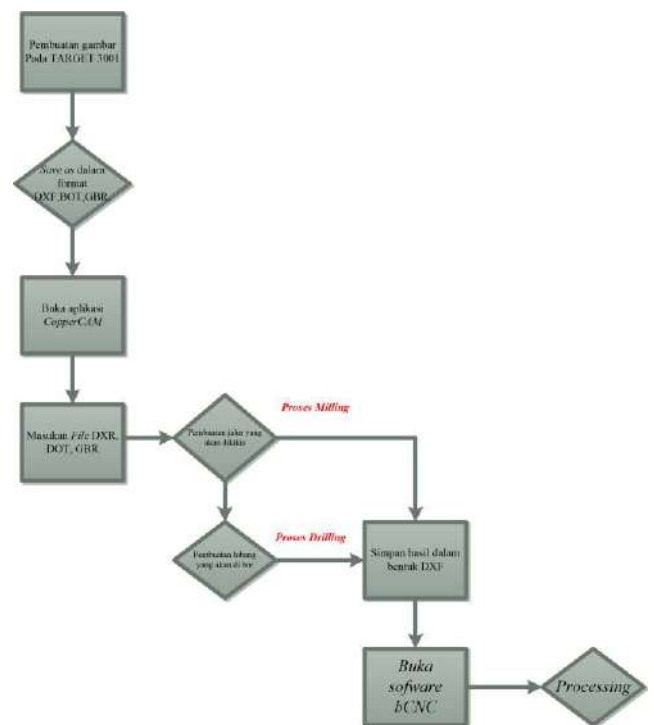
2.2 Perancangan dan cara kerja alat

Dalam perancangan alat ini membutuhkan 1 buah power supply bertegangan 12V dan 10A, input AC yaitu 110/220V. Power supply akan menyuplai tegangan 5V ke mikrokontroller arduino uno dan sebagai power untuk memutar motor DC. Motor yang dipakai untuk alat ini yaitu motor DC 755 yang memiliki tegangan 8V sampai 35 V [7]. Dibawah ini merupakan diagram perancangan dari alat yang dibuat sebagai berikut.



Gambar 6. Diagram perancangan alat

Berdasarkan Pada gambar 7 pemrosesan pcb dapat dilakukan dengan menentukan untuk proses *milling* atau proses *drilling*, adapun untung memproses keduanya. Untuk pemilihan tersebut dilakukan dalam *software* copperCAM pada saat pengeditan dan penyimpanan *file*.

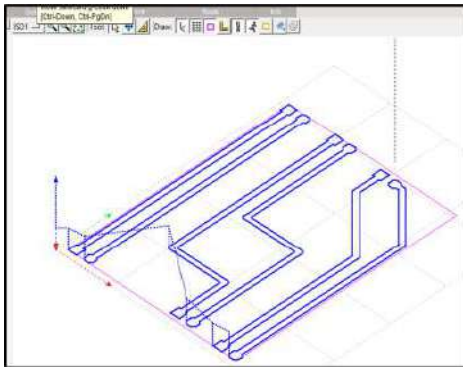


Gambar 7. Diagram proses *milling*

3. Hasil dan Pembahasan

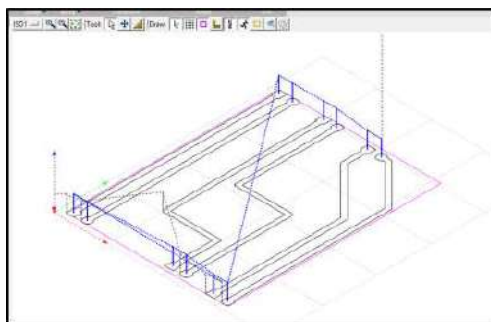
Setelah seluruh perangkat sudah dirakit, selanjutnya adalah proses *milling* yang dioperasikan lewat *software* bCNC yang dapat diunduh pada *website* resmi yaitu github. Pada proses ini menggunakan mata

bor khusus yang telah tersedia diberbagai toko *online* untuk ukurannya mulai dari 0,8 mm sampai dengan 3,17 mm sesuai dengan bentuk dari gambar yang dibuat. Selanjutnya pengujian alat yaitu memasukan file yang sudah siap, seperti pada gambar 8.



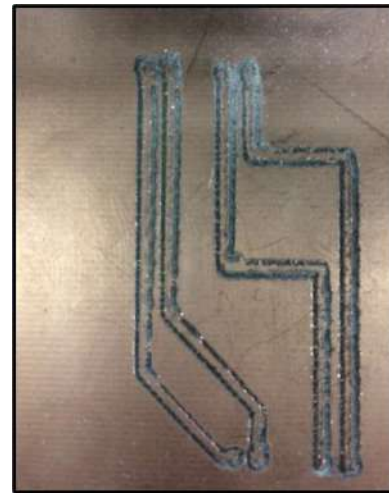
**Gambar 8. Gambar rangkaian yang akan diproses atau proses *milling***

Setelah memasukan gambar pada *software* bCNC, sesuaikan dengan sumbu yang ada, usahakan seperti pada gambar 8 diatas, lalu hubungkan USB mikrokontroller arduino pada laptop. Lalu lakukan konfigurasi sumbu X, Y, dan Z sehingga dalam posisi yang tepat dan lakukan *scan* agar dapat mengetahui lebar dari gambar tersebut. Pasang pula mata bor pada motor DC. Warna garis biru pada gambar 8 merupakan proses *milling* mata bor akan berjalan sesuai dengan garis biru tersebut.



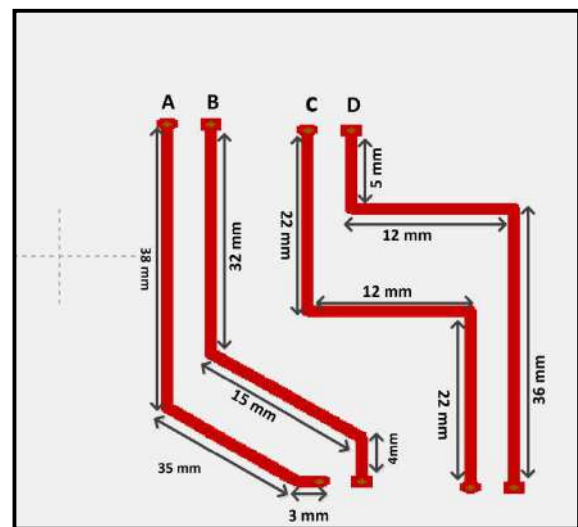
**Gambar 9. Proses *Drilling* atau proses pengelobangan**

Garis biru pada gambar 9 merupakan tanda untuk nantinya akan dilakukan pengeboran atau pengelobangan proses ini akan dilakukan setelah pembuatan gambar terlebih dahulu. Proses *milling* menggunakan mata bor dengan diameter 3.17 mm dan diameter ujungnya 0.5 mm



**Gambar 10. Hasil Proses *milling***

Pada gambar 10 hasil dari proses alat yang telah dibuat, dikarenakan mata bor yang telah digunakan sudah tidak tajam lagi sehingga gambaryang dihasilkan kurang maksimal.



**Gambar 11. Ukuran pada gambar akan dikikis**

Dalam gambar 11 proses tersebut membutuhkan waktu kurang lebih 6 menit untuk semua objek yang akan dikikis dengan ukuran bor 3.17 mm dan ujung yang berukuran 0,5 mm. berikut spesifikasi tabel ukuran, ketebalan dan waktu yang diperlukan.

Tabel 1. Spesifikasi ukuran objek pengujian

Objek	Ukuran	Waktu	Tebal
A	76 mm x 2	2 menit	2 mm
B	51 mm x 2	1 menit 20 detik	2 mm
C	56 mm x 2	1 menit 42 detik	2 mm
D	53 mm	1 menit 39 detik	2 mm
<b>Total</b>	236 mm	6 menit 41 detik	

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pembuatan mesin 3D *printing* untuk pcb ini, merupakan tugas akhir yang dilakukan untuk menjadikan suatu mesin 3D *printing* yang dapat dioperasikan dan dikendalikan dengan laptop, dapat diambil beberapa kesimpulan seperti.

1. Berdasarkan hasil pengujian untuk sumbu X, Y, dan Z dapat beroperasi dengan otomatis dan lancar, dapat membaca *file* Gcode dengan baik.
2. Keluaran dari gambar yang dihasilkan sesuai dengan masukan *file* Gcode yang sudah ada.
3. Berdasarkan hasil pengujian, ada sedikit yang harus diperbaiki pada breket motor Dc yang seringkali goyang, dan mata bor yang sudah tumpul sehingga terkadang hasilnya kurang rapi.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] T. Sukardiyono and U. N. Yogyakarta, "Metode pemanasan meningkatkan efisiensi dan kualitas pembuatan prt."
- [2] I. Yusuf, M. Prodi, D. T. Rekayasa, D. Jurusan, T. Mesin, and P. Negeri, "RANCANG BANGUN MESIN CNC DRILLING MENGGUNAKAN," vol. 3, no. 2, pp. 119–124, 2019.
- [3] Learn Sparkfun, "What is an Arduino," no. April, p. 2009, 2009.
- [4] MotionKing, "2 Phase Hybrid Stepper Motor," p. 1106, 2012.
- [5] Z. Zulfikar, L. T. Produksi, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Riau, "Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis," vol. 4, no. 2, pp. 2–7, 2017.
- [6] M. Windows, "C o p p e r C A M."
- [7] "Dc motor 775 12v 90w," p. 775.



## Rancang Bangun Panel Mesin Making Core Menggunakan Smart Relay Zelio di PT. Bakrie Autoparts

Jimmy Reynaldi<sup>1</sup>, Muhammad Reza Pahlevi<sup>2</sup>, Ismujianto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Otomasi Listrik Industri, Teknik elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia.

E-mail: jimmyreinaru@gmail.com, mrezapahlevi84@gmail.com

### Abstrak

Pada bidang manufaktur saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Ada berbagai produk yang dihasilkan dari proses manufaktur khususnya dari proses pengecoran logam (*casting*). Proses pengecoran dalam dunia industri digunakan untuk membuat benda dengan bentuk yang rumit, seperti benda berlubang dan lainnya. *Core Making* adalah pembuatan cetakan inti yang diletakkan di cetakan untuk pembuatan lubang atau rongga di dalam cetakan yang terbuat dari pasir khusus. Proses pembakaran atau pemanasan pasir menggunakan gas LPG dan heater sampai menjadi core sesuai yang diinginkan. Dalam proses *making core* diatur oleh smart relay Zelio SR3B261FU yang sudah diprogram melalui software ZelioSoft2. Smart relay dapat didefinisikan sebagai perangkat kendali yang dapat diprogram secara berulang-ulang untuk menjalankan instruksi logika, timer, counter, penjadwalan dengan internal RTC dan membaca data analog untuk proses batch. Tujuan menggunakan smart relay pada mesin making core untuk mengurangi relay-relay kontrol yang terdapat pada panel, menjadikan kerja mesin lebih efisien, mengurangi kesalahan prosedur kerja mesin dan menanggulangi masalah reject atau kegagalan produksi yang selama ini terjadi dengan jumlah reject 2-6 buah dalam 1 shift (7 jam) produksi mesin core. Hasil pengujian pembakaran pasir resin dengan waktu yang diatur dengan smart relay dengan kisaran waktu 300-320 detik mendapatkan hasil cetakan core yang sempurna.

*Keywords: Casting, Making Core, ZelioSoft2, Smart Relay, Resin*

### 1. Pendahuluan

Pada bidang manufaktur saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Ada berbagai produk yang dihasilkan dari proses manufaktur khususnya dari proses pengecoran logam (*casting*). Proses pengecoran dalam dunia industri digunakan untuk membuat benda dengan bentuk yang rumit, seperti benda berlubang dan lainnya.

Pada pembuatan produk *casting* terdapat beberapa proses yang meliputi *melting, pouring, making core, molding, finishing, sampling, inspection, dan painting*.

Proses *making core* adalah proses pembuatan cetakan untuk inti (*core*) atau rongga pada benda yang akan dibuat. Pembuatan inti (*core*) ini menggunakan bahan pasir resin yang akan dibakar sehingga bisa digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pengecoran[1].

Pada proses pembuatannya, core (inti) dibuat menggunakan mesin *Making Core* untuk mencetak pasir resin menjadi cetakan pasir untuk inti (*core*) atau rongga pada benda yang akan dibuat.

mesin making core adalah mesin pencetak profil untuk kebutuhan profil inti pengecoran logam, kondisi saat ini mesin core masih dioperasikan secara manual. Sehingga setiap proses nya masih bergantung pada operator dan waktu proses fluktuatif. PT. Bakrie Autoparts mulai menggunakan sistem kendali Smart Relay pada beberapa mesin core sebagai langkah untuk menanggulangi masalah reject atau kegagalan produksi yang selama ini terjadi dengan jumlah reject 2-6 buah dalam 1 shift (7 jam) produksi mesin core[2].

Pada penelitian ini dibuat rancang bangun sistem urutan kerja pada mesin *Making Core* menggunakan smart relay zelio SR3261FU yang akan diprogram melalui aplikasi zeliOSOFT2.

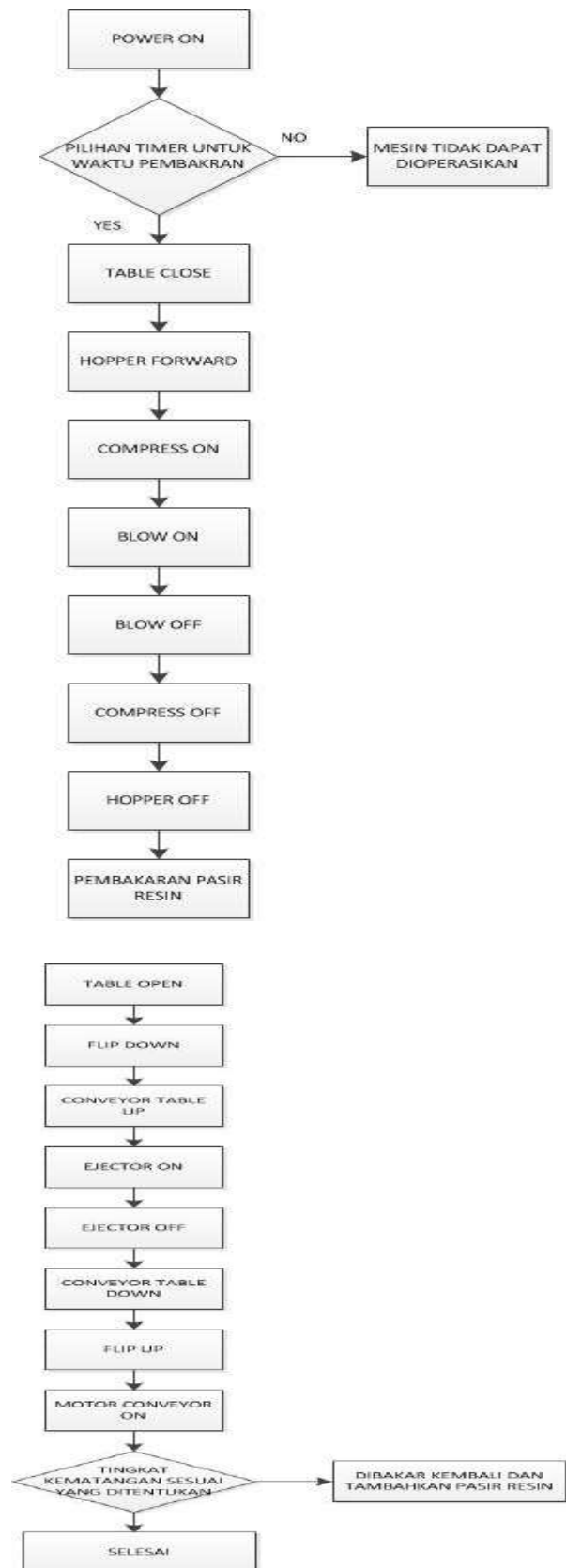
## 2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk membuat sistem kerja pada mesin Making Core. Langkah awal adalah menentukan komponen yang digunakan dan spesifikasinya seperti yang ada pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Mesin *Making Core*

No	Komponen	Spesifikasi
1.	Smart Relay Zelio	- Tipe SR3B261FU - Tegangan Input 100-240VAC
2.	Relay	- Input Tegangan 220VAC - Tegangan Kontak 24VDC dan 220VAC
3.	Catu Daya	- Input Tegangan 220VAC - Output Tegangan 24VDC
4.	Valve Pneumatic Kuroda	- Input Tegangan 220VAC
5.	Valve Pneumatic SMC	- Input Tegangan 24VDC
6.	Push Button	- Input Tegangan 220VAC
7.	Lampu Indikator	- Input Tegangan 220VAC dan 24VDC
8.	Counter Digital	- Input Tegangan 220VAC
9.	Display Timer	- Input Tegangan 220VAC

Tahap selanjutnya adalah membuat program urutan kerja mesin Making Core pada smart relay zelio menggunakan aplikasi zeliOSOFT2. Dalam sistem ini berjalan dengan semi otomatis karena pada pelaksanaannya masih membutuhkan operator untuk mengoperasikan mesin making core tersebut. Inilah flowchart urutan kerja pada mesin *Making Core* (Gambar 1).

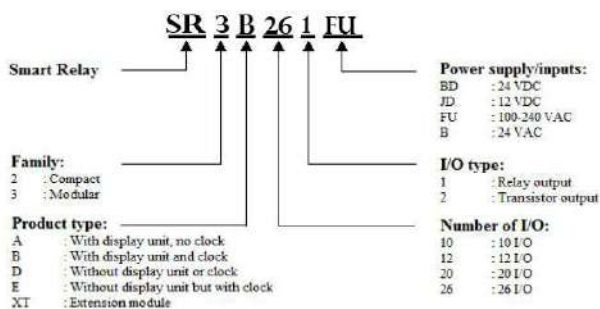


Gambar 1. flowchart urutan kerja mesin *Making Core*

Dalam membuat sistem bekerja maka digunakan smart relay Zelio SR3B261FU yang akan di program dengan aplikasi Zeliosoft.

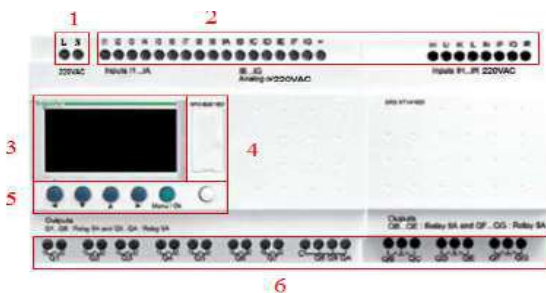
### Smart Relay Zelio SR3B261FU

Smart relay adalah suatu alat yang dapat diprogram oleh suatu bahasa tertentu yang biasa digunakan pada proses automasi[3]. Smart relay yang digunakan adalah tipe SR3261FU dan ekspansi modul SR3XT141FU. Adapun arti dari SR3B261FU adalah sebagai berikut :



Gambar 2. arti nomor seri smart relay Zelio

Zelio SR3261FU memiliki beberapa bagian yang dapat terlihat pada tampak depannya seperti gambar dibawah:



Gambar 3. Smart Relay Zelio SR3b261FU[4]

Bagian depan dari smart relay zelio SR3B261FU berdasarkan nomor pada gambar adalah sebagai berikut :

1. Terminal Power Supply Smart Relay (100-240 VAC)
2. Terminal koneksi masukan (*Input*) 100-240 VAC.
3. LCD Display dengan 4 garis dan 18 karakter
4. Slot untuk koneksi ke PC (*Personal Computer*), memori dan modem komunikasi.
5. 6 buah tombol untuk pemograman dan memasukkan parameter (4 tombol *navigation keys*, 1 tombol *selection & confirmation key* dan 1 tombol *shift key*).
6. Terminal koneksi keluaran (*Output*) 8 A.

### ZelioSoft2

Zelio Soft merupakan salah satu jenis perangkat lunak aplikasi yang digunakan untuk memprogram Smart Relay. Software ini dapat digunakan untuk memprogram semua tipe Smart Relay Zelio. Software ini cukup mudah penggunaannya dan mudah dipahami, sangat cocok bagi pemula yang ingin belajar memprogram smart relay maupun PLC[5].

Zelio Soft dapat digunakan untuk monitoring dan mensimulasikan suatu aplikasi yang telah diprogram serta bisa diprogram dengan dua metode yaitu dengan *Ladder Diagram (LD)* atau *Fuction Block Diagram (FBD)*. Selain itu software ini juga menyediakan tampilan yaitu *electric symbol* dan *ladder symbol*. Untuk memprogram smart relay yang digunakan 2, smart relay harus terhubung dengan komputer menggunakan kabel. Kabel yang digunakan terdapat 2 macam, yaitu pertama dengan menggunakan kabel SR2CBL01 untuk menghubungkan an modul ke PC melalui Serial Port dan kedua menggunakan kabel SR2USB01 untuk menghubungkan modul ke PC melalui USB Port.



Gambar 4. Kabel SR2CBL01 dan SR2USB01

## 3. Eksperimental

### Cara menggunakan ZelioSoft2

- Buka aplikasi ZelioSoft2 pada PC/Laptop anda.
- Klik “Create New Program”(Gambar 5)



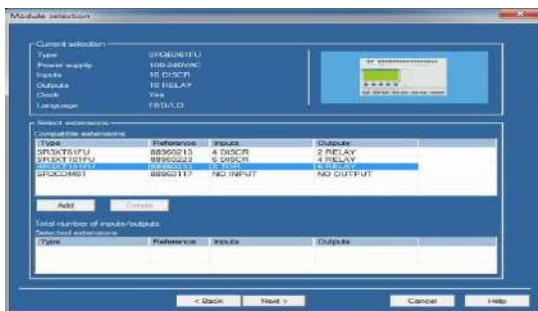
Gambar 5. Membuat program baru

- Pilih Modul yang digunakan lalu tekan “Next (Gambar 6)



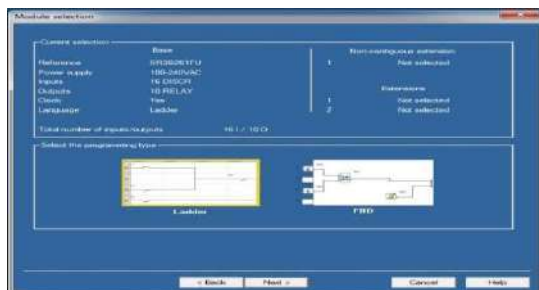
Gambar 6. Memilih modul yang digunakan

D. Pilih Modul ekspansi jika menggunakan Zelio tipe modular (Gambar 7)



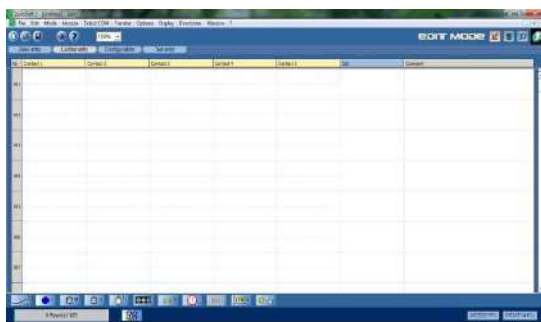
Gambar 7. Memilih modul ekspansi

E. Pilih jenis bahasa pemrograman ladder atau FDB lalu tekan "Next" (Gambar 8)



Gambar 8. Memilih bahasa pemrograman

F. Tampilan pemrograman ZelioSoft2 (Gambar 9)



Gambar 9. Tampilan software zelirosoft2

G. Jika ingin simulasi maka klik huruf "S" pada pojok kanan atas ZelioSoft2 (Gambar 10)



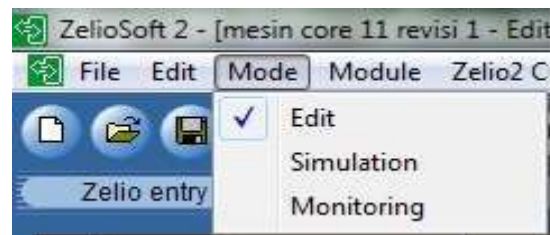
Gambar 10. Edit mode

H. Untuk menjalankan simulasinya tekan "Run" (Gambar 11)



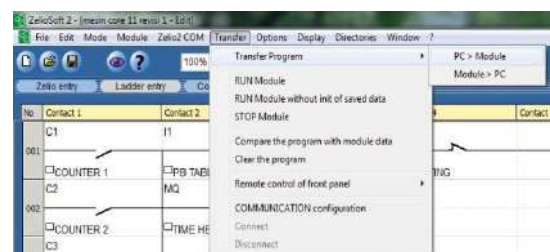
Gambar 11. Simulation Mode

I. Cara lain untuk mensimulasikan program klik "Mode" lalu Klik "Simulation" (gambar 12)



Gambar 12. Simulation Mode

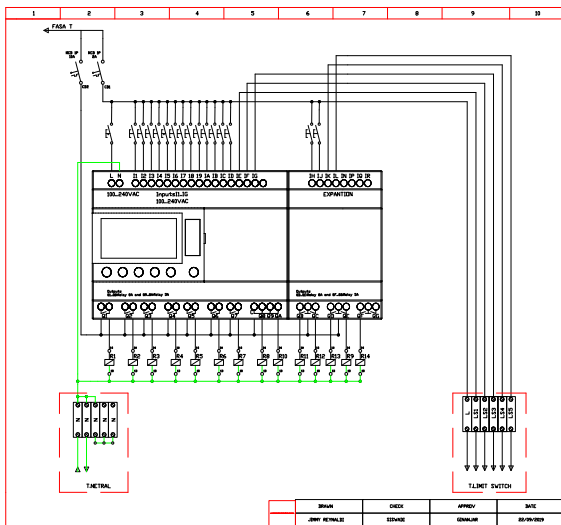
J. Untuk mentransfer program dari PC/Laptop ke Modul zelio klik "Transfer" lalu klik "Transfer Program" dan klik "PC>Module" (Gambar 13)



Gambar 13. Transfer Program

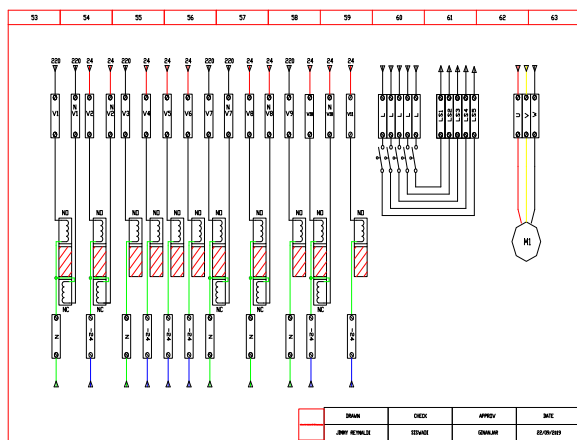
Gambar Instalasi Mesin Making Core

Gambar Instalasi pada smart relay zelio (Gambar 14)



Gambar 15. Instalasi Smart Relay Zelio

A. Gambar Instalasi pada output valve pneumatic (Gambar 16)



Gambar 16. Instalasi Valve Pneumatic

#### 4. Hasil dan Analisa

Setelah pembuatan alat sudah selesai maka dilakukan percobaan pembakaran pasir resin dengan waktu yang berbeda beda dengan panas api yang berada pada derajat yang sama. Dari percobaan tersebut didapatkan data seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Percobaan :

No.	Waktu	Status	Kondisi
1.	200 detik	Reject	Material belum matang
2.	250 detik	Reject	Material belum matang

.	300 detik	Good	Material sudah matang
4.	310 detik	Good	Material Matang Sempurna
5.	320 detik	Good	Material Matang Sempurna
6.	340detik	Reject	Material hangus/overcook

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa tingkat kematangan pasir resin berada pada waktu 300 detik – 320 detik, namun pada waktu 300 detik terkadang pasir yang dihasilkan belum terlalu matang sempurna dan mengakibatkan pasir resin sedikit patah. Pada waktu yang kurang dari 300 detik barang tersebut sangat mudah patah dan tidak dapat dipakai dan pada waktu diatas 320 detik maka pasir resin yang dihasilkan akan hangus dan mudah retak karena terlalu lama dipanaskan.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian mesin making core dapat disimpulkan bahwa Smart Relay Zelio pada mesin making core ini sangat bermanfaat karena dapat mengurangi penggunaan relay, mengurangi kesalahan prosedur kerja mesin dan menanggulangi masalah reject atau kegagalan produksi. Memprogram menggunakan ZelioSoft2 sangat mudah, tetapi terbatas karena memiliki memori yang sedikit dibandingkan PLC. Dari hasil percobaan tingkat kematangan pasir resin berada pada waktu 300 detik-320 detik.

#### 6. Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada PT. Bakrie Autoparts yang telah memberikan kesempatan untuk mencari ilmu di PT. Bakrie Autoparts.

#### 7. Daftar Acuan

- [1] M. F. Akbar, *Melting process pada pengecoran logam produk case bearing rt50 4x2 di pt. asian isuzu casting center.* 2016.
- [2] S. G. Fathurrahman Santosa, Zaki Maulana Irfan, Sonki Prasetya, "PERANCANGAN SISTEM KENDALI BERBASIS PLC PADA MESIN CORE DI PT. BAKRIE AUTOPARTS," *Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. NEGERI JAKARTA*, p. 122, 2018.
- [3] A. A. Rafiq, "Optimalisasi Smart Relay Zelio sebagai Kontroler Lampu dan Pendingin Ruangan," vol. 8, no. 2, p. 96, 2017.
- [4] Schneider Electric, "Smart relays Zelio Logic," 2011.
- [5] D. Marsudi, "Politeknik Negeri Sriwijaya 4," *Pembangkitan Energi List.*, vol. 7, no. 1, pp. 4–31, 2016

## Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Lima Tingkat Menggunakan DSPIC30F4012

Yova Christiana Agustin<sup>1</sup>, Slamet Riyadi<sup>2</sup> dan Leonardus H. Pratomo<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, 50234, Indonesia

E-mail: [yovachristiana@gmail.com](mailto:yovachristiana@gmail.com)

### Abstrak

Pada sistem energi tenaga listrik, inverter adalah perangkat yang sangat penting, berkat kehadiran inverter, energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga, inverter berfungsi sebagai pengubah tegangan (*Direct Current /DC*) menjadi tegangan (*Alternating Current /AC*). Inverter konvensional tipe *full bridges* sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari, namun mempunyai kualitas keluaran yang buruk dikarenakan mempunyai harmonisa yang tinggi pada keluarannya. Inverter multilevel diciptakan untuk memperbaiki gelombang keluaran inverter konvensional dan keterbatasan spesifikasi saklar statik. Pada *paper* ini menyajikan hasil penelitian tentang *inverter* lima tingkat dengan Modulasi Lebar Pulsa Sinusoidal (MLPS) dengan konfigurasi pensaklaran yang lebih sederhana, menghasilkan kualitas keluaran yang lebih baik dibanding inverter multilevel konvensional dioda clamp dengan konfigurasi pensaklaran konvensional. Konfigurasi rangkaian daya inverter lima level yang diajukan ini dibagi menjadi dua bagian. Pada bagian (A) memiliki frekuensi pensaklaran yang tinggi untuk menghasilkan level tegangan dan bagian (B) memiliki frekuensi rendah untuk menghasilkan polaritas (50 Hz). simulasi komputasional dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *PSIM*. Sebagai verifikasi, implementasi prototipe perangkat keras dilakukan dan diuji di laboratorium. *Digital Signal Controller* tipe dsPIC 30F4012 digunakan untuk membangkitkan sinyal MLPS untuk mengendalikan *inverter* lima tingkat. Berdasarkan hasil pengujian keluaran inverter, sistem yang diajukan ini dapat berjalan dengan baik dan memiliki tingkat distorsi gelombang (THD) sebesar 3.42%.

### ABSTRACT

In an electric power system, the presence of inverter is a very important, inverter is used to conduct power conversion from Direct current DC to alternating current AC, so the output of inverter can be used as a source to supply the utility. Conventional inverters such as full bridge type inverter are often implemented in the power system, but it has poor output quality, it has higher THD out of IEEE standard 5 %. Multilevel inverters are made overcome the disadvantages of conventional inverter and the limitations of static switch specifications. this paper, presents a five level multilevel inverter with modified Sinusoidal Pulse With Modulation (SPWM) control strategy with simpler configurations switching. This method produces better output quality than conventional multilevel inverter using conventional switching configurations. The proposed five-level inverter power circuit configuration is divided into two stage. In stage (A) has higher frequency switching to produce level voltage and stage (B) that have lower frequency switching to produce polarity (50 Hz). Computational simulation is done by using PSIM software. Hardware implementation is tested in the laboratory and the output is checked by using digital power meter. A Digital Signal Controller dsPIC 30F4012 used as a core with injected SPWM to conduct switching strategy in this proposed a five-level inverter. Based on verification, the system can work well and the amount of (THD) is in IEEE standard 3,42%.

*Keywords* : Five level Inverter, Sinusoidal Pulse With Modulation, THD, dsPIC 30F4012.



## 1. Pendahuluan

Peningkatan permintaan listrik menggunakan sumber daya terbarukan seperti matahari, angin, air dan sumber daya lainnya semakin diminati, namun dalam penggunaan sistem terbarukan mengkonversikan tegangan DC dalam sistem tenaga membutuhkan inverter sebagai alat pengkonversi untuk mengubah besaran listrik dalam bentuk arus DC (*Direct Current*) diubah menjadi arus AC (*Alternating Current*). Supaya dapat menggunakan listrik dalam kehidupan sehari-hari digunakan alat yang berfungsi menghasilkan tegangan arus bolak balik (*Alternating Current/AC*) maka dibuatlah inverter yang berfungsi mengkonversikan tegangan dan arus searah DC menjadi tegangan dan arus bolak balik. AC [1]. Pada umumnya *inverter* yang digunakan adalah *inverter* konvensional tipe *bridge*, namun dalam penggunaannya inverter konvensional mempunyai bentuk gelombang keluaran yang kurang baik seperti timbulnya gangguan harmonisa sehingga dapat memperpendek umur suatu perangkat elektronik [1]. Banyak kerugian yang timbul, salah satunya peralatan listrik akan menjadi lebih cepat panas yang dapat terjadinya kegagalan isolasi yang berujung makin pendek umur dan kerusakan dari peralatan [2].

*Inverter* bertingkat hadir untuk memperbaiki *inverter* konvensional tersebut. Metode ini dilakukan untuk menghasilkan keluaran yang memiliki kualitas baik dilihat dari sisi tingkat kecacatan gelombang. Tegangan keluaran yang diperoleh dari *inverter* bertingkat lebih unggul dalam kualitas dan membutuhkan lebih sedikit kebutuhan tapis sehingga mengurangi sistem keseluruhan. Tegangan keluaran dari *inverter* bertingkat akan ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah levelnya [3]. Kelemahannya adalah dalam proses pensaklaran, dikarenakan timbulnya rugi-rugi pada saklar sehingga proses *switching* kurang efisien dikarenakan banyaknya saklar yang dipakai untuk membentuk tingkat tegangan [4].

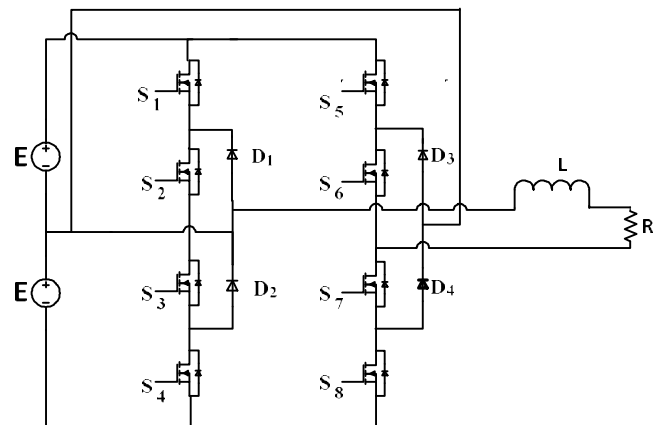
Secara umum terdapat tiga tipe *inverter* multilevel, antara lain : *inverter* multilevel tipe *diode clamped*, *inverter* multilevel tipe *Flying Capacitor*, dan *inverter* multilevel tipe jembatan *cascade*. *Inverter* multilevel tersebut mempunyai beberapa kelemahan [5]. Untuk tipe *diode clamped* pada rangkaian daya dibutuhkan beberapa dioda cepat untuk penunjang bergantung pada jumlah saklar [6]. Untuk *inverter* tipe *flying capacitor* pada rangkaian daya dibutuhkan beberapa kapasitor untuk penunjang bergantung pada jumlah saklar dan kapasitor satu dengan yang lain bernilai sama [7]. Sedangkan pada *inverter* tipe jembatan *cascade* pada rangkaian daya membutuhkan nilai sumber DC lebih besar bergantung pada jumlah saklar yang digunakan [8].

Pada *paper* ini akan dibahas tentang *inverter* lima level dengan teknik Modulasi Lebar pulsa (MLPS) untuk

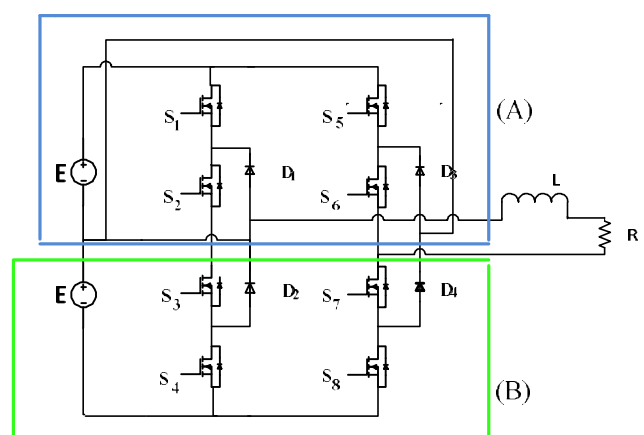
mengontrol saklar elektronik (IGBT). Suatu analisis diturunkan berdasarkan mode-mode operasi yang terjadi dalam satu siklus. Dari mode operasi diturunkan system kendali yang memungkinkan untuk mengurangi rugi-rugi dengan cara satu sisi dari *inverter* lima tingkat dikendalikan menggunakan frekuensi jala-jala. Setelah metode kendali berbasis MLPS didapatkan dilakukan ujicoba simulasi dan sebagai akhir dilakukan uji coba dan implementasi perangkat keras di laboratorium. Sistem kendali yang digunakan berbasis mikrokontroler jenis DSPIC 30F4012.

## 2. Metode Penelitian

Pada inverter multilevel lima tingkat ini ada delapan saklar, di mana empat saklar aktif, empat saklar pasif dan dua sumber DC (E) yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian daya inverter lima level



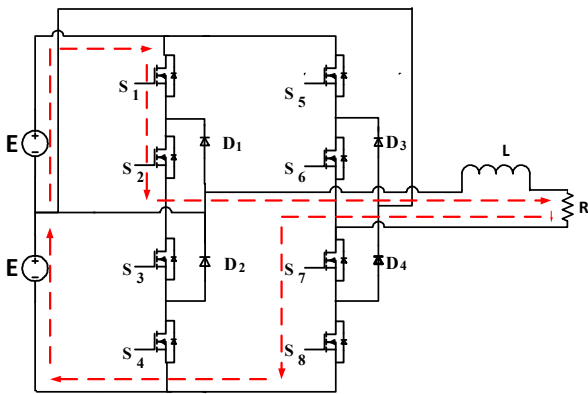
Gambar 1. Pembagian tahap saklar

Pada bagian (A) dijelaskan bahwa  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_5$ , dan  $S_6$  berisikan Modulasi Lebar Pulsa untuk membentuk tegangan level dengan frekuensi *switching* yang tinggi sebesar 5000 Hz.

Pada bagian (B) dijelaskan bahwa  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_7$  dan  $S_8$  berisikan keluaran arus nol yang berisikan sinyal kotak untuk membentuk polaritas sebesar 50 Hz.

## 2.2 Mode operasi inverter

Inverter lima level ini memiliki dua siklus, yaitu siklus positif dan siklus negatif. Gambar 2-7 menunjukkan mode operasi keluaran inverter lima level.

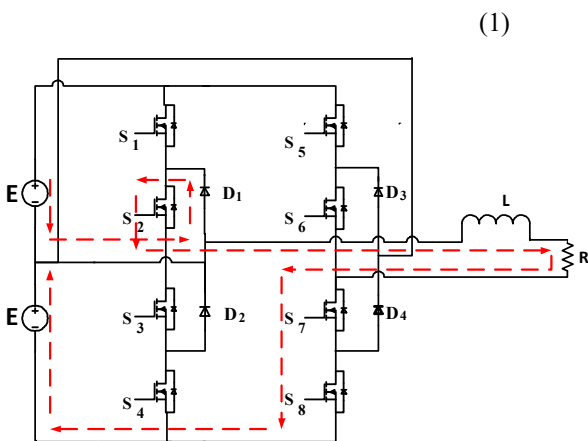


Gambar 2. Rangkaian daya inverter lima level mode operasi 1

Mode operasi 1. Keluaran maksimal positif (+2E).  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  = ON, saklar lainnya OFF. Rumus mode operasi 2 adalah:

$$2E = L \frac{di_2}{dt} + V_o$$

$$L\Delta i_2 = (2E - V_o)t_{ON}$$



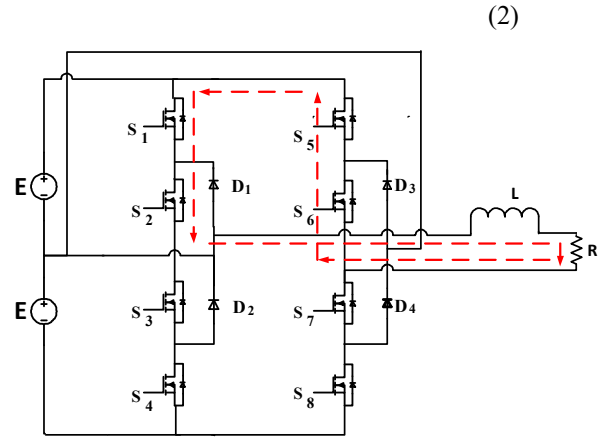
Gambar 3. Rangkaian daya inverter lima level mode operasi 2

Mode operasi 2. Keluaran maksimal positif (+E).  $S_2$ ,  $S_7$  &  $S_8$  = ON, saklar lainnya OFF. Rumus mode operasi 1 adalah:

$$V_{IN} = V_L + V_o$$

$$E = L \frac{di}{dt} + V_o$$

$$L\Delta i_1 = (1E - V_o)t_{ON}$$

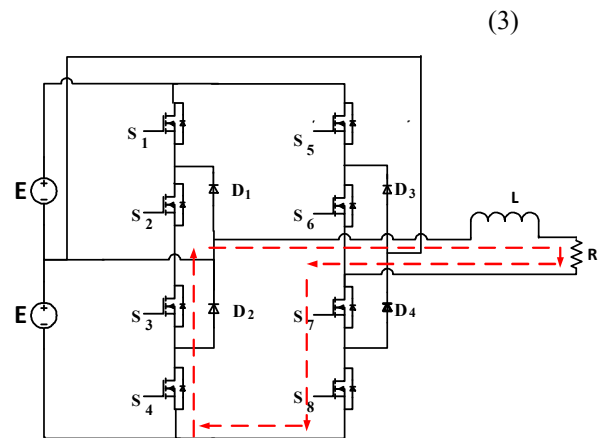


Gambar 4. Rangkaian daya inverter lima level mode operasi 3.

Mode operasi 3. Keluaran nol. Mode ini arus mengalir dari  $S_1$ ,  $S_2$  kemudian ke beban dan kembali lagi melalui saklar  $S_6$  dan  $S_5$  looping dibagian beban.

$$V_o = L \frac{di}{dt}$$

$$L\Delta i_0 = [V_o]t_{OFF}$$

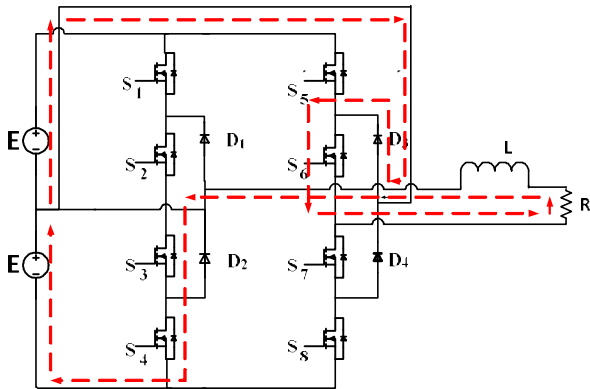


Gambar 5. Rangkaian daya inverter lima level mode operasi 4.

Mode operasi 4. Keluaran nol. Mode ini arus mengalir dari  $S_3$ ,  $S_4$  kemudian ke beban dan kembali lagi melalui saklar  $S_8$  dan  $S_7$  looping dibagian beban.

$$V_o = L \frac{di}{dt}$$

$$L\Delta i_0 = [V_o]t_{OFF}$$

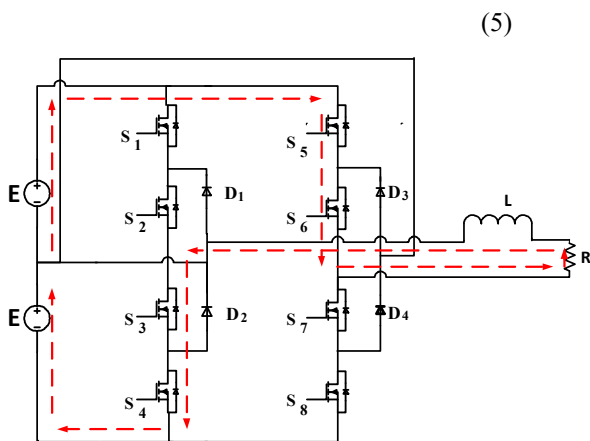


Gambar 6. Rangkaian daya inverter lima level mode operasi 5.

Mode operasi 5. Keluaran maksimum negative (-E).  $S_3, S_4, S_5, S_6 = ON$ , saklar lainnya OFF. Rumus mode operasi 4.

$$-E = L \frac{di_1}{dt} + V_o$$

$$L\Delta i_1 = (1E - V_o)ton$$



Gambar 7. Rangkaian daya inverter lima level mode operasi 6.

Mode operasi 6. Keluaran maksimum negative (-2E).  $S_3, S_4, S_5, S_6 = ON$ , saklar lainnya OFF. Rumus mode operasi 3.

$$-2E = L \frac{di_2}{dt} + V_o$$

$$L\Delta i_2 = (2E - V_o)ton$$

(6)

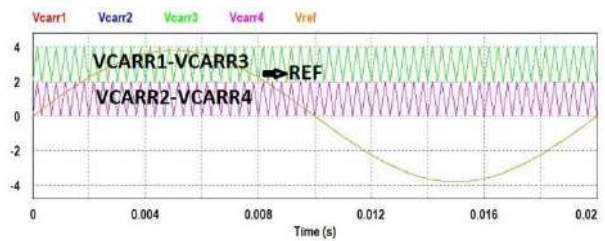
Berdasarkan mode operasi diatas dibuatlah sebuah tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Mode operasi pensaklaran

Operation	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	V <sub>out</sub>
1	1	1	0	0	1	1	0	0	2E
2	0	1	0	0	0	0	1	1	E
3	0	0	1	1	0	0	1	1	0
4	1	1	0	0	1	1	0	0	0
5	0	0	1	1	0	1	0	0	-E
6	0	0	1	1	1	1	0	0	-2E

Topologi inverter ini menggunakan 2 buah sumber DC dan salah satu sumber bernilai 25 V sehingga tegangan maksimal bernilai 50 V.

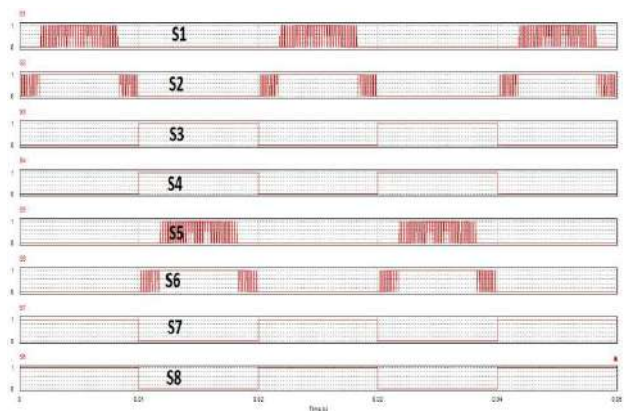
Inverter ini menggunakan mikrokontrol tipe DSPIC 30F4012 untuk membentuk sinyal MLPS dengan data *look up table* yang dimasukkan dalam program mikro C. Kemudian sinyal *carrier* dan sinyal referensi dikomparasikan untuk mengaktifkan saklar ON. Untuk pembuatan alat inverter menggunakan IGBT tipe SK 20 MLI 066 sebagai pensaklaran dan menggunakan TLP tipe 250 untuk rangkaian *driver*.



Gambar 8. Sinyal *carrier* dan sinyal referensi pada simulasi

Pada gambar 8 sinyal *carrier*1 dan sinyal *carrier*3 bertumpang tindih sama dengan sinyal *carrier*2 dan sinyal *carrier*4. Untuk sinyal referensi ini mencakup sisi positif dan sisi negatif.

Didapatkan pada simulasi untuk PWM S<sub>1</sub>-S<sub>8</sub>



Gambar 9. PWM S<sub>1</sub>-S<sub>8</sub> pada power simulator

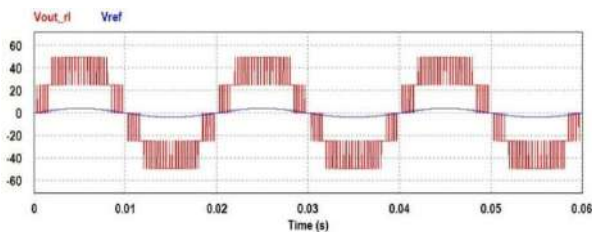
### 3. Hasil dan Pembahasan

Dibawah ini adalah parameter inverter pada simulasi dan uji coba alat pada laboratorium.

Tabel 2. Parameter yang dipakai

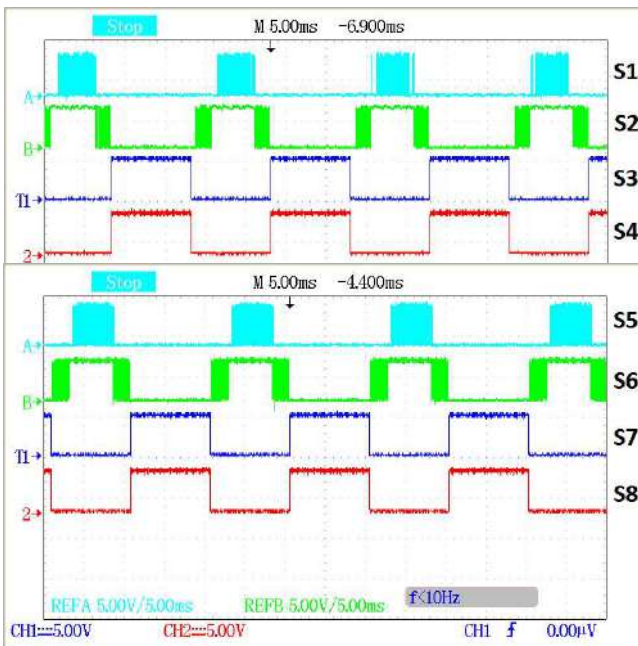
PARAMETER	SATUAN
Tegangan	50V
Induktor	7.5mH
Beban	62 Ohm

Berikut ini adalah hasil simulasi inverter lima level pada power simulator.

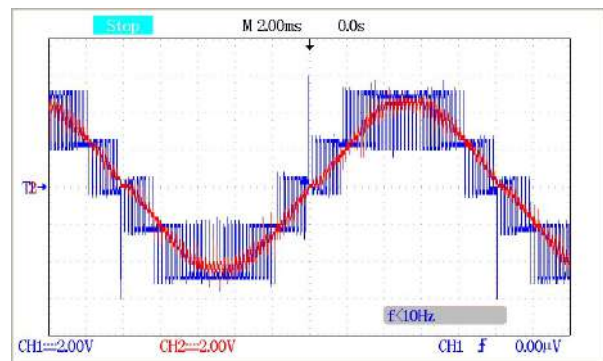


Gambar 10. Hasil simulasi inverter

Berikut ini hasil uji coba pada laboratorium menggunakan oskiloskop.

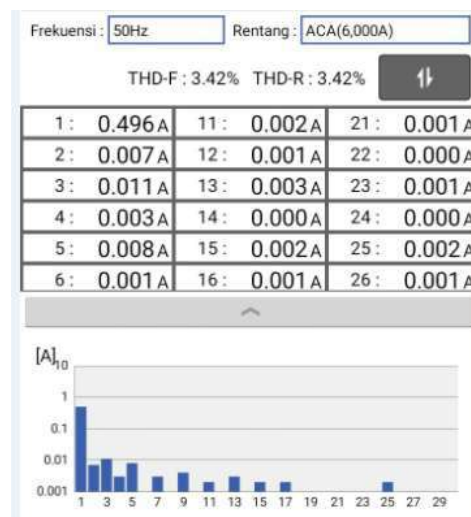


Gambar 11. Hasil keluaran PWM pada oskiloskop



Gambar 12. Hasil keluaran inverter pada oskiloskop

Dari hasil simulasi dan pembuatan alat pada laboratorium didapatkan hasil yang sama membentuk tegangan tingkat sebanyak lima level. Inverter dengan mode operasi ini mampu mengurangi stress tegangan yang didapat pada komponen saklar daya. Pengujian kualitas keluaran inverter dilakukan dengan cara melakukan pengujian *Total Harmonic Distortion* dengan menggunakan *digital power meter* HIOKI.



Gambar 13. Pengukuran THD menggunakan HIOKI

Dari hasil pengujian THD inverter multilevel ini mempunyai THD yang sangat baik yaitu 3,42%.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian alat dilaboratorium bahwa inverter lima level dengan metode yang diajukan tersebut mempunyai keluaran yang sesuai dengan standar IEEE yaitu THD senilai 3,42% yang berarti bahwa alat tersebut mempunyai kualitas yang baik tidak melampaui batas yang ditetapkan oleh IEEE senilai 5% [9]. Dengan hasil THD yang rendah tersebut membuktikan bahwa alat yang

dibuat dapat diaplikasikan sebagai salah satu sumber tegangan yang baik.

## **5. Daftar Acuan**

- [1] IEEE Std.519 TM 2014 " Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.
- [2] Atul A. Joshi and Ravindrakumar M. Nagarale, "Resonant Controller to Minimize THD for PWM Inverter", IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 10, Issue 3 Ver. III (May – Jun. 2015), pp. 49-53.
- [3] A.Nabae, I.Takahshi and A.Akagi," A new neutral point clamped PWM inverter. ,"IEEE Trans. Ind. Application May 2014
- [4] Tzung-Lin Lee.,Yen-Ching Wang., Jian-Cheng Li., Josep M. Guerrero., "Hybrid Active Filter With Variable Conductance for Harmonic Resonance Suppression in Industrial power System", IEEE Transaction on industrial electronic, vol 62, no 2, february. 2015.
- [5] Atul A. Joshi and Ravindrakumar M. Nagarale, "Resonant Controller to Minimize THD for PWM Inverter", IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 10, Issue 3 Ver. III (May – Jun. 2015), pp. 49-53.
- [6] R. Chaturvedi, "A Single Phase Diode Clamped Multilevel Inverter and its Switching Function," *J. Innov. trends Sci. Pharm. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 2–5, 2014.
- [7] J. Ebrahimi and H. R. Karshenas, "A new reduced-component hybridflying capacitor multicell converter, "IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 2, pp. 912–921, Feb 2017.
- [8] B. R. Praveen, "Design and Implementation of Cascade H Bridge Multilevel Inverter NC3PS-2016," pp. 129–134.
- [9] Ananda A S, Manjesh, "Analysis and comparison of THD in Five Phase PWM Inverter drive using Resonant Filter," *International Journal of Advance Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3 issue. 3, 2014.

# IDENTIFIKASI DAN PENINGKATAN KINERJA TRANSFORMATOR GIS DUREN TIGA 150/20 kV DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* DAN FILTRASI

Fahreza Rizky Ramadhan<sup>1</sup>, Fauzan Amrullah<sup>1</sup>, Kusnadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro/Teknik Otomasi Listrik Industri, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, 16424, Indonesia

E-mail: [fahreza.ramadhan54@gmail.com](mailto:fahreza.ramadhan54@gmail.com), [amrullahzan@gmail.com](mailto:amrullahzan@gmail.com)

## Abstrak

Dalam penyaluran energi listrik pada jaringan transmisi, terdapat transformator yang berfungsi menaikkan ataupun menurunkan tegangan dengan nilai frekuensi yang sama. Sehingga pasokan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang berada jauh sekalipun dapat disalurkan dan dirasakan oleh masyarakat baik itu kalangan industri ataupun perumahan. Terlepas dari semua itu, transformator juga harus dipelihara dan diperhatikan setiap waktu agar mencegah timbulnya gangguan. Di dalam transformator terdapat minyak transformator yang berfungsi sebagai tahanan isolasi serta pendingin gulungan primer dan sekunder. Minyak transformator juga harus dipelihara setiap waktu, faktanya minyak transformator mengandung senyawa hidrokarbon, dimana senyawa tersebut akan terurai menjadi gas yang terlarut didalam minyak apabila terjadi ketidaknormalan seperti *overheating*, *corona* ataupun *arching*. Gas inilah yang dapat menyebabkan transformator tidak dapat bekerja secara optimal. penelitian ini dibuat untuk memahami bagaimana sistem filtrasi yang baik dan benar, dan mengetahui dampak apa saja yang terjadi akibat dari ketidaknormalan yang dialami transformator sehingga menjaga umur transformator lebih lama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformator dapat bekerja dengan optimal kembali setelah dilakukan filtrasi, hal ini dapat dilihat dari besarnya tegangan tembus, menurunnya kadar asam, kadar air, tegangan antar muka, dan kandungan gas terlarut dalam minyak berdasarkan data pengujian.

*Keywords: Filtrasi, Maintenance.Oil, Purification, Transformator*

## 1. Pendahuluan

Perusahaan Listrik Negara terus menjaga gawainya agar selalu andal sehingga masyarakat dapat merasakan manfaat listrik dalam jangka waktu yang lama. Pada sistem tenaga listrikan terdapat berbagai macam peralatan listrik yang diharuskan untuk selalu menyala setiap waktu, semua itu bertujuan agar masyarakat dapat merasakan manfaat listrik setiap saat. Setiap peralatan listrik memiliki umurnya masing-masing. Seiring berjalannya waktu peralatan yang dipakai akan rusak apabila tidak diperhatikan betul-betul faktor apa saja yang dapat menyebabkan penurunan umur pada suatu peralatan listrik.

Transformator adalah salah satu peralatan listrik yang tidak kalah penting, pasalnya transformator berfungsi meminimalisir rugi-rugi tegangan saat mengalirkan pasokan energi listrik dari sisi pembangkit ke konsumen. Didalam transformator terdapat inti besi yang dililit dengan kumparan tembaga, bagian ini secara aktif menghasilkan energi panas. Pemakaian transformator secara terus menerus dapat menimbulkan titik panas

yang biasa disebut *hot spot*, timbulnya titik panas inilah yang menyebabkan kualitas isolasi kertas dan isolasi minyak pada transformator akan semakin memburuk akibat pemakaian dalam jangka waktu lama.

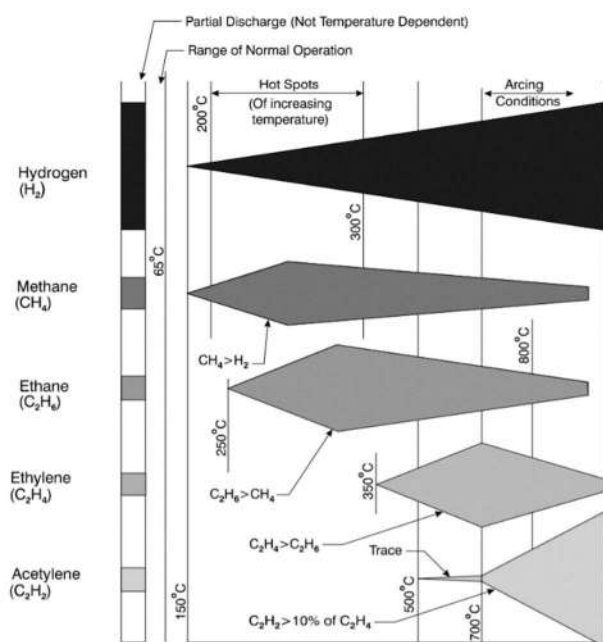
Pada umumnya minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon, senyawa ini terdiri dari unsur-unsur hidrogen dan karbon, yang mana pada reaksi termal tertentu senyawa ini dapat terurai menjadi berbagai macam zat kimia yang mudah terbakar (*combustible gas*) dan akan terlarut didalam minyak isolasi itu sendiri. Jika kandungan zat kimia ini terlampaui tingginya dapat membuat kualitas isolasi minyak dan isolasi kertas memburuk, buruknya kualitas isolasi minyak akan menyebabkan transformator bekerja secara tidak normal, akibatnya energi panas dan energi listrik yang dihasilkan transformator akan mengalami kenaikan suhu yang cukup signifikan dan menimbulkan gangguan kelistrikan lainnya.

Minyak pada transformator mengandung senyawa hidrokarbon yang dapat membentuk gas mudah terbakar



yang dapat larut dalam minyak isolasi. Gas tersebut antara lain *Hydrogen, methane, ethane, ethylene, acetylene*..

Terjadinya kegagalan termal ataupun elektrik pada transformator mengakibatkan pemecahan beberapa ikatan unsur hidrokarbon yang nantinya akan berkombinasi menghasilkan molekul-molekul gas mudah terbakar (*combustible gas*) yang dikenal dengan istilah *fault gas*. Gas ini mudah terbakar apabila timbul percikan (*partial discharge*) maka akan terjadi pembakaran yang dapat membahayakan transformator.



Gambar 1. Grafik Pembentukan Gas Terhadap Kenaikan Temperatur [1]

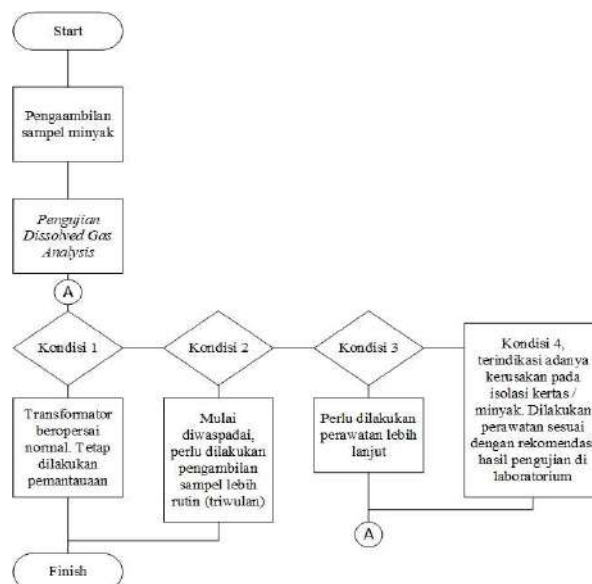
Gambar 1 menjelaskan jenis *fault gas* yang mudah terbakar (*combustible gas*) yang terbentuk terhadap kenaikan suhu pada minyak transformator. Nilai temperature tersebut bukanlah nilai yang baku, melainkan hanya pendekatan/aproksimasi. Pada suhu sekitar mencapai ± 150°C, gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) mulai terbentuk. Gas etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) terbentuk pada saat mencapai suhu sekitar ± 250°C. Saat suhu mencapai sekitar ± 350°C gas etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) terbentuk. Gas asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) saat suhu mencapai diatas ± 500°C, gas asetilen sudah terindikasi dan mulai terbentuk saat suhu mencapai ± 700°C. Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat metana, etana, dan etilen pada saat mencapai suhu puncak, gas tersebut akan menurun seiring kenaikan suhu, sementara untuk gas hidrogen meningkat seiring kenaikan suhu.

Gas etana dan etilen disebut “gas logam panas” (*hot metal gases*) [1]. Produksi gas berlebih pada minyak

isolasi dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi kertas, kenaikan suhu transformator secara signifikan dan gangguan elektrik lainnya,

Maka dari itu untuk menjaga keandalan kinerja pada transformator harus dilakukan pengujian untuk mengetahui keadaan isolasi minyak transformator, yakni dengan menggunakan metode pengujian Analisis Gas Terlarut (*Dissolved Gas Analysis*), dan metode pengujian karakteristik minyak seperti kandungan air, kadar asam, tegangan tembus, dan lain sebagainya. Dari kedua metode pengujian tersebut dihasilkan data uji pada parameter yang diujikan, sehingga dapat diketahui apakah minyak isolasi tersebut masih layak digunakan atau tidak. Jika tidak maka perlu dilakukan perawatan minyak transformator sesuai dengan rekomendasi yang diberikan.

## 2. Metode Penelitian



Gambar 2. Diagram *flowchart* proses pengambilan sampel minyak isolasi dan tindakan yang dilakukan

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat proses pengambilan sampel minyak yang disertakan pengujian DGA untuk mengetahui kondisi minyak pada transformator. Kondisi tersebut terbagi menjadi empat kondisi dimana setiap kondisi akan dilakukan tindakan yang berbeda pula seperti yang sudah dijelaskan didalam gambar 2. Pada gambar 2 “A” tindakan yang dilakukan sesuai dengan rekomendasi dan perhitungan ekonomis adalah melakukan filtrasi online dengan MICAFLUID sampai kondisi 3 atau 4 menjadi kondisi 1 ataupun kondisi 2.

Pemeliharaan minyak isolasi yang dilakukan pada transformator GIS Duren Tiga, menggunakan metode pemeliharaan terjadwal untuk mencegah meluasnya kerusakan yang diakibatkan dari kondisi minyak isolasi

dan kertas isolasi yang buruk. Sehingga transformator dapat bekerja secara optimal. Intensitas pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan dari hasil pengujian sebelumnya. pada kasus ini pemeliharaan dilakukan dalam jangka waktu tiga bulan.

### Pengambilan Sampel Minyak Untuk Uji Karakteristik.



**Gambar 3. Pengambilan sampel minyak uji karakteristik**

1. Langkah pertama adalah membersihkan selang silicon terlebih dahulu.
2. Kemudian pasang konektor pada sisi tangka yang akan diuji kemudian masukkan selang kedalam konektor.
3. Putar *valve* hingga minyak transformator keluar jangan lupa untuk sediakan ember sebagai wadah minyak transformator.
4. kemudian ambil botol untuk sampel uji karakteristik, bilas dengan minyak transformator sebanyak 3 kali hingga bersih dari debu dan partikel lainnya.
5. Setelah bersih, isi penuh botol sampel uji karakteristik dengan minyak transformator kemudian ukur suhunya dengan thermometer setelah itu tutup rapat.

### Pengambilan Sampel Minyak Untuk Uji DGA



**Gambar 4. Pengambilan sampel minyak uji DGA**

1. Bersihkan terlebih dahulu *syringe* dan *stopcock* dengan tissue dari minyak sisa pengujian sebelumnya. Kemudian pasang selang pada bagian ujung *stopcock* dan kecangkan usahakan kedap dari udara.
2. Buka perlahan *stopcock* dan putar katup diarah posisi jam 3 sehingga minyak akan mengalir kemudian mengisi *syringe* isilah hingga didapatkan 50cc. kemudian tutup katup *stopcock* pada posisi jam 6 agar sampel terkunci rapat.

3. Buang kembali minyak transformator dengan memutar katup pada pisisi 12, hal ini dilakukan untuk memberishkan syringe dari debu dan partikel-partikel lain yang tidak dibutuhkan dalam pengujian.
4. Lakukan pembilasan hingga 3 kali. Setelah itu isi kembali sampel 50cc dan pastikan tidak ada gelembung yang terperangkap didalamnya.

Setelah sampel untuk pengujian DGA dan Karakteristik diambil, sampel minyak tersebut dikirimkan ke laboratorium untuk dilakukan pengujian.

**Tabel 1. Batasan kondisi pengujian DGA minyak isolasi [3]**

Dissolved key gas concentration limit [ $\mu\text{L/L}$ (ppm)]	Status			
	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	100	101-700	701-1800	>1800
Metana ( $\text{CH}_4$ )	120	121-400	401-1000	>1000
Asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )	1	2-9	10-35	>35
Etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ )	50	51-100	101-200	>200
Etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	65	66-100	101-150	>150
Karbon monoksida ( $\text{CO}$ )	350	66-100	571-14000	>1400
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	2500	2500-4000	4001-10000	>10000
TDCG	720	721-1920	1921-4630	>4630

Tabel 1 merupakan macam kondisi dari berbagai macam jenis DGA yang terkandung, tabel tersebut berfungsi sebagai acuan dalam menentukan metode pemeliharaan apa yang akan kita lakukan (Filtrasi, Regenerasi, Reklamasi) berdasarkan kondisi minyak isolasi.



**Gambar 5. Mesin MICAFLUID oil filtration purification**

**Tabel 2. Spesifikasi mesin filtrasi MICAFLUID**

Type	VOPO60
Serial Number	F170211-3805-2
Year Of Manufacture	2017
Voltage	3 x 380 VAC
Current	178 A
Frequency	50 Hz
Power Rating	117 kW
Weight	2100 kg
Oil Inlet	2 bar
Operating Temperature	80 °C
Operating Temperature	< 1 mbar
Filtration Speed	100 l/h – 20000 lt/h

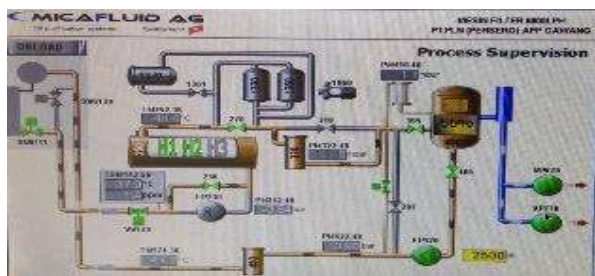


Gambar 6. PAUWELS power transformer 150kV/20kV

Tabel 3. Spesifikasi transformator PAUWELS

Serial Number	96P0055
Year Of Manufacture	1997
Standard	IEC 76
Rated Power	60 MVA
Voltage	150kV/20kV
Cooling	ONAN/ONAF-70/100%
Frequency	50 Hz
Phases	3
Max. Altitude	1000 m
Type Oil	IEC 296

## PROSES FILTRASI MINYAK ISOLASI



Gambar 5. Tampilan HMI (Human Machine Interface) pada mesin filtrasi

Gambar 5 adalah tampilan HMI yang digunakan untuk mengoperasikan mesin filtrasi dan memonitoring parameter seperti suhu, tekanan, kecepatan aliran, dan jaluraliran minyak pada proses filtrasi.

Hal pertama yang dilakukan adalah pemasangan kabel NYHY 3 fasa untuk menyalakan *hidrolic pressure* dan mengisinya hingga bertekanan 4-7 bar psi (*per square inch*) agar dapat membuka *cover* mesin filtrasi.

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses sirkulasi terlebih dahulu dengan memasang *motorized valve*

*bypass* untuk memutar aliran minyak agar membersihkan mesin filtrasi sebelum digunakan.

Setelah itu *chamber tank* diisi dengan minyak bersih terlebih dahulu hingga 50% kemudian dilakukan sirkulasi pada mesin filtrasi tujuannya untuk membersihkan kotoran dan endapan pada minyak. Proses ini dilakukan hingga warna minyak pada transformator menjadi bening.

Kemudian *motorized valve bypass* dimatikan dan lanjut ke tahap filtrasi minyak *main tank* transformer. *transformer outlet valve* diaktifkan kemudian minyak yang ada didalam transformator mulai mengalir dari transformator ke mesin filtrasi.

Perlu diperhatikan tekanan, kecepatan aliran, suhu *input* dan suhu *output* pada mesin harus dijaga dan diawasi setiap dua sampai tiga jam selama proses filtrasi berlangsung untuk menghindari gangguan yang terjadi baik itu pada mesin ataupun transformator.

Minyak yang masuk kedalam mesin, terlebih dahulu dipanaskan dengan menggunakan pemanas minyak yang dikontrol secara elektrik. Untuk menjaga stabilitas suhu sesuai dengan yang diperlukan yakni  $\pm 50$  °C. Elemen pemanasnya memanaskan cairan didalam pipa pelindung yang bersentuhan langsung minyak.

Proses selanjutnya menuju filter kasar, berfungsi untuk melindungi mesin dari kontaminasi benda kasar pada minyak dan partikel-partikel kasar lainnya. Elemen pada filter dibuat khusus dari bahan sintesis dan non-hygroscopic.

Lalu menuju ke *oil chamber tank*, sistem pengawasan pada proses ini telah dioptimalkan dan dilengkapi dengan kontrol buih otomatis (*automatic froth control*) buih dan udara inilah yang secara otomatis akan dibuang menggunakan *vacuum pump* yang dipasang untuk mengevakuasi gas yang timbul.

Pada *oil chamber tank* juga terdapat alat ukur untuk menentukan kualitas minyak yang keluar dari *oil chamber tank*, disana juga terdapat tangki transparan untuk melihat warna minyak setelah melalui proses filtrasi. Pada bagian bawah *chamber tank* terdapat *oil feeding* komponen ini menggunakan tekanan diferensial yang terkontrol untuk mengatur sekaligus membuat aliran minyak merata sehingga buih dan udara tidak akan timbul.

Setelah itu minyak akan menuju filter halus, sama halnya pada proses filter kasar dimana partikel-partikel berbahaya yang terlarut didalam minyak kembali disaring dengan ukuran penyaring yang lebih kecil kemudian minyak akan keluar dari mesin dan kembali masuk kedalam transformator, begitu seterusnya. kapasitas total minyak pada bagian *main tank*

transformator GIS Durentiga 150kv/20kv sebanyak ± 25.000 liter dan kecepatan rata-rata aliran minyak yang dihasilkan oleh mesin filtrasi sebesar ± 2500 liter/jam artinya 1 siklus filtrasi memakan waktu selama 10 jam, proses ini dilakukan hingga didapatkan ± 5 siklus.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penggunaan minyak sebagai isolasi benda yang bertegangan. dapat menyebabkan oksidasi dan kontaminasi didalam minyak akibat ketidaknormalan transformator yang dapat menyebabkan penurunan kualitas minyak pada transformator, saat minyak mengalami oksidasi maka minyak akan menghasilkan zat asam yang dapat merusak isolasi kertas jika bercampur dengan air dan suhu tinggi. Lingkungan yang lembab ataupun kering juga dapat meningkatkan zat asam pada minyak isolasi.

Pada pengujian karakteristik minyak isolasi. Terdapat parameter uji karakteristik minyak isolasi yang harus diperhatikan agar transformator dapat menjalankan fungsinya dengan baik, yakni berdasarkan IEC 60422 tahun 2013:

1. Kejernihan Penampilan (*Appearance*).
2. Angka Kenetralan (*Neutralization Number*).
3. Kandungan Air (*Water Content*).
4. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*).
5. Tegangan antar muka.

Menurut IEC 60422 tahun 2013 jenis minyak isolasi bila dikategorikan berdasarkan tegangan operasinya, terdiri dari lima jenis:

**Tabel 3. Kategori minyak berdasarkan tegangan peralatan operasinya**

Kategori	Tipe Peralatan
<b>O</b>	Transformator daya/reaktor dengan sistem tegangan nominal sama dengan dan di atas 400kV
<b>A</b>	Transformator daya/reaktor dengan sistem tegangan nominal 170kV < U < 400kV
<b>B</b>	Tranformator daya/reaktor dengan sistem tegangan nominal di atas 72,5kV dan sampai dan termasuk 170kV
<b>C</b>	Transformator daya/reaktor untuk aplikasi MV/LV misalnya sistem tegangan nominal sampai dengan termasuk 72,5kV
<b>F</b>	<i>Diverter tank</i> OLTC, termasuk <i>combined selector/diverter tank</i>

**Tabel 4. Batasan rekomendasi pengujian karakteristik minyakisolasi<sup>[2]</sup>**

Jenis Pengujian	Kategori	Batasan Rekomendasi			Tindakan Rekomendasi
		Baik	Sedang	Buruk	
Warna	ALL	Jernih	-	Keruh	Lakukan pengujian yang lain
	O,A	> 60	50 - 60	< 50	Baik : lanjutkan pengambilan sample sesuai waktu normal
	B	> 50	40 - 50	< 50	Sedang : Lakukan pengambilan sample lebih sering dan periksa parameter yang lain
	C	> 40	30 - 40	< 30	Buruk : Rekondisi minyak (rekondisi mengacu pada IEC 60422 11.2)
Breakdown voltage (kV)		< 30 kV untuk OLTC pada aplikasi titik belitan bintang < 40 kV untuk OLTC pada aplikasi titik belitan delta atau line - end			Buruk : Rekondisi minyak (rekondisi mengacu pada IEC 60422 11.2)
	O,A	< 15	15 - 20	> 20	Baik : lanjutkan pengambilan sample susai waktu normal
	B	< 20	20 - 30	> 30	Sedang : Lakukan pengambilan sample lebih sering dan periksa parameter yang lain
	C	< 30	30 - 40	> 40	Buruk : Lakukan pengecekan sumber air, rekondisi minyak (IEC 60422 11.2)
Kandungan air (mg/kg) pada temeratur operasi transformator	F	Tindakan dibutuhkan > 40			Buruk : Lakukan pengecekan sumber air, rekondisi minyak (IEC 60422 11.2)
	O,A	< 0.10	0.10 - 0.15	0.15	Baik : lanjutkan pengambilan sample sesuai waktu normal
	B	< 0.10	0.10 - 0.20	0.20	Sedang : Lakukan pengambilan sampel lebih sering dan periksa persentase sediment dan endapan.
	C	< 0.15	0.10 - 0.30	0.30	Buruk : mulai dari nilai 0.15 sebuah keputusan sebaiknya dibuat dengan point reklamasi minyak (IEC 60422 11.3)
Keasaman (mgKOH/goi)	F	< 0.15	0.10 - 0.30	0.30	Buruk : mulai dari nilai 0.15 sebuah keputusan sebaiknya dibuat dengan point reklamasi minyak (IEC 60422 11.3)
	O,A,B,C	-	-	-	Baik : Lanjutkan pengambilan sampel susai waktu normal
	<i>Inhibited</i>	< 28	22 - 28	> 22	Sedang : Lakukan pengambilan sample lebih sering dan periksa parameter yang lain
	<i>Unhibited</i>	> 25	20 - 25	< 20	Buruk : Lakukan pengecekan pada presentase sediment dan endapan lumpur

Berdasarkan tabel 3 pengujian katakarakteristik minyak menggunakan kategori B dimana sesuai dengan spesifikasi transformator yang digunakan. Pada tabel 4 dapat dilihat untuk kategori B, dimana minyak isolasi dikatakan "Baik" jika sesuai dengan batasan rekomendasi. Baiknya kualitas minyak isolasi dapat menentukan kualitas transformator dan memperpanjang *lifetime* (umur) transformator.

## Data hasil pengujian Karakteristik dan DGA Minyak Isolasi Transformator GIS Duren Tiga

**Tabel 6. Status laju minyak, suhu, tekanan, dan kandungan air pada proses filtrasi**

Tanggal	Jam	Flow (l/h)	Suhu (Celcius)		Pressure (bar)		Suhu Heater	Water Content (ppm)
			In	Out	In	Out		
18/09/19	15:19	2000	40.2	53.2	-0.82	0.85	51.4	3.1
18/09/19	15:45	2500	39.9	47.3	-0.77	0.91	47.5	2.3
18/09/19	17:00	2500	39	47.2	-0.79	0.91	46	2.2
18/09/19	18:00	2500	38.1	47.5	-0.78	0.91	46.7	2
18/09/19	20:00	2500	36.1	47.3	-0.79	0.91	47	1.8
18/09/19	21:25	2500	35.4	46.9	-0.77	0.91	47.5	1.6
18/09/19	23:45	2500	34.2	47.4	-0.78	0.91	46.7	1.5
19/09/19	3:55	2500	32.6	47.2	-0.78	0.9	46.6	1.3
19/09/19	5:30	2500	32.2	47.1	-0.8	0.91	46.5	1.2
19/09/19	9:00	2500	33.9	47.2	-0.81	0.9	48.3	1.3
19/09/19	11:00	2500	36.5	47.4	-0.82	0.91	48.2	1.4
19/09/19	14:00	2500	40.2	47.8	-0.83	0.91	48.5	1.6
19/09/19	15:15	2500	40.5	47.5	-0.84	0.91	48.4	1.7
19/09/19	17:00	2500	40.1	47.7	-0.84	0.91	47.2	1.7
19/09/19	18:30	2500	38	47.4	-0.84	0.91	48.6	1.5
19/09/19	21:00	2500	35.8	47.4	-0.84	0.91	48.8	1.5
19/09/19	22:15	2500	35.1	47.3	-0.84	0.91	46.3	1.4
20/09/19	0:15	2500	34.1	46.8	-0.84	0.9	48.5	1.3
20/09/19	4:00	2500	32.4	46.6	-0.84	0.91	47.4	1.1
20/09/19	5:30	2500	31.9	46.5	-0.84	0.91	47	1.1
20/09/19	8:45	2500	33.5	46.6	-0.84	0.9	47.7	1.2
Rata - Rata		2476.2	36.18	47.49	-0.81	0.91	47.69	1.61

Tabel 6 adalah data proses filtrasi yang dilakukan selama ± 3 hari hingga didapatkan 5 siklus. Monitoring status mesin ini dilakukan untuk mendata laju minyak transformator, suhu *input* dan *output*, tekanan *input* dan *output*, suhu pemanas, serta kandungan air pada minyak setiap 2 jam sekali fungsinya untuk meminimalisir gangguan yang terjadi akibat dari tekanan ataupun suhu berlebih yang mana dapat menyebabkan kerusakan pada sistem.

Tabel 7 adalah hasil sampel DGA minyak isolasi yang dilakukan bulan Juni 2019, dapat dilihat pada pengujian DGA bulan Juni terdapat kondisi 2 dan kondisi 4 yang mana jika mengacu pada Gambar 7, saat kondisi 4 diharuskan untuk melakukan tindakan sesuai rekomendasi dan kondisi 2 diharuskan untuk melakukan pengambilan sampel minyak secara rutin. Pada kasus ini tindakan yang dilakukan adalah mem-filter minyak isolasi dan pengambilan sampel minyak pada tiga bulan setelahnya (triwulan). Untuk dilakukan pengujian DGA, hasilnya didapat pada tabel 8 bahwa seluruh parameter gas yang terlarut pada minyak isolasi berada pada kondisi 1 (Baik). Pada tabel 7 dan 8 dapat dilihat sebelum dan sesudah dilakukan filtrasi menunjukkan nilai TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) menurun. Jumlah gas terlarut yang mudah terbakar atau TDCG akan menunjukkan apakah transformator yang

masih diujian masih berada pada kondisi operasi normal, waspana, peringatan atau kondisi kritis [4].

**Tabel 7. Hasil Pengujian DGABulan Juni 2019**

NO	Parameter	Hasil Pengujian (ppm)	Batasan (Kondisi)	Diagnosis
				IEEE std C57. 104-2008
1	Hidrogen (H2)	24.64	100	Kondisi 1
2	Metana (CH2)	96.33	120	Kondisi 1
3	Etana (C2H6)	335	65	Kondisi 4
4	Etilen (C2H4)	5.22	50	Kondisi 1
5	Asetilen (C2H2)	0	1	Kondisi 1
6	Karbon Monoksida (CO)	245.85	350	Kondisi 1
7	Karbon Dioksida (CO2)	2601.3	2500	Kondisi 2
8	Oksigen (O2)	1258.54	-	
9	Nitrogen (N2)	62360.21	-	
TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)				Kondisi 1
				Megidentifikasi bahwa operasi tras formator memuaskan

**Tabel 8. Hasil Uji DGA Bulan September 2019**

NO	Parameter	Hasil Pengujian (ppm)	Batasan (Kondisi)	Diagnosis
				IEEE std C57. 104-2008
1	Hidrogen (H2)	0	100	Kondisi 1
2	Metana (CH2)	5.03	120	Kondisi 1
3	Etana (C2H6)	25.48	65	Kondisi 1
4	Etilen (C2H4)	0	50	Kondisi 1
5	Asetilen (C2H2)	0	1	Kondisi 1
6	Karbon Monoksida (CO)	17.5	350	Kondisi 1
7	Karbon Dioksida (CO2)	189.4	2500	Kondisi 1
8	Oksigen (O2)	269.38	-	
9	Nitrogen (N2)	5869.07	-	
TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)				Kondisi 1
				Megidentifikasi bahwa operasi tras formator memuaskan

**Tabel 9. Hasil Uji Karakteristik Bulan Juni 2019**

No	Parameter	Alat Uji	Hasil Pengujian		Kategori Tegangan	Kondisi Minyak			Kesimpulan	Referensi
			Nilai	Satuan		Bagus	Sedang	Buruk		
1	TEGANGAN TEMBUS	MEGGER   OTS100AF   101202757	77.7	kV/2.5mm	B	>50	<40	<40	BAGUS	IEC 60422
2	KADAR AIR	Metrohm   831KF   18131001009131	5.08	ppm	B	<20	>30	>30	BAGUS	IEC 60422
3	WARNA	Lovibond   PFEX195   111176	0.6		B	≤3.5	≤3.5	≥3.5	BAGUS	IEC 60422
4	KADAR ASAM	Metrohm   702SM   1702001040235	0.03	mgKOH/g	B	<1	0.1 - 0.2	>0.2	BAGUS	IEC 60422
5	TEGANGAN ANTAR MUKA	Energy Support   Sigma2000   72426	35.5	mN/m	B	>28	22 - 28	<22	BAGUS	IEC 60422

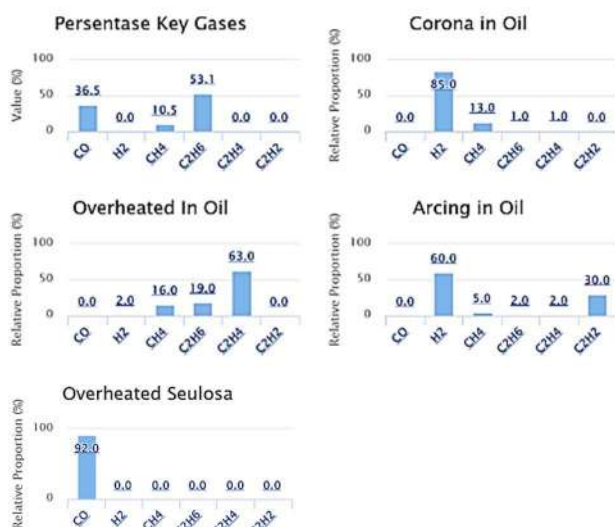


**Tabel 10. Hasil Uji Karakteristik Bulan September 2019**

No	Parameter	Alat Uji	Hasil Pengujian		Kategori Tegangan	Kondisi Minyak			Kesimpulan	Referensi
			Nilai	Satuan		Bagus	Sedang	Buruk		
1	TEGANGAN TEMBUS	MEGGER   OTS100AF   101202757	98.7	kV/2.5mm	B	>50	<40	<40	BAGUS	IEC 60422
2	KADAR AIR	Metrohm   831KF   18131001009131	14.1	ppm	B	<20	>30	>30	BAGUS	IEC 60422
3	WARNA	Lovibond   PFX195   111176	0.6		B	≤3.5	≤3.5	≥3.5	BAGUS	IEC 60422
4	KADAR ASAM	Metrohm   702SM   1702001040235	0.02	mgKOH/g	B	<1	0.1-0.2	>0.2	BAGUS	IEC 60422
5	TEGANGAN ANTAR MUKA	Energy Support   Sigma2000   72426	34.97	mV/m	B	>28	22-28	<22	BAGUS	IEC 60422

Dapat dianalisis pada tabel 9 dan tabel 10 bahwa kenaikan nilai tegangan tembus dipengaruhi oleh besarnya nilai kadar air. semakin tinggi nilai tegangan tembus maka nilai kadar airnya semakin rendah, namun pada pengujian kali ini kadar air justru semakin meningkat setelah difiltrasi hal ini memungkinkan terjadinya kesalahan pada saat pengambilan sampel minyak ataupun saat memasukan sampel minyak ke mesin uji. Nilai pada parameter warna, tegangan antar muka, dan kadar asam menurun setelah difilter.

**Tabel 11. Analisis Pattern Key Gases**



**Tabel 12. Analisis Jenis Kegagalan Yang Terjadi<sup>[4]</sup>**

Fault	Key Gas	Criteria	Gas Percent Ammount
Arcing	Asetelin	Banyaknya gas Hidrogen dan Asetilen dan jumlah kecil gas metana dan etilen. Gas CO dan CO2 ada jika selulosa termasuk	Hidrogen : 60% dan Etilen : 30%
Corona (low energy partial discharged)	Hidrogen	Banyaknya gas Hidrogen, dengan beberapa gas metana dengan sebagian kecil gas etilen dan asetilen. Gas CO dan CO2 akan sebanding jika selulosa termasuk.	Hidrogen : 85% dan Metana : 13%
Overheating of Oil	Etilen	Banyaknya gas etilen, kurang jumlah gas asetilen, beberapa jumlah metana dan hidrogen	Etilen : 63% dan Asetilen : 20%
Overheating of Cellulose	Karbon Monoksida	Banyaknya gas CO dan CO2, gas Hidrokarbon mungkin ada.	Karbon monoksida : 92%

Tabel 11 dan tabel 12 adalah hasil pengujian *key gas*. *Key gas* adalah metode pengujian dimana gas yang dihasilkan dalam transformator berisi minyak yang dapat digunakan untuk penentuan kualitatif tipe kegagalan, berdasarkan gas yang khas atau dominan pada berbagai suhu<sup>[3]</sup>.

Jika mengacu pada standar IEEE C57-104 2008, dimana terdapat presentase jumlah gas yang dihasilkan pada saat terjadinya kegagalan didalam transformator. Kemudian jika nilai hasil pengujian *Key Gases* sesuai dengan standar yang ditetapkan maka kegagalan pada transformator dapat diketahui. Pada kasus ini hasil pengujian *key gas* minyak isolasi transformator GIS Duren Tiga menunjukkan bahwa terjadi kegagalan seperti *corona*, *overheated*, dan *arching* pada transformator.

### Kesimpulan

Filtrasi minyak dilakukan agar kualitas minyak transformator tetap terjaga dengan baik sehingga tidak menimbulkan gangguan yang disebabkan oleh kandungan gas yang terlarut dalam minyak (*Dissolved Gas Analysis*) yang mana dapat mempengaruhi besarnya nilai tahanan isolasi minyak, dan meningkatkan kadar keasaman sehingga dapat merusak isolasi kertas. Minyak transformator. Mengandung gas-gas hidrokarbon yang dapat terlarut bersamanya, gas ini terjadi karena ketidaknormalan transformator seperti *overheat*, *corona*, ataupun *arching*.

Dengan menggunakan metode analisis *Dissolved Gas* dapat diketahui berbagai macam gangguan yang dialami



transformator berdasarkan kategori besarnya nilai kandungan gas yang terkandung dalam minyak isolasi.

### **Daftar Acuan**

- [1] Hadityo Rahmat, *Deteksi dan Analisa Indikasi Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut*. Depok: Universitas Indonesia, tahun 2008), hlm. 9 – 14.
- [2] IEC Standard 60422.2013. *Mineral Insulating Oils In Electrical Equipment – Supervision and Maintenance 4<sup>th</sup> Edition*. 2013, hlm. 28-31
- [3] IEEE Standard C57-104.2008. IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. 2008 hlm. 10
- [4] Ilham Galih M.S, *Analisis Kondisi Minyak Transformator Berdasarkan Uji Parameter Utama*. Depok: Universitas Indonesia, tahun 2013), hlm.26-27
- [5] Rusdjaja, Tatang. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta, tahun 2014, hlm.23-24; 63-64.

## Pemeliharaan *DC Starter Generator* pada Pesawat

Adnan Mulya Firdaus<sup>1</sup>, Agung Prakoso<sup>1</sup>, Naufal Fathurrahman<sup>1</sup>, Isdawimah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

<sup>2</sup>Magister Terapan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

[agung.prakoso94@gmail.com](mailto:agung.prakoso94@gmail.com)

### Abstrak

*DC Starter Generator* adalah sebuah mesin eksitasi (pemicu) untuk mesin penghasil listrik utama pada pesawat. Ketika pesawat baru dinyalakan, *DC Starter Generator* menjadi pemantik untuk menggerakkan mesin utama. Ketika rpm *DC Starter Generator* tersebut telah di atas 7200 rpm, *DC Starter Generator* menjadi sumber eksitasi untuk generator utama. Tujuan diadakannya pemeliharaan *DC Starter Generator* adalah agar sistem dan standar yang sudah dibuat dapat berjalan dan terukur sebagaimana mestinya. Hasil yang didapat pada pemeliharaan kali ini menunjukkan bahwa *DC Starter Generator* dalam kondisi baik. Sementara pada sisi mekanik, *bearing* yang terpasang pada *DC Starter Generator* berada dalam kondisi kurang baik, karena *bearing* tersebut tidak dapat bergerak bebas sebagaimana mestinya.

*Keywords* : *assembly, DC starter generator, disassembly, inspeksi, testing.*

### 1. Pendahuluan

Pada sebagian jenis pesawat komersil, suplai listrik bolak-balik tetap diperlukan. Tetapi lebih dari itu, proses terciptanya listrik bolak-balik di pesawat melibatkan sekelumit proses rangkaian. Bayangkan, di atas ketinggian, dan tanpa melibatkan sumber listrik milik PLN sedikit pun, *customer* tetap bisa menikmati suplai listrik bolak-balik sebagaimana di rumah mereka.

Pada proses pembangkitan listrik bolak-balik di pesawat, dibutuhkan beberapa alat, di antaranya adalah *DC Starter Generator*. *DC Starter Generator* pada Gambar 1 adalah sebuah mesin eksitasi (pemicu) untuk mesin penghasil listrik utama pada pesawat.



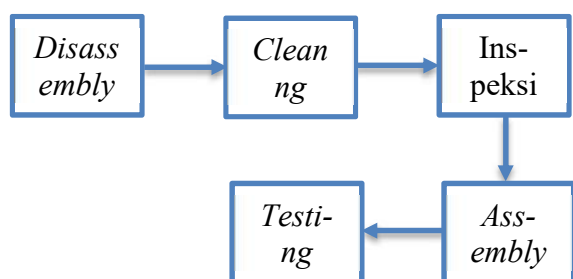
Gambar 1. *DC Starter Generator*

*DC generator* terbagi menjadi 2 tipe, sistem eksitasi terpisah dan sistem eksitasi sendiri. Pada generator dengan sistem eksitasi sendiri, kumparan diberi energi dari arus yang dihasilkan dari generator sendiri [1].

Ketika pesawat baru dinyalakan, *DC Starter Generator* menjadi pemantik untuk menggerakkan mesin utama. Ketika rpm *DC Starter Generator* tersebut telah di atas 7200 rpm, *DC Starter Generator* menjadi sumber eksitasi untuk generator utama. *Starter Generator* ini dapat dibawa sampai ketinggian jelajah maksimum 35.000 ft (10.600 m). Berat maksimumnya adalah 18.760 kg (41.36 lb) dan arah rotasinya yaitu berlawanan arah jarum jam (*counter clock wise*)[2].

### 2. Metode Penelitian

Pemeliharaan yang dilakukan bersifat *corrective maintenance* atau pemeliharaan korektif. Pemeliharaan korektif adalah tindakan perbaikan yang dilakukan karena kegagalan atau kekurangan yang ditemukan selama pemeliharaan preventif atau lainnya, untuk memperbaiki suatu item pada kondisi operasi [3]. Dalam proses pemeliharaan terdapat beberapa tahap, yang ditunjukkan pada *flow chart* di bawah ini :



Gambar 2. Flow Chart Proses Pemeliharaan DC Starter Generator

Proses pengambilan data dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif dengan teknik observasi disertai dengan terjun langsung ke lapangan.

Dalam penelitian kualitatif, pengumpulan data dilakukan pada *natural setting* (kondisi yang alamiah), sumber data primer dan teknik pengumpulan data lebih banyak berperan pada observasi (*participant observation*), wawancara mendalam (*in depth interview*), dan dokumentasi [4].

Sedangkan penelitian kuantitatif merupakan pendekatan untuk menguji teori objektif dengan menguji hubungan antar variable [5].

Observasi merupakan salah satu kegiatan ilmiah empiris yang mendasarkan fakta-fakta lapangan maupun teks, melalui pengalaman panca indra tanpa menggunakan manipulasi apapun [6]. Data yang didapat dibandingkan dengan standar acuan yang terdapat pada *Component Manual Maintenance* (CMM).

Secara garis besar, pemeliharaan *DC Starter Generator* terdapat 5 tahap. Pertama adalah *disassembly* (pembongkaran), *cleaning* (pembersihan), inspeksi, *assembly* (pemasangan) dan *testing* (pengujian).

Pada tahap *disassembly* kita akan membongkar *DC Starter Generator* untuk memisahkan sekaligus memeriksa setiap komponen. Ada urutan yang harus diperhatikan sesuai dengan CMM dari *DC Starter Generator*. Setelah dibongkar, kita dapat memperhatikan kondisi dari setiap komponen.

Dilanjutkan dengan tahap *cleaning*, tahap ini memiliki rincian pekerjaan berdasarkan dengan komponen-komponen yang sudah terpisah sesuai dengan *Stargen CMM* 24-32-61. Langkah-langkah tersebut terbagi menjadi pra-pembersihan dan pembersihan. Tahap pra-pembersihan adalah tahap untuk membersihkan debu-debu atau serbuk karbon dari *brush* pada komponen-komponen tersebut dengan menggunakan *air compressor* agar serbuk karbon berjatuhan.

Tahap pembersihan bertujuan untuk menghilangkan noda-noda pelumas atau lainnya yang menempel pada komponen. Langkah pertama adalah merendam komponen di *ultrasonic cleaning machine* dengan larutan

*detergen*. Alat ini dapat melunturkan dan melunakkan noda-noda yang menempel pada komponen sehingga mudah dibersihkan. Setelah direndam komponen-komponen tersebut dibilas dengan air bersih dan disikat dengan sabun. Langkah selanjutnya adalah memanskan komponen dengan *oven* pada suhu 180°C selama 4 jam. Langkah ini bertujuan untuk menghilangkan titik-titik air pada komponen sehingga mencegah terjadinya *short circuit* dan meningkatkan nilai tahanan isolasi pada komponen. Langkah khusus untuk *armature* setelah dibersihkan adalah mengamplas permukaan komutator.

Setelah itu lanjut ke tahap inspeksi, saat melakukan inspeksi secara visual bedakanlah bagian yang akan digunakan lagi dan bagian yang akan diganti.

1. Memeriksa Kerangka
  - a. Tes Tahanan Isolasi  
Tes tahanan isolasi dilakukan pada *terminal winding* dan *stator body* (sebagai *ground*). Tes tahanan isolasi harus menunjukkan hasil tahanan isolasi  $\geq 1M\Omega$ .  
Hasil pertama : 0.07 M $\Omega$   
Hasil kedua (setelah dipanaskan) : 1.46 M $\Omega$
  - b. Tes Tahanan Belitan  
Tes tahanan belitan dilakukan antara terminal A dan E pada stator menggunakan *ohmmeter*. Hasil pegujian harus sebesar  $2.03 \pm 0.1\Omega$  pada suhu 20°  
Hasil percobaan : 2.1  $\Omega$ .
  - c. Memeriksa Kontinuitas  
Pemeriksaan kontinuitas dilakukan antara *commutating* dan *compensating winding* (terminal D dan E) pada stator dengan menggunakan multi meter  
Hasil percobaan : adanya kontinuitas
2. Memeriksa Jangkar pada Rotor
  - a. Memeriksa adanya hubungan singkat pada jangkar atau *open circuit* pada belitan rotor
  - b. Tes tahanan isolasi, dilakukan di antara *commutator* dan *shaft* rotor. Tes tahanan isolasi harus menunjukkan hasil tahanan isolasi  $\geq 1M\Omega$ .  
Hasil percobaan : 0.07 M $\Omega$
3. Memeriksa *Brushes*  
Pemeriksaan *brushes* untuk menentukan batas dari kegunaan dan kondisi *starter generator*.
4. Memeriksa Tekanan *Brush Spring*  
Tes ini memerlukan alat pengukur regangan (*dynamometer*) dengan menarik ke sudut yang tepat ke atas *brush* dan selalu sejajar dengan kotak sikat. Regangan *spring* harus selalu dicatat disaat dimana *brush spring finger* baru saja terangkat dari atas sikat. Tegangan pegas sikat harus berada dalam batas berikut:
  - *spring* baru
  - F1 = 1925 g (4,25 lbs)
 Hasil pengukuran : tidak dilakukan sebab alat belum dikalibrasi.
  - *spring* tua
  - F1 > 1700 g (3,75 lbs)

Hasil pengukuran : tidak dilakukan sebab alat belum dikalibrasi.

5. Memeriksa Pin Tuas *Spring*

Pemeriksaan ini melihat apakah pin-pin tuas *spring* sudah bengkok atau rusak saat pembongkaran.

Hasil pemeriksaan : tidak ada pin yang rusak.

6. Memeriksa *Ball Bearings*

Periksa *ball bearing* bisa berputar secara bebas tanpa adanya titik gesekan dan kerangka *bearing* tidak rusak.

Hasil pemeriksaan : *bearing* tidak berputar secara bebas dan sudah banyak goresan.

7. Memeriksa *Lining*

Periksa *lining* tidak kotor dan ketebalan  $\geq 2.5$  mm

Hasil pemeriksaan : 2.96 mm

8. Memeriksa Kerangka *Commutator Bearing*

Periksa *brush guides* apakah ada penyimpangan dan permukaan internal yang mulus

Hasil pemeriksaan : lulus

9. Memeriksa Batang Torsi

Pasanglah pin pengukur A dengan diameter 2.438mm sesuai dengan gambar. Ukur panjang B diantara kedua pin. Panjang B haruslah lebih dari 18.631 mm

Setelah melakukan inspeksi tahapan selanjutnya melakukan *assembly*, kita merangkai kembali *DC Starter Generator*. Ada urutan-urutan yang harus diperhatikan sesuai dengan CMM (*Component Manual Maintenance*).

1. Pasang terlebih dahulu *terminal block* pada stator.
2. Kemudian pasang *bearing* dengan yang baru.
3. Setelah *bearing*, dilanjutkan dengan memasang *speed sensor*.
4. Setelah semua bagian-bagian kecil terpasang, masukkan kembali rotor ke stator. Pastikan rotor dapat berputar dengan baik.
5. Selanjutnya pasang *brush* yang baru ke *brush holder*.
6. Satukan *frame* yang terdapat *brush holder* dengan rotor dan stator.
7. Selanjutnya, pasang *torque shaft* dan *fan*.
8. Terakhir pasang bagian-bagian pelengkapanya.

Setelah ter-*assembly*, langkah selanjutnya adalah *testing*. *Testing* ini berfungsi untuk mengetahui bagaimana *DC Starter Generator* saat dioperasikan sebelum dipasang di pesawat.

1. *Bedding Brush*

*Bedding Brush* berfungsi untuk menghindari adanya gangguan saat *start* awal *DC Starter Generator* setelah ter-*assembly*. *Testing* ini juga berfungsi untuk meratakan *brush* baru yang terpasang. Saat kita *start DC Starter Generator*, kita dapat memperhatikan suara gesekan antara komutator dengan *brush*. Awalnya suara akan terdengar kasar, namun perlahan suara akan terdengar halus. Suara ini diakibatkan dari gesekan *brush* dengan komutator.

Terdapat 2 *testing* yang dapat kita lakukan saat *bedding brush* yaitu *vibration test* dan *speed sensor test*. *Vibration test* berfungsi untuk mengetahui tingkat getaran *DC*

*Starter Generator*, sedangkan *speed sensor test* berfungsi untuk mengetahui tegangan dari *DC Starter Generator*.

a. *Vibration Test*

Saat *vibration test*, kita *setting* kecepatan *DC Starter Generator* 6000 rpm. Terdapat 2 indikator yang kita ukur, yaitu getaran di *Drive End* dan getaran di *Not Drive End*. Kita menggunakan alat yang bernama *vibration gauge*.

b. *Speed Sensor Test*

*Speed sensor test* berfungsi untuk mengetahui tegangan maksimum dan minimum yang terukur dengan menggunakan osiloskop.

2. *Resistance Measurement*

*Testing* ini seharusnya adalah *testing* pertama sebelum *bedding brush*. Terdapat 2 indikator tes pada pengujian kali ini. Yang pertama, kita mengecek resistansi antara pin 1 dan 2 *speed sensor*. Indikator kedua yaitu kita mengecek resistansi antara terminal A dan E. Kita mengukur menggunakan multimeter.

3. *Insulation Test*

*Insulation test* berfungsi untuk mengukur tahanan isolasi dari sebuah komponen. Ada 3 indikator yang harus terpenuhi pada pengujian kali ini. Indikator pertama, kita uji resistansi isolasi antara terminal E dan frame dengan tegangan 45-50 V menggunakan megger. Pengujian yang pertama ini setelah diganti *brush* dan *bearing*. Indikator kedua sama dengan yang pertama tapi untuk *overhaul*. Indikator ketiga, kita uji resistansi isolasi antara pin 1 dengan *frame* dan pin 2 dengan *frame*. Kita menggunakan megger pada pengujian kali ini.

4. *Maximum and Minimum Regulation Speed Test*

Pada pengujian kali ini terdapat 2 kondisi, yaitu kondisi ketika kecepatan minimum 7200 rpm dan kondisi kecepatan maksimum 12000 rpm. Untuk kondisi maksimum, kita mengukur tegangan dan arus medannya. Sedangkan saat kondisi minimum, kita hanya mengukur arus medannya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Permukaan komutator sangat tidak rata dan bergelombang akibat dari gesekan antara komutator dan *brush*, oleh sebab itu permukaan komutator perlu dibubut/diampelas untuk pemerhalus permukaan komutator.

Pada segi mekanikal terdapat terjadi kegagalan pada saat pengecekan *bearing*. *Bearing* tidak dapat bergerak bebas, maka dari itu *bearing* harus diganti.

Hasil yang didapatkan pada tahap *testing* terdapat pada Tabel 1-5.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran *Vibration Test*

Nilai yang Ditetapkan	Nilai Terukur	Indikator
Minimum tidak boleh $\leq$ 1,4 V	Minimum : 1,531 V	Lulus ( <i>pass</i> )
Maksimum tidak boleh $\geq$ 2 V	Maksimum : 1,656 V	

Berdasarkan tabel 1, hasil pengukuran *Vibration Test* dinyatakan lulus karena melebihi batas minimum.

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran *Speed Sensor Test*

Nilai yang Ditetapkan	Nilai Terukur	Indikator
Getaran di <i>Drive End</i> $\leq$ 15 $\mu\text{m}$	2,5 $\mu\text{m}$	Lulus ( <i>pass</i> )
Getaran di <i>Not Drive End</i> $\leq$ 15 $\mu\text{m}$	9,9 $\mu\text{m}$	Lulus ( <i>pass</i> )

Berdasarkan tabel 2, hasil pengukuran *Speed Sensor Test* dinyatakan lulus karena melebihi batas minimum.

**Tabel 3.** Hasil Pengukuran *Resistance Measurement*

Nilai yang Ditetapkan	Nilai Terukur	Indikator
Resistansi antara pin 1 dan 2 <i>speed sensor</i> = 115 $\Omega$ $\pm$ 10 $\Omega$	116,4 $\Omega$	Lulus ( <i>pass</i> )
Resistansi antara terminal A dan E = 2,03 $\Omega$ $\pm$ 0,1 $\Omega$	2,1 $\Omega$	Lulus ( <i>pass</i> )

Berdasarkan tabel 3, hasil pengukuran *Resistance Measurement* dinyatakan lulus karena melebihi batas minimum.

**Tabel 4.** Hasil Pengukuran *Insulation Test*

Nilai yang Ditetapkan	Nilai Terukur	Indikator
Resistansi isolasi antara terminal E dan frame $\geq$ 20 k $\Omega$	170 k $\Omega$	Lulus ( <i>pass</i> )
Resistansi isolasi antara terminal E dan frame $\geq$ 100 k $\Omega$	190 k $\Omega$	Lulus ( <i>pass</i> )

Berdasarkan tabel 4, hasil pengukuran *Insulation Test* dinyatakan lulus karena melebihi batas minimum.

**Tabel 5.** Hasil Pengukuran *Maximum and Minimum Regulation Speed Test*

Nilai yang Ditetapkan	Nilai Terukur	Indikator
Maksimum : Tegangan = 29 V DC $\pm$ 0,3 V DC (20° C) atau $\pm$ 0,5 V DC ( <i>full temperature range</i> ) Arus medan = 1 A $\leq$ I $\leq$ 2,1 A	Tegangan = 29,03 V DC Arus medan = 1,42 A	Lulus ( <i>pass</i> )
Minimum : Arus medan < 11 A	Arus medan = 5,92 A	Lulus ( <i>pass</i> )

Berdasarkan tabel 5, hasil pengukuran *Maximum and Minimum Regulation Speed Test* dinyatakan lulus karena melebihi batas minimum.

#### 4. Kesimpulan

Setelah melakukan serangkaian kegiatan yang dibutuhkan dalam proses pemeliharaan dapat disimpulkan bahwa *DC Starter Generator* dari segi mekanikal, *bearing* kurang dapat bergerak bebas sebagaimana mestinya. Sementara hasil yang ditunjukkan pada sesi *testing* menunjukkan bahwa *DC Starter Generator* dalam kondisi baik.

#### 5. Daftar Acuan

- [1] D. Pal, "An Introduction to DC Generator Using MATLAB/SIMULINK," *Imp. J. Interdiscip. Res. (IJIR)*, vol. 2, no. 4, pp. 12–15, 2016.
- [2] A. R. L. Francisco, "Component Maintenance Manual With Illustrated Parts List Starter Generator," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [3] N. K. Sari, A. Soepardi, J. T. Industri, U. Pembangunan, and N. Veteran, "PENJADWALAN KEGIATAN PEMELIHARAAN," vol. 11, no. 2, pp. 105–111, 2018.
- [4] Sugiyono, "Metode Penelitian Kuantitatif, kualitatif dan R&D.," vol. 4, no. 1, 1990.
- [5] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*. 1385.
- [6] H. Hasanah, "TEKNIK-TEKNIK OBSERVASI (Sebuah Alternatif Metode Pengumpulan Data Kualitatif Ilmu-ilmu Sosial)," *At-Taqaddum*, vol. 8, no. 1, p. 21, 2017.

## **Analisa Ketidakpastian Kalibrasi *Differential Pressure Gauge* pada Gas Turbine Closed Cooling Water Pump A di UP Muara Karang**

Vivi Alfiana Utami<sup>1</sup>, Adam Satrio<sup>2</sup>, Nuha Nadhiroh<sup>3</sup>

Teknik Otomasi Listrik Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [vivi\\_alfianautami@yahoo.com](mailto:vivi_alfianautami@yahoo.com)<sup>1</sup>, [adamsatrio1998@gmail.com](mailto:adamsatrio1998@gmail.com)<sup>2</sup>, [nuha.nadhiroh@elektro.pnj.ac.id](mailto:nuha.nadhiroh@elektro.pnj.ac.id)<sup>3</sup>

### **Abstrak**

*Differential pressure gauge* pada gas turbine closed cooling water pump A berfungsi untuk mengukur perbedaan tekanan pada sisi sebelum dan sesudah *strainer*. Sebelum digunakan, *differential pressure gauge* harus dikalibrasi agar nilai yang terukur sama dengan nilai yang diberikan pada instrumen tersebut. Hasil kalibrasi dapat berupa koreksi dan ketidakpastian pengukuran. Ketidakpastian pengukuran memungkinkan bahwa ada perbedaan atau kesalahan antara nilai yang terukur dengan nilai yang sesungguhnya. Pengambilan data dilakukan dengan metode observasi di proyek PLTGU UP Muara Karang. Paper ini bertujuan untuk menghitung nilai ketidakpastian kalibrasi *differential pressure gauge* menggunakan formula yang sudah ditentukan oleh Komisi Akreditasi Nasional (KAN). Hasil analisa ketidakpastian kalibrasi *differential pressure gauge* sebesar 0,3 bar, hal ini membuktikan bahwa instrumen tersebut memiliki kondisi yang baik dan dapat digunakan karena nilai ketidakpastian instrumen ini masih dalam batas toleransi.

*Keywords: differential pressure gauge, kalibrasi, ketidakpastian*

### **Abstract**

*Differential pressure gauge on the turbine gas closed cooling water pump A has function to measure the difference in pressure on the sides before and after the strainer. Before use, the differential pressure gauge must be calibrated because the measured value is the same as the value given to the instrument. Calibration results can be in the form of corrections and uncertainty measurements. The uncertainty measurement allowed there is a difference or error between the measured value, and the actual value. Data was collected by observation method in UP Muara Karang combine cycle power plant project. This paper aim to calculate the differential pressure gauge calibration uncertainty value using a formula that has been determined by the National Accreditation Commission (KAN). The results of the differential pressure gauge calibration uncertainty analysis of 0.3 bar, this proves that the instrument has good conditions and can be used because the uncertainty value of this instrument is still within tolerance limits.*

*Keywords: calibration, differential pressure gauge, uncertainty*

### **1. Pendahuluan**

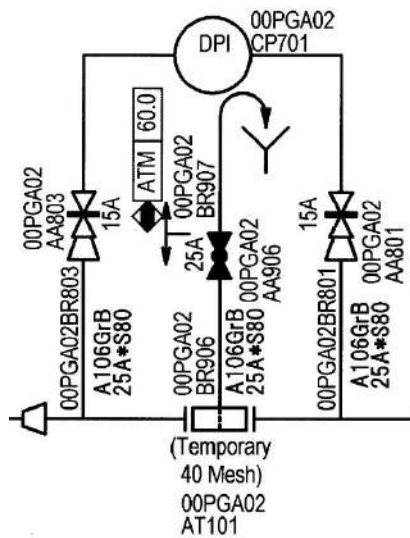
Kebutuhan listrik terus menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya penggunaan serta perubahan gaya hidup masyarakat. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut diantisipasi oleh pemerintah salah satunya adalah dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) kapasitas 500 MW yang berlokasi di Unit Pembangkit (UP) Muara Karang. Proyek ini merupakan salah satu bagian dari program pemerintah yaitu mega proyek 35.000 MW.

Industri pembangkit listrik tenaga gas dan uap di Indonesia lebih banyak dibangun di daerah pantai misalnya PLTGU UP Muara Karang. Alasannya adalah karena memudahkan dalam pengambilan air yang digunakan untuk proses pendinginan atau *cooling water system* mengingat sumber daya air yang diberikan dari laut pun tidak terhingga. *Cooling water system* pada gas turbine merupakan suatu sistem pendinginan tertutup yang digunakan untuk mendinginkan *lube oil* [1].

Salah satu komponen pendukung pada *cooling water system* adalah *water pump*. *Water pump* digunakan untuk



mendistribusikan air ke dalam sistem pendingin. Didalam sistem *water pump* terdapat beberapa instrumen indikator tekanan salah satunya *differential pressure gauge*. Fungsi dari *differential pressure gauge* yakni untuk memonitor perbedaan tekanan antara pipa sebelum dan sesudah *strainer*. Seperti pada Gambar 1.

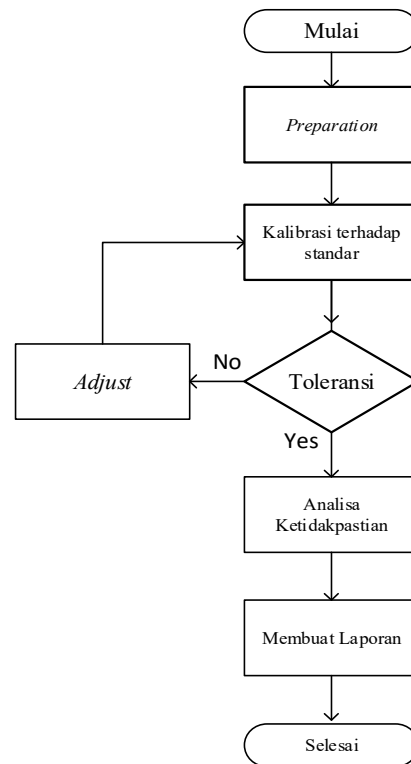


Gambar 1. P&ID Differential Pressure Gauge pada Gas Turbine Closed Cooling Water Pump A [2]

Apabila terjadi perbedaan tekanan pada kedua pipa tersebut, maka dapat dipastikan bahwa *strainer* tersumbat. Tentunya hal ini akan menyebabkan tekanan mengalami *overheating*. Selanjutnya, operator melakukan *maintenance* untuk membersihkan *strainer* yang tersumbat. Sebelum digunakan, instrumen indikator ini harus melalui tahap kalibrasi. Kalibrasi ini bertujuan untuk memeriksa keakuratan aliran dan menentukan ketertelusuran pengukuran, salah satunya adalah ketidakpastian pengukuran [3]. Ketidakpastian pengukuran memungkinkan bahwa ada perbedaan atau kesalahan antara nilai yang terukur dengan nilai yang sesungguhnya [4]. Maka dari itu, dilakukanlah sebuah analisa ketidakpastian dari hasil kalibrasi instrumen yang diukur.

## 2. Metode Penelitian

Pengambilan data menggunakan metode observasi. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk mendapatkan data hasil kalibrasi instrumen *differential pressure gauge*. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Kalibrasi [5]

Tahap pertama dalam kalibrasi instrumen adalah *preparation*. Kegiatan *preparation* terdiri dari menyiapkan dokumen berupa *instrument list*, cek fisik kelengkapan instrumen, dan *Standard Operational Procedure* (SOP) kalibrasi. *Instrument list* berupa *list* spesifikasi instrumen yang akan di kalibrasi dan alat ukur yang digunakan untuk mengkalibrasi [6]. Adapun spesifikasi instrumen *differential pressure gauge* dan alat ukur ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selanjutnya, melakukan kalibrasi instrumen sesuai SOP yang ditetapkan yaitu *output* yang digunakan kisaran 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari skala penuh [7]. Lalu catat hasil pembacaan kalibrasi untuk menghitung nilai ketidakpastiannya.

Tabel 1. Spesifikasi *Differential Pressure Gauge* [8]

Model, Type	732.51.160
Manufacture	WIKA
Serial No. / Tag No.	110BSS2N / 00PGA02CP702
Accuracy	1,0%
Temperature	28,4°C
Humidity	73%
Range	0 – 0,6 bar



Gambar 3. Differential Pressure Gauge

Tabel 2. Spesifikasi Alat Ukur [9]

Equipment Name	Digital Test Gauge
Model, Type	DPI 104
Manufacture	Druck
Serial No.	2945916
Uncertainty [10]	$U_{95} = \pm 0,3\%$
Coverage Factor (K) [10]	2



Gambar 4. Digital Test Gauge

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 1 mengenai spesifikasi instrumen, *range* dari *differential pressure gauge* sebesar 0 – 0,6 bar dan sesuai dengan SOP yang ditentukan yaitu *output* kisaran 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari skala penuh, maka *range* yang digunakan pada pengujian kalibrasi adalah 0,00, 0,15, 0,30, 0,45, dan 0,60.

Pada kalibrasi ini dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali pengujian seperti pada Tabel 3 dengan variabel X, hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai yang presisi. Kalibrasi ini dilakukan dengan cara *Up* yaitu dari *output* terkecil lalu ke terbesar dan *Down* yaitu dari *output* terbesar lalu ke terkecil.

Tabel 3. Hasil Kalibrasi

Penunjukan Alat	Penunjukan Standar			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
Up	0,00	0,000	0,002	0,001
	0,15	0,157	0,153	0,151
	0,30	0,306	0,303	0,305
	0,45	0,449	0,452	0,451
	0,60	0,601	0,599	0,601
Down	0,60	0,601	0,602	0,599
	0,45	0,451	0,448	0,452
	0,30	0,301	0,303	0,301
	0,15	0,148	0,150	0,152
	0,00	0,000	0,001	0,000

Pada perhitungan nilai ketidakpastian kalibrasi, data yang diperoleh biasanya terdapat data sebelum di uji dan sesudah di uji. Dikarenakan pada proyek ini instrumen yang dimiliki masih dalam kondisi baru, maka instrumen hanya di uji kembali untuk memastikan kondisi dan kualitas instrumen, serta mengatur nilai *set point* sesuai yang dibutuhkan pada *plant*.

Metode untuk menghitung ketidakpastian pengukuran telah dibuat oleh berbagai lembaga, namun pedoman ketidakpastian yang dapat diterima secara internasional adalah ISO “*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*” (ISO GUM). Sesuai dengan namanya sesungguhnya dokumen ini bukanlah dokumen baku (standar) yang bersifat mengikat, melainkan hanya sebuah panduan [4].

#### Ketidakpastian Baku (U<sub>sd</sub>)

Ketidakpastian baku adalah ketidakpastian hasil pengukuran yang dinyatakan sebagai suatu simpangan baku. Persamaan untuk mencari nilai ketidakpastian baku, yaitu:

$$U_{sd} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Dengan,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  (2)

Keterangan:

- U<sub>sd</sub> : Ketidakpastian baku
- i : Data 1, 2, 3, ...
- x : Nilai data
- $\bar{x}$  : Nilai rata-rata data
- n : Jumlah data

#### Ketidakpastian Alat Master (U<sub>m</sub>)

Ketidakpastian alat master adalah nilai ketidakpastian yang terdapat pada alat pengkalibrasi. Persamaan untuk mencari nilai ketidakpastian alat master, yaitu:

$$U_m = \frac{U_{cm}}{K} \quad (3)$$

Keterangan:

- $U_m$  : Ketidakpastian alat master
- $U_{cm}$  : Ketidakpastian alat ukur yang digunakan
- $K$  : Faktor cakupan, tergantung dengan tingkat kepercayaan pengukuran

### Ketidakpastian Gabungan ( $U_c$ )

Persamaan untuk mencari nilai ketidakpastian gabungan, yaitu:

$$U_c = \sqrt{U_{sd}^2 + U_m^2} \quad (4)$$

Keterangan:

- $U_c$  : Ketidakpastian gabungan
- $U_m$  : Ketidakpastian alat master
- $U_{sd}$  : Ketidakpastian baku

### Ketidakpastian Bentangan ( $U_{exp}$ )

Persamaan untuk mencari nilai ketidakpastian bentangan, yaitu:

$$U_{exp} = U_c \cdot K \quad (5)$$

Keterangan:

- $U_{exp}$  : Ketidakpastian bentangan
- $U_c$  : Ketidakpastian gabungan
- $K$  : Faktor cakupan

### Koreksi

Nilai koreksi merupakan lawan dari kesalahan atau *error*.  
 Persamaan untuk mencari nilai koreksi, yaitu:

$$K = R - S \quad (6)$$

Keterangan:

- $K$  : Koreksi
- $R$  : Penunjukan alat ukur
- $S$  : Penunjukan standar

Dari persamaan tersebut, maka hasil perhitungan ketidaksamaan seperti pada Tabel 4, yaitu:

**Tabel 4. Hasil Perhitungan Koreksi**

Penunjukan Alat	Penunjukan Standar			Koreksi	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		
Up	0,00	0,000	0,002	0,001	0,000
	0,15	0,157	0,153	0,151	-0,007
	0,30	0,306	0,303	0,305	-0,006
	0,45	0,449	0,452	0,451	0,001
	0,60	0,601	0,599	0,601	-0,001
Down	0,60	0,601	0,602	0,599	-0,001
	0,45	0,451	0,448	0,452	-0,001
	0,30	0,301	0,303	0,301	-0,001
	0,15	0,148	0,150	0,152	0,002
	0,00	0,000	0,001	0,000	0,000

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4, nilai koreksi yang dihasilkan menggunakan nilai dari  $X_1$ . Hal ini dilakukan untuk mengetahui acuan nilai koreksi pada pengukuran pertama.

**Tabel 5. Hasil Perhitungan Ketidakpastian**

$\bar{x}$	$U_{sd}$	$U_{sd}$ Terbesar	$U_m$	$U_c$	$U_{exp}$
<b>0,001</b>	0,001				
<b>0,154</b>	0,003				
<b>0,305</b>	0,002	0,003	0,15	0,150	0,300
<b>0,451</b>	0,002				
<b>0,600</b>	0,001				
<b>0,601</b>	0,002				
<b>0,450</b>	0,002				
<b>0,302</b>	0,001	0,002	0,15	0,150	0,300
<b>0,150</b>	0,002				
<b>0,000</b>	0,001				

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5, nilai ketidakpastian yang didapat sebesar 0,3 bar.

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisa ketidakpastian *differential pressure gauge* adalah nilai ketidakpastian yang didapat sebesar 0,3 bar dari *range* 0 – 0,6 bar. Hal ini membuktikan bahwa instrumen tersebut memiliki kondisi yang baik dan dapat digunakan karena nilai ketidakpastian instrumen ini masih dalam batas toleransi. Tentunya, pada proyek ini menggunakan instrumen dalam kondisi baru, sehingga nilai ketidakpastian yang dihasilkan tidak akan melebihi batas toleransi.

## Daftar Acuan

- [1] PT. PLN (Persero), "Cooling Water System," *UP Muara Tawar*, vol. 56, pp. 93–106, 2012.
- [2] Mitsubishi Hitachi Power Systems, "GT CLOSED CYCLE COOLING WATER SYSTEM(2 OF 2) P&I DIAGRAM." p. 1, 2017.
- [3] Komite Akreditasi Nasional, "KAN-G-LK 02 - PEDOMAN KAN MENGENAI KALIBRASI DIGITAL MULTIMETER," Jakarta, 2016.
- [4] Komite Akreditasi Nasional, "Dp.01.23 - PEDOMAN EVALUASI DAN PELAPORAN KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN," Jakarta, 2003.
- [5] C. & K. Sulaeman, "Kalibrasi Temperatur pada PT100 dan Thermocouple," *J. Ilm.ELIT. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 99–104, 2011.
- [6] PT. Bumimitra Adipersada, "Instrument list." pp. 1–2, 2019.

- [7] Mitsubishi Hitachi Power Systems, "Instrument Calibration Procedure." pp. 1–29, 2019.
- [8] WIKA, "Differential pressure gauge For the process industry Model 732 . 51 , all-metal media chamber," pp. 1–5, 2019.
- [9] General Electric Company, "Measurement & Control Solutions," no. May, 2011.
- [10] PT. Global Quality Indonesia, "Calibration Certificate." p. 1, 2019.

## Metode Pemeliharaan Sistem DC 240 V Pada Blok 5 PLTGU Muara Tawar

Fadli Kurniawan<sup>1</sup>, Ikhsanul Islah Purwo Wicaksono<sup>1</sup>, Regif Satya Prasaja<sup>1</sup>, Murie Dwiyaniti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Otomasi Listrik Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

E-mail: fadlikurniawan885@gmail.com

### Abstrak

Sistem DC 240 V pada PLTGU Muara Tawar terdiri dari *battery*, *rectifier*, dan *inverter*. Peralatan tersebut harus dipelihara secara rutin karena sistem DC merupakan sistem yang berperan dalam menyediakan suplai cadangan listrik ketika terjadi *blackout* serta sebagai pengoperasi pompa-pompa tertentu dalam mekanisme pembangkitan. Jika peralatan tersebut tidak dipelihara secara rutin, maka akan mengakibatkan terjadinya kerusakan dan berkurangnya kinerja dari peralatan tersebut. Oleh karena itu, kami melakukan penelitian dengan pengamatan secara langsung pada pemeliharaan sistem DC. Metode pemeliharaan yang dilakukan adalah pemeliharaan rutin yang dilakukan setiap 3 minggu sekali dengan cara melakukan pengecekan secara visual, pengamatan setiap indikator peralatan, dan kebersihan peralatan tersebut. Hasilnya adalah kondisi *battery*, *rectifier*, dan *inverter* dalam keadaan yang baik dan sesuai dengan standar.

*Keywords: DC System, Battery, Inverter, Rectifier.*

### Abstract

The 240 V DC system in the Muara Tawar Gas and Steam Power Plant consists of a *battery*, *rectifier*, and *inverter*. The equipment must be maintained routinely because the DC system is a system that plays a role in providing a backup supply of electricity when blackouts occur as well as operating certain pumps in the generation mechanism. If the equipment is not regularly maintained, it will cause damage and reduce the performance of the equipment. Therefore, we conduct research with direct observations on DC system maintenance. The maintenance method used is routine maintenance that is carried out every 3 weeks by visual checking, observing each indicator of the equipment, and cleaning the equipment. The result is the condition of the *battery*, *rectifier*, and *inverter* in good condition and in accordance with the standards.

*Keywords: DC System, Battery, Inverter, Rectifier.*

## 1. Pendahuluan

Sumber listrik DC pada suatu pembangkit memiliki peran penting dalam kelancaran operasi dalam melayani kebutuhan listrik bagi konsumen. Sistem DC pada pembangkit disuplai oleh *rectifier* dan *battery* yang disusun secara seri, dimana keduanya dihubungkan secara paralel dengan beban, dalam keadaan normal sistem DC akan disuplai oleh *rectifier* secara langsung [1]. Pada saat terjadi *blackout* atau gangguan dari sistem AC maka baterai akan bekerja sebagai cadangan sumber untuk menyuplai beban dengan *range* waktu tertentu [2]. Sistem DC juga digunakan untuk menyalurkan suplai DC yang dipasok dari *rectifier* atau *charger* tiga fasa serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi penunjang di pembangkit seperti motor, relai proteksi, instrumen, tripping dan closing coil [3]. Penelitian ini berfokus pada metode

pemeliharaan rutin semua peralatan yang terdapat pada DC System 240 V.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif disertai dengan studi literatur.

Metode penelitian deskriptif merupakan suatu metode dalam meneliti status sekelompok manusia, suatu objek, suatu set kondisi, suatu sistem pemikiran, ataupun suatu kelas peristiwa pada masa sekarang [4]. Metode penelitian deskriptif ini digunakan untuk mengetahui keadaan dan prosedur yang dilakukan pada *preventive maintenance* sistem distribusi listrik DC di PT. PJB UP Muara Tawar khususnya pada blok 5.

Dalam pelaksanaan pemeliharaan peralatan kita harus mampu membedakan antara pemeriksaan atau pengawasan (melihat, mencatat, meraba serta

mendengar) dalam keadaan operasi dan memelihara, pengujian, koreksi, memperbaiki dan membersihkan dalam keadaan tidak beroperasi.

Pelaksanaan pemeliharaan rutin *DC System* dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu:

### 1. Persiapan

Hal pertama yang harus dilakukan ketika melakukan pemeliharaan rutin adalah memastikan bahwa *Work Order* untuk pekerjaan pemeliharaan telah terbit, memastikan adanya *Permit To Work* dari unit K3 dan OperPasi, menyiapkan formulir pemeliharaan, memakai Alat Pelindung Diri (*Safety Helmet*, *Safety Glasses*, *Safety Shoes*, *Safety Gloves*, *Wearpack*, *Earplug*, dan *Masker*), menyiapkan peralatan dengan material kerja yang dibutuhkan (*Air Demineralisasi*, Berat Jenis Meter, Kain Majun, Multimeter, Tangga, dan Thermometer) dan berkoordinasi dengan operator unit.

### 2. Pelaksanaan

Pelaksanaan *preventive maintenance* dilakukan dengan cara mengambil data dari kondisi visual dan indikator yang ada pada sistem distribusi listrik DC [5]. Parameter yang di cek terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter yang di cek pada sistem DC

No.	Item	Parameter
1	Baterai Charger	Tegangan Arus Output Charger Frekuensi Faktor Daya Arus Baterai
2	Baterai Bank	Tegangan Baterai Level Air Bsterai Berat Jenis Air Baterai Kondisi Fisik Kondisi Konektor
3	Inverter	Tegangan Frekuensi Arus Output
4	Panel Distribusi DC	Tegangan Busbar Kondisi Fisik Alarm <i>Earth Fault</i> (+/-) Alarm <i>High / Low Voltage</i>

### 3. Evaluasi

Langkah terakhir dalam melakukan pekerjaan *preventive maintenance* adalah menyesuaikan parameter data yang telah didapat dari dengan parameter standar yang telah tertuang dalam *check sheet*, setelah itu diberikan sebuah rekomendasi tindakan berdasarkan parameter data yang sudah diambil, semua proses pekerjaan dimuat dalam suatu kumpulan *check sheet* sebagai bukti bahwa telah melaksanakan *preventive maintenance* sesuai dengan *work order*, lalu yang terakhir dilakukan ialah melakukan validasi bahwa pekerjaan *preventive maintenance* sudah dilakukan kepada divisi operator dan supervisor

pemeliharaan listrik, lalu simpan laporan yang telah tervalidasi untuk dijadikan data *maintenance record* [5]. .Evaluasi tidak boleh luput dari semua pekerjaan pemeliharaan, hasil dari evaluasi pun harus bisa dipertanggung jawabkan karena apabila terdapat hasil yang tidak sesuai dengan kenyataan, maka dapat membahayakan keselamatan peralatan maupun keselamatan engineer.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Baterai

Baterai yang digunakan berjenis *lead-acid* yang memiliki spesifikasi tegangan tiap sel sebesar 2,23 V dan arus sebesar 1166Ah, maka digunakan sel baterai sebanyak 108 buah untuk mendapatkan tegangan sebesar 240 V. Baterai juga dilakukan pengisian air *demineralisasi* secara rutin untuk menjaga kinerja dari baterai tersebut. Pemeliharaan battery terdiri dari 2 metode, yaitu pengecekan secara visual dan pengukuran arus, tegangan, dan berat jenis sel.

#### a. Pengecekan Visual

Pemeliharaan pada battery diawali dengan pengecekan secara visual pada battery bank meliputi kondisi fisik battery, kondisi konektor, kondisi terminal kutub, connection cell, kondisi rak, serta keadaan di sekeliling battey bank. Hasil nya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pemeliharaan Rutin Battery Bank.

Item	Target	Status		Ket.
		OK	NOK	
Kondisi fisik baterai	Tidak ada retak, bersih		V	
Kondisi fisik konektor	Bersih	V		
Kondisi terminal kutub	Bersih & Kering	V		
<i>Connection cell</i>	Tidak Fong	V		
Kondisi rak	Bersih, tidak ada korosi	V		
<b>Lain-lain</b>				
Kondisi Exhaust Fan 1	1 Operasi, 1 Stand by	V		Stand by
Kondisi Exhaust Fan 2		V		ON
Noise Exhaust Fan	Tidak berisik	V		
Kondisi flat & ram	Bersih	V		



filter exhaust fan		
Kondisi	Ada	V
eye steril water		
APAR	Ada	V
Kebersihan ruangan	Bersih	V
Sistem Penerangan	Menyala	V

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa kondisi fisik baterai mengalami keretakan sehingga terindikasi mengalami penurunan kinerja, Dimana sel tersebut terlihat rontok dan perlu adanya pengujian ataupun pergantian sel baterai. Apabila tidak segera di tanggulangi maka dapat menurunkan kualitas kerja dari sistem DC tersebut.

### b. Pengukuran Tegangan, Suhu, dan Berat Jenis Sel pada Baterai

Pada pengukuran tegangan, suhu, dan berat jenis sel menggunakan voltmeter, thermometer, dan berat jenis meter. Pengukuran baterai dilakukan per sel. Pengukuran mengacu pada spesifikasi battery, yaitu tegangan sebesar 2,23 V, suhu 28,5°C, berat jenis 1,24 kg/l. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemeliharaan Rutin Tegangan, Elektrolit, dan Suhu Ruangan Battery Bank.

No.	Tegangan (V)	BJ (Kg/l)	Temperatur (°C)
1	2,22	1,237	29
2	2,22	1,240	28,5
3	2,22	1,243	28,5
4	2,22	1,243	28,5
5	2,22	1,237	29
6	2,22	1,233	28,5
7	2,19	1,248	28,5
8	2,22	1,254	28,5
9	2,23	1,252	28,5
10	2,23	1,243	28,5
11	2,23	1,237	28,5
12	2,18	1,233	28,5
13	2,17	1,233	28,5
14	2,19	1,218	28,5
15	2,18	1,222	28,5

Dari Tabel 3, ditemukan 6 buah sel baterai yang tegangannya kurang dari 2,20 V. Kondisi suhu & berat jenis masih sesuai dengan standar. Untuk itu perlu dilakukan pergantian pada baterai yang tegangannya kurang dari 2,20 V agar sistem kembali handal untuk dipergunakan kembali.

### 3.2 Rectifier

Rectifier merupakan komponen utama pada sistem DC yang sumbernya mendapat tegangan sebesar 400 VAC lalu diubah menjadi tegangan 240 VDC dengan arus

sebesar 7 A. Rectifier juga berfungsi sebagai charger pada baterai. Indikator pengecekan pada rectifier meliputi besar tegangan, besar arus, frekuensi, dan faktor daya. Target penilaian dan hasil pengecekan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pemeliharaan Rutin Rectifier

Item Check	(Target)	Nilai	Status
<b>Mode Charge : Float Charge</b>			
V-Out	(240 VDC)	240	OK
I-Out	(A)	7	OK
<b>S-MEASURE</b>			
V-In (U-V-W)	(230 VAC)	231-235-235	OK
I-In (U V W)	(A)	14-12-13	OK
Frequency	(50 Hz)	50,1	OK
In Power	(kVA)	9,1	OK
Power Faktor	(30%)	30%	OK
Rectifier Voltage	(240 VDC)	240	OK
Rectifier Current	(A)	7	OK
Battery Voltage	(240 VDC)	239	OK
Battery Current	(<1 A)	1	OK

Berdasarkan Tabel 4, seluruh parameter yang di cek mendapatkan nilai yang sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, sehingga dapat di analisa bahwa status dari pemeliharaan ini dalam kondisi baik,

### 3.3 Inverter

Inverter merupakan komponen sistem DC yang sumbernya mendapatkan tegangan DC 240 V lalu diubah menjadi tegangan AC sebesar 230 V dengan frekuensi sebesar 50 Hz dan arus sebesar 6 A. Target dan hasil pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemeliharaan Rutin Inverter

Item Check	(Target)	Nilai	Status
<b>Output</b>			
Output Voltage	(232 VAC)	230	OK
Output Frequency	(50 Hz)	50	OK
Output Current	(A)	6	OK
Load	(%)	7	OK
<b>By Pass</b>			
By Pass Voltage	(232 VAC)	232	OK
By Pass Frequency	(50 Hz)	50	OK
<b>Inverter</b>			
Inverter Voltage	(232 VAC)	228	OK
Inverter Frequency	(50 Hz)	50	OK
DC Voltage	(240 VDC)	241	OK

Berdasarkan Tabel 5 (Pemeliharaan Rutin Inverter) seluruh parameter yang di cek mendapatkan nilai yang

sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, sehingga dapat di analisa bahwa status dari pemeliharaan ini dalam kondisi baik,

### 3.4 Panel Distribusi Tegangan DC

Target dari pemeliharaan panel distribusi tegangan DC adalah kesesuaian besar tegangan, kondisi LED, kerja indikator alarm, dan kebersihan peralatan. Target yang harus dicapai dan hasil pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemeliharaan Panel Distribusi Tegangan DC

Item Check	Target	Status	
		OK	N OK
Tegangan	220 VDC	V	
Arus Input dari BUA		V	
Arus Input dari BUB		V	
Kondisi Rtr Barring	On/Off	V	
Kondisi ELOP	On/Off	V	
Test LED	LED menyala	V	
Kondisi fisik	Tidak ada kelainan	V	
Kebersihan Peralatan	Bersih	V	
Alarm		V	
DA-F2	Sett : 2.3	V	
DA-Q01	Sett : 2.3	V	
DA-Q02	AUTOM ATIC	V	
F02	Sett : 5.8	V	
S01	NORM	V	
F03	ON	V	
ELOP-Q03	OFF	V	
ELOP-Q04	OFF	V	
ELOP-Q01	ON	V	

Merujuk pada Tabel 6, ditemukan bahwa hampir seluruh indikator sesuai parameter yang telah ditentukan dan indikator lain pun dalam keadaan baik akan tetapi kondisi fisik baterai mengalami keretakan pada beberapa bagian, sehingga diperlukannya pergantian guna memastikan kondisi handal dari DC System yang bekerja.

## 4. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pemeliharaan rutin Sistem DC 240 V terdapat sel baterai yang mengalami penurunan performa sehingga harus dilakukan pergantian baterai dengan yang baru. Sedangkan, pada pemeliharaan yang lain

didapatkan seluruh parameter yang di cek dalam kondisi yang baik untuk dipergunakan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh karyawan PT. PJB UP Muara Tawar yang turut membantu dalam pelaksanaan penelitian.

## Daftar Acuan

- [1] M. Iklil and D. Ir. Agung Warsito, "SISTEM DC 220V PLTU PACITAN 2x315 MW," pp. 1–8, 2014.
- [2] M. Kamran, M. Bilal, and M. Mudassar, "DC Home Appliances for DC Distribution System," *Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 36, no. 4, pp. 881–890, 2017.
- [3] P. P. Persero, "Buku Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai Ac / Dc," no. 0520, pp. 2–3, 2014.
- [4] M. Nasir, *Metode Penelitian*. Bogor: Ghalia Indonesia, 2005.
- [5] P. PT. PJB, "DOKUMEN LEVEL IV – FORMULIR: STANDART OPERATING PROCEDURE. Instruksi Kerja PEMELIHARAAN RUTIN DC SYSTEM. PT,," Bekasi, 2010.

## Penentuan Parameter PID Dengan Metode Ziegler-Nichols Untuk Pengendalian *Flow Indicator Controller* 12 – FIC – 219 Pada *Control Valve* 12 – FV – 219

Safira Putri Wibowo<sup>1</sup>, Rika Novita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16425, Indonesia

safiraputriwibowo@outlook.com; rika.novitawardhani@elektro.pnj.ac.id

### Abstract

The Atmospheric Residue Hydrometallization (ARHDM) unit to reduce the levels of metals and carbon residues from Atmospheric Residue into products with low metal and carbon residue cause feed from the ARHDM unit will be the input feed for the Catalytic Cracker Residue unit which has an important role in processing residuals from ARHDM units into value-selling products. There are six sections to the ARHDM unit. One of the most important is the feed section. In the feed section, AR will be filtered and heated first before entering the Fractionization section which requires high flow pressure and temperature for the Hydrotreating process so, pump is needed to control feed flow from the filtered feed surge drum to the reactor feed furnace. When the 12-FT-219 flow transmitter detects the difference in pressure at the two pipe points it will transmit it to the 12-FIC-219 controller to adjust the 12-FV-219 control valve opening. In this study the PID parameter values have been generated by applying the Ziegler-Nichols method and routh-hurwitz stability analysis. The results of the study using Matlab simulation obtained large values of  $K_p=35.28$  and  $T_i=3.33$  at 12-FIC-219 accordingly too high, increasing the time by 1s and the system stable in 14s.

Keyword: control valve 12 – FV – 219, flow controller 12 – FV - 219, flow transmitter 12 – FT – 219, Routh-Hurwitz, Ziegler – Nichols.

### Abstrak

Unit Atmospheric Residue Hydrometallization (ARHDM) berfungsi untuk mengurangi kadar metal dan carbon residue dari Atmospheric Residue menjadi produk dengan kandungan metal dan carbon residue yang rendah karena output feed dari unit ARHDM akan menjadi input feed bagi unit Residue Catalytic Cracker (RCC) dimana memiliki peranan penting dalam mengolah residu dari unit ARHDM menjadi produk bernilai jual. Terdapat enam seksi pada unit ARHDM salah satu yang terpenting adalah seksi feed. Pada seksi feed, AR akan difiltrasi dan dipanaskan terlebih dahulu sebelum memasuki seksi Fraksinisasi dimana membutuhkan tekanan aliran dan temperature yang tinggi untuk proses Hydrotreating sehingga diperlukan pompa untuk mengalirkan feed dari filtered feed surge drum ke reactor feed furnace. Ketika flow transmitter 12 – FT – 219 mendeteksi perbedaan tekanan di dua titik pipa maka akan mentransmisikannya ke controller 12 – FIC – 219 untuk mengatur bukaan control valve 12 – FV - 219. Pada studi ini telah dihasilkan nilai parameter PID dengan penerapan metode Ziegler-Nichols dan analisis kestabilan routh-hurwitz. Hasil studi menggunakan simulasi Matlab didapatkan besar nilai  $K_p=35.28$  dan  $T_i=3.33$  pada 12 – FIC – 219 sesuai sehingga tidak terdapat overshoot, rise time sebesar 1s dan sistem stabil dalam 14s.

Kata Kunci: control valve 12 – FV – 219, flow controller 12 – FV - 219, flow transmitter 12 – FT – 219, Routh-Hurwitz, Ziegler – Nichols.

## 1. Pendahuluan

Unit atmospheric residue hydrometallization (ARHDM) merupakan proses pengurangan metal dan carbon residue dari Atmospheric Residue menjadi produk

dengan kandungan metal dan carbon residue yang rendah sebagai bahan baku (feed) unit Residue Catalytic Cracking (RCC). Bahan baku unit ARHDM adalah Atmospheric residue (AR) dengan distilasi 370°C output dari Crude Distillation Unit (DCU) berupa hot AR / cold

AR dari tanki 42 – T – 104 AB. Pada unit ini terdapat 2 reaktor paralel modul, yakni modul 12 dan 13 dimana masing-masing terdapat 3 buah reaktor yang dipasang secara seri. Modul dioperasikan secara mandiri dan bergantian bergantung kebutuhan produksi. Terdapat enam seksi proses pengolahan pada unit ini yakni, seksi *feed*, seksi reaksi, seksi pendingin dan pemisahan produk reaktor, seksi *recycle* gas, seksi fraksinasi, dan seksi *make up* hidrogen.

Pada seksi *feed* di modul 12, *feed* (minyak) dipanaskan pada *Fractionator Bottom Exchanger* 12 – E – 50 kemudian kotoran difiltrasi pada 12 – J – 501 dimana terdapat 5 filter yang tersusun paralel. Keluaran dari filtrasi 12 – J – 501 dialirkan ke *Filtered Feed Surge Drum* 12 – V – 501 yang berfungsi sebagai penampung awal *feed* sebelum dipompa *Reactor Charge Pump* 12 – P – 101 ke dalam *Reactor Feed Furnace* 12 – F – 101.

*Feed* yang mengalir ke 12 – F – 101 dikontrol menggunakan *flow indicating controller* 12 – FIC – 219. Jika *flow switch low low* 12 – FSLL – 219B mendeteksi *low flow* maka, akan mengirim indikasi ke *flow controller* untuk menutup valve 12 – FV – 219 sehingga *Reactor Charger Pump* 12 – P – 101 terlindung dari kerusakan akibat *low flow* dan *back flow*. Maka dari itu, digunakan metode kontrol untuk mengatur buka – tutup *control valve* secara otomatis menggunakan PID. Karena peran *control valve* 12 – FV – 219 sangat penting dan *flow transmitter* 12 – FT – 219 pada proses *feed* ini, penulis tertarik membahas mengenai metode kontrol *tuning* PID menggunakan Ziegler – Nichols untuk mengatur besar bukaan *control valve* sehingga penulis mengambil judul “Penentuan Parameter PID dengan Metode Ziegler–Nichols untuk Pengontrolan *Flow Indicator Controller* 12 – FIC – 219 pada *Control Valve* 12 – FV – 219”.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sistem Instrumentasi

Instrumentasi adalah seperangkat alat instrumen yang digunakan untuk mengontrol, memanipulasi, mengukur, menunjukkan atau menghitung nilai suatu variabel kuantitas yang ada dalam proses industri. Fungsi instrumentasi dalam suatu proses industri dapat diklasifikasikan ke dalam 4 golongan:

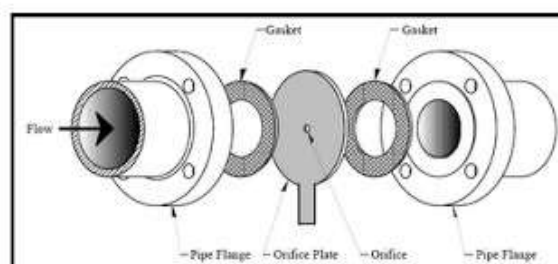
- Sebagai alat ukur, yaitu untuk memonitor kondisi operasi, melalui pengukuran variabel proses yang mempengaruhi jalannya operasi, seperti tekanan, temperatur, jumlah aliran, level, dan sebagainya.
- Sebagai alat kontrol, yaitu untuk mengendalikan jalannya operasi agar variabel proses selalu sesuai dengan nilai yang di inginkan.
- Sebagai alat pengaman (*safety*), yaitu untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan mencegah kecelakaan pada operator.

- Sebagai alat analisa, yaitu sebagai penganalisis produk apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Dalam sistem kontrol sendiri, tujuan dari penerapan sistem instrumentasi dan kontrol dalam industri minyak adalah agar proses berjalan dengan andal, aman, dan menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

#### 2.1.1 Differential Pressure Transmitter

Prinsip operasi Differential Pressure Flowmeters (DP Flowmeters) di dasarkan pada persamaan Bernoulli yang menguraikan hubungan antara tekanan dan kecepatan pada suatu aliran fluida. Alat ini memandu aliran ke dalam suatu penghalang aliran (yang mempunyai lubang dengan diameter yang berbeda dengan diameter pipa), sehingga menyebabkan perubahan kecepatan aliran (*flow velocity*) dan tekanan (*pressure*) antara sisi *upstream* dan *downstream* dari penghalang. Dengan mengukur perubahan tekanan tersebut, maka kecepatan aliran dapat dihitung. Salah satu contoh penerapannya pada *orifice plate*. *Orifice Plate* adalah pelat tipis dengan lubang di tengah. Hal ini biasanya ditempatkan dalam pipa aliran fluida di mana.



Gambar 1. Instalasi *Orifice Plate*

Dengan mengukur perbedaan tekanan fluida antara bagian pipa normal dan di vena *contracta*, tingkat aliran volumetrik dan massa dapat diperoleh dari persamaan Bernoulli. Berdasarkan penurunan rumus Bernoulli maka, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times DP \times A_2}{\rho(A_1 - A_2)}} \quad (1)$$

#### 2.1.2 Flow Transmitter

Transmitter berfungsi sebagai penerima suatu perubahan yang dihasilkan oleh sensing element, yang kemudian mengubahnya menjadi output yang dapat diterima oleh peralatan instrument lain. Transmitter mengubah besaran yang dihasilkan oleh sensing element menjadi sinyal standar untuk ditransmisikan dan dapat diterima oleh perangkat lainnya. Sinyal standar ada dua macam, yaitu :

- Sinyal standar pneumatik: 3-15 psig (0,2 – 1 kg/cm<sup>2</sup>)
- Sinyal standar elektrik: 4-20 mA atau 1-5 Volt DC

Berikut merupakan spesifikasi dari *flow transmitter*:

Tag Number : 12 – FT – 219  
 Type : *Differential Pressure Transmitter*  
 Output Signal : 4 – 20 mA  
 Meter range : 260 T/H  
 Design Pressure : 285 kg/cm<sup>2</sup>g  
 Design : 299 °C  
 Temperature



Gambar 2. *Flow Transmitter* 12 – FT – 219

*Flow transmitter* Merupakan elemen penting pada proses pengendalian *flow* karena *flow transmitter* yang akan mentransmisikan hasil pendeteksian perbedaan tekanan pada laju aliran sehingga berperan penting pada proses pengaturan bukaan *control valve* 12 – FV – 219.

### 2.1.3 Final Control Element

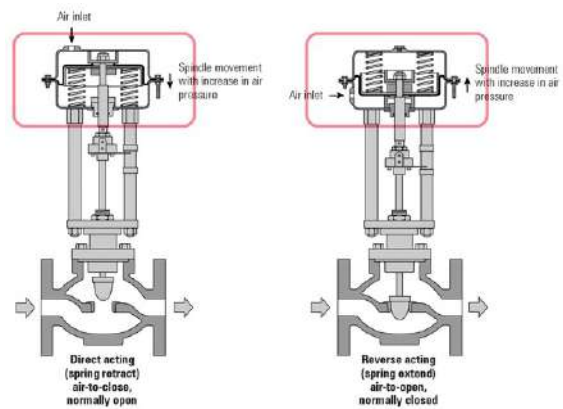
Salah satu contoh *final control element* yang paling sering dijumpai adalah *control valve*. Elemen ini mengimplementasikan keputusan yang diambil oleh *controller*. *Control valve* dapat dibedakan berdasarkan aksinya, yaitu:

1. *Air To Close* (ATC)

*Control valve* akan menutup apabila sinyal yang masuk ke aktuator naik, dan akan membuka jika sinyal yang masuk ke aktuator turun.

2. *Air To Open* (ATO)

*Control valve* akan membuka apabila sinyal yang masuk ke aktuator naik, dan akan menutup jika sinyal yang masuk ke aktuator turun.



Gambar 3. Jenis *Control Valve*

*Control valve* 12 – FV – 219 berjenis *piston operated valve* dengan karakteristiknya yang *linier flow* yaitu *flow rate* akan bernilai *linier* terhadap persen bukaan *control valve*. Besarnya bukaan *control valve* ini ditentukan oleh *actuator* yang menerima sinyal dari kontroler.

Berikut merupakan spesifikasi dari *control valve* yang digunakan pada sistem ini:

Tag Number : 12 – FV – 219  
 Body Type : *Piston Operated Control valve*  
 Body Size : 6"  
 Actuator Type : *Piston*  
 Fail Position : *Close*  
 Flow Rate Max. : 255.1 kg/cm<sup>2</sup>g  
 Design Temperature : 274 °C



Gambar 4. *Control valve* 12 – FV – 219

Apabila tekanan aliran semakin rendah maka *Controller* akan mengaktifkan *solenoid valve*. *Solenoid valve* yang aktif akan memutus kontak *control valve* agar tidak menerima *air pressure*, karena tipe *control valve* 12 – FV – 219 adalah *fail close* atau *air to open* (ATO) maka ketika tidak mendapat *air pressure* dari *solenoid*, *control valve* akan menutup, dan berlaku pula sebaliknya.

## 2.2 Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu jangkauan harga (*range*) tertentu. Dalam istilah lain disebut juga teknik pengaturan sistem pengendalian atau sistem pengontrolan. Ditinjau dari segi peralatan, sistem kontrol terdiri dari berbagai susunan komponen fisis yang digunakan untuk mengarahkan aliran energi ke suatu mesin atau proses agar dapat menghasilkan *output* yang diinginkan.

### 2.2.1 Kontrol PID

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol *derivative*. Pengontrol proposional memiliki keluaran yang sebanding atau proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang di inginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol proporsional merupakan perkalian antara konstanta proposional dengan masukannya. Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional ( $K_p$ ) ditunjukkan secara persentasi oleh persamaan berikut:

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad (2)$$

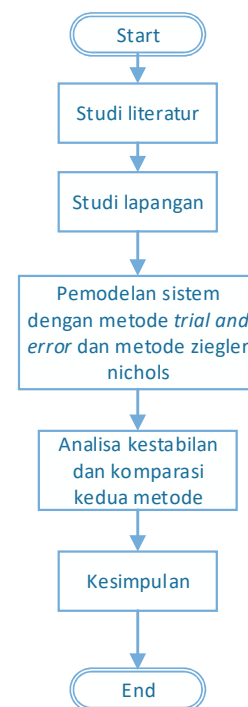
Jika nilai  $K_p$  kecil maka *controller* proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator (1/s), pengontrol proposional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Pengontrol integral dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{1}{T_i} \times K_p \int e(t)dt \quad (3)$$

Kontrol *Derivative* memiliki fungsi untuk memperbaiki sekaligus mempercepat respon transien dan akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Kontrol *Derivative* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_p \times T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

## 3. Metode Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Metode Penelitian

Dalam proses penentuan parameter PID, penulis melakukan studi literatur melalui *handbook* tentang kontrol PID, *handout* P&ID proses pada *loop* tersebut, dan mempelajari standar instrumentasi berdasarkan ISA. Setelah mempelajari berbagai literatur, selanjutnya melakukan studi lapangan untuk pengambilan data dari alat instrumentasi yang digunakan pada *loop* tersebut agar dapat dirancang pemodelan sistemnya.

Untuk mengkomparasi data hasil lapangan dengan metode *trial and error* dengan perhitungan manual menggunakan metode Ziegler – Nichols maka, dilakukan simulasi menggunakan Matlab. Lalu, hasil *output* grafik dianalisa mengenai metode mana yang memiliki *overshoot* kecil, *rise time* cepat, *error* mendekati 0, dan osilasi tidak begitu besar.

## 4. Analisa dan Pembahasan

### 4.1 Komponen Sistem Pengendalian 12 – FIC – 219

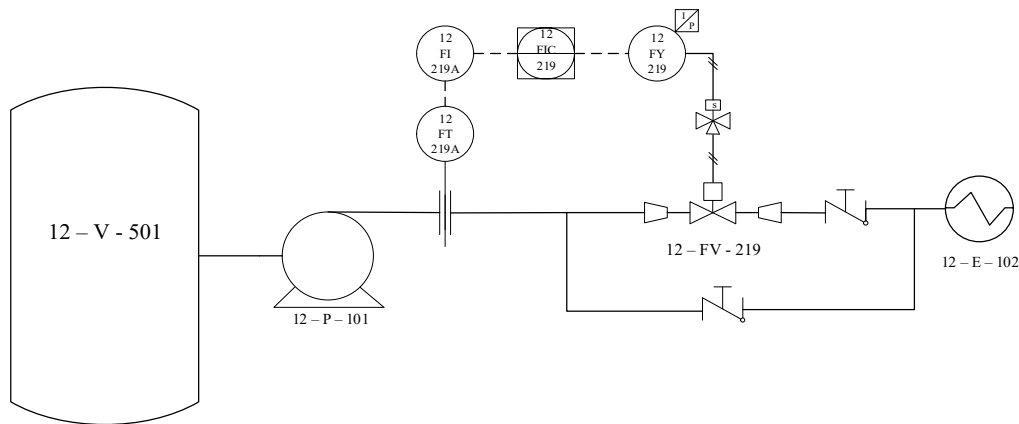
Sistem pengendalian *flow* ini menggunakan tipe pengendalian bersifat *Direct Action* karena *Control valve* bertipe *fail close* atau ATO (*Air to Open*) maka semakin besar perubahan *input step* pada *control output* (CO) akan menyebabkan bukaan *control valve* semakin membesar pula (semakin membuka keatas). Namun, mode yang digunakan adalah *Reverse* karena gain statis atau gain proses bernilai *positive*.



Flow Transmitter 12 – FT – 219 berlokasi di Modul 12, unit Atmospheric Residue Hydrodemetallization (ARHDM) dan masuk ke dalam seksi feed. Pada seksi ini feed berupa AR (minyak) dipanaskan pada Fractionator Bottom Exchanger 12 – E – 50 kemudian kotoran difiltrasi pada 12 – J – 501 dimana terdapat 5 filter yang tersusun paralel. Hasil Keluaran dari filtrasi 12 – J – 501 dialirkan ke Filtered Feed Surge Drum 12 – V – 501 yang berfungsi sebagai penampung awal feed sebelum dipompa Reactor Charge Pump 12 – P – 101 ke dalam Reactor Feed Furnace 12 – F – 101.

Fungsi dari flow transmitter 12 – FT – 219 adalah untuk mendeteksi perbedaan tekanan upstream dan downstream pada orifice plate dimana upstream

adalah tekanan sebelum masuk ke dalam lubang orifice plate dan downstream adalah tekanan setelah melalui lubang orifice plate. Hasil pendeteksian perbedaan tekanan tersebut akan ditransmisikan melalui sinyal elektrik 4–20 mA ke 12 – FIC – 219 sebagai Flow Indicator Controller untuk mengontrol besar bukaan control valve 12 – FV – 219 dan mengaktifkan Flow Switch Low Low 12 – FSSL – 219 untuk memutus aliran listrik ke pompa apabila tekanan aliran semakin menurun. Hal ini dilakukan untuk melindungi pompa dari kerusakan akibat back flow yakni, aliran balik yang kembali lagi menuju pompa saat control valve ditutup dan mencegah pompa terus bekerja walau tidak ada aliran yang melalui pipa.



Gambar 6. Simplifikasi P&ID Sistem Pengendalian Flow pada 12 – FIC – 219

## 4.2 Pengendalian flow pada 12 – FIC – 219

### 4.2.1 Cara Kerja Pengendalian Aliran Pada Saat Aliran Turun

Apabila aliran turun maka flow transmitter akan mengirimkan sinyal 4 – 20 mA ke controller 12 – FIC – 219 sebagai process value (PV) yang kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan set point (SP) dimana menghasilkan nilai error = PV – SP. Karena controller memiliki aksi control direct maka, jika process value (flow) turun maka manipulated value (output dari controller) juga akan turun sebanding dengan penurunan nilai PV sehingga control valve akan menutup sesuai dengan presentase nilai manipulated value agar sistem bekerja sesuai set point.

### 4.2.2 Cara Kerja Pengendalian Aliran Pada Saat Aliran Naik

Apabila aliran naik maka flow transmitter akan mengirimkan sinyal 4 – 20 mA ke controller 12 – FIC – 219 sebagai process value (PV) yang kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan set point (SP) dimana menghasilkan nilai error = PV – SP. Karena controller memiliki aksi control direct maka, jika process value (flow) naik maka manipulated value (output dari controller) juga akan

naik sebanding dengan kenaikan nilai PV sehingga control valve juga akan membuka sesuai dengan presentase nilai manipulated value agar sistem bekerja sesuai set point atau set value.

## 4.3 Fungsi Alih Pengendalian pada 12 – FIC – 219

### 4.3.1 Fungsi Alih Flow Transmitter 12 – FT – 219

Flow Transmitter yang digunakan dalam pengendalian flow adalah flow transmitter memiliki tag number 12 – FT – 219 Fungsi alih dari flow transmitter diasumsikan bernilai 1 atau ideal, sehingga :

$$H(s) = 1 \quad (5)$$

### 4.3.2 Fungsi alih Control valve 12 – FV – 219

Control valve yang digunakan dalam pengendalian flow adalah Control valve memiliki tag number 12 – FV – 219 Fungsi alih dari Control valve diasumsikan bernilai 1 atau ideal, sehingga :

$$H(s) = 1 \quad (6)$$

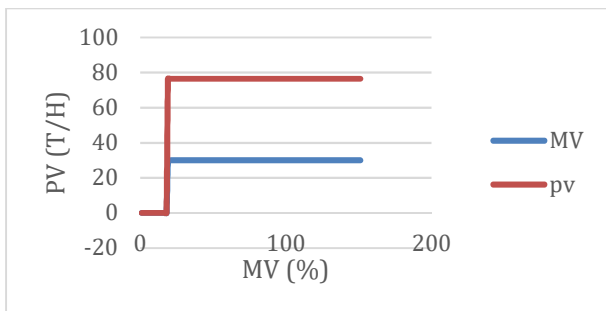
### 4.3.3 Fungsi Alih Gain Proses

Pada proses pembuatan fungsi gain proses dibutuhkan data berupa perubahan process value

(PV) setiap detiknya yang bergantung dengan nilai *manipulated value* (MV) yang berasal dari *output controller*. Maka dari itu, perlu dilakukan *bump test* yang bertujuan untuk menentukan model dari proses ini, *First Order Plus Dead Time* (FOPDT) yakni model matematis dari proses *self-regulating* yang cenderung bersifat stabil atau *Integrating Plus Dead Time* (IPDT) yakni model matematis dari proses *non self-regulating* yang cenderung tidak stabil.

Model matematis *First Order Plus Dead Time* dicirikan oleh tiga buah parameter: keterlambatan transportasi (L), konstanta waktu proses (T), dan *gain* statis proses (K). Sementara model matematis *Integrating Plus Dead Time* dicirikan oleh dua buah parameter: keterlambatan transportasi (L), dan *gain* statis proses (K).

Gambar 7 merupakan grafik hasil *bump test* secara manual dimana proses diasumsikan memiliki hasil *output* yang linear dan sebanding dengan *input* dari MV sehingga proses dapat diasumsikan pula ideal. *Input step* diberi perubahan sehingga nilai MV yang awalnya 0% menjadi 30% sehingga akan terjadi perubahan PV. Berdasarkan gambar 4.4 maka dapat disimpulkan bahwa proses ini adalah *self-regulating* dengan model matematis yang digunakan adalah FOPDT karena proses stabil dan ideal.



Gambar 7. Grafik Hasil Bump Test

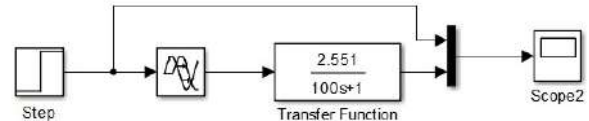
Pada gambar 7 menunjukkan grafik hasil *bump test* dari excel dimana hasil *output* berada pada kondisi *steady state* dan menemukan titik stabilnya sehingga dapat dikatakan stabil. maka, dapat disimpulkan bahwa proses termasuk model *self-regulating* sehingga model matematisnya menggunakan rumusan dari FOPDT. Langkah pertama setelah mengetahui model proses yang digunakan adalah dengan mencari nilai *gain* statis dan konstanta waktu proses, dapat dirumuskan:

$$K = \frac{76,53 - 0}{30 - 0} = 2,551 \quad (7)$$

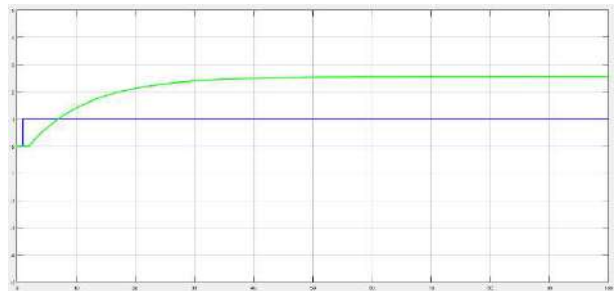
$$T = \frac{76,53 - 0}{\frac{76,53}{100}} = 100 \quad (8)$$

Dari hasil tersebut maka fungsi alih *gain* proses dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Gp(s) = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{2,551}{100s + 1} \quad (9)$$



Gambar 8. Diagram Blok Fungsi Alih Gain Proses Open Loop



Gambar 9. Grafik Output Fungsi Alih Gain Proses

#### 4.3.4 Fungsi Alih 12 – FIC – 219 Metode Ziegler – Nichols

Fungsi alih 12 – FIC – 219 menentukan parameter PI berdasarkan perhitungan dengan metode Ziegler-Nichols, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

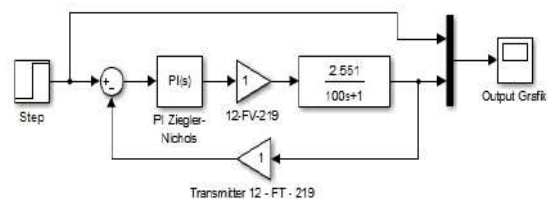
Tabel 1. Rumus control PID dengan Ziegler-Nichols

Ziegler - Nichols	$K_p$	$T_i$
Proportional Integral	$\frac{0,9T}{K \cdot L}$	3.33L

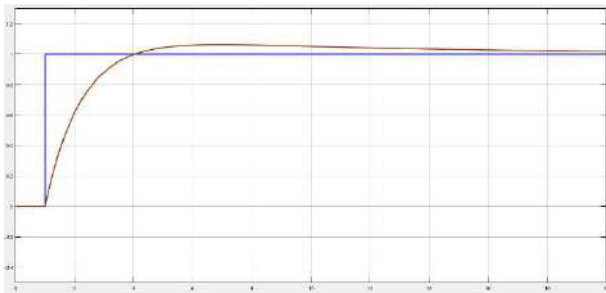
$$K_p = \frac{0,9 T}{K \cdot L} = \frac{0,9 (100)}{(2,551)(1)} = 35,28 \quad (10)$$

$$T_i = 3,33L = 3,33 \quad (11)$$

Berdasarkan nilai tersebut maka parameter *tuning* PI *controller* 12 – FIC – 219 dapat disimulasikan dengan Matlab melalui diagram blok gambar 10:



Gambar 10. blok diagram 12 – FIC – 219 dengan metode Ziegler-Nichols



Gambar 11. Grafik output tuning 12 – FIC – 219 metode Ziegler – Nichols

Berdasarkan grafik pada gambar 11 sistem cenderung stabil tanpa overshoot yang tinggi, rise time memerlukan waktu 1 sekon namun, membutuhkan waktu yang Panjang untuk mencapai kondisi steady state pada angka 1 walau sistem tidak berisolasi sehingga tetap stabil walau untuk mencapai kondisi steady state pada angka 1 mencapai 14 sekon.

#### 4.4 Kestabilan Sistem Metode Ziegler – Nichols Menggunakan Routh Hurwitz

Untuk menentukan kestabilan sistem maka gain proses yang awalnya close loop harus menjadi open loop. Sebelum membuat sistem menjadi open loop perlu dihitung terlebih dahulu gain controller yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i(s)} + T_d(s) \right] \quad (12)$$

$$G_c(s) = 35.28 \left[ 1 + \frac{1}{3.33(s)} + 0(s) \right]$$

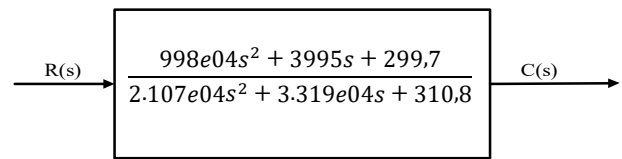
$$G_c(s) = \left[ 35.28 + \frac{35.28}{3.33(s)} \right]$$

$$G_c(s) = \frac{117,4824(s) + 35.28}{3,33(s)}$$

Gain proses dari sistem ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$G_p(s) = \frac{K}{T_s + 1} = \frac{2,551}{100s + 1} \quad (13)$$

Setelah mendapat nilai dari gain controller selanjutnya membuat transfer function pada Matlab untuk mendapat nilai open loop secara otomatis menggunakan syntax Matlab sehingga didapat hasil sebagai berikut:



Denominator pada sistem open loop tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisa kestabilan menggunakan tabel Analisa kestabilan Routh – Hurwitz

Tabel 2. Analisa kestabilan Routh – Hurwitz

$s^2$	2.107e05	310,8
$s^1$	3.319e04	-
$s^0$	310,8	-

Terlihat bahwa koefisien polynomial dari persamaan karakteristik selalu bernilai positif. Sesuai dengan teori Routh – Hurwitz yang menyatakan apabila kolom pertama bernilai positif maka sistem pengendalian tersebut dianggap stabil.

## 5. Kesimpulan

1. Cara kerja pengendalian aliran (flow) pada 12 – FIC – 219 adalah apabila aliran naik maka flow transmitter akan mengirimkan sinyal 4 – 20 mA ke controller 12 – FIC – 219 sebagai process value (PV) yang kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan set point (SP) dimana menghasilkan nilai error = PV – SP. Karena controller memiliki aksi control direct maka, jika process value (flow) naik maka manipulated value (output dari controller) juga akan naik sebanding dengan kenaikan nilai PV sehingga control valve juga akan membuka sesuai dengan presentase nilai manipulated value agar sistem bekerja sesuai set point atau set value.
2. Parameter tuning menggunakan metode Ziegler – Nichols didapatkan hasil:  $K_p = 35.28$  dan  $T_i = 3.33$  sehingga dari kedua parameter tersebut dapat dihitung fungsi alih gain controller. Untuk mengetahui kestabilan dari sistem diperlukan fungsi alih loop terbuka. Berdasarkan perhitungan Matlab fungsi alih loop terbuka pada metode Ziegler-nichols didapatkan hasil:

$$\frac{998e04s^2 + 3995s + 299,7}{2.107e04s^2 + 3.319e04s + 310,8}$$

dimana berdasarkan analisa kestabilan Routh – Hurwitz sistem ini dapat dikatakan stabil karena terlihat bahwa koefisien polynomial dari persamaan karakteristik selalu bernilai positif.

## **6. Daftar Acuan**

- [1]. Ainul, Gunawan, Syamsudin. 2016. Pengujian Orifice Flow Meter dengan Kapasitas Aliran Rendah. *Jurnal Mechanical*, vol. 7, no. 2, hh. 61 – 66.
- [2]. ISA-S5.1 – *Instrumentation Symbols and Identification* .
- [3]. Nata Septiadi Wayan. 2018. Studi Eksperimental Orifice Flow Meter Dengan Variasi Tebal Dan Posisi Pengukuran Beda Tekanan Aliran Melintasi Orifice Plate. *Jurnal energi dan manufaktur*, vol. 3, no. 1, hh. 87 – 88.
- [4]. Setiawan, iwan. 2008. “Kontrol Pid Untuk Proses Industri”. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- [5]. Distra, Totok. 2018. study Orifice Plate Tipe Concentric Dan Slotted Orifice Untuk Pengukuran Aliran Gas. *Jurnal Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, vol. 1, no. 1, hh. 1 – 8

## **Penerapan Sistem Pan-Tilt Camera untuk Deteksi Objek berdasarkan Warna menggunakan Raspberry Pi**

Christophorus Edward Setiawan Ghanie<sup>1</sup>, Florentinus Budi Setiawan<sup>2</sup>

*Jurusan Robotik Mekatronik, Program Studi Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, Indonesia*

*Email : [christophorusedward99@gmail.com](mailto:christophorusedward99@gmail.com)*

### **Abstrak**

Teknologi saat ini semakin berkembang pesat dengan adanya komputer yang memiliki banyak fungsi dan kegunaannya. Salah satu cabangnya adalah teknologi *Computer Vision* yang menggunakan fungsi dari suatu kamera yang terkomputasi untuk mendeteksi warna, wajah hingga sensor jarak pada mobil otonom. Dalam istilah sederhana teknologi ini diciptakan bagaimana komputer/mesin dapat melihat. Yang akan dibahas pada laporan ini yaitu menjelaskan bagaimana cara kerja sistem pan tilt kamera otomatis menggunakan Raspberry Pi untuk mendeteksi objek berdasarkan warna menggunakan beberapa software pemrograman seperti Python dan library OpenCV untuk menangkap dan mengolah gambar dari kamera sehingga dapat mengenali warna dari objek yang akan dideteksi. Dari hasil penelitian ini perangkat dapat bekerja dengan baik meskipun dibutuhkan intensitas cahaya yang cukup agar kamera dapat menangkap dan mengolah gambar dengan hasil yang optimal.

*Kata kunci: Computer Vision, Pan-tilt Camera, Raspberry Pi*

### **Abstract**

*At the present time, technology is increasingly developed with computers that have many functions and uses. One of them is Computer Vision technology that uses the function of a computed camera for color, face, to proximity sensor in an autonomous car. In simple terms, this technology was created how a computer / machine can see. What will be discussed in this report is to explain how the automatic Pan-tilt Camera system uses Raspberry Pi to detect objects based on color using a number of programming software such as Python and OpenCV library to capture and process images from the camera so that they can recognize the color of the object to be detected. From the results of this research, the device can work well although sufficient light intensity is needed so that the camera can capture and process image with optimal results.*

*Keywords: Computer Vision, Pan-tilt Camera, Raspberry Pi*

### **1. Pendahuluan**

Teknologi seperti kamera pada awalnya hanya digunakan untuk menangkap gambar saja. Namun seiring perkembangan teknologi, kamera dapat difungsikan sebagai sensor untuk mendeteksi apapun gambar yang ditangkap oleh kamera. Gambar yang dihasilkan kemudian diolah oleh perangkat komputer yang sudah terprogram untuk tujuan tersebut. Teknologi itu dinamakan *Computer Vision*. Teknologi ini banyak digunakan untuk tujuan tertentu.

Dikarenakan hanya mengandalkan kamera yang sudah terkomputasi, teknologi ini dapat menggantikan fungsi dari banyak sensor seperti sensor warna, sensor jarak, sensor gerak dan sebagainya [1].

Pada penelitian ini penulis akan menerapkan pendeteksi objek berdasarkan warna untuk sistem *Pan-Tilt Camera* otomatis yang terprogram dari komputer mini Raspberry Pi. Program tersebut dibuat menggunakan bahasa pemrograman Python dan library OpenCV untuk menangkap objek yang sudah ditentukan warnanya berdasarkan warna RGB

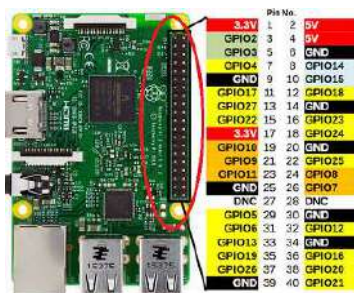
(Red,Green,Blue) yang kemudian dikonversi kembali menjadi HSV(Hue,Saturation,Value) untuk menentukan titik atas dan bawah warna tertentu yang akan dideteksi menggunakan library OpenCV[2].Setelah warna pada objek tertangkap dengan baik maka kamera beserta pan-tiltnya akan terus melacak dan bergerak mengikuti objek yang sudah ditentukan.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Komponen yang digunakan

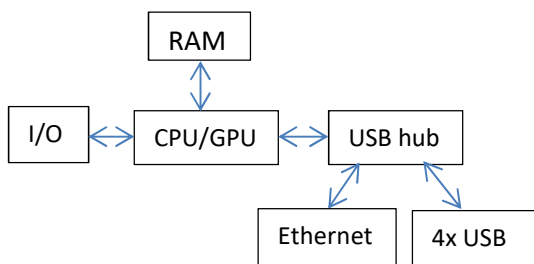
Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa komponen utama hardware maupun software yang akan dijelaskan berikut ini :

#### a. Raspberry Pi



Gambar 1. Modul Raspberry Pi 3

Raspberry Pi adalah modul komputer mini yang juga memiliki input dan output dengan nama GPIO(General Purpose Input Output) seperti halnya pada board mikrokontroller pada umumnya.Raspberry Pi yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan yang generasi ke 3 Berikut merupakan blok diagram dari Raspberry Pi 3[3].



Gambar 2. Blok Diagram Raspberry Pi

Raspberry Pi memiliki sistem operasi khusus yang dinamakan Raspbian yang berbasis dari Linux Debian. Raspbian diciptakan agar lebih kompatibel dengan perangkat Raspberry Pi agar dapat berjalan dan melakukan booting dengan baik. Raspberry Pi dapat

diakses melalui layar monitor maupun akses dari WiFi ke android ataupun perangkat lainnya.

Seperti yang ditampilkan pada (Gambar 3) Tampilan tersebut adalah tampilan dari Raspbian versi Stretch yang akan digunakan pada penelitian ini[3].



Gambar 3. Tampilan OS Raspbian

#### b. Raspberry Pi Camera Module



Gambar 4. Modul Kamera Raspberry Pi v2

Modul Kamera Raspberry Pi merupakan produk kamera resmi yang diciptakan agar dapat kompatibel dengan perangkat Raspberry Pi. Kamera yang akan digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi modul kamera Raspberry Pi

	Camera Module v2
Ukuran	25 x 24 x 9 mm
Berat	3g
Resolusi	8 Megapixel
Mode Video	1080p30, 720p60 and 640 x 480p60/90
Sensor	Sony IMX219
Area Sensor gambar	3.68 x 2.76 mm
Ukuran Pixel	1.12 μm x 1.12 μm

Modul kamera yang kompatibel dengan perangkat komputer akan lebih mudah diprogram karena telah disesuaikan spesifikasinya dan peruntukannya[4].

#### c. Open CV



Gambar 5. Logo Open CV



OpenCV singkatan dari (*Open Source Computer Vision Library*) adalah sebuah pustaka perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan citra dinamis secara *real-time* yang diciptakan oleh Intel. OpenCV memiliki banyak fungsionalitas yang dapat membantu dalam pembuatan aplikasi *Computer Vision* yang lebih mudah dan tidak rumit. OpenCV dapat digunakan dengan bahasa pemrograman yang bermacam-macam seperti *Python*, *Java* dan bahasa C[5].

**d.Pan-Tilt Servo Bracket**

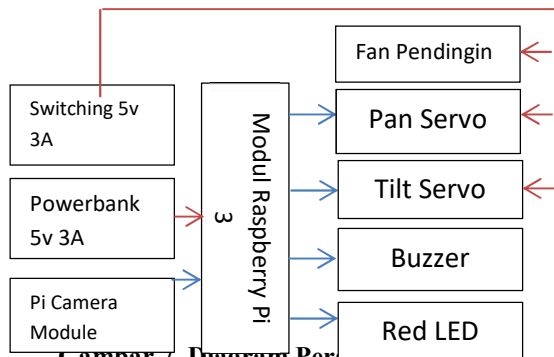


**Gambar 6. Pan-Tilt Servo Bracket**

Perangkat ini merupakan penggerak kamera yang diprogram untuk mengikuti objek yang akan dilacak. Sistem *Pan-Tilt* ini digerakkan oleh 2 servo dengan servo pertama bergerak ke arah kanan dan kiri sebanyak 180 derajat dan servo kedua bergerak ke atas dan bawah sebanyak 90 derajat[6].

**2.2 Perancangan dan cara kerja perangkat**

Dalam perancangan alat ini peneliti menggunakan 2 power supply 5V 3A yang terpisah, yang pertama power supply *switching* sebagai power untuk servo pan tilt dan yang kedua menggunakan powerbank sebagai power untuk Raspberry Pi beserta kamera modulnya. Dikarenakan agar ketika terjadi listrik mati maka Raspberry Pi tidak akan langsung mati yang beresiko menyebabkan *file corrupt* pada sistem perangkat lunak Raspberry Pi akibat tidak di *shutdown* terlebih dahulu. Berikut merupakan diagram rancangan alat yang dibuat sebagai berikut:



**Gambar 7. Diagram Perancangan alat**

**Tabel 2. Data Input dan Output pada Raspberry Pi**

PIN GPIO	JENIS	KOMPONEN
GPIO17	Output	Red LED

GPIO18	Output	Buzzer
GPIO22	Output	Pan Servo
GPIO27	Output	Tilt Servo
GND	Output	Red LED
GND	Output	Buzzer
CSI Port	Input	Pi Camera

Berdasarkan dengan data tabel 2 diatas, *power* dan *ground* dari 2 buah servo diatas berasal dari power supply *switching* 5V 3A sedangkan port PWM servo dihubungkan pada pin GPIO pada Raspberry Pi. Power pada *Buzzer* dan *Red LED* dihubungkan pada pin GPIO dan *ground* pada Raspberry Pi yang berfungsi sebagai penanda ketika objek terdeteksi ataupun tidak terdeteksi. Berikut merupakan *flowchart* perancangan cara kerja program pada perangkat ini:



**Gambar 8. Flowchart cara kerja program**

**3. Hasil dan Pembahasan**  
Setelah seluruh perangkat sudah dirakit, selanjutnya dilakukan pemasangan perangkat lunak Python dan OpenCV yang banyak tersedia di *website* resmi maupun lainnya. Selanjutnya dilakukan pengujian program pendeteksi warna yang sudah dibuat oleh penulis. Warna yang ingin penulis deteksi yaitu warna oranye pada bola tenis meja di dalam ruangan dengan

penerangan lampu yang cukup, seperti pada gambar 9 berikut ini.



**Gambar 9. Warna bola yang akan dideteksi**

Setelah itu dilakukan pencarian data warna RGB tersebut menggunakan aplikasi editor foto seperti *Pics Art* yang akan penulis gunakan pada penelitian ini, dan hasilnya seperti pada gambar 10 berikut ini.



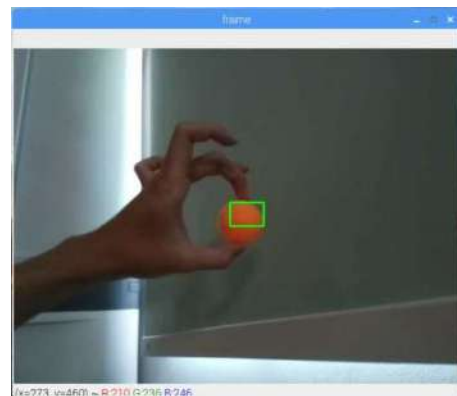
**Gambar 10. Data warna RGB pada bola**

Setelah mendapat data warna RGB nya kemudian dilanjutkan dengan mencari data titik warna terendah dan titik warna teratas untuk program warna yang akan dideteksi dengan program OpenCV yang sudah dibuat. Titik terendah dan titik teratas tersebut dicari menggunakan program konverter *BGR to HSV* yang terdapat pada website resmi dari OpenCV. Setelah itu didapat hasil angka (20,184,255) yang dikonversi menjadi titik bawah yaitu (20-10,100,100) dan (20+10,255,255). Kedua data tersebut kemudian diinput ke dalam program *object tracking* yang sudah dibuat. Berikut merupakan hasil program yang dijalankan seperti pada gambar 11



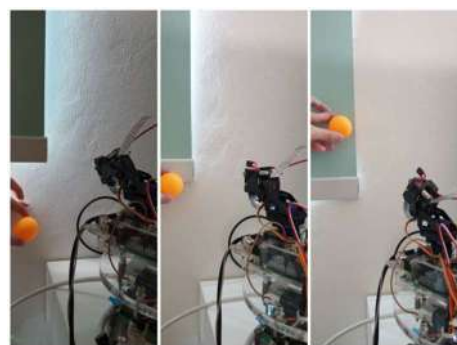
**Gambar 11. Objek yang terdeteksi(kiri) dan tidak terdeteksi(kanan)**

Setelah melihat gambar 11 diatas maka diambil kesimpulan bahwa cahaya sangat mempengaruhi warna pada objek yang akan dilacak. Ketika kekurangan cahaya maka program akan sulit menangkap warna pada bola yang sudah ditentukan pada sebelumnya. Namun, jika bola tetap ingin terdeteksi dalam kondisi cahaya yang kurang, maka data warna pada program harus dirubah kembali menyesuaikan dengan foto yang juga diambil dalam kondisi cahaya tersebut. Setelah kamera dapat melacak objek dengan baik kemudian dilanjutkan menggerakkan pan-tilt nya melalui koordinat  $x$  dan  $y$  gambar yang ditangkap oleh kamera. Pada program kali ini kamera menampilkan *display* dengan resolusi 640x480p, seperti pada gambar 12.



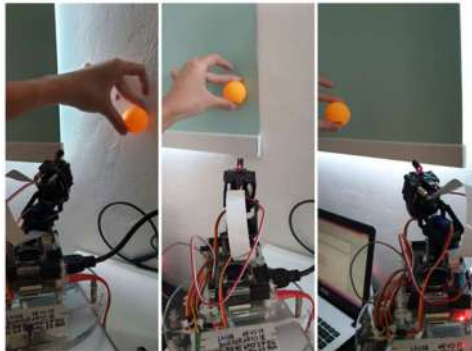
**Gambar 12. Display dengan resolusi 640x480p**

Seperti pada gambar diatas, objek tepat terdeteksi di tengah yaitu ( $x=273$  dan  $y=460$ ) Seperti yang tertera pada layar. Dalam posisi di tengah kedua servo tidak bergerak. Ketika objek mulai bergerak kearah atas maupun ke bawah maka posisi  $y$  pada objek yang tertampil pada gambar akan berubah dan servo *tilt* akan terus bergerak memposisikan agar objek selalu di tengah seperti pada gambar 12 sebelumnya. Berikut pada gambar 13 merupakan pergerakan servo *tilt* ketika sedang melacak objek.



**Gambar 13. Pergerakan pada servo tilt**

Setelah melakukan pengujian pada servo *tilt*, dilanjutkan dengan pengujian servo *pan* yaitu servo yang bergerak ke arah kanan dan kiri. Begitu juga dengan cara kerja servo *tilt* sebelumnya, ketika objek yang dilacak mulai bergerak ke arah kanan ataupun ke kiri, maka servo *pan* juga akan mengikuti agar posisi  $x$  pada objek selalu di tengah seperti pada gambar 12 sebelumnya. Berikut pada gambar 14 merupakan pergerakan servo *pan* ketika sedang melacak objek.



Gambar 14. Pergerakan servo *pan*

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem *pan-tilt camera* deteksi objek berdasarkan warna ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada sistem ini intensitas cahaya sangat mempengaruhi tingkat RGB pada warna objek yang akan dilacak.
2. Program yang disematkan pada perangkat ini bekerja dengan baik dalam resolusi 640x480p meskipun kecepatan fps (*frame rate per second*) yang dihasilkan tidak begitu besar.
3. Sistem *pan-tilt* pada perangkat ini bekerja dengan baik dan teratur dengan sistem kamera yang melacak satu objek yang sudah ditentukan.
4. Raspberry Pi dapat diakses dengan *android* menggunakan IP *address* sehingga mudah dikontrol di mana saja asalkan kedua perangkat tersebut terhubung dalam satu jaringan *WiFi*.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] R. Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications," *Computer (Long Beach, Calif.)*, vol. 5, p. 832, 2010.
- [2] D. R. Tobergte and S. Curtis, "Practical Python and OpenCV(3rd)," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [3] A. Eames *et al.*, "Raspberry PI Projects book," vol. 1, p. 204, 2015.
- [4] A. Stone, "The camera module I/O an

d logic expansion."

- [5] A. Zelinsky, *Learning OpenCV---Computer Vision with the OpenCV Library (Bradski, G.R. et al.; 2008)[On the Shelf]*, vol. 16, no. 3. 2009.
- [6] J. S. Efflan, R. Mardiyanto, D. Ph, I. Djoko, M. Eng, and D. Ph, "Otomatis untuk Aplikasi Fotografi," pp. 1–6.

## OPTIMASI UMUR TRANSFORMATOR MELALUI PENINGKATAN KINERJA PENDINGIN MINYAK TRANSFORMATOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE “SMART COOLING”

Rismawati<sup>1</sup>, Isdawimah<sup>2</sup>, Ikhsan Kamil<sup>3</sup>, Agus Indarto<sup>4</sup>

Program Magister Terapan Teknik Elektro, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof.G.A. Siwabessy  
Kampus Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia

E-mail: [risma.rismawati@cgglobal.com](mailto:risma.rismawati@cgglobal.com)/ [rismawati8710@gmail.com](mailto:rismawati8710@gmail.com)

### Abstract

One of the most important parameters that greatly affect the life of a transformer is transformer oil. As a cooling medium, transformer oil must be able to reduce the heat generated in order to protect the transformer from interference. This study aims to optimize the life of the transformer by controlling the Hot Spot Temperature by various experiments of loading variations and to keep the transformer from overheating when carrying excessive loads. Analysis is also carried out between transformers that use conventional Hot Spot Temperature and Hot Spot Temperature smart cooling. If the cooling system is good, the life of the transformer can be done as much as possible. According to the IEEE standard of 1999, the average age of a normal power transformer is 20,55 years. However, in unstable loading, the higher the percentage of loading the transformer age will decrease, namely for the loading of 26,95% transformer age 353,70 years; for loading 100% the life of the transformer 7,67 years. Whereas according to the results of the calculation of the life of the transformer after using cooling "Smart Cooling" that is for loading 26,95% the life of the transformer 416,51 years; for 100% loading the transformer age is 9,03 years. This proves that the life of the transformer by using "Smart Cooling" cooling is longer than using conventional cooling.

*Keywords: Cooling system, aging rate, thermal and transformer life time*

### Abstrak

Salah satu parameter terpenting yang sangat mempengaruhi umur transformator adalah minyak transformator. Sebagai media pendingin, minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan agar mampu melindungi transformator dari gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk meng-optimalikan umur transformator dengan cara mengontrol *Hot Spot Temperature* dengan berbagai percobaan variasi pembebanan dan menjaga agar kondisi transformator tidak terlalu panas ketika memikul beban berlebih. Analisis juga dilakukan antara transformator yang menggunakan *Hot Spot Temperature* konvensional dan *Hot Spot Temperature smart cooling*. Jika sistem pendinginnya baik maka umur transformator dapat diusahakan semaksimal mungkin. Menurut standart IEEE tahun 1999, rata-rata umur transformator daya normal adalah 20.55 tahun. Namun, pada pembebanan tidak stabil, semakin tinggi persentase pembebanan maka umur transformator akan semakin menurun, yaitu untuk pembebanan 26.95% umur transformator 353.70 tahun ; untuk pembebanan 100% umur transformator 7.67 tahun. Sedangkan menurut hasil perhitungan umur transformator setelah menggunakan pendinginan ”*Smart Cooling*” yaitu untuk pembebanan 26.95% umur transformator 416.51 tahun ; untuk pembebanan 100% umur transformator 9.03 tahun. Hal ini membuktikan bahwa umur transformator dengan menggunakan pendinginan ” *Smart Cooling*” menjadi lebih panjang dibanding dengan menggunakan pendinginan konvensional.

*Keywords: Cooling system, aging rate, thermal and transformer life time*

### 1. Pendahuluan

Saat ini permintaan kebutuhan listrik di Indonesia meningkat secara signifikan terutama dengan adanya visi PLN bahwa pada tahun 2020/2021 seluruh wilayah Indonesia akan dipenuhi kebutuhan listriknya. Akan

tetapi hingga saat ini PLN masih mengalami kendala mengenai batasan investasi peralatan tegangan tinggi yang baru. Hal ini menyebabkan beberapa peralatan tegangan tinggi seperti transformator harus bekerja pada kapasitas maksimal untuk memenuhi permintaan konsumen akan daya listrik. Oleh karena itu, peralatan

yang ada harus diupayakan dan dapat dimanfaatkan secara optimal [1].

Salah satu penyebab utama yang mengakibatkan umur transformator menjadi lebih pendek adalah akibat dari pembebanan yang sangat besar pada transformator atau dikarenakan Transformator Daya bekerja pada titik tertinggi selama beberapa waktu secara terus menerus. Hal ini tentu saja berakibat buruk pada kondisi dan karakteristik dari transformator dan isolasinya sendiri. Akibat pemakaian pada kondisi 100% secara terus menerus, maka pada transformator tersebut akan timbul panas pada daerah-daerah/bagian *internal* dari transformator atau biasa disebut sebagai temperatur *hot-spot* yang bila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator tersebut, terutama isolasi cair yang berupa minyak dan biasa disebut sebagai minyak transformator. Temperatur yang besar dapat menyebabkan transformator menjadi panas dan bisa mengurangi keandalan kerja dari transformator tersebut [2].

Oleh karena itu, minyak transformator memegang peranan penting dalam sistem isolasi trafo dan juga berfungsi sebagai pendingin untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya pada transformator. Keuntungan minyak transformator sebagai *isolator* dalam transformator yaitu isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi, isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi-rugi daya, dan isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*) [3].

**Tabel 1. Standar metode pendinginan transformator tenaga**

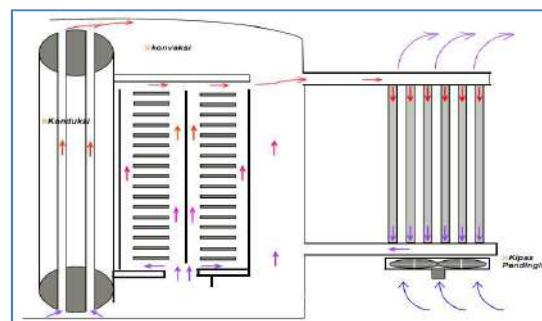
Tipe Sirkulasi Minyak	Tipe Pendinginan Eksternal	Penulisan menurut IEC 60076
Aliran Minyak Alami ( <i>Natural flow</i> )	Udara Alami ( <i>Air Natural flow</i> )	ONAN
Aliran Minyak Alami ( <i>Natural flow</i> )	Aliran Udara dipaksa ( <i>Air Forced flow</i> )	ONAF
Aliran Minyak dipaksa/semprot ( <i>Forced/Blasted</i> )	Udara Alami ( <i>Air Natural flow</i> )	OFAN
Aliran Minyak dipaksa/semprot ( <i>Forced/Blasted</i> )	Aliran Udara dipaksa ( <i>Air Forced flow</i> )	OFAF
Aliran Minyak dipaksa/diarahkan ( <i>Forced/Directed</i> )	Aliran Udara dipaksa ( <i>Air Forced flow</i> )	ODAF
Aliran Minyak dipaksa/diarahkan ( <i>Forced/Directed</i> )	Aliran Air dipaksa ( <i>Air Forced flow</i> )	OF(D)WF

Proses perpindahan panas dan karakteristik sistem pendingin adalah hal yang sangat menarik untuk diteliti lebih jauh. Temperatur yang terus meningkat pada transformator akan mengakibatkan kerusakan isolasi kertas dan isolasi cair didalam transformator. Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan kinerja pendingin untuk mengurangi temperatur panas yang meningkat akibat penambahan beban. Hal ini juga bertujuan untuk meng-optimalkan umur transformator [5].

Media pendinginan transformator tenaga dibagi 2 (dua) yaitu untuk bagian internal dan bagian eksternal.

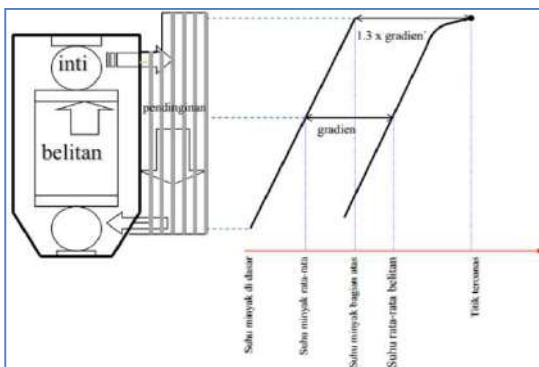
- Media pendinginan Internal, berupa minyak yang juga berfungsi sebagai isolasi. Jenis minyak yang dipakai adalah sebagai berikut :
  - Minyak Mineral (*Mineral oil*)
  - Minyak berbahan dasar silicon (*Silicon oil*)
  - Minyak sintetis berbahan dasar ester (*Synthetic ester*)
  - Minyak nabati temperatur tinggi (*Hi-Temp natural liquid (seeds)*).
- Media pendinginan eksternal, dimana panas dari transformator terdisipasi
  - Udara
  - Air

Proses pendinginan transformator dengan media minyak transformator ditunjukkan pada gambar 1.1, dengan menggunakan prinsip konveksi dengan mengalirkan minyak transformator ke bagian yang memerlukan pendinginan terutama inti dan belitan transformator [8]. Proses aliran minyak pendingin ini bisa mengikuti cara alami yaitu media akan berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah, atau menggunakan cara dipaksa yaitu dengan didorong menggunakan pompa minyak [9].



**Gambar 1. Prinsip Kerja Proses Pendinginan Transformator**





Gambar 2. Tipikal Karakteristik Temperatur Transformator Tenaga

Sesuai dengan gambar 2.18, tipikal karakteristik temperatur untuk transformator tenaga dengan isolasi minyak menurut (IEC, 2011) :

Sesuai dengan IEC Standar Kenaikan temperatur (Temperature Rise) untuk Class A (IEC, 2011) :

1. Kenaikan temperatur minyak puncak (*Top oil temperature rise*)= 60K/55K or 65 K.
2. Kenaikan temperatur minyak rata-rata (*Average oil temperature rise*) = 65K/55K or 65
3. Kenaikan temperatur titik terpanas belitan (*Hot spot winding temperature rise*) = 78K / 65K or 80K.

Temperatur lingkungan (ambient temperature) adalah temperatur udara dimana panas dari transformator tenaga harus terdisipasi/terbuang. Untuk daerah operasi di Indonesia, data kondisi lingkungan adalah sebagai berikut [9]:

1. Temperatur lingkungan rata-rata tahunan (*Yearly average ambient temperature*) = 30°C
2. Temperatur lingkungan rata-rata pada bulan terpanas (*Hot monthly average ambient temperature*) = 30°C
3. Maksimum temperatur lingkungan (*Maximum ambient temperature*) = 40°C
4. Kenaikan temperatur puncak minyak = 60 K

### 3. Metode Penelitian

Transformator tenaga merupakan bagian terbesar dalam struktur biaya dari sistem tenaga listrik. Melihat kondisi tersebut, sangat penting untuk memaksimalkan imbal hasil investasi dan menurunkan biaya operasional transformator. Manajemen aset transformator tenaga sangat bergantung pada umur dan kondisi operasional transformator. Prediksi umur transformator tenaga sangat penting bagi perusahaan energi karena mempengaruhi biaya pemeliharaan dan biaya modal (capital expenditure), sedangkan umur transformator sendiri tergantung pada rancangan, pabrikasi dan operasional transformator tenaga. Salah satu parameter penting dalam spesifikasi transformator tenaga adalah umur operasional transformator (transformer lifetime),

karena berpengaruh pada perhitungan optimasi dan biaya kepemilikan transformator [6].

Umur transformator tenaga dipengaruhi oleh umur isolasi dan temperatur pada saat pengoperasian transformator. Isolasi transformator berasal dari bahan organik berupa kayu dan kertas yang akan mengalami penuaan baik secara alami dan akan dipercepat dengan adanya panas. Penuaan isolasi ini tentu saja menyebabkan penurunan kualitas dalam menahan tegangan, sehingga permasalahan penuaan isolasi tidak hanya terkait dengan total umur transformator, namun juga terkait dengan kemungkinan kegagalan pada transformator [7].

Untuk kondisi beban transformator daya yang tidak stabil, berikut perhitungan kenaikan temperatur :

1. Kenaikan temperatur *Top Oil*

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_o(n - 1) + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_o)(n - 1)(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

2. Selisih temperatur *hot spot* dengan *top oil*

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})k^{2y} \quad (2)$$

3. Kenaikan temperatur Hot Spot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td} \quad (3)$$

Perhitungan umur transformator tenaga adalah sebagai berikut:

$$V = 2^{(\theta_h - 98)/6}$$

$$V = e^{\left(\frac{15000}{110+273} - \frac{15000}{\theta_h+273}\right)}$$

$$L = \int_{t_1}^{t_2} V dt \text{ atau } L = \sum_{n=1}^N V_n \times t_n \quad (4)$$

Dengan,

$V_n$  = tingkat penuaan relatif selama masa  $n$

$\theta_h$  = temperatur terpanas dari belitan transformator

$t_n$  = interval waktu ke- $n$

$n$  = jumlah tiap interval waktu

$N$  = total jumlah interval selama periode yang dihitung  
Penggunaan isolasi kertas dengan kemampuan temperatur yang tinggi, maka akan memperpanjang umur transformator yang ditunjukkan pada tabel 2.

Penelitian ini hanya melakukan perhitungan secara konvensional & "smart cooling" pada transformator tenaga dengan kapasitas 30 MVA 150/20 kV. Studi dilakukan dengan melakukan perhitungan pada saat pembebanan dengan meninjau kenaikan temperatur kemudian melakukan evaluasi terhadap *aging rate*, studi yang ekstensif yang dilakukan untuk mendukung semua temuan dan membandingkan *loss life* transformator



sebelum dan sesudah menggunakan metode “*Smart Cooling*”.

**Tabel 2. Perbandingan Tingkat Penuaan Relatif**

Temperatur terpanas ( <i>Hot Spot Temperature</i> ) (°C)	Tingkat penuaan Relatif	
	<i>Kraft Paper</i>	<i>Thermally Upgraded</i>
80		0,036
86	0,25	0,073
92	0,50	0,145
98	1	0,282
104	2	0,536
110	4	1
116	8	1,83
122	16	3,29
128	32	5,80
134	64	10,10
140	128	17,20

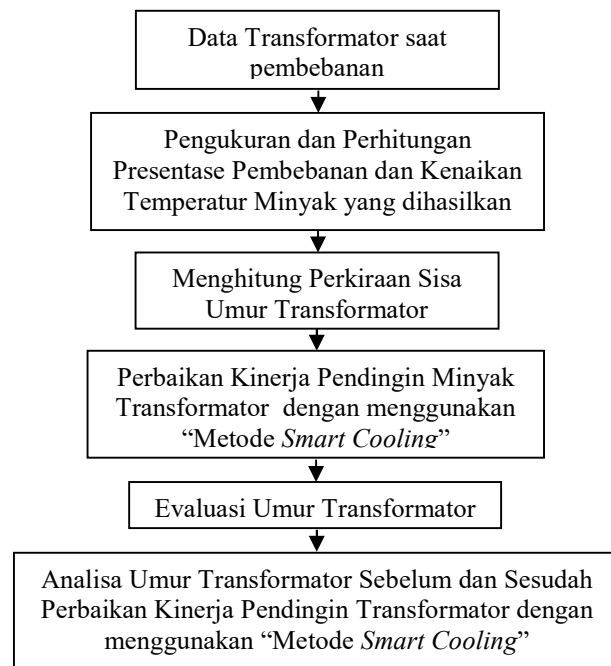
Variable input diberikan untuk optimasi umur transformator adalah penggunaan isolasi kertas dengan kemampuan temperatur yang tinggi karena dengan penggunaan material dengan ketahanan terhadap panas yang lebih baik akan secara langsung memperpanjang umur transformator. Berikut dibawah ini variable input pada sistem pendinginan yang sangat mempengaruhi umur transformator :

1. Maksimum kenaikan temperatur minyak (garansi maksimum dari kenaikan temperatur minyak pada kapasitas tertinggi)
2. Maksimum kenaikan temperatur belitan (garansi maksimum dari kenaikan temperatur belitan pada kapasitas tertinggi)
3. Maksimum kenaikan temperatur titik terpanas (garansi maksimum dari kenaikan temperatur titik terpanas pada kapasitas tertinggi)
4. Faktor titik terpanas, rata-rata ketebalan saluran pendingin belitan
5. Jenis radiator
6. Tingkat kebisingan
7. Jenis dan ketebalan tanki
8. Maksimum berat transformator

Diagram proses optimasi umur transformator melalui peningkatan kinerja pendingin minyak transformator ditunjukkan pada gambar 3.

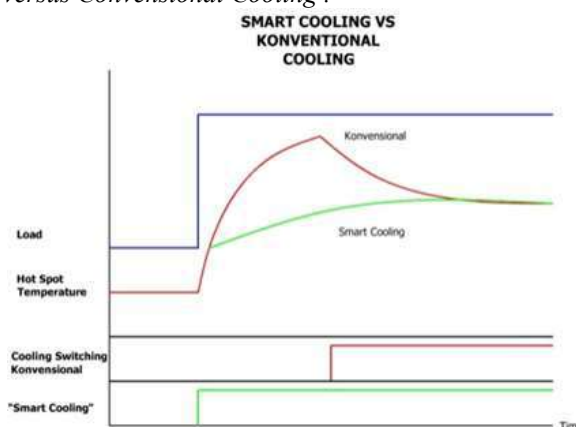
Berbagai metode pendinginan transformator sudah dikembangkan untuk bisa memberikan sistem pendinginan transformator yang paling efektif dan paling efisien. Cara-cara alami yang sudah dikembangkan sebelumnya masih belum memadai untuk transformator tenaga dengan kapasitas besar, yang dipastikan mempunyai rugi-rugi tanpa beban dan

berbeban. Selain itu, proses pendinginan dengan cara alami masih belum cukup untuk mengikuti dinamika beban yang berubah dengan cepat. Dengan penggunaan kipas pendingin dan pompa minyak sistem pendinginan akan lebih cepat dan efisien sehingga mencegah transformator terlalu panas pada saat terjadi penambahan beban yang besar dalam kurun waktu yang singkat [4].



**Gambar 3. Diagram alir penelitian**

*Smart Cooling* adalah suatu metode dimana pendingin minyak transformator menyalakan sistem pendinginan lebih awal untuk menjaga temperatur minyak transformator agar tidak terlalu panas ketika memikul beban berlebih. *Smart Cooling* juga menjaga transformator tetap bekerja lebih dingin daripada sistem konvensional sehingga menghindari “*loss of life*” yang tidak perlu ketika ada penambahan kapasitas kelebihan beban. Berikut dibawah ini adalah grafik *Smart Cooling versus Conventional Cooling* :



**Gambar 4. Smart Cooling Vs Conventional Cooling**

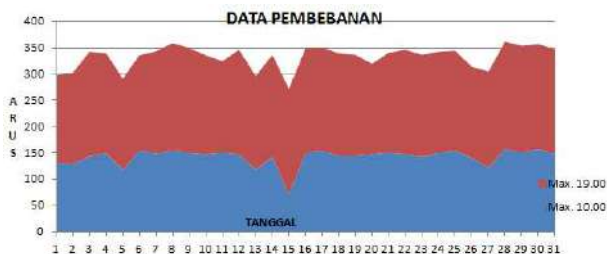
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Sebelum dilakukan analisis perhitungannya, perlu diketahui jenis dan data transformator yang digunakan. Berikut data transformator diambil dari Transformator PT CG Power Systems Indonesia dengan kapasitas daya 30 MVA150/20kV.

Tabel 3. Data Transformator

No.	Spesifikasi 30 MVA 150/20 kV	
1	Jenis	3 fasa, pemasangan di
2	Frekuensi Pengenal	50 Hz
3	Metode	ONAN ONAF
4	Daya Pengenal	ONAN 18 MVA,
5	Tegangan Belitan	150 kV
6	Tegangan Belitan	22 kV
7	Rugi tanpa beban	18 kW
8	Rugi berbeban	65 kW
9	Fan losses	2 kW
10	Pengubah Sadapan	Pengubah Sadapan
11	Kelompok Vektor	YNyn0
15	Impedansi	12.50% ± 7.5%
16	Kondisi Pelayanan:	
	Ketinggian	maksimum 1000m
	Temperatur	40° C
	Rata rata bulanan	30° C
	Rata rata tahunan	30° C
	Tingkat Polusi	sangat berat (minimum
17	Kenaikan temperatur:	
	Rata-rata belitan	maksimum 50
	Minyak atas	maksimum 55
	Titik terpanas	maksimum 68

Sedangkan data pembebanan diambil dari pembebanan di GI Cilacap bulan Januari 2019.



Gambar 5. Grafik Data Pembebanan

Maka Daya Terpasang = Daya Semu x Cos Q  
 = 30 MVA x 0,94  
 = 28,2 MV

Sedangkan daya terpakai rata-rata selama bulan januari 2019 adalah 7,6 MW. Sehingga diperoleh persentase pembebanan adalah :

Presentase pembebanan = Daya Terpakai / Daya Terpasang

$$= 7,6\text{MW} / 28,2 \text{ MW}$$

$$= 26,95\%$$

Adapun hasil data perhitungan untuk transformator pendinginan konvensional adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Kenaikan Temperatur

No.	Ratio Pembebanan	$\Delta\theta_{on}$ (° C)	$\Delta\theta_{td}$ (° C)	$\theta_c$ (° C)
1	26,95%	38,43	2,82	73,25
2	70%	44,56	13,00	89,56
3	80%	46,62	16,09	94,72
4	90%	48,91	19,43	100,34
5	100%	51,42	23,00	106,42

Tabel 5. Hasil Pehitungan Umur Transformator dengan metode "Konvensional"

No.	Ratio Pembebanan	V	L (p.u)	Umur Transformator (tahun)
1	26,95%	0,057	0,058	353,70
2	70%	0,377	0,382	53,75
3	80%	0,684	0,694	29,61
4	90%	1,311	1,329	15,46
5	100%	2,644	2,681	7,67

Untuk menentukan kenaikan temperatur top oil dengan pendinginan "Smart Cooling" beban tidak stabil dapat diketahui bahwa :

$$\tau = 3 \text{ (untuk metode pendinginan ONAN dan ONAF)}$$

$$t = 1 \text{ (waktu dalam jam)}$$

asumsi bahwa :

$$\Delta\theta_o = 55^\circ\text{C} \text{ maka, dengan Pers. (1)}$$

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_o(n - 1) + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_o)(n - 1)(1 - e^{-t/\tau})$$

$$\Delta\theta_{on} = 55 + (9,11 - 55)(1 - e^{-1/3})$$

$$\Delta\theta_{on} = 55 + (-45,89)(0,283)$$

$$\Delta\theta_{on} = 55 + (-12,98)$$

$$\Delta\theta_{on} = 37,01^\circ\text{C}$$

Untuk menentukan selisih temperatur hot spot dengan top oil, dengan Pers. (2) dapat diketahui sebagai berikut :

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55)0,27^{2 \cdot 0,8}$$

$$\Delta\theta_{td} = 2,82^\circ\text{C}$$

Untuk menentukan kenaikan temperatur hot spot beban tidak stabil dengan  $\theta_a$  adalah temperatur sekitar dengan asumsi temperatur sekitar yaitu sebesar  $32^{\circ}\text{C}$ , maka dengan Pers. (3) :

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_c = 32 + 37,01 + 2,82$$

$$\theta_c = 71,84^{\circ}\text{C}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan kenaikan temperatur hot spot beban tidak stabil adalah sebesar  $71,84^{\circ}\text{C}$ .

**Tabel 6. Hasil Kenaikan Temperatur dengan metode "Smart Cooling"**

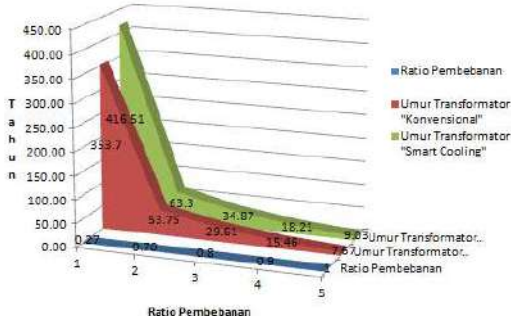
No.	Ratio Pembebanan	$\Delta\theta_{on}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta\theta_{td}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\theta_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	26,95%	37,01	2,82	71,84
2	70%	43,15	13,00	88,14
3	80%	45,21	16,09	93,30
4	90%	47,50	19,43	98,93
5	100%	50,00	23,00	105,00

Dari hasil perhitungan maka didapatkan laju penuaan thermal relatif dan umur transformator seperti tabel 7. dibawah ini :

**Tabel 7. Hasil Pehitungan Umur Transformator dengan metode "Smart Cooling"**

No.	Ratio Pembebanan	V	L (p.u)	Umur Transformator (tahun)
1	26,95%	0,049	0,058	416,51
2	70%	0,320	0,382	63,30
3	80%	0,581	0,694	34,87
4	90%	1,311	1,113	18,21
5	100%	2,644	2,245	9,03

**Grafik Perbandingan Umur Transformator**



**Gambar 6. Perbandingan Umur Transformator sebelum dan sesudah diberikan pendinginan " Smart Cooling".**

Dari gambar 6. Terlihat bahwa perbandingan umur transformator sebelum dan sesudah diberikan pendinginan "Smart Cooling". Grafik tersebut memperlihatkan bahwa umur transformator menjadi lebih panjang dengan menggunakan pendinginan "Smart Cooling".

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisis perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Semakin tinggi temperatur minyak transformator maka umur transformator tersebut semakin pendek.
2. Kenaikan temperatur memberikan penurunan kualitas isolasi dari minyak transformator yang terpasang pada transformator daya.
3. Semakin tinggi temperatur dan semakin tua umur minyak transformator maka semakin memperburuk kekuatan dan kemampuan isolasi cairnya.
4. Umur transformator daya dipengaruhi oleh isolasi belitan dan minyak transformator yang diakibatkan oleh pembebanan transformator dan juga suhu lingkungan sekitar.
5. Berdasarkan hasil perhitungan beban tidak stabil dapat dinyatakan bahwa umur transformator sebelum menggunakan "Smart Cooling" yaitu sebesar 353,7 tahun sedangkan umur transformator sesudah menggunakan " Smart Cooling" yaitu sebesar 416,51 tahun dengan rata-rata pembebanan 26,95%. Umur transformator menjadi lama akibat transformator daya dengan beban nominal 30 MVA tetapi hanya dibebani sekitar 7,6 MW.
6. Semakin tinggi presentase pembebanan maka umur transformator daya akan semakin menurun.
7. Terbukti bahwa umur transformator dengan menggunakan pendinginan " Smart Cooling" menjadi lebih panjang dibanding dengan menggunakan pendinginan konvensional. Hal ini disebabkan pendinginan "smart cooling" sudah bekerja pada saat awal transformator daya bekerja.

## Daftar Acuan

- [1] Arifianto, I., & Cahyono, B. (2009). Power transformer cooling system optimization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, 57–59.
- [2] *Quality Assurance control manual for review and acceptance.pdf. (n.d.)*.
- [3] Nurhidayat, A., Satriyadi, I. G. N., & Anam, S. (2014). *Analisis Penggunaan Sistem Pendingin ONAN/ONAF untuk Meningkatkan Efisiensi Trafo Pada Beban Lebih di PLTA Sutami-Malang*. 1(1),

- 1–6.
- [4] Khan, W. A., Ellahi, M., Masood, B., Usman, F., & Abbass, G. (2018). Design of smart cooling system for power transformer. *2018 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2018, 2018–Janua, 1–7*.
  - [5] En, D. S. (2011). *Krafttransformere – Del 2: Temperaturstigning for væskefyldte transformere for liquid-immersed transformers*.
  - [6] Charalambous, C. A., Milidonis, A., Lazari, A., & Nikolaidis, A. I. (2013). Loss evaluation and total ownership cost of power transformers-part I: A comprehensive method. *IEEE Transactions on Power Delivery, 28(3), 1872–1880*.
  - [7] Daya, T., Di, M. V. A., Induk, G., Widodo, R. H., Suyono, H., Ph, D., ... Transformator, B. M. (n.d.). *Pengaruh filterisasi minyak trafo terhadap kinerja transformator daya 30 mva di gardu induk sengkaling*. 1–6.
  - [8] El Hayek, J. (2010). Transformer design as a key for efficiency optimization. *19th International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010, 1–4*.
  - [9] IEC. (2011). Power Transformers - Part 1: General. *Iec 60076-1, 2011*.
  - [10] IEEE. (2016). IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. *In IEEE Std C57.12.00-2015 (Revision of IEEE Std C57.12.00-2010)*.
  - [11] Indarto, A., Garniwa, I., Setiabudy, R., & Hudaya, C. (2017). Total cost of ownership analysis of 60 MVA 150/120 kV power transformer. *QiR 2017 - 2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering, 2017–Decem, 291–295*.

# Evaluasi Peningkatan Resistensi Pertanahan pada Musim Kemarau

Sandi Mulya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. G.A. Siwabessy  
Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok 16425, Indonesia

Email :[sandi.mulya@yahoo.com](mailto:sandi.mulya@yahoo.com)

## Abstrak

Grounding merupakan sistem proteksi kelistrikan yang membantu terhadap transien yang dialiri kebumi (pentanahan) dalam sistemnya terdapat banyak kendala yang harus dioptimalisasi kan agar sistem proteksi pembumian selalu dalam keadaan baik maka diperlukan evaluasi untuk memastikan proteksi berjalan dengan baik dengan melakukan pengukuran terhadap faktor faktor yang mempengaruhi nilai resistansi yaitu jenis tanah, temperatur, pH, dan kelembaban terutama pada musim kemarau yang berpotensi resistansi yang tinggi karena terdapat perubahan pada indikator-indikator yang mempengaruhi resistansi. Pengaruh kelembaban terhadap tahanan tanah semakin lembab maka tahanan tanah akan semakin kecil. Dengan nilai tertinggi 9.8 ohm pada ground 1 dan 6 ohm pada ground 2. Pengaruh kadar garam pH terhadap tahanan tanah, semakin tinggi kadar asam tanah maka tanah akan semakin kecil Dengan nilai tertinggi 9.8 ohm pada ground 1 dan 6 ohm pada ground 2. Pengaruh temperatur terhadap tahanan tanah, semakin tinggi nilai temperatur maka tahanan semakin tinggi dengan nilai tertinggi 10.1 ohm pada *ground* 1 dan 6,3 ohm pada *ground* 2.

Kata kunci: grounding, resistansi

## 1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik yang terus berkembang dan kebutuhan daya listrik yang meningkat maka manajemen proteksi terhadap tegangan *transien* harus lebih diperhatikan maka diperlukan sistem proteksi yang biasa disebut sistem pentanahan atau *grounding*. Indonesia memiliki 2 musim yaitu musim kemarau dan hujan. Pada musim hujan kondisi kelembaban tinggi, tanah menjadi basah dan temperatur menjadi rendah sedangkan musim panas sebaliknya kelembaban rendah, tanah menjadi kering dan temperatur menjadi lebih tinggi dari biasanya dan memiliki pengaruh terhadap sistem pentanahan.

Dalam artikel ini, akan menjelaskan tentang adakah pengaruh yang signifikan terhadap resistansi *grounding* pada musim panas yang akan di uji dengan *sample grounding* di Politeknik Negeri Jakarta sehingga akan membutuhkan pengendalian resistansi agar tercapai titik terendah resistansi yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi kepada pembaca tentang peningkatan resistansi pentanahan pada musim kemarau atau panas sehingga perlu di buat pengendalian ketika terjadi musim kemarau dengan indikator kelembaban tanah, temperatur, dan PH.

Jenis tanah merupakan salah satu faktor yang menentukan nilai  $\rho$  di berbagai tempat nilai ini tidak sama tergantung beberapa faktor yaitu geologi tanah, kelembaban tanah, temperatur tanah dan kadar garam tanah. Sifat geologi tanah merupakan faktor utama

menentukan tahanan, di mana setiap jenis tanah memiliki karakter nilai tahanan yang berbeda

**Tabel 1.1 Jenis tanah dan Tahanan tanah**

No.	Jenis tanah	Tahanan jenis Tanah ohm meter
1	Tanah mengandung air garam	5-6
2	Tanah Rawa	30
3	Tanah liat	100
4	Tanah pasir Basah	200
5	Tanah Batu kerikil basah	500
6	Tanah Pasir dan kerikil kering	1000
7	Tanah batu	3000

Kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap tahanan jenis tanah sampai 20 persen. Penurunan kadar air pada tanah dari 20 persen ke 10 persen menyebabkan tahanan naik hingga 30x. Semakin lembab lapisan tanah maka tahanan jenis akan semakin rendah.

Temperatur tanah merupakan dampak dari radiasi gelombang panas dari dalam tanah maupun radiasi dari sinar matahari. Kondisi iklim pada suatu daerah memiliki pengaruh terhadap temperatur tanah baik musim hujan maupun kemarau. Kondisi iklim pada musim hujan dapat menurunkan temperatur tanah sekaligus memberikan kelembaban yang lebih tinggi

pada tanah dan pada musim hujan kation-kation basa di top soil akan turun ke bawah sehingga di top soil akan lebih banyak didominasi oleh ion-ion Al dan H yang memiliki dampak PH tanah akan turun mencapai nilai 4,5 atau mungkin lebih rendah yang akan meningkatkan konduktivitas listrik pada musim hujan.

Surja adalah gelombang berjalan yang dapat menimbulkan gangguan pada sistem tenaga listrik dengan menyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat. Surja di klasifikasikan menjadi dua yaitu Surja petir yang disebabkan oleh sambaran petir dan Surja hubung yang disebabkan oleh operasi *switching* yang ketika tegangan melebihi BIL atau *Basic Insulation Level* akan berdampak pada peralatan dan isolasi.

Sistem pentanahan adalah sistem yang menghubungkan secara konduksi antara sistem peralatan listrik dengan bumi yang dihubungkan dengan elektroda pentanahan. Elektroda pentanahan merupakan upaya untuk memberikan nilai hambatan sekecil mungkin.

Ada beberapa jenis elektroda yang digunakan untuk sistem pentanahan yaitu :

1. Elektroda batang adalah elektroda dari pipa, baja ataupun tembaga yang dimasukkan tegak lurus ke dalam tanah. Elektroda ini yang pertama kali dan sering digunakan. elektroda jenis ini mudah dalam pemasangannya dan Elektroda batang biasanya ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam. Untuk batang elektrode pentanahan yang mempunyai panjang  $l$  dan radius  $r$  ditanam dalam posisi tegak lurus pada tanah yang mempunyai resistivitas tanah  $\rho$  sehingga elektrode dan tanah memiliki tahanan induktansi dan kapasitansi yang besarnya adalah

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{4l}{r} - 1 \right)$$

## 2. Metode penelitian

Desain penelitian merupakan tahapan yang akan dilakukan penulis untuk memudahkan dalam melakukan penelitian. Metodologi yang digunakan *Fall of potential* yaitu metode uji untuk mengukur kemampuan sistem pengaliran atau elektroda individual dalam menyebarkan energi dari suatu lokasi. Di samping itu akan ditambahkan sebagai parameter lain yaitu :

1. Pengukuran temperatur tanah
2. Pengukuran perubahan jarak pengukuran
3. Pengukuran kelembaban tanah

### A. Alat Pengujian

Peralatan yang digunakan untuk pengujian tahanan tanah terhadap pengaruh temperatur tanah, perubahan jarak dan kelembaban :

1. *Ground tester* sebagai pengukur resistansi tanah



Gambar 2.1 Ground tester

2. *Soil tester* yang berfungsi mengukur PH dan kelembaban tanah



Gambar 2.2 Soil Tester

3. Termometer tanah berfungsi sebagai alat ukur temperatur tanah



Gambar 2.3 Termometer Tanah

### B. Rangkaian Pengujian

Persiapan dilakukan pada 2 *grounding* yang belum tersambung di lokasi Gedung Telkom Politeknik Negeri Jakarta yang memiliki karakteristik tanah merah yang kering di musim panas. Diukur per 3 jam dari pagi hingga sore.

Pengujian Tahanan Tanah PH dan temperatur

Berikut ini adalah tahapan dalam pengujian resistansi :

1. Mempersiapkan alat dan memasang *earth tester* pada kabel *ground* elektroda arde dan 2 rod Tancapkan *Soil Tester* dan termometer tanah pada titik *ground* untuk mengukur PH kelembaban dan temperatur tanah
2. Baca tahanan pada alat *Earth Tester* yang sudah di instalasi dan lakukan lagi pada jarak yang berbeda (pengukuran jarak 5 meter dan 10 meter) dan kemudian di catat kelembaban tanah, PH dan temperatur tanah yang tercantum pada termometer dan *Soil Tester*.
3. Lakukan pengulangan tiap 3 jam



### 3. Hasil dan pembahasan

Hasil dan pembahasan penelitian bertujuan untuk mengetahui kenaikan resistansi *grounding* pada musim panas dengan indikator pengukuran temperatur, kelembaban dan PH pada area yang di ukur yang memiliki pengaruh pada resistensi *grounding*.

Tabel 3 Pengukuran Hambatan Pada Ground 1

Pengukuran Hambatan pada Ground 1				
Senin 30 September 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.7	20	26	10.2
09.00	6.5	20	29	10.33
13.00	6.5	18	32	10.32
16.00	6.3	18	30	10.29
Selasa 1 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.2	12	24	10.01
09.00	6.2	20	29	10.34
13.00	5.9	21	31	10.3
16.00	6.3	23	31	10.2
Rabu 2 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	5.8	20	24	9.8
09.00	6.6	22	28	10.34
13.00	6.3	21	32	10.4
16.00	6.1	22	33	10.44
Kamis 3 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.6	26	24	10.1
09.00	6.6	22	27	10.1
13.00	6.2	21	33	10.33
16.00	6.1	23	35	10.24
Jumat 2 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.6	24	26	10.01
09.00	6.6	22	27	10.09
13.00	6.2	21	34	10.43
16.00	6.1	21	34	10.4

Prinsip pengukuran resistansi pentanahan pada dasarnya sama pada umumnya adalah :

$$\text{Tahanan (R)} = \text{Tegangan (V)} / \text{Arus (I)}$$

Dengan persamaan pengukuran hambatan dalam persamaan rumus :

Dimana :

R = Tahanan rata rata tanah Ω

ρ = Hambatan tanah (Ω.m)

L = Jarak Elektroda

Tabel 4 Pengukuran Hambatan Pada Ground 2

Pengukuran Hambatan pada Ground 2				
Senin 30 September 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.8	20	26	6.6
09.00	6.8	21	26	6.6
13.00	6.7	21	31	6.7
16.00	6.8	21	30	6.7
Selasa 1 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.1	13	26	6.4
09.00	6.2	14	31	6.5
13.00	5.9	12	32	6.6
16.00	6.3	13	34	6.5
Rabu 2 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.4	21	24	6.5
09.00	6.3	22	26	6.6
13.00	6.3	23	33	6.6
16.00	6.2	24	33	6.6
Kamis 3 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6	23	24	6
09.00	6.2	18	26	6.01
13.00	6.4	15	29	6.1
16.00	6.3	19	30	6.05
Jumat 2 Oktober 2019	PH	Kelembaban	Temperatur (c)	R Ω
06.00	6.8	20	23	6.3
09.00	6.6	20	26	7.8
13.00	6.9	21	31	7.9
16.00	6.3	22	32	6.39

### 4. Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan maka pergerakan dapat dilihat bahwa jenis tanah, temperatur, kelembaban dan pH mempunyai pengaruh pada nilai tahanan R
2. Pengaruh kelembaban terhadap tahanan tanah semakin lembab maka tahanan tanah akan semakin kecil. Dengan nilai tertinggi 9.8 ohm pada ground 1 dan 6 ohm pada ground 2
3. Pengaruh kadar garam pH terhadap tahanan tanah, semakin tinggi kadar asam tanah maka tanah akan semakin kecil Dengan nilai tertinggi 9.8 ohm pada ground 1 dan 6 ohm pada ground 2
4. Pengaruh temperatur terhadap tahanan tanah, semakin tinggi nilai temperatur maka

tahanan semakin tinggi dengan nilai tertinggi 10.1 ohm pada ground 1 dan 6,3 ohm pada ground 2

## 5. Daftar Acuan

1. Linda Pasaribu, *Studi Analisis Pengaruh Jenis tanah Kelembabab Temperatur dan Kadar Garam terhadap Tahanan Pentanahan Tanah*, Tesis, 2011.
2. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System, *Power System Engineering Committee of the IEEE Industry Application Society*, IEEE Standards Board 142,1991.
3. IEEE J. Ma, Senior Member, Dawalibi, and R. D. Southet, *Effect of The Changes in IEEE Std. 80 on the Design and Analysis of Power System Grounding*, Standart 80 156,2000
4. Iwa Garniwa, *Pengaman Bangunan dan Peralatan Elektronika Terhadap Fenomena Petir*, PETIR, PSTIK JE-FTUI, 2008

## ANALISIS PERFORMANSI JARINGAN BACKBONE 2 x 10 GBPS DAN 2 x 100 GBPS MELALUI MEKANISME REDUNDANSI UNTUK PENINGKATAN QOS LAYANAN INTERNET

Desi Kusuma Hapsari <sup>1</sup>, Yohan Suryanto <sup>1</sup>, dan Mohammad Fathurahman <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Terapan Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof.G.A. Siwabessy  
Kampus Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia Kampus UI Depok, 16421

E-mail: [desikusuma.hapsari@gmail.com](mailto:desikusuma.hapsari@gmail.com)

### Abstract

*For the world community in common, which is generally called millennial generation, demographic group or generation Y (Gen Y), where the millennial generation is a young generation between the ages of 18 to 38 years who live in a world filled with electronic equipments and online networks. Online networking has become a primary need in people's lives lately, because its existence is so essential and an important part of the wheel of the world economy. And to meet the needs of the internet, it should be supported by adequate backbone network technology in terms of large bandwidth requirements to network reliability on backbone cables. For Indonesia, there are still not many internet service providers that provide internet network connections with large bandwidth, and yet supported by a backbone network system that guarantee a stable internet connection. The use of a backbone network with a bandwidth capacity of 100 Gbps and a redundancy system that effectively avoid the probability of black out, and from the application of the redundancy system with Observium as a support monitoring, MRTG, ping and port interface monitoring application is needed to obtain a comparative QOS value that unarguably support improved Internet services.*

*Key Words : Redudancy, QOS, Observium, Backbone*

### Abstraksi

Bagi masyarakat dunia pada umumnya yang biasa disebut generasi milenial, kelompok demografis atau generasi Y (gen Y), dimana generasi millennial adalah generasi muda yang berusia sekitar antara 18 sampai dengan 38 tahun yang hidup dalam dunia yang dipenuhi oleh peralatan elektronik dan jaringan online. Jaringan online sudah menjadi kebutuhan primer pada kehidupan masyarakat belakangan ini, dikarenakan keberadaannya begitu esensial dan menjadi bagian penting pada roda perekonomian dunia. Dan untuk memenuhi kebutuhan internet tersebut maka harus ditunjang dengan teknologi jaringan backbone yang memadai dari segi kebutuhan bandwidth yang besar hingga kehandalan jaringan pada kabel backbone. Untuk Indonesia sendiri masih belum banyak provider internet yang menyediakan koneksi jaringan internet dengan bandwidth yang besar, serta di tunjang dengan sistem jaringan backbone yang menjamin kestabilan koneksi internet. Penggunaan jaringan backbone dengan kapasitas bandwidth mencapai 100 Gbps serta sistem redundansi yang dapat menghindari probabilitas *black out*, dan dari pengaplikasian sistem redundansi tersebut diperlukan aplikasi monitoring Observium, MRTG, ping, dan port interface untuk mendapatkan nilai komparasi *QOS* yang dapat menunjang pada peningkatan layanan internet.

Kata Kunci : Redudansi, QOS, Observium, Backbone

## 1. Pendahuluan

Di era millennial ini, kehandalan dan ketersediaan jaringan yang menjamin kestabilan sangat dibutuhkan dalam usaha menyediakan layanan jasa internet yang diberikan oleh tiap Provider. Tidak hanya pada sisi perangkat, namun juga dari sudut pandang jaringan telekomunikasi secara keseluruhan. Provider, operator jaringan dan produsen perangkat jaringan pun akan berlomba-lomba dalam menargetkan ketersediaan jaringan mereka yang rata-rata mencapai hingga tingkat tertinggi di 99,99%, yang berarti sebuah jaringan hanya diperkenankan mengalami gangguan selama 5 hingga 10 menit dalam kurun waktu satu tahun.

Salah satu aspek terpenting dalam menjamin ketersediaan layanan jaringan internet yang baik adalah ketersediaan pipa bandwidth yang memadai sehingga bisa menampung lalu lintas data besar yang masuk dan ditambah dengan menerapkan implementasi redundansi pada link atau jaringan tersebut.

*Redundant link* adalah link cadangan yang membuat sebuah jaringan memiliki fitur *failover*. *Failover* itu sendiri adalah teknik yang memungkinkan sebuah link untuk menggantikan tugas link yang lain jika terjadi kegagalan pada link utama. (Bolla, Bruschi, Cianfrani, & Listanti, 2011)

Redundansi dengan monitoring *Traffic Engineering* dapat menjadi solusi bila terjadi kegagalan pada suatu simpul di jaringan.

Pada penelitian ini, redundansi *link* akan diimplementasikan dengan dua buah backbone link besar menggunakan metode *failover* untuk menjamin ketersediaan koneksi, sehingga apabila link utama mengalami gangguan, pertukaran informasi tetap dapat dilakukan dengan menggunakan link cadangan.

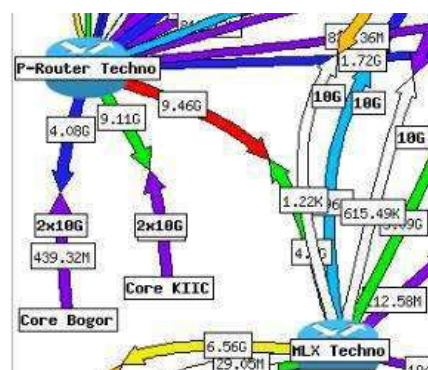
Dan dari semua hal penting yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya, memiliki satu tujuan yaitu untuk dapat memenuhi ekspektasi kebutuhan pelanggan terkait akan kestabilan internet dengan cara menunjang kualitas layanan atau yang lazimnya disebut dengan *Quality of Service (QoS)*.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menganalisa performa jaringan pada kabel backbone yang saat ini digunakan dalam trial and error, analisa standarisasi instalasi kabel backbone dengan core besar, dan dengan monitoring traffic dengan MRTG serta

penggunaan Observium untuk optimasi peningkatan QoS pada layanan internet. (Aan & Petruknisme, 2016)

Berikut adalah contoh monitoring sistem dimana Bandwidth yang tidak sebanding dengan besar lalulintas data yang lewat :



Gambar 1. Trafik Penuh

Dari gambar 1 diatas, didapatkan hasil link yang berwarna merah menandakan bahwa penggunaan Bandwidth pada link tersebut terpantau hampir penuh. Bandwidth yang penuh dapat mengakibatkan terjadinya kepadatan atau *congestion* yang mengakibatkan lalu lintas paket data tidak stabil atau terputus

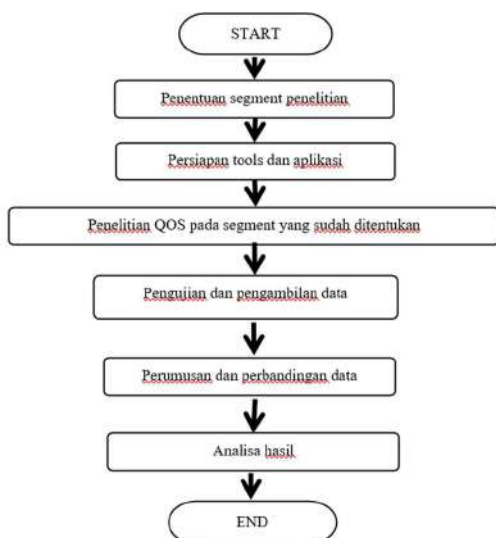
Bandwidth yang penuh dapat mengakibatkan terjadinya kepadatan atau *congestion* yang mengakibatkan lalu lintas paket data tidak lancar atau terputus. (R. Wulandari, 2018)

Berikut adalah contoh intermitten karena bandwidth yang penuh :

```
Type escape sequence to abort.
Sending 1000, 100-byte ICMP Echos to 112.xx.xx.xx,
timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 112.xx.xx.xx
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

**Success rate is 98 percent (987/1000), round-trip min/avg/max = 28/34/356 ms**

Metode penelitian yang dilakukan dapat dijelaskan sesuai dengan diagram alir Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian dibutuhkan penentuan segment dan pembahasan dapat merujuk pada inti tujuan penelitian yang akan dilakukan. Parameter QOS yang diambil adalah sebagai berikut (P. Wulandari, 2017):

1. Delay : merupakan waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan.
2. Jitter : variasi delay antara blok-blok yang berurutan yang nilainya sangat dipengaruhi oleh beban trafik dan besarnya tumbukan antar paket dalam sebuah jaringan (Al-Omari & Al-Hattab, 2018)
3. Packet loss : merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang, dapat terjadi karena *collision* dan kemacetan (*congestion*) pada jaringan.
4. Throughput : yaitu kecepatan (rate) transfer data efektif, yang diukur dalam bps (bit per second)
5. Service dan Network Availability : seberapa lama koneksi sebuah jaringan available atau tersedia antara spesifik poin network ingress dan spesifik poin network egress dengan batas lain yang disebut SLA metric untuk sebuah layanan.

Kemudian menggunakan aplikasi Observium, MRTG, ping, dan port interface untuk mendapatkan nilai komparasi QOS. Untuk pengambilan data akan dilakukan dalam beberapa tahapan yang semuanya diaplikasikan untuk link 2x10 G maupun 2x100 G dengan tools dan aplikasi yang sudah ditentukan. Berikut detail tahapan yang akan diambil :

1. Tahapan pertama akan dilakukan monitoring jaringan dan pengambilan data menggunakan link A
2. Tahapan kedua, dilakukan monitoring jaringan dan pengambilan data pada saat link A dimatikan dan dialihkan ke link B. Pada tahapan ini, ada saat dimana data tersebut diambil saat link A dalam keadaan terpantau mati bukan karena dimatikan namun dikarenakan adanya kendala pada kabel backbone yang menyebabkan link tersebut down seperti kabel backbone terputus. Dan akan dimonitoring, apakah link redundansinya [link B] akan terpantau penuh dan menyebabkan QOS menjadi buruk.
3. Tahapan terakhir, monitoring dan pengambilan data disaat link A dan B berjalan bersamaan.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Sesuai pada alur kerja penelitian yang telah dideskripsikan pada Gambar 1. Tahapan awal dalam penelitian ini adalah dengan melakukan penentuan segment penelitian, perencanaan, perancangan dalam perhitungan Analisa kinerja QOS pada masing-masing link 2x10 G dan 2x 100 G. Perhitungan data yang telah didapatkan menggunakan konsep TIPHON. (Institute, 2002)

Berikut detailnya :

1. Perhitungan Delay (Latency) :

$$\text{Delay} = \text{Packet Length} / \text{Link Bandwidth}$$

Dengan rancangan skematik table seperti dibawah ini :

Tabel 1. Skema Delay

Kategori Latensi	Besar Delay (ms)	Indeks
Sangat Bagus	< 150 ms	4
Bagus	150 ms s/d 300 ms	3
Sedang	300 ms s/d 450 ms	2
Jelek	> 450 ms	1

(sumber : TIPHON)







5 minute input rate 80072900 bits/sec, 152268 packets/sec  
 5 minute output rate 4282740000 bits/sec, 263148 packets/sec  
 L2 Switched: ucast: 0 pkt, 0 bytes - mcast: 0 pkt, 0 bytes  
 L3 in Switched: ucast: 0 pkt, 0 bytes - mcast: 0 pkt, 0 bytes mcast  
 L3 out Switched: ucast: 0 pkt, 0 bytes mcast: 0 pkt, 0 bytes  
 440790014408 packets input, 156413218927271 bytes, 0 no buffer  
 Received 1207833 broadcasts (1207799 multicasts)  
 5 runts, 1989247411 giants, 0 throttles  
 15072 input errors, 11869 CRC, 2201 frame, 389470 overrun, 0 ignored  
 785690413998 packets output, 829856352514200 bytes, 0 underruns  
 0 output errors, 0 collisions, 2 interface resets  
 Terpantau tidak terdapat CRC error.

Hasil ping link B :

```
JK-JKP-MPZ-CSCO-7609-TN001#ping 112.xx.xx.xx
source 112.xx.xx.xx repeat 1000
Type escape sequence to abort.
Sending 1000, 100-byte ICMP Echos to 112.xx.xx.xx,
timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 112.xx.xx.xx
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

**Success rate is 100 percent (1000/1000), round-trip min/avg/max = 1/2/48 ms**

Data show port interface untuk link B :  
 JK-JKP-MPZ-CSCO-7609-TN001#sh interfaces  
 tenGigabitEthernet 4/3  
 TenGigabitEthernet4/3 is up, line protocol is up  
 (connected)

Hardware is C7600 10Gb 802.3, address is 001a.302a.1400 (bia 001a.302a.1400)  
 Description: \*\*\*\* Link #2 JKT-Midplaza To JKT-Saharjo\*\*\*\*  
 MTU 9000 bytes, BW 10000000 Kbit/sec, DLY 10 usec,  
 reliability 255/255, txload 45/255, rxload 7/255  
 Full-duplex, 10Gb/s

Input queue: 0/75/0/0 (size/max/drops/flushes); Total output drops: 1291516

Queueing strategy: fifo

Output queue: 0/40 (size/max)

5 minute input rate 1477879000 bits/sec, 179660 packets/sec

5 minute output rate 5577879000 bits/sec, 177442 packets/sec

L2 Switched: ucast: 0 pkt, 0 bytes - mcast: 0 pkt, 0 bytes

L3 in Switched: ucast: 0 pkt, 0 bytes - mcast: 0 pkt, 0 bytes mcast

L3 out Switched: ucast: 0 pkt, 0 bytes mcast: 0 pkt, 0 bytes

917774261559 packets input, 206397679349285 bytes, 0 no buffer

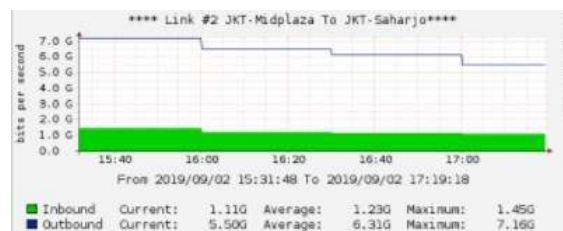
Received 2354002 broadcasts (2354002 multicasts)  
 0 runts, 4291293230 giants, 0 throttles

0 input errors, 0 CRC, 0 frame, 7498422 overrun, 0 ignored

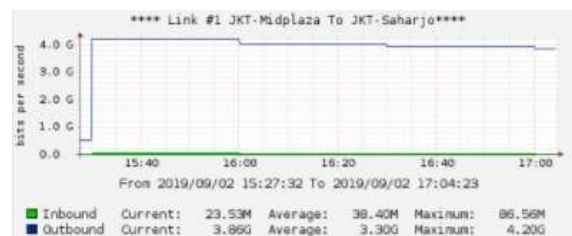
1003698028699 packets output, 1255760255747676 bytes, 0 underruns

0 output errors, 0 collisions, 2 interface resets

Berikut monitoring MRTG saat kedua link tersebut diaktifkan :



Gambar 5. Link A Aktif



Gambar 6. Link B Aktif

Dari kedua gambar diatas, dapat terlihat bahwa untuk MRTG link A terpantau mulai naik dan link B mulai menurun dikarenakan penggunaan Bandwidth sudah dibagi menjadi 2 link.

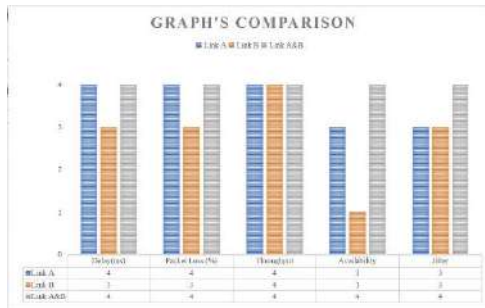
Berikut tabel perbandingan untuk ketiga monitoring :

Tabel 5. Data Komparasi

Link 100 G	Delay (ms)	Indeks	Packet loss (%)	Indeks
A	120	4	0	4
B	338	3	3	3
A dan B	90 & 113	4	0	4

Throughput (bps)	Indeks	Availability (%)	Indeks	Jitter	Indeks
591.5	4	62	3	1	3
591.5	4	0	1	13	3
662.6	4	76 & 79	4	0	4

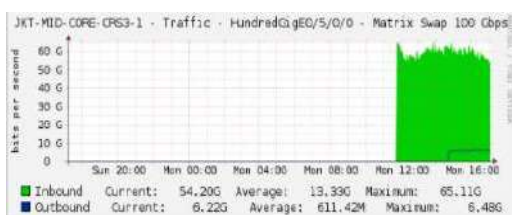
Berikut grafik perbandingan data yang didapatkan pada tabel 5



Gambar 7. Data Grafik

Untuk data Link 2x10 G sudah didapatkan lalu dilanjutkan dengan menggunakan sample link 2x100 G pada monitoring pertama di saat hanya link A saja yang aktif :

dis interface 100GE1/1/0  
 100GE1/1/0 current state : UP (ifindex: 119)  
 Line protocol current state : UP  
 Last line protocol up time : 2019-07-18 23:56:59+07:00  
 Port BW: 100G, Transceiver max BW: 103.125Gbps,  
 Last 300 seconds input rate: 898664503 bits/sec, 309898 packets/sec  
 Last 300 seconds output rate: 4712499205 bits/sec, 583679 packets/sec  
 Input peak rate 2401998526 bits/sec, Record time: 2019-07-01 10:30:42+07:00  
 Output peak rate 5827827594 bits/sec, Record time: 2019-09-26 15:56:19+07:00  
 Input: 1836382995559288 bytes, 4524909860098 packets  
 Output: 6277364048256191 bytes, 6371745642148 packets  
 Input:  
 Unicast: 4524378568910 packets, Multicast: 69744567 packets  
 Broadcast: 461546621 packets, JumboOctets: 344128589826 packets  
 Output:  
 Unicast: 6371677352084 packets, Multicast: 32060906 packets



Gambar 8. Link 100 Gbps

Dari Gambar 7. dapat di lihat peralihan *traffic* dimana *fail over* berjalan dengan baik sehingga kebutuhan bandwidth masih dapat terpenuhi dan kualitas jaringan yang masih terjaga

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisis perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Semakin tinggi penggunaan Bandwidth dan tidak diwadahi dengan pipa Bandwidth yang memadai akan menghasilkan penurunan QOS.
2. Redudansi akan menghindari kemungkinan terjadinya blackout sehingga dapat menjamin availability hingga 100%
3. Peralihan link dapat berjalan dengan smooth tanpa adanya delay berlebihan apabila link redudansi telah diaktifkan dalam keadaan idle.

#### 5. Daftar Acuan

Aan, O., & Petruknisme, W. (2016). Observium Sebagai Network dan Server Monitoring Latar Belakang Kenapa Observium? Instalasi Observium Server Unduh Observium Community Edition MySQL Database. *Teknik Informatika*, (September).

Al-Omari, H., & Al-Hattab, M. (2018). Investigating random behavior of one way delay jitter. *2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications, ICECTA 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICECTA.2017.8252072>

Bolla, R., Bruschi, R., Cianfrani, A., & Listanti, M. (2011). [DONE] [Very Important]Enabling backbone networks to sleep. *IEEE Network*, 25(2), 26–31. <https://doi.org/10.1109/MNET.2011.5730525>

Institute, E. T. S. (2002). Telecommunications and {Internet} Protocol Harmonization Over Networks ({TIPHON}); {End}-to-End Quality of Service in {TIPHON} Systems; {Part} 5: {Quality} of Service ({QoS}) measurement methodologies. *ETSI TS 101 329-5 v1.1.2*.

Wulandari, P. (2017). Monitoring Dan Analisis Qos (Quality Of Service) Jaringan Internet Pada Gedung Kpa Politeknik Negeri Sriwijaya Dengan Metode Drive Test. *Politeknik Negeri Sriwijaya*. <https://doi.org/10.2298/PAN0903301G>

Wulandari, R. (2018). Analisis QOS (Quality Of Service) Pada Jaringan Internet (Studi Kasus : Upt Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon – LIPI). *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 2(2), 162–172. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v2i2.454>

# RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP PATCH DISC SECTOR 2X2 ARRAY UNTUK SISTEM MONITORING KETINGGIAN AIR SUNGAI MENGGUNAKAN WIRELESS SENSOR NETWORK

Toto Supriyanto<sup>1</sup>, Achmad Farhan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI Depok 16424

E-mail: toto.supriyanto@elektro.pnj.ac.id<sup>1</sup>, farhanachmad17@gmail.com<sup>2</sup>

## ABSTRACT

One of the wireless communication system applications is Wireless Sensor Network (WSN). The application of WSN can be done on a river water level monitoring system in realtime, where river water level data can be sent directly to the web server. Water level data is obtained from HC-SR04 sensor, processed by ATmega 328P microcontroller and sent to the receiver by the nRF24L01 + transceiver module. An nRF24L01 + transceiver module is required for an antenna. The default antenna in this module is a monopole antenna, and has a small gain weakness so the data transmission range is not too far away. To overcome this the monopole antenna was replaced using a 2x2 array microstrip disc sector patch antenna. The 2x2 array sector patch microstrip antenna works with frequency of 2.4 GHz. Antenna simulation is done using CST Studio Suites. Antenna parameter measurement results obtained return loss value of -36.034572 dB, gain of 4.003 dB, VSWR of 1.0320783, HPBW of 80 °, and bidirectional radiation patterns. Tests for monitoring river water levels are carried out at the Ciliwung river, floodgate in Depok. Monitoring results can be seen on the website.

Keywords : WSN, antena mikrostrip, transceiver nRF24L01+, sensor HC-SR04

## ABSTRAK

Salah satu aplikasi sistem komunikasi wireless yaitu Wireless Sensor Network (WSN). Penerapan WSN dapat dilakukan pada sistem monitoring ketinggian air sungai secara realtime, dimana data ketinggian air sungai dapat langsung dikirimkan ke web server. Data ketinggian air diperoleh dari sensor HC-SR04, diolah mikrokontroler ATmega 328P dan dikirimkan ke penerima oleh modul transceiver nRF24L01+. Pada modul transceiver nRF24L01+ diperlukan antena. Antena default pada modul ini adalah antena monopole, dan mempunyai kelemahan gain kecil sehingga jarak jangkauan pengiriman data kurang jauh. Untuk mengatasi ini antena monopole diganti menggunakan antena mikrostrip disc sector patch 2x2 array. Antena mikrostrip disc sector patch 2x2 array bekerja dengan frekuensi 2,4 GHz. Simulasi antena dilakukan menggunakan CST Studio Suites. Hasil pengukuran parameter antena diperoleh nilai return loss sebesar -36,034572 dB, gain sebesar 4,003 dB, VSWR sebesar 1,0320783, HPBW sebesar 80°, dan pola radiasi bidirectional. Pengujian untuk monitoring ketinggian air sungai dilakukan di sungai ciliwung, pintu air Depok. Hasil monitoring dapat dilihat pada website.

Kata kunci : WSN, antena mikrostrip, transceiver nRF24L01+, sensor HC-SR04

## 1. Pendahuluan

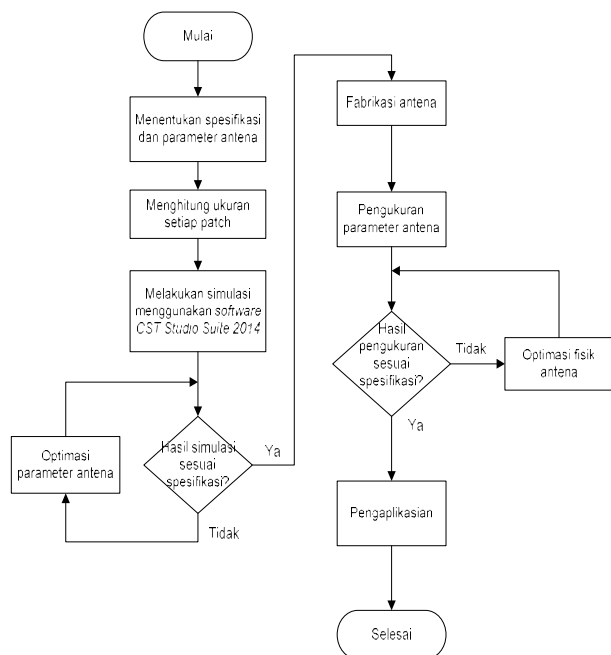
Salah satu aplikasi dari sistem komunikasi wireless adalah menggunakan Wireless Sensor Network (WSN) [1]-[2]. WSN dilakukan dengan menghubungkan antara sistem pengirim dan sistem penerima tanpa adanya kabel. Penerapan WSN dapat dilakukan untuk memonitoring ketinggian air sungai [3]. Ketinggian air sungai dapat diketahui dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-

SR04. Data yang didapat dari sensor akan dikirimkan menuju bagian penerima yang akan terkoneksi ke web server. Pada sistem komunikasi wireless, antena sangat dibutuhkan dalam proses transmisi data. Antena adalah perangkat yang berfungsi untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik dari media kabel ke udara atau sebaliknya dari udara ke media kabel. Antena berfungsi sebagai transducer yang mengubah energi listrik menjadi gelombang elektromagnetik ataupun sebaliknya. Pada WSN ini diperlukan

transceiver. Transceiver menggunakan modul nRF24L01+, yang memiliki antenna *monopole* [4]. Antenna *monopole* pada modul nRF24L01+ ini memiliki kelemahan dalam jarak jangkauannya, maksimal hanya 50 meter untuk dapat berkomunikasi dengan 2 titik. Untuk mengatasi masalah ini maka dibuat antenna mikrostrip *disc sector array 2x2* sebagai pengganti fungsi antenna monopole yang ada pada modul transceiver tersebut [5]. Dengan antenna mikrostrip ini diharapkan akan mendapatkan performansi yang lebih baik dan jarak jangkauan pengiriman data dapat lebih jauh.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan beberapa tahap, mulai dari penentuan spesifikasi, penghitungan antenna, simulasi antenna, fabrikasi, pengujian parameter-parameter antenna, dan pengaplikasian. Diagram alir perancangan antenna diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perancangan antenna

Spesifikasi antenna *patch disc sector 2x2 array* yang dirancang adalah frekuensi kerja 2,4 GHz;  $VSWR < 1,5$ ;  $gain > 3$  dB;  $return\ loss < 10$  dB; pola radiasi bidirectional; dan impedansi sebesar 50Ω. Antenna mikrostrip *disc sector array* memiliki *patch* berbentuk *circular*, dan dimodifikasi berbentuk *sectoral* yang memiliki 2 buah *patch* sama. Antenna ini terdiri atas 2 bagian utama *patch*, yaitu bagian *patch square* penuh dan bagian *square* yang lebih kecil 1,5 dari nilai *patch* penuh.

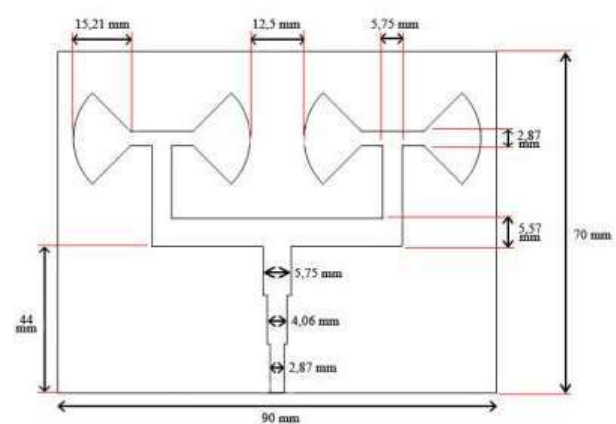
Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan dimensi saluran, jari-jari *patch circular*, jarak elemen, dan menentukan besar keseluruhan *groundplane*. Setelah melakukan perhitungan-perhitungan tersebut, dilakukan simulasi menggunakan

software aplikasi antenna CST *Studio Suite*. Berdasarkan simulasi ini didapatkan parameter-parameter antenna, untuk mengetahui apakah hasil parameter antenna sudah sesuai dengan spesifikasi. Selanjutnya dilakukan optimasi pada simulasi CST dengan merubah nilai-nilai hasil perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter antenna sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Ukuran antenna sebelum dan sesudah optimasi diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1. Dimensi Antena Hasil Perhitungan dan Hasil Optimasi

Parameter	Perhitungan (mm)	Optimasi (mm)
Jari jari Lingkaran (A)	15,21	15,21
Lebar Saluran Transmisi 100Ω	2,87	2,66
Lebar Saluran Transmisi 50Ω	5,75	8,89
Lebar Saluran Transmisi 70Ω	4,06	7,59
Panjang Saluran Transmisi	33,36	78
Jarak antar elemen (d)	62,5	10,62
Panjang <i>Substrate</i> (Ls)	100	80
Lebar <i>Substrate</i> (Ws)	80	72
Panjang <i>Groundplane</i> (Lg)	100	70
Lebar <i>Groundplane</i> (Wg)	80	30

Gambar 2 memperlihatkan rancangan antenna dan ukurannya, hasil perhitungan yang telah dioptimasi menggunakan software CST.



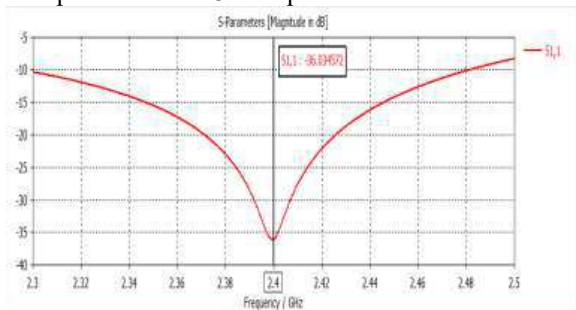
Gambar 2. Rancangan antenna mikrostrip *patch disc sector 2x2 array* yang telah dioptimasi

## 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi CST yang telah dioptimasi, selanjutnya dilakukan fabrikasi antenna dan



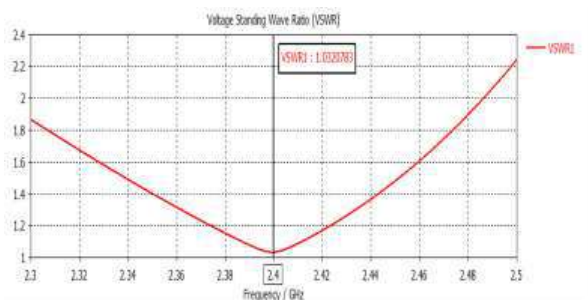
diikuti dengan pengujian unjuk kerja antenna. Pengujian unjuk kerja dengan mengukur parameter-parameter antenna apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Gambar 3 memperlihatkan nilai return loss.



Gambar 3. Nilai return loss

Nilai return loss antenna pada frekuensi kerja 2,4 GHz didapatkan sebesar -36,034572 dB. Nilai ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu lebih kecil daripada 10dB.

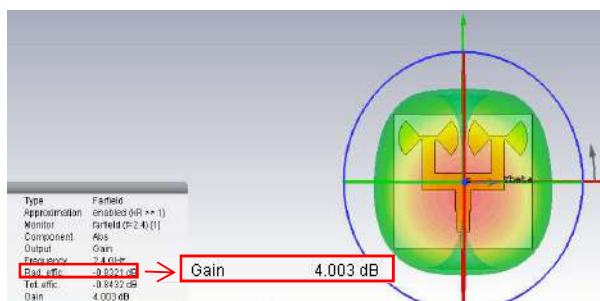
Gambar 4 memperlihatkan nilai VSWR antenna mikrostrip patch disc sector array 2x2.



Gambar 4. Nilai VSWR

Nilai VSWR pada frekuensi kerja 2,4 GHz didapatkan sebesar 1,0320783. Nilai ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu kurang dari 1,5.

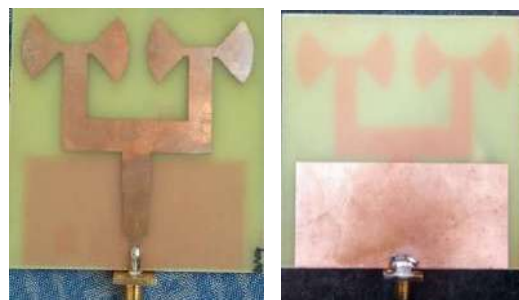
Gambar 5 memperlihatkan nilai gain antenna.



Gambar 5. Nilai gain antenna

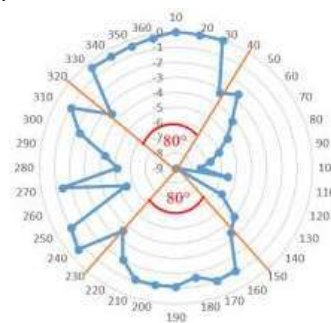
Dari Gambar 5 dapat dilihat nilai gain sebesar 4,003 dB. Nilai gain tersebut memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu lebih besar daripada 3dB.

Bentuk antenna yang telah difabrikasi diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk antenna mikrostrip patch disc sector 2x2 array hasil fabrikasi

Selanjutnya adalah pengukuran pola radiasi antenna. Gambar 7 memperlihatkan bentuk pola radiasi azimuth antenna HPBW dari sudut 0° hingga 350° dengan level daya (dBm).



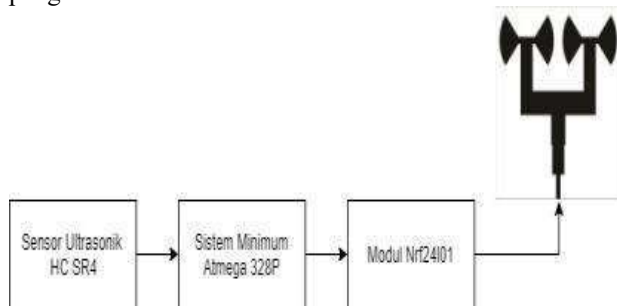
Gambar 7. Bentuk pola radiasi HPBW

Pola radiasi antenna mikrostrip patch disc sector array 2x2 adalah bidirectional. Sudut sebelum dan sesudah level sinyal maksimum yang mendekati nilai -3dB merupakan nilai HPBW dimana range HPBW adalah selisih antara sudut terbesar dengan sudut terkecil. Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai HPBW adalah 80°.

Setelah dilakukan pengujian terhadap antenna, selanjutnya adalah pengujian pada sistem WSN, yang diaplikasikan untuk sistem monitoring ketinggian air sungai, dimana antenna mikrostrip yang telah dibuat dipasangkan pada modul transceiver nRF24L01+. Pada sistem ini terdiri atas minimum sistem mikrokontroler ATmega 328P untuk mengolah data, sensor ultrasonic HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian air sungai, dan modul transceiver nRF24L01+ untuk mengirimkan data yang dipasangkan antenna mikrostrip patch disc sector array 2x2. Dengan penggunaan antenna mikrostrip ini diharapkan data hasil pembacaan sensor ultrasonic HC-SR04 dapat dikirimkan dengan jarak lebih jauh ke bagian penerima. Pada bagian penerima akan terhubung ke web server, sehingga hasil pembacaan data ketinggian air sungai dapat dilihat di website. Gambar 8



memperlihatkan diagram blok sistem pada bagian pengirim.



**Gambar 8. Diagram blok sistem monitoring ketinggian air sungai pada bagian pengirim**

Sensor ultrasonik HC-SR4 akan mendeteksi ketinggian air sungai. Data ini selanjutnya diolah oleh mikrokontroler Atmega 328P, dan dikirimkan ke bagian penerima oleh modul *transceiver* nRF24L01+. Data yang dikirimkan ini selanjutnya diterima di bagian penerima yang terdapat *Raspberry Pi 3* sebagai *web server*.

Pengujian dilakukan pada pintu air Depok sungai Ciliwung. Gambar 9 memperlihatkan posisi peletakkan alat.



**Gambar 9. Posisi peletakkan alat**

Berdasarkan hasil pengujian jarak di bagian pengirim dengan menggunakan antena monopole dan antena mikrostrip yang dirancang, diperoleh hasil seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan jarak menggunakan antena monopole dan antena mikrostrip

Antena Pengirim - Penerima	Jarak Maksimum (m)	
	LOS	NLOS
<i>monopole – monopole</i>	31	16
<i>disc sector 2x2 array - monopole</i>	42	22
<i>disc Sector Array 2x2 – fractal meanline</i>	157	85

Dari Tabel 2 terlihat jarak pengiriman data dengan menggunakan antena mikrostrip dapat lebih jauh dibandingkan menggunakan antena default monopole. Hasil monitoring ketinggian air sungai dapat dilihat pada website.

#### 4. Kesimpulan

Hasil perancangan antena mikrostrip *patch disc sector array 2x2* telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu nilai *return loss* sebesar -36,034 dB, VSWR 1,032, gain sebesar 4,003 dB, dan pola radiasi *bidirectional*. Pengujian fungsi antena dilakukan pada pintu air Depok sungai Ciliwung dan menghasilkan data yang terbaca pada sensor sama dengan data pengukuran di sungai. Hasil monitoring dapat dilihat pada website.

#### 5. Daftar Acuan

- [1] Afifudin, *Sistem Monitoring Ketinggian Air menggunakan Wireless Sensor Network*, Skripsi Universitas Sumatera Utara, Medan, 2017.
- [2] Candra. Irwan, Rivai. Muhammad, Setijadi. Eko, Desain Wireless Sensor Network dan Webserver untuk Pemetaan Titik Api pada Kasus Kebakaran Hutan, *Jurnal Teknik ITS*, Vol 5, No.2, ISSN: 2337-3539, 2016, pp. A198-A203.
- [3] Lewi. Eljire Bagas, *Sistem Monitoring Ketinggian Air Berbasis Internet Of Things Menggunakan Google Firebase*, Tugas Akhir D3 Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom, Bandung, 2017.
- [4] Af'idah. Dwi Intan, Rochim. Adian Fatchur, Widiyanto. Eko Didik, Perancangan Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) Untuk Memantau Suhu dan Kelembaban Menggunakan nrf24101, *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, Vol.2, No.4, e-ISSN: 2338-0403, 2014, pp. 267-276
- [5] Alam. Syah, Wijaya. Irtanto, Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x2 Frekuensi 2,4 Ghz Untuk Komunikasi Iot, *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, Vo. 3, No.1, e - ISSN 2502-6484, Universitas 17 Agustus 1945, Jakarta, 2018

## **Pengaruh Penambahan Garam Dapur (NaCl) Terhadap Perubahan Arus Listrik dan Kandungan Logam Pada Pengolahan Air Limbah Industri Secara Elektrokoagulasi**

Sutanto<sup>1</sup> dan Nanang Rohadi<sup>2</sup>

Telekomunikasi, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*E-mail: stanto09@gmail.com*

### **Abstract**

In this research, electronics industry waste water has been processed into drinking water. The study was conducted by flowing of 4.5 liters of waste water into the three cells of electrocoagulation process tank. Each cell is filled 1.5 liters of waste water without the addition of salt (NaCl). The electrocoagulation process is carried out at a voltage of 12 V and interval time for observation the change of current and the metals concentration is done every 10 minutes. Subsequently, the same procedure was performed and added the salt (NaCl) with variation of weight of 0.5, 1.0 and 1.5 g. Measuring of current was done by amperemeter and concentration of metals by AAS. The best conditions are recommended for use of 0.5 gram of salt (NaCl), 12 volt of voltage and 100 minutes for processing time. Under these conditions the current can be increased from 0.23 A to 1.13 A or equivalent to 391.30 % and then concentration of Aluminum (Al) can be reduced from 0.68 mg/L to 0.01 mg/L or equivalent to 98.53 % and the concentration of Sodium can be reduced from 18.23 mg/L to 7.23 mg/L or equivalent to 60.34 %.

*Keywords: waste water, electrocoagulation, salt (NaCl), electric current, content of metals*

### **Abstrak**

Pada penelitian ini digunakan air limbah industri elektronika yang diproses menjadi air minum. Proses yang digunakan adalah elektrokoagulasi yang dipadu dengan penambahan garam dapur (NaCl). Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke dalam tiga sel bak elektrokoagulasi. Setiap sel diisi 1,5 liter air limbah tanpa ada penambahan garam dapur (NaCl). Proses elektrokoagulasi dilakukan pada tegangan 12 V dan interval waktu pengamatan perubahan arus listrik dan konsentrasi logam adalah 10 menit. Untuk penelitian berikutnya dilakukan dengan prosedur yang sama, akan tetapi ada penambahan garam dapur (NaCl) dengan variasi berat masing-masing 0,5, 1,0 serta 1,5 gram. Pengukuran arus listrik dengan amperemeter dan pengukuran konsentrasi logam dilakukan dengan AAS. Kondisi terbaik direkomendasikan pada penggunaan garam dapur (NaCl) 0,5 gram, tegangan 12 V dan waktu proses 100 menit. Pada kondisi tersebut arus listrik mengalami peningkatan dari 0,23 A menjadi 1,13 A atau setara dengan 391,30 %, sedangkan kandungan Aluminium dapat diturunkan dari 0,68 mg/L menjadi 0,01 mg/L atau setara dengan 98,53 % dan kandungan Natrium dapat diturunkan dari 18,23 mg/L menjadi 7,23 mg/L atau setara dengan 60,34 %.

*Kata Kunci: air limbah, garam dapur (NaCl), elektrokoagulasi, arus listrik, kandungan logam*

### **1. Pendahuluan**

Air limbah industri atau rumah tangga sangat berpotensi untuk diolah kembali menjadi air bersih atau air minum. Jika air limbah tersebut akan diolah kembali menjadi air minum, maka kandungan maksimum parameter air hasil

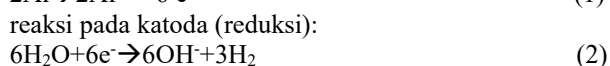
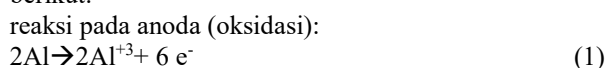
pengolahan tersebut harus mengikuti peraturan Menteri Kesehatan RI No 492 / Menkes / Per / IV / 2010. Dalam peraturan Menteri Kesehatan tersebut dijelaskan bahwa kandungan maksimum masing-masing parameter yang diijinkan dalam air minum adalah: 0,3 mg/L untuk besi (Fe), 0,01 mg/L untuk arsen (As), 2

mg/L untuk tembaga (Cu), 0,05 mg/L untuk khrom (Cr), 0,003 mg/L untuk cadmium (Cd), 0,01 mg/L untuk timbal (Pb), 0,07 mg/L untuk nikel (Ni), 0,02 mg/L untuk aluminium (Al), 0,4 mg/L untuk mangan (Mn), 3,0 mg/L untuk seng (Zn), 0,001 mg/L untuk air raksa (Hg), 0,7 mg/L untuk barium (Ba), 200 mg/L untuk natrium (Na), 10 mg/L untuk zat organik, 5 mg/L untuk khlorin (Cl<sub>2</sub>), 0 per 100 mL untuk bakteri Koliform dan 0 per 100 mL untuk bakteri Escherichia Coli (E Coli) dan pH 6,5 - 8,5.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengolah kembali air limbah menjadi air minum. Salah satu metode yang digunakan adalah proses elektrokoagulasi. Untuk menjalankan proses tersebut dibutuhkan anoda yang dapat menghasilkan senyawa koagulan. Pada umumnya anoda yang digunakan adalah aluminium atau besi. Senyawa koagulan berfungsi untuk mengadsorpsi polutan organik dan anorganik yang terdapat dalam air limbah. Mengingat kandungan polutan dalam air limbah merupakan campuran bahan organik dan anorganik maka campuran tersebut akan membentuk larutan elektrolit yang cukup lemah, sehingga daya hantar listrik menjadi sangat rendah. Dengan demikian proses pembentukan senyawa koagulan menjadi sangat lambat. Karena proses pembentukan senyawa koagulan sangat tergantung pada perubahan daya hantar listrik dari air limbah. Jika daya hantar listrik air limbah semakin tinggi maka arus listrik yang mengalir juga menjadi semakin meningkat, sehingga proses pembentukan senyawa koagulan menjadi semakin cepat. Untuk meningkatkan daya hantar listrik air limbah dapat ditambahkan garam dapur (NaCl) ke dalam air limbah, sehingga terjadi peningkatan sifat elektrolit air limbah. Dengan demikian daya hantar listrik air limbah menjadi semakin bertambah besar dan semakin banyak dihasilkan senyawa koagulan. Akibat lebih lanjut akan mempercepat proses pengolahan air limbah menjadi air minum.

Garam dapur dipilih sebagai bahan tambahan pada proses elektrokoagulasi. Karena garam dapur memiliki beberapa kelebihan antara lain dapat menghasilkan larutan elektrolit kuat, murah harganya, bersifat disinfektan (pembunuh mikroorganisme), tidak beracun, mudah didapat di pasaran bebas dan belum banyak diteliti pengaruhnya terhadap perubahan arus listrik atau konsentrasi logam pada pengolahan air limbah secara elektrokoagulasi.

Menurut Kobya dkk [1] persamaan reaksi yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yang menggunakan anoda dari bahan aluminium dapat dinyatakan sebagai berikut:



Total reaksi:  $2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2$  (3)  
 Dari Pers.(3) diperoleh hasil akhir senyawa koagulan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang berfungsi untuk mengadsorpsi polutan logam dan organik dalam air.

Menurut Karicappan dkk [2] menyebutkan bahwa hasil penelitiannya pada pengolahan air limbah rumah tangga yang dilakukan secara elektrokoagulasi mampu menurunkan kandungan padatan total (TS) sampai 98,45 %, Chemical Oxygen Demand (COD) sampai 94,75 % dan bakteri Koliform sampai 96,34 %. Dalam proses elektrokoagulasi tersebut digunakan elektroda stainless steel pada jarak optimum 5 cm dengan rapat arus listrik 20 mA/cm<sup>2</sup>, pH 7 dan waktu proses 20 menit.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Eiband dkk [3], menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi pada limbah cair mampu menurunkan kandungan timbal (Pb) diatas 90%.

Menurut Kumar dkk [4], untuk perhitungan berat ion logam  $\text{Al}^{+3}$  yang terbentuk pada proses elektrokoagulasi yang dijalankan secara kontinyu berlaku persamaan:

$$m = (S)(A)(a_r)(I)/[(Q)(96.500)(n)] \quad (4)$$

dengan m: massa  $\text{Al}^{+3}$  yang dilepaskan oleh anoda (gram), S: tinggi bak proses (cm), A: luas penampang bak proses (cm<sup>2</sup>), a<sub>r</sub>: massa atom relatif, I: arus listrik (amper), Q: debit air limbah (cm<sup>3</sup>/det), n: perubahan bilangan oksidasi. Berdasarkan Pers. (4) dapat dijelaskan jika arus yang mengalir semakin besar, maka akan semakin banyak pula terbentuk ion  $\text{Al}^{+3}$ . Sebagaimana diketahui bahwa ion  $\text{Al}^{+3}$  akan bereaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  membentuk senyawa koagulan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang berfungsi sebagai adsorban polutan organik dan anorganik dalam air limbah. Mengingat  $\text{Al}(\text{OH})_3$  terbentuk dari reaksi antara ion  $\text{Al}^{+3}$  dengan ion  $\text{OH}^-$ , hal ini dapat memberikan petunjuk bahwa semakin banyak ion  $\text{Al}^{+3}$  yang terbentuk maka akan meningkatkan pula pembentukan ion  $\text{OH}^-$ . Dengan semakin banyak ion  $\text{OH}^-$  yang terbentuk, maka akan memberikan dampak pada peningkatan harga pH air.

Kelengkapan untuk proses elektrokoagulasi menurut Shanthi dkk [5], antara lain dibutuhkan bak proses, sumber DC (arus searah), anoda dan katoda. Bak proses harus bersifat isolator yang dibuat dari bahan akrilik, beton, kaca atau baja yang berlapis bahan isolator. Anoda dapat dibuat dari bahan aluminium atau besi. Sedangkan katoda dapat dibuat dari bahan inert (misal karbon), aluminium atau besi.

Menurut Rios dkk [6] pada proses elektrokoagulasi yang ditambahkan bahan elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Natrium Sulfat) atau NaCl (garam dapur) dapat meningkatkan daya hantar listrik larutan, sehingga memberikan dampak pada peningkatan aliran arus listrik. Dengan arus listrik yang semakin membesar maka akan terjadi peningkatan

pembentukan senyawa koagulan yang berperan sebagai adsorban polutan dalam air limbah.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Thirugnanashambandam dkk [7], pada proses elektrokoagulasi dengan penambahan garam dapur (NaCl) sebanyak 740 mg/L dapat menurunkan "chemical oxygen demand" (COD) sampai 98 % dan "total suspended solid" (TSS) sampai 93%. Selama berlangsungnya proses elektrokoagulasi akan terbentuk hasil samping senyawa hipoklorit yang bersifat oksidator dan mampu mengoksidasi polutan organik serta membunuh bakteri dalam air. Mekanisme terbentuknya senyawa hipoklorit dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi berikut:



Menurut Agustin dkk [8], pada proses elektrokoagulasi yang ditambahkan NaCl dapat memperbesar pelarutan Al dari anoda. Pada penelitian yang dilakukan dengan konsentrasi NaCl 0,5 gr/L, kecepatan pengadukan 180 rpm dan waktu tinggal 55 detik dapat menghilangkan TSS (*total suspended solid*), detergen, minyak dan lemak, total fosfat dan kekeruhan secara sempurna (100%).

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri atas bahan dan alat yang digunakan serta prosedur kerja.

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan adalah aluminium jenis HTC 16-35 sebagai elektroda, garam dapur (NaCl) dan air limbah industri elektronika

### 2.2. Alat Pendukung

Alat yang digunakan adalah bak proses, sumber DC, ampermeter, flow meter, AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer), Soxhlet dan pH meter.

### 2.3. Prosedur

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan urutan sebagai berikut: mengukur parameter kualitas air limbah industri elektronika, merangkai alat penelitian dan pelaksanaan penelitian

### 2.4. Mengukur parameter kualitas air limbah industri elektronika

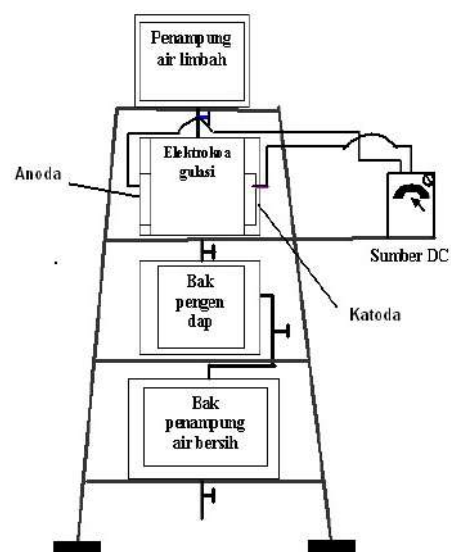
Parameter dari air limbah yang diukur adalah konsentrasi logam menggunakan AAS, kekeruhan menggunakan turbidimeter, minyak dan lemak menggunakan Soxhlet serta pH menggunakan pH meter. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

### 2.5. Merangkai alat penelitian

Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Alat proses terdiri atas sumber DC, avometer, bak penampung air limbah, bak proses elektrokoagulasi, bak pengendap kotoran dan bak penampung air hasil olahan. Bak penampung air limbah berukuran panjang 40 cm, lebar 40 cm dan tinggi 40 cm. Bak proses elektrokoagulasi berbentuk persegi yang tersusun atas tiga sel. Masing-masing sel berukuran lebar 5 cm, panjang 20 cm dan tinggi 25 cm yang dilengkapi anoda dan katoda dari bahan Aluminium masing-masing berukuran lebar 7 cm dan panjang 10 cm. Jarak antara anoda dan katoda adalah 5 cm. Bak pengendap kotoran berbentuk persegi dengan ukuran tinggi 50 cm, panjang

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter air limbah

No	Parameter	Hasil pengukuran
1	Tembaga (Cu)	3,52 mg/L
2	Aluminium (Al)	0,68 mg/L
3	Khrom (Cr)	Tidak terdeteksi
4	Besi (Fe)	1,21 mg/L
5	pH	7,64
6	Kekeruhan	44,10 NTU
7	Minyak dan lemak	27 mg/L
8	Natrium (Na)	16,34 mg/L



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

50 cm dan lebar 50 cm. Bak penampung air hasil olahan berbentuk kubus dengan panjang sisi 50 cm.

## 2.6. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengalirkan air limbah dari bak penampung sebanyak 4,5 liter ke bak elektrokoagulasi tanpa penambahan NaCl. Sumber DC dihidupkan pada tegangan 12 V dan besarnya arus listrik dapat dibaca pada amper meter. Proses dihentikan setelah berlangsung 10 menit. Air dari bak elektrokoagulasi dialirkan ke dalam bak pengendap untuk memisahkan endapan (polutan) yang terbentuk. Selanjutnya dilakukan pengukuran konsentrasi logam dalam air hasil proses menggunakan AAS. Pengamatan ulang dilakukan dengan waktu proses 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 dan 120 menit. Untuk penelitian berikutnya, proses dijalankan dengan penambahan NaCl 0,5, 1,0 dan 1,5 gram.

## 3. Hasil dan Pembahasan

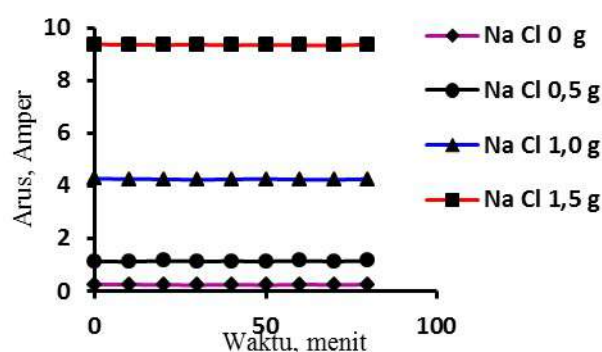
Hasil penelitian dari proses pengolahan air limbah industri elektronika akan disajikan dalam empat pembahasan, yaitu pembahasan yang berkaitan dengan penambahan berat garam dapur (NaCl) terhadap perubahan arus listrik, kandungan Aluminium dan kandungan Natrium dengan mempertimbangkan kondisi optimum untuk membuat air bersih atau minum.

### 3.1. Pengaruh penambahan berat garam dapur terhadap perubahan arus listrik

Hasil pengukuran pengaruh penambahan garam dapur terhadap perubahan arus listrik selama 80 menit dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 2. Uji statistik dari data tabel 2 dengan model distribusi t untuk taraf nyata 1 %,

Tabel 2. Hasil pengukuran arus listrik (A)

Waktu (menit)	NaCl 0 g	NaCl 0,5 g	Na Cl 1,0 g	Na Cl 1,5 g
0	0,25	1,12	4,26	9,36
10	0,24	1,11	4,25	9,35
20	0,23	1,14	4,24	9,34
30	0,22	1,12	4,22	9,35
40	0,24	1,13	4,24	9,33
50	0,22	1,11	4,25	9,34
60	0,24	1,14	4,23	9,33
70	0,23	1,12	4,22	9,32
80	0,24	1,14	4,25	9,36



Gambar 2. Kurva hubungan antara waktu terhadap perubahan arus listrik

menunjukkan bahwa arus rata-rata 0,23 A dapat diterima pada proses elektrokoagulasi yang dijalankan tanpa penambahan garam dapur. Sedangkan arus rata-rata 1,13 A juga dapat diterima untuk proses elektrokoagulasi dengan penambahan garam dapur 0,5 gram. Demikian pula arus rata-rata 4,24 A dapat diterima untuk proses elektrokoagulasi dengan penambahan garam dapur 1,0 gram dan arus rata-rata 9,34 A dapat diterima juga untuk proses elektrokoagulasi dengan penambahan garam dapur 1,5 gram.

Dari gambar 2 dapat ditunjukkan bahwa pada penambahan garam dapur (NaCl) dapat meningkatkan arus listrik. Pada penambahan garam dapur 0,5 gram dapat meningkatkan arus listrik rata-rata dari 0,23 A menjadi 1,13 A atau naik 3,9 kali dari arus semula. Sedangkan pada penambahan garam dapur 1,0 gram dapat meningkatkan arus listrik rata-rata dari 0,23 A menjadi 4,24 A atau naik 17,4 kali dari arus semula dan pada penambahan berat garam dapur 1,5 gram dapat meningkatkan arus listrik rata-rata dari 0,23 A menjadi 9,34 A atau naik 39,6 kali dari arus semula. Peningkatan arus listrik terjadi karena penurunan tahanan jenis larutan pada saat ditambahkan garam dapur ke dalam air limbah [4], [6].

### 3.2. Pengaruh penambahan berat garam dapur terhadap perubahan kandungan Aluminium

Hasil pengukuran pengaruh penambahan berat garam dapur terhadap perubahan kandungan Aluminium dalam air dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 3. Pengukuran kandungan Aluminium dilakukan dengan AAS.

Berdasarkan tabel 3, dapat dijelaskan bahwa pada proses tanpa penambahahan garam dapur (NaCl) yang dijalankan selama 120 menit terjadi penurunan kadar aluminium dari 0,68 mg/L menjadi mendekati nol (tidak terdeteksi) atau setara dengan 100 %. Hal ini terjadi sebagai akibat dari semakin banyaknya  $Al(OH)_3$

yang terbentuk dalam larutan. Sebagaimana diketahui bahwa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  merupakan bahan koagulan yang bersifat mengadsorpsi polutan aluminium dalam air membentuk gumpalan-gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Dengan demikian kadar aluminium dalam air limbah semakin lama akan semakin menurun. Akan tetapi jika proses elektrokoagulasi dipadu dengan penambahan  $\text{NaCl}$  (sterilisasi) 0,5 gram dan waktu proses dijalankan selama 10 menit, maka terlihat bahwa terjadi kenaikan kadar aluminium dalam air dari 0,68 mg/L menjadi 0,70 mg/L atau setara 2,94 %. Hal ini terjadi karena adanya penambahan  $\text{NaCl}$  berakibat pada peningkatan arus listrik, sehingga semakin mempercepat proses pembentukan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Sebagaimana diketahui bahwa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  merupakan bahan koagulan yang bersifat mengadsorpsi polutan dalam air membentuk gumpalan-gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Namun demikian tidak semua  $\text{Al}(\text{OH})_3$  habis terpakai untuk mengendapkan polutan. Dengan demikian terdapat sisa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang mengakibatkan kadar aluminium dalam air limbah semakin lama semakin meningkat. Akan tetapi mulai waktu proses 20 sampai 120 menit, kadar aluminium semakin lama semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang terbentuk, semuanya mulai dipakai untuk mengadsorpsi polutan. Sehingga tidak ada sisa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  atau kadar aluminium semakin lama semakin berkurang.

Sedangkan pada penambahan  $\text{NaCl}$  1,0 gram dan 1,5 gram sampai dengan waktu proses 120 menit terjadi peningkatan kadar aluminium dalam air limbah masing-masing adalah 0,68 mg/L menjadi 2,09 mg/L atau setara 64,38 % dan dari 0,68 menjadi 3,34 mg/L atau setara dengan 79,64 %. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada penggunaan  $\text{NaCl}$  yang semakin banyak dapat berakibat pada peningkatan daya hantar listrik atau menaikkan arus listrik. Jika arus listrik semakin meningkat, maka semakin banyak  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang terbentuk dalam larutan. Sebagaimana diketahui bahwa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  merupakan bahan koagulan yang bersifat mengadsorpsi polutan dalam air dan membentuk gumpalan-gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Namun demikian tidak semua  $\text{Al}(\text{OH})_3$  habis terpakai untuk mengendapkan polutan. Dengan demikian terdapat sisa  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang mengakibatkan kadar Aluminium dalam air limbah semakin lama semakin meningkat.

Untuk proses elektrokoagulasi yang dijalankan sampai 80 menit tanpa penambahan  $\text{NaCl}$ , sudah diperoleh kadar Aluminium yang memenuhi syarat sebagai air minum. Karena kadar Aluminium yang diperoleh adalah 0,02 mg/L, yang berarti tepat pada batas maksimum yang diijinkan yaitu 0,02 mg/L. Untuk proses elektrokoagulasi yang dijalankan sampai 100 menit dengan penambahan  $\text{NaCl}$  0,5 gram sudah dapat memperoleh kadar Aluminium yang memenuhi syarat

sebagai air minum. Karena kadar Aluminium yang diperoleh adalah 0,01 mg/L berada dibawah 0,02 mg/L (batas maksimum yang diijinkan untuk air minum). Untuk proses elektrokoagulasi yang dijalankan sampai 120 menit dengan penambahan  $\text{NaCl}$  1,0 dan 1,5 gram tidak dapat memperoleh air dengan kadar Aluminium yang memenuhi syarat sebagai air minum. Karena kadar Aluminium yang diperoleh semuanya masih diatas batas maksimum yang diijinkan yaitu 0,02 mg/L.

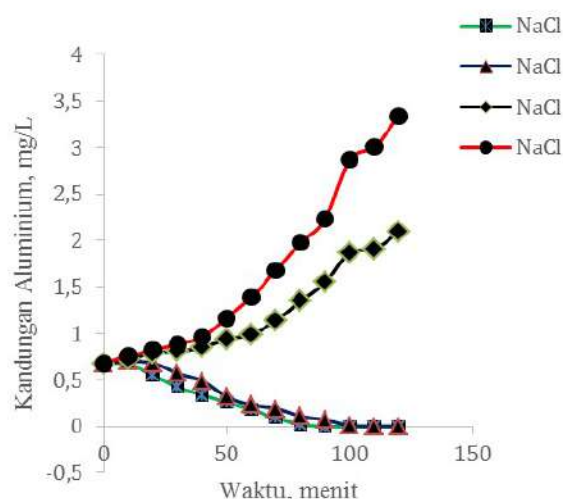
Kondisi proses untuk perpaduan proses sterilisasi dan elektrokoagulasi yang direkomendasikan supaya kadar Aluminium memenuhi syarat sebagai air minum adalah waktu proses 100 menit dengan penambahan  $\text{NaCl}$  0,5 gram. Pada kondisi tersebut kadar Aluminium adalah 0,01 mg/L (dibawah 0,02 mg/L).

Berdasarkan gambar 3 dapat dijelaskan bahwa pada proses elektrokoagulasi yang tidak ditambahkan garam dapur dan yang dilakukan dengan penambahan garam dapur 0,5 g kandungan Aluminium semakin lama semakin berkurang dari 0,68 mg/L mendekati 0 mg/L. Hal ini terjadi karena seluruh kandungan Aluminium teradsorpsi oleh  $\text{Al}(\text{OH})_3$  membentuk gumpalan (flok) yang mudah terendapkan ke dasar bejana. Sedangkan proses elektrokoagulasi yang ditambah garam dapur ( $\text{NaCl}$ ) 1,0 g dan 1,5 g ada kecenderungan kandungan Aluminium yang semakin meningkat. Hal ini disebabkan adanya peningkatan arus listrik yang cukup besar dari 0,23 A menjadi 4,24 A ketika air limbah ditambah garam dapur dan perubahan arus juga terjadi dari 0,23 A menjadi 9,34 A ketika ditambah garam dapur 1,5 g kedalam air limbah. Peningkatan arus listrik berakibat pada kenaikan pembentukan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Sebagian dari  $\text{Al}(\text{OH})_3$  digunakan untuk mengendapkan kandungan Aluminium dan kelebihan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  tetap berada dalam air limbah, sehingga berakibat pada penumpukan logam Aluminium. Dengan demikian kandungan Aluminium dalam air limbah akan terus bertambah selama proses elektrokoagulasi dijalankan dan ini harus diperhitungkan jangan sampai kandungan Aluminium melebihi batas yang disyaratkan untuk air bersih atau air minum.



Tabel 3. Hasil pengukuran kandungan Aluminium

Kandungan Aluminium, mg/L				
Waktu (menit)	Na Cl 0 g	NaCl 0,5 g	Na Cl 1,0 g	Na Cl 1,5 g
0	0,68	0,68	0,68	0,68
10	0,67	0,70	0,72	0,76
20	0,55	0,68	0,79	0,82
30	0,42	0,57	0,81	0,89
40	0,34	0,49	0,85	0,96
50	0,26	0,32	0,94	1,17
60	0,18	0,23	0,99	1,39
70	0,09	0,19	1,14	1,68
80	0,0	0,11	1,35	1,98
90	ttd	0,07	1,55	2,23
100	ttd	0,01	1,87	2,87
110	ttd	ttd	1,91	3,01
120	ttd	ttd	2,09	3,34



Gambar 3. Kurva hubungan antara waktu terhadap perubahan kandungan Aluminium

### 3.3. Pengaruh penambahan berat garam dapur terhadap perubahan kandungan Natrium

Hasil pengukuran pengaruh penambahan berat garam dapur terhadap perubahan kandungan Natrium dalam air dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 4. Pengukuran kandungan Natrium dilakukan dengan AAS.

Berdasarkan tabel 4, dapat dijelaskan bahwa semakin lama waktu proses dijalankan mengakibatkan terjadinya peningkatan kadar natrium dalam air limbah. Pada proses tanpa penambahahan garam dapur (NaCl) yang dijalankan selama 120 menit terjadi penurunan kadar natrium dari 16,34 mg/L menjadi 10,98 mg/L

atau setara dengan 42,86 %. Hal ini terjadi sebagai akibat dari semakin banyaknya  $Al(OH)_3$  yang terbentuk dalam larutan. Sebagaimana diketahui bahwa  $Al(OH)_3$  merupakan bahan koagulan yang bersifat mengadsorpsi polutan natrium dalam air membentuk gumpalan-gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Dengan demikian kadar natrium dalam air limbah semakin lama akan semakin menurun. Jika proses elektrokoagulasi dipadu dengan penambahan NaCl (sterilisasi) sebanyak 0,5 gram, terlihat bahwa terjadi kenaikan kadar natrium dalam air dari 16,34 mg/L menjadi 18,23 mg/L. Demikian juga pada penambahan NaCl 1,0 gram dan 1,5 gram terjadi peningkatan kadar natrium dalam air limbah masing-masing adalah 20,14 mg/L dan 22,34 mg/L. Pada saat proses berlangsung selama 10 menit, kadar natrium untuk proses elektrokoagulasi tanpa penambahan NaCl adalah 16,01 mg/L. Sedangkan pada penambahan NaCl 0,5, 1,0 dan 1,5 gram, kadar natrium masing-masing adalah 18,21 mg/L, 18,16 mg/L dan 17,17 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu proses elektrokoagulasi berjalan 10 menit dengan adanya penambahan NaCl dapat memberikan akibat pada kenaikan kadar natrium dalam air hasil proses. Kadar natrium terendah ditemukan pada penggunaan NaCl 1,5 gram, yaitu 17,17 mg/L dan tertinggi 18,21 ditemukan pada penggunaan NaCl 0,5 gram. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada penggunaan NaCl yang semakin tinggi dapat berakibat pada peningkatan daya hantar listrik atau kenaikan arus listrik. Jika arus listrik semakin meningkat, maka semakin banyak  $Al(OH)_3$  yang terbentuk dalam larutan. Sebagaimana diketahui bahwa  $Al(OH)_3$  merupakan bahan koagulan yang bersifat mengadsorpsi polutan natrium dalam air membentuk gumpalan-gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Dengan demikian kadar natrium dalam air limbah semakin lama akan semakin menurun. Sedangkan mulai 20 menit sampai 120 menit untuk proses elektrokoagulasi yang ditambah NaCl, selalu memberikan dampak pada penurunan kadar

Tabel 4. Hasil pengukuran kandungan Natrium

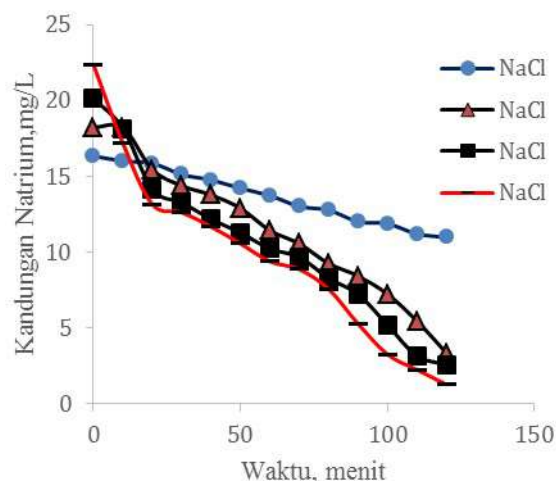
Waktu (menit)	Kandungan Natrium, mg/L			
	NaCl 0 g	NaCl 0,5 g	NaCl 1,0 g	NaCl 1,5 g
0	16,34	18,23	20,14	22,34
10	16,01	18,21	18,16	17,17
20	15,86	15,45	14,15	13,15
30	15,12	14,38	13,27	12,62
40	14,76	13,78	12,18	11,68
50	14,21	12,89	11,28	10,56
60	13,73	11,43	10,23	9,39
70	13,02	10,56	9,67	8,87
80	12,77	9,25	8,28	7,56
90	12,01	8,43	7,23	5,27
100	11,87	7,23	5,19	3,26
110	11,21	5,46	3,16	2,25
120	10,98	3,35	2,60	1,28

natrium yang lebih cepat dibandingkan proses tanpa penambahan NaCl. Hal ini dapat dilihat pada proses yang dijalankan tanpa penambahan NaCl selama 20 menit, maka kadar natrium dapat diturunkan dari 16,34 mg/L menjadi 15,86 mg/L atau setara 2,94 %. Sedangkan pada penambahan 0,5, 1,0 dan 1,5 masing-masing terjadi penurunan natrium dari 18,23 menjadi 15,45 mg/L atau setara 15,25 %, dari 20,14 menjadi 14,15 mg/L atau setara 29,74 dan dari 22,34 menjadi 13,15 mg/L atau setara 41,14 %

Terlihat pula dari tabel 4, bahwa pada proses selama 120 menit dengan penambahan NaCl 0,5 gram terjadi penurunan kadar natrium dalam air limbah dari 18,23 mg/L menjadi 3,35 mg/L atau setara 81,74 %. Sedangkan untuk penambahan NaCl 1,0 dan 1,5 gram masing-masing dapat menurunkan kadar natrium dari 20,14 menjadi 2,60 mg/L atau setara 87,09 % dan dari 22,34 menjadi 1,28 mg/L atau setara 94,27 %. Sebagaimana diketahui bahwa penambahan NaCl yang semakin tinggi dapat berakibat pada peningkatan daya hantar listrik atau kenaikan arus listrik. Jika arus listrik semakin meningkat, maka semakin banyak  $Al(OH)_3$  yang terbentuk dalam larutan. Senyawa  $Al(OH)_3$  merupakan bahan koagulan yang bersifat mengadsorpsi polutan natrium dalam air membentuk gumpalan-gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Dengan demikian kadar natrium dalam air limbah semakin lama akan semakin menurun. Jika NaCl yang ditambahkan ke dalam air semakin meningkat maka jumlah polutan natrium yang dapat diadsorpsi juga akan semakin banyak. Kondisi proses pada pengolahan air limbah yang dijalankan secara

elektrokoagulasi saja atau dengan penambahan NaCl dapat dijalankan secara bebas, karena pada kondisi tersebut telah diperoleh air dengan kadar natrium dibawah 200 mg/L (batas maksimum yang diperbolehkan).

Berdasarkan pada gambar 4 dapat dijelaskan bahwa kandungan Natrium mempunyai kecenderungan semakin menurun ketika ada penambahan garam dapur (NaCl). Pada saat proses tidak ada penambahan garam dapur terjadi penurunan kandungan Natrium secara lambat. Akan tetapi pada saat ada penambahan garam dapur, maka penurunan kandungan Natrium semakin cepat. Penurunan kandungan Natrium paling cepat terjadi pada ada penambahan garam dapur 1,5 g. Penurunan kandungan Natrium terjadi karena terndapkan oleh senyawa  $Al(OH)_3$  yang terbentuk dari kation Aluminium yang berasal dari anoda yang terionisasi. Proses ionisasi anoda semakin cepat ketika arus listrik yang digunakan semakin besar. Pada saat air limbah ditambah garam dapur, maka terjadi peningkatan daya hantar listrik yang dapat berakibat pada peningkatan arus listrik yang mengalir. Dengan demikian proses ionisasi anoda Aluminium menjadi kation Aluminium semakin banyak, sehingga proses pembentukan  $Al(OH)_3$  menjadi semakin meningkat. Sebagaimana diketahui bahwa senyawa  $Al(OH)_3$  merupakan koagulan yang berperan dalam pengendapan kandungan Natrium dalam air limbah.



Gambar 4. Kurva hubungan antara waktu terhadap perubahan kandungan Natrium

Untuk menentukan rekomendasi kondisi yang terbaik, perlu dipertimbangkan penggunaan garam dapur yang serendah-rendahnya. Supaya residu atau sisa kandungan Aluminium dan Natrium dalam air hasil pengolahan terpenuhi sebagai air minum atau air bersih. Dalam hal ini acuan yang digunakan adalah air minum, sehingga kandungan Aluminium maksimum yang diijinkan adalah 0,02 mg/L dan kandungan maksimum Natrium adalah 200 mg/L. Berdasarkan tabel 3 dan 4

direkomendasikan waktu proses 100 menit dan penambahan garam dapur dibatasi maksimum 0,5 g. Pada kondisi ini kandungan Aluminium adalah 0,01 mg/L (kurang dari 0,02 mg/L) dan kandungan Natrium adalah 7,23 mg/L (kurang dari 200 mg/L). Dalam hal ini terjadi penurunan kandungan Aluminium dari 0,68 mg/L menjadi 0,01 mg/L atau setara dengan 98,53 % dan kandungan Natrium mengalami penurunan dari 18,23 mg/L menjadi 7,23 mg/L atau setara dengan 60,34 %.

#### 4. Kesimpulan

Proses elektrokoagulasi yang ditambah dengan garam dapur dengan berat terbatas dapat meningkatkan arus listrik dan menurunkan konsentrasi Aluminium dan Natrium dalam air limbah serta mampu menghasilkan air berstandar air minum. Kondisi optimum proses elektrokoagulasi untuk menghasilkan air minum adalah tegangan 12 V, waktu proses 100 menit dan garam dapur 0,5 gram. Pada kondisi ini arus listrik dapat ditingkatkan dari 0,23 A menjadi 1,13 A atau setara dengan 391,30 % , sedangkan kandungan Aluminium dapat diturunkan dari 0,68 mg/L menjadi 0,01 mg/L atau setara dengan 98,53 % dan kandungan Natrium dapat diturunkan dari 18,23 mg/L menjadi 7,23 mg/L atau setara dengan 60,34 %.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi tahun ketiga 2019.

#### Daftar Acuan

- [1] M. Kobya, A. Akyol, E. Demirbas and M. S. Oncel, 2013, Removal of Arsenic from Drinking Water by Batch and Continuous Electrocoagulation Processes Using Hybrid Al-Fe Plate Electrode, *American Institute of Chemical Engineers Environ Prog.*, vol 33, n. 1, 2013, Pp 131- 140.
- [2] T. Karichappan, S. Venkatachalam and P. M. Jeganathan, Optimization of Electrocoagulation Process to Treat Grey Wastewater in Batch Mode using Response Surface Methodology, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol 12, n. 29, 2014, pp. 1-8
- [3] M.M.S.G Eiband, K.C.D.A Trindade, K. Gama, J.V.D. Melo, C.A.M. Huitle and S. Ferro, Elimination of Pb<sup>2+</sup> Through Electrocoagulation: Applicability of Adsorptive Stripping Voltammetry for Monitoring The

Lead Concentration During its Elimination, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol 1, n. 1, 2014, pp. 1-8

- [4] N.S. Kumar and S. Goel, Factors Influencing Arsenic and Nitrate Removal from Drinking Water in a Continuous Flow Electrocoagulation (EC) Process, *Journal of Hazardous Materials*, vol 173, Issues 1–3, 2010, pp. 528-53
- [5] V. Shanthi, K. Ramanathan and C.A.A. Basha, Domestic Sewage Treatment Using Batch Stirred Tank Electrochemical Reactor, *International Journal of ChemTech Research*, vol 3, n. 3, 2011, pp.1711-1721
- [6] K. C. Rios, G. T. Ocampo and R. A. T. Palma, Experimental Design to Measure Escherichia Coli Removal in Water Through Electrocoagulation. *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 9, 2014, pp.610-617
- [7] K. Thirugnanashambandam, V. Sivakumar and J.P. Maran, Optimization of Electrocoagulation to Treat Biologically Pretreated Bagasse Effluent. *Journal of the Serbian Chemical Society*, vol 78, n. 0, 2013, pp. 1-18
- [8] M. B. M. Agustin, W. P. Sengpracha and W. Phutdhawong, Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol 5, n. 3, 2008, pp. 179.

# PEMODELAN *MACHINE VISION* UNTUK PEMILAH KUALITAS TELUR BEBEK PADA SKALA INDUSTRI

Nuralam<sup>1</sup>, Darwin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta  
Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok

[nuralampnj@yahoo.com](mailto:nuralampnj@yahoo.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini telah berhasil membuat sebuah model alat untuk menjadi pemilah kualitas telur bebek dengan basis *image processing*. Telur merupakan sumber protein yang banyak dikonsumsi masyarakat selain daging. Jenis telur yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat adalah jenis telur ayam dan telur bebek. Oleh sebab itu telur bebek jumlahnya masih terbatas dipasaran karena faktor budidaya yang lambat karena tergantung musim panen, dan juga sistem peternakan, pengolahan dan distribusinya yang masih menggunakan sistem konvensional. Berdasarkan hal di atas, maka saat ini diperlukan sebuah sistem industri otomatisasi dalam bidang penyortiran kualitas telur bebek secara otomatis. Telur bebek yang tidak berkualitas disebabkan banyak hal, diantaranya tidak adanya penyortiran secara otomatis terhadap isi telur sehingga tidak adanya klasifikasi telur yang normal maupun abnormal, proses distribusi yang lama dan juga proses penyimpanan telur bebek tersebut yang tidak memenuhi standar. Hasil dari penelitian ini berupa sebuah mesin miniatur pemilah kualitas telur berbasis *image processing*. Telur yang berkualitas dalam penelitian ini adalah dengan menentukan kualitas berdasarkan parameter-parameter yaitu kondisi utuh kuning telur, tidak ada partikel pada putih telur, dan kondisi telur normal tidak ada pembusukan maupun sudah tumbuh embrio baru. Hal ini dapat ditentukan berdasarkan gambar yang dihasilkan oleh metode *image processing* dari kuning telur apakah normal atau abnormal.

**Kata Kunci** : Egg Quality, *Vision*, *Image Processing*

## 1. Pendahuluan

Telur bebek merupakan komoditas pangan dari sektor peternakan yang dihasilkan paling besar oleh para petani konvensional. Saat ini masih sangat sedikit pengrajin telur bebek dengan metode modern. Kualitas telur bebek berdasarkan isinya normal atau tidak normal cukup sulit sehingga, diperlukan metode baru dalam melihatnya dengan cara tidak merusak cangkang telur. Salah satu cara untuk melihat kualitas telur berdasarkan isinya yaitu dengan cara merendam telur tersebut apakah berat atau ringan, dan juga melalui peneropongan secara manual [1]. Kualitas telur itu ditentukan berdasarkan kualitas kuning telur

[2]. Jadi telur yang berkualitas memiliki kuning telur yang bulat dengan warna kuning yang cerah tidak pucat atau kehitaman, tidak ada noda atau bercak darah, serta untuk konsumsi tidak berupa embrio atau janin. Penelitian lain dalam mengetahui kualitas telur, yaitu dalam mengetahui telur berkualitas adalah dengan analisis tekstur kulit telur [3]. Namun dalam penelitian ini tidak melihat kualitas berdasarkan normal dan abnormal isi telur. Hal ini dikarenakan telur ayam memiliki warna kecoklatan yang pekat sehingga dalam pencitraan isi telur relatif lebih sulit.

Teknologi yang tepat dan sedang berkembang dalam inspeksi kualitas produk adalah dengan metode *vision* [4]. Metode

*vision* sangat efektif dalam mengurangi kesalahan dari *Human Error*. Dengan metode ini maka kita dapat mengetahui kualitas produk secara efektif dan presisi. *Machine Vision* merupakan teknologi ini dapat digunakan untuk inspeksi produk dengan resolusi yang tinggi [5]. Kualitas produk ini dapat dikelompokkan kedalam kualitas warna, bentuk, dan lain sebagainya. Salah satu cara untuk mendeteksi kualitas telur adalah dengan metode *vision* atau pencitraan secara digital. Salah satu teknik pendeteksian kualitas telur adalah dengan menggunakan mesin grading. Dimana mesin ini sudah menggunakan teknologi kamera untuk pencitraan digital [6].

Sebuah *system vision* dapat digunakan untuk pendeteksi citra digital dari suatu benda yang terhalang. Teknologi *vision* memungkinkan kita dapat mengetahui isi atau karakter sesuatu dari sebuah parameter yang diukur walau berada di kedalaman tertentu atau terhalang lapisan tertentu. Dalam penelitian menggunakan metode *vision* dapat menggunakan perangkat lunak apa saja yang penting *compatible*. Namun ada perangkat lunak yang memiliki kemampuan dan fasilitas-fasilitas menu yang cukup handal dan terstandar internasional yaitu *LabVIEW* [7]. Bahwa perangkat lunak NI *LabVIEW* dapat dibuat menjadi sebuah mesin otomatis yang berfungsi untuk akuisisi image/gambar dengan akurat dan tepat. Perangkat lunak ini dalam akuisisi gambar cukup menggunakan komputer dan *smart* kamera atau kamera dengan jumlah resolusi yang memadai atau cukup untuk mengambil gambar dengan jelas [8].

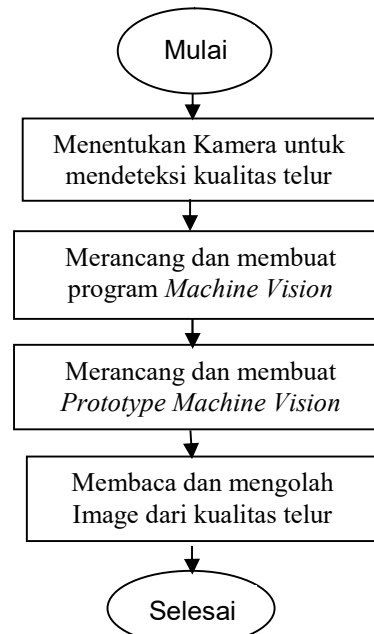
## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membuat sebuah model alat dengan metode *vision* sebagai *image processing* dalam penentuan kualitas telur bebek tanpa merusak kondisi telur. Kualitas telur yang baik dan memenuhi beberapa standar sangat diharapkan bagi konsumen, pihak industri dan khususnya para petani. Desain alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram blok rancangan penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok dari *Machine Vision* untuk Mendeteksi Kualitas Telur Bebek Berbasis *Image Processing*

*Flow chart* tahapan pembuatan model *Machine Vision* untuk kualitas telur ini dapat digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan *Machine Vision* untuk Mendeteksi Kualitas Telur Berbasis *Image Processing*

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah model atau desain mesin pemilah kualitas telur bebek, perangkat lunak pengolah *image* dalam menentukan kualitas telur bebek.

### 3.1. Desain Mesin Pemilah Kualitas Telur Bebek



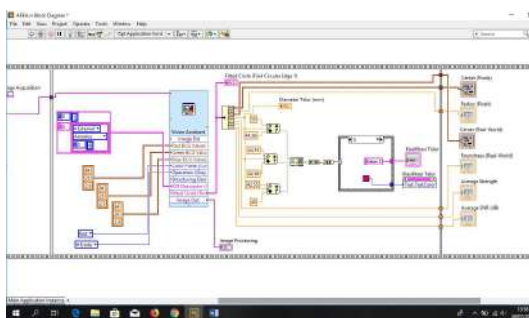


Gambar 3. Model mesin Pemilah Kualitas Telur Bebek Berbasis *Image Processing*

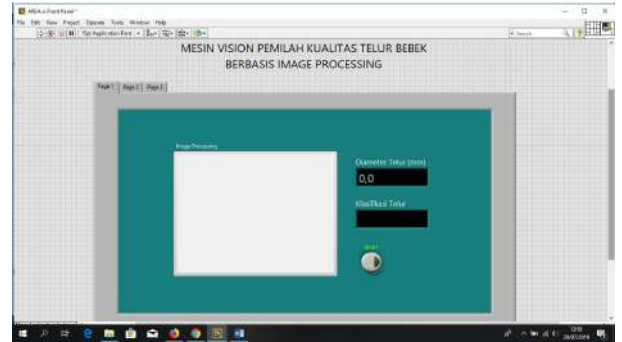
Gambar di atas merupakan sebuah model mesin pemilah kualitas telur berbasis *image processing*. Mesin ini terdiri dari konveyor untuk melewati telur pada kamera yang berfungsi sebagai sensor dalam menghasilkan *image* dari kuning telur. Hasil dari *image* ini akan diolah menjadi citra yang teralgoritma sebagai hasil dari penentuan kualitas telur bebek ini.

### 3.2. Software Pemilah Kualitas Telur Bebek

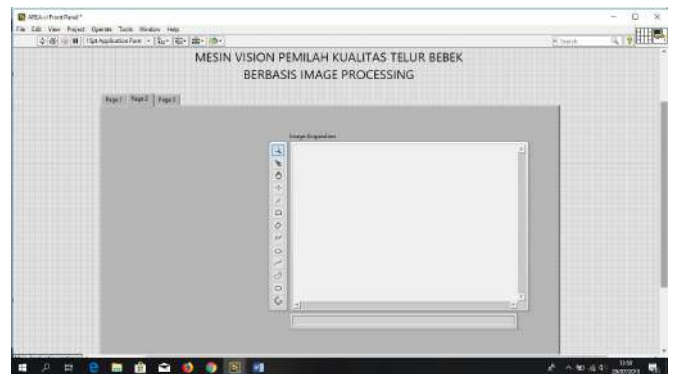
Penelitian ini telah berhasil membuat sebuah program yang disebut dengan *software* pengolah dan pemilah kualitas telur bebek. *Software* ini berbasis *LabVIEW* sebagai pengolah *image* yang dihasilkan dari kamera. *Software* ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



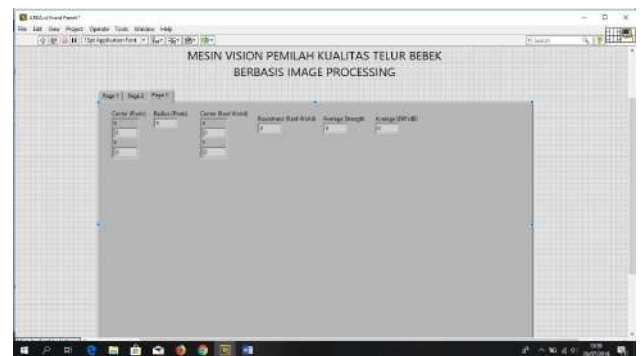
Gambar 4. Blok Diagram Software Pemilah Kualitas Telur Bebek



Gambar 5. Front Panel Page 1 Software Pemilah Kualitas Telur Bebek



Gambar 6. Front Panel Page 2 Software Pemilah Kualitas Telur Bebek



Gambar 7. Front Panel Page 3 Software Pemilah Kualitas Telur Bebek

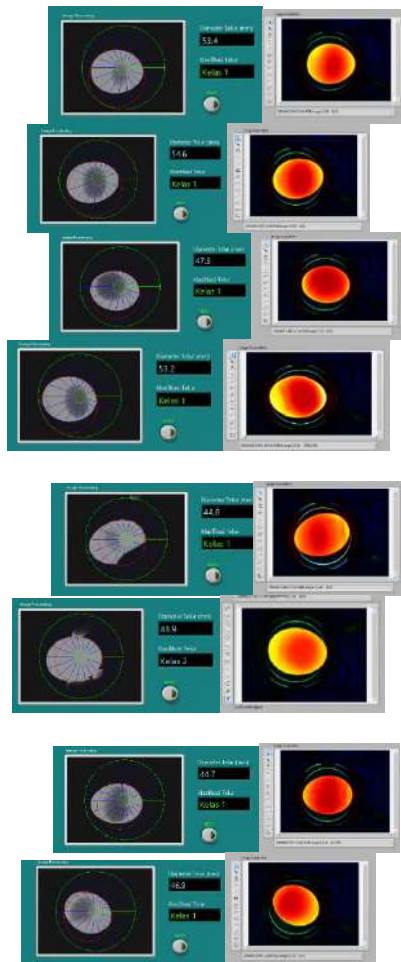
Gambar di atas merupakan perangkat lunak yang berfungsi sebagai pengolah *image* yang dihasilkan oleh kamera. *Image* yang dihasilkan oleh kamera akan diolah menjadi referensi bagi penentuan kualitas telur bebek. Telur bebek akan dikategorikan berkualitas jika hasil *image* dari kamera menunjukkan kondisi isi telur bebek dalam keadaan normal yaitu kondisi kuning telur utuh tidak ancur



atau bahkan sudah ada embrio baru. Parameter kedua yaitu tidak adanya partikel atau noda-noda dalam kuning atau putih telur.

### 3.3. Hasil *Image Processing* dari Mesin Pemilah Kualitas Telur

Hasil *image processing* dari *software* pemilah kualitas telur bebek dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. *Image Processing* pada Pemilah Kualitas Telur Bebek

*Image processing* ini dapat melihat bagaimana kondisi isi telur apakah tergolong normal atau abnormal. Ukuran diameter telur juga dapat kita tentukan sehingga dapat kita golongankan kedalam telur kelas 1 atau telur kelas 2.



Gambar 9. Isi Telur Bebek setelah Dibuka

Dari gambar di atas terlihat bahwa metode *vision* ini tepat dalam menentukan dan memilah kualitas telur bebek. Dengan metode ini hasil *image processing* dan hasil ketika telur dibuka menunjukkan kondisi yang sama.

## 4. 4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini yaitu terbentuknya sebuah purwarupa atau sebuah model mesin yang bisa dikembangkan oleh industri untuk menjadi mesin pemilah kualitas telur bebek dengan metode *vision* berbasis *image processing*. Dalam mengakuisisi *image* mesin ini menggunakan *software LabVIEW Vision*. Dengan mesin ini maka telur bebek dapat kita tentukan kualitasnya. Dengan melihat *image* maka telur bebek dapat kita tentukan apakah normal atau abnormal, juga dengan melihat *image* maka telur bebek dapat diketahui apakah layak konsumsi dan berkualitas atau tidak layak konsumsi serta kualitasnya jelek atau rusak. Mesin ini memiliki keakuratan mendekati 95 persen. Hal ini dapat dibuktikan dari kualitas *image* yang dihasilkan dan juga keakuratannya jika telur itu dipecahkan dan dilihat langsung dalamnya. Keakuratan sangat penting sebagai bahan kalibrasi antara kerja alat dan kondisi telur sebenarnya.

## 5. Daftar Acuan

- [1] Shoffan Saifullah, dkk. 2017, *Analisis Ekstraks Ciri Fertilitas Telur Ayam Kampung dengan Grey Level Cooccurrence Matrix*, Journal jnte ISSN : 2302-2949 Vol.6 No.2, DOI:10.20449
- [2] Annisa Faraditha Basuki, dkk. 2016, *Deteksi Kualitas dan Kesegaran Telur Berdasarkan Segmentasi Warna dengan Metode Fuzzy Color Histogram dan Wavelet dengan Klasifikasi KNN*, ISSN: 2355-9365 Vol.3 No.3
- [3] Enny Itje Sela, dkk. 2017, *Deteksi Kualitas Telur Menggunakan Analisis Tekstur*, IJCCS Vol.11 No. 2. hal. 199-208. ISSN 1978-1520
- [4] Carsten Steger, Marcus Ulrich, Christian Wiedemann, *Machine Vision Algorithms and Applications*, 2<sup>nd</sup> Edition. MVtech of Munich Germany, 2014
- [5] Thomas O. Binford, Tod S. Levitt, Wallace B. Mann., *Bayesian Inference in Model-Based Machine Vision*. *arXiv:1304.2720*. Cornell University *UAI-P-1987-PG-86-97*.
- [6] Syahrul Awalludin Sidiq, dkk., 2016., *Pengolahan Citra Untuk Identifikasi Telur Berdasarkan Ukuran*, Journal ELINVO, Volume 1, Nomor 3
- [7] Rogelio Ramos, dkk., 2013., *LabView 2010 Computer Vision platform Based Virtual Instrument and Its Application for Pitting Corrosion Study*, *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, Volume 2013 Article ID 193230, 8 page.
- [8] Agata Chmielewska, dkk., 2015., *Comparison of NI LabVIEW and Vision Builder Environments in Fast Prototyping of Video Processing Algorithms for CCTV using Smart Camera*, *Journal of Puznan University Technology*, Volume 2015

## Linieritas Periode Sensor Kapasitif Untuk Pengukuran Level Tangki Ukur

Amalia Rakhmawati<sup>1</sup>, Dani Kurniawan<sup>2</sup>

Akademi Metrologi dan Instrumentasi Kementerian Perdagangan, Jl. Daeng M. Ardiwinata Km. 3,4 Cihanjuang Parongpong, Bandung Barat, 40559, Indonesia  
Balai Kalibrasi Direktorat Standardisasi dan Pengendalian Mutu Kementerian Perdagangan, Jl. Raya Bogor Km. 26 Ciracas, Jakarta Timur, 13780, Indonesia

E-mail: [amelchantique@gmail.com](mailto:amelchantique@gmail.com), [ghifari\\_inside@yahoo.com](mailto:ghifari_inside@yahoo.com)

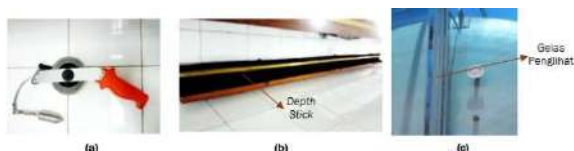
### Abstrak

Pengukuran level fluida merupakan pengukuran dalam penggunaan tangki ukur yang merupakan salah satu alat ukur dalam transaksi perdagangan dan diatur oleh pemerintah serta wajib di tera/tera ulang. Pengukuran level fluida menggunakan prototipe sensor kapasitif memiliki kelebihan yaitu akurasi lebih tinggi dengan mengurangi faktor kesalahan paralaks dibandingkan dengan alat ukur manual seperti *depth gauge* dan gelas penglihat. Konfigurasi sensor kapasitif yang digunakan adalah pelat konduktor sejajar dengan 2 papan sirkuit dan jarak antar pelat 3 mm. Sensor kapasitif juga dilengkapi osilator dan mikrokontroler Arduino untuk mengolah nilai kapasitif menjadi nilai frekuensi dan level dalam satuan panjang yang ditampilkan secara digital pada layar LCD. Alat ukur memiliki rentang ukur 0-16 cm yang dibagi menjadi 4 titik pengukuran. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi pada osiloskop dan pembanding level dengan mistar baja yang sudah dikalibrasi dan tertelusur. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai eror rata-rata 1,29%, nilai akurasi 98,71% dan nilai presisi 96,57%. Hubungan linieritas antara nilai frekuensi sensor kapasitif dan level dinyatakan dengan persamaan linier  $y = -116,29x + 2235,1$  dengan koefisien linieritas  $R = 0,8564$ .

*Keywords: capacitive, level, linearity, tank*

### 1. Pendahuluan

Pengukuran level fluida merupakan pengukuran dalam penggunaan tangki ukur yang merupakan salah satu alat ukur dalam transaksi perdagangan dan diatur oleh pemerintah serta wajib di tera/tera ulang [1]. Pengukuran level fluida menggunakan prototipe sensor kapasitif memiliki kelebihan yaitu akurasi lebih tinggi dengan mengurangi faktor kesalahan paralaks dibandingkan dengan alat ukur manual seperti *depth gauge* dan gelas penglihat yang ditunjukkan pada Gambar 1. Kesalahan paralaks disebabkan oleh pembacaan skala oleh penguji yang mempengaruhi nilai akurasi dan presisi hasil pengukuran.



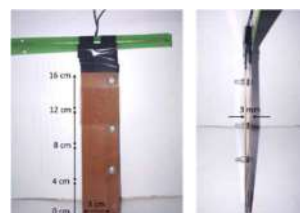
Gambar 1. (a). *Depth Tape*, (b). *Depth Stick*, (c). Gelas Penglihat [2].

Sensor kapasitif memiliki kelebihan antara lain memiliki nilai resolusi kapasitif yang lebih tinggi yaitu 10-5 piko Farad (pF) [3]. Penelitian ini menggunakan rangkaian

sensor kapasitif untuk pengukuran level tangki ukur yang dilengkapi rangkaian osilator dan mikrokontroler Arduino Uno untuk mengolah nilai kapasitif menjadi nilai frekuensi dan level dalam satuan panjang yang ditampilkan secara digital pada layar LCD.

### 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan kapasitor pelat sejajar yang merupakan konfigurasi kapasitor dengan dua pelat konduktor dan ditempatkan pada jarak tertentu. Konfigurasi ini memiliki kelebihan yaitu kemudahan menjaga konsistensi jarak antar pelat dan konstruksinya lebih sederhana [4]. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, dua pelat konduktor dipasangkan sejajar saling berhadapan, dengan luas penampang  $A = 48 \text{ cm}^2$  dan dipisahkan jarak  $d = 0,3 \text{ cm}$ .



Gambar 2. Rangkaian Kapasitor Pelat Sejajar [2]

Jumlah muatan yang disimpan oleh kapasitor dipengaruhi oleh faktor A, d dan konstanta dielektrik bahan yang berada diantara pelat konduktor ditunjukkan pada persamaan (1).

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \dots (1)$$

- A = Luas pelat (m<sup>2</sup>)
- C = Nilai kapasitif (F)
- d = Jarak antar pelat (m)
- $\epsilon_0$  = Konstanta dielektrik ruang hampa
- $\epsilon_r$  = Konstanta dielektrik fluida

Rentang ukur yaitu 0-16 cm dengan resolusi 1 cm yang dibagi menjadi 4 titik pengukuran level yaitu 25% (4 cm), 50% (8 cm), 75% (12 cm) dan 100% (16 cm) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Miniatur tangki ukur yang digunakan memiliki rasio perbandingan tinggi yaitu 1:0,036 m. Fluida yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air.

Pada kondisi awal sensor belum tercelup fluida, material dielektriknya adalah udara. Ketika sensor mulai tercelup didalam fluida air, material dielektriknya menjadi air dan udara, nilai kapasitif masing-masing pelat kapasitor ditunjukkan pada persamaan (2).

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot p}{d} (l \cdot \epsilon_2 + (L - l) \epsilon_1) \dots (2)$$

- $\epsilon_1$  = Konstanta dielektrik udara
- $\epsilon_2$  = Konstanta dielektrik air
- l = Level yang terukur (m)
- L = Panjang pelat (m)
- p = Lebar pelat (m)

Sensor kapasitif mendeteksi perubahan level fluida menjadi nilai kapasitif. Penelitian ini menggunakan osilator untuk mengubah nilai kapasitif menjadi nilai frekuensi. Nilai frekuensi oleh mikrokontroler Arduino Uno dikonversi menjadi nilai level dalam satuan panjang pada layar LCD. Osilator terdiri dari rangkaian 1 IC NE555, 1 resistor 1 M $\Omega$  dan 1 resistor 500 K $\Omega$  yang dipasang seri dengan sensor kapasitif. Dengan konfigurasi osilator tersebut maka didapatkan perhitungan nilai frekuensi seperti pada persamaan (3).

$$f = \frac{1}{0,69 \cdot R \cdot C} \dots (3)$$

- f = Nilai frekuensi (Hz)
- R = Nilai resistansi ( $\Omega$ )

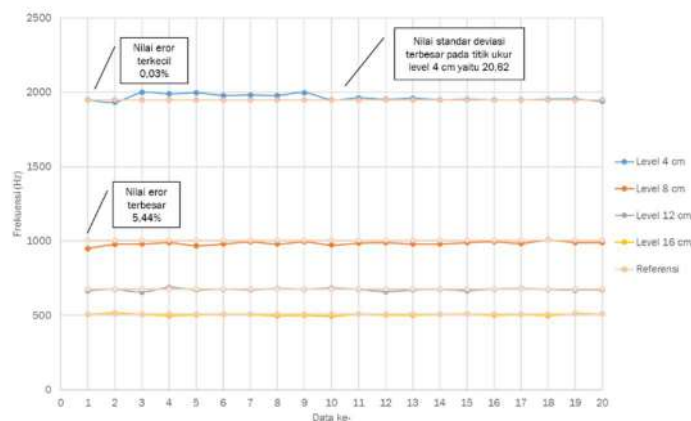
Berdasarkan persamaan (2) dan (3) dengan nilai R total = 2,5 M $\Omega$ , maka didapatkan persamaan (4) untuk konversi nilai frekuensi menjadi nilai level yaitu:

$$l = \left( \frac{6550,39}{f} - 0,2 \right) \cdot \frac{1}{79} \dots (4)$$

Rangkaian sensor kapasitif dikalibrasi dengan memberi masukan nilai kapasitif standar = 0,12 nF dan diperoleh hasil pada osiloskop dengan n nilai frekuensi = 5000 Hz sedangkan berdasarkan perhitungan sesuai dengan persamaan (3) didapatkan nilai frekuensi = 4830,91 Hz, sehingga nilai eror frekuensi sebesar 3,5%. Kalibrasi nilai level dengan mistar baja diperoleh nilai eror level = 0,13% atau 0,21 mm. Berdasarkan nilai eror level tersebut maka prototipe masih masuk dalam Batas Kesalahan yang Diijinkan (BKD) untuk alat ukur Automatic Level Gauge pada tangki ukur tetap yaitu  $\pm$  4,0 mm [4].

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian didapatkan nilai eror rata-rata = 1,29% dan nilai akurasi = 98,71%. Kedekatan nilai frekuensi prototipe dengan nilai frekuensi referensi pada tiap titik ukur level ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai eror terbesar = 5,44% dan nilai eror terkecil = 0,03% serta nilai standar deviasi terbesar = 20,62 pada pengukuran titik ukur level 4 cm dan nilai standar deviasi terkecil pada pengukuran titik ukur level 16 cm.

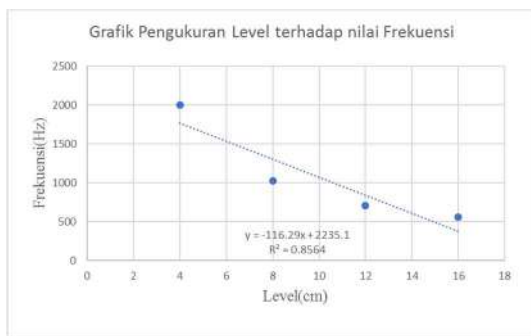


Gambar 3. Perbandingan Nilai Frekuensi Alat Ukur Dan Referensi

Rangkaian sensor kapasitif memiliki nilai eror rata-rata yang disebabkan karena:

1. Sensor kapasitif sensitif terhadap perubahan level fluida mengakibatkan eror deteksi frekuensi pada prototipe.
2. Laju alir pengisian fluida yang tidak stabil karena masih dilakukan secara manual.
3. Konstruksi sensor yang kurang stabil memberikan pengaruh mekanik pengisian fluida sehingga memberi kontribusi eror deteksi frekuensi.

Hubungan linieritas nilai frekuensi sensor kapasitif dan nilai level dinyatakan dengan persamaan linier  $y = -116,29x + 2235,1$  dengan koefisien linieritas  $R = 0,8564$  seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Frekuensi dan Level

Pengujian linieritas bertujuan untuk mengetahui apakah alat ukur linier atau tidak linier. Nilai koefisien linieritas mendekati +1 (positif satu) berarti pasangan data level dan frekuensi memiliki korelasi linear positif yang kuat.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai eror rata-rata 1,29%, nilai akurasi 98,71% dan nilai presisi 96,54%. Penyebab eror disebabkan karena sensor kapasitif sensitif terhadap perubahan level fluida, laju alir pengisian fluida yang tidak stabil, konstruksi sensor yang kurang stabil, Hubungan linieritas nilai frekuensi sensor kapasitif dan nilai level dinyatakan dengan persamaan linier  $y = -116,29x + 2235,1$  dengan koefisien linieritas  $R = 0,8564$  mendekati +1 (positif satu) yang berarti pasangan data level dan frekuensi memiliki korelasi linear positif yang kuat.

#### Daftar Acuan

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, Undang-Undang Nomor : 2 Tahun 1981 tentang Metrologi Legal, 1981.
- [2] Amalia, R., dkk, Prototipe Sensor Kapasitif Untuk Pengukuran Level Tangki Ukur, Seminar Instrumentasi dan Kontrol, 2019
- [3] Clarence, W. D. S, Sensor Systems Fundamentals And Applications, CRC Press, 2016. (Buku)
- [4] Bowo, E. C., Supriyadi, Muhammad, A. R., Karakteristik Sensor Kapasitif Pelat Sejajar Dalam Aplikasinya Sebagai Instrumen Pengukur Curah Hujan Berbasis Arduino Uno, Indonesian Journal of Applied Physics, Vol. 7 No. 2, pp 97-106, 2017. (Jurnal)

PERBANDINGAN NILAI KETIDAKPASTIAN BENTANGAN PENGUJIAN DIAMETER  
PELAT *ORIFICE* ANTARA *COORDINATE MEASURING MACHINE* OPTIK  
DAN ANALISIS CITRA OPENCV

Amalia Rakhmawati<sup>1</sup>, Dani Kurniawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Kementerian Perdagangan, Bandung

<sup>3</sup>Balai Kalibrasi, Dit. Standardisasi dan Pengendalian Mutu, Kementerian Perdagangan, Jakarta

<sup>1</sup>[amelchantique@gmail.com](mailto:amelchantique@gmail.com), <sup>2</sup>[ghifari\\_inside@yahoo.com](mailto:ghifari_inside@yahoo.com)

### Abstrak

Meter gas *orifice* merupakan salah satu alat ukur yang digunakan dalam transaksi perdagangan dan diatur oleh pemerintah sebagai alat ukur yang wajib di tera/tera ulang. Pelat *orifice* adalah elemen primer dari meter gas *orifice* yang berhubungan langsung dengan aliran fluida. Pengujian pelat *orifice* meliputi pengukuran diameter luar pelat *orifice* (D) dan diameter dalam pelat *orifice* (d). Pengujian nilai D dan d saat ini dengan teknik kontak menggunakan *probe Coordinate Measuring Machine* (CMM). Pengujian nilai D dan d juga dapat dilakukan dengan teknik non-kontak yaitu menggunakan CMM optik dan pengembangan teknik non-kontak secara otomatis untuk mengurangi unsur subyektifitas dengan analisis citra OpenCV. Estimasi ketidakpastian dimulai dari identifikasi sumber ketidakpastian yang berpengaruh dalam pengujian diameter pelat *orifice* berdasarkan perumusan model matematis. Dari 2 metode tersebut, metode Analisis Citra OpenCV memiliki nilai %error yang lebih kecil dibandingkan dengan metode CMM Optik D yaitu 3,86% dan d 7,22%. Nilai  $U^{95}$  metode CMM Optik lebih kecil yaitu  $\pm 5,7 \times 10^{-4}$  in dibandingkan metode Analisis Citra OpenCV. 2 metode tersebut masih dalam batas area keberterimaan dengan memenuhi rasio toleransi dan akurasi alat ukur maksimum 3:1.

**Keyword:** *orifice, diameter, image, expanded uncertainty.*

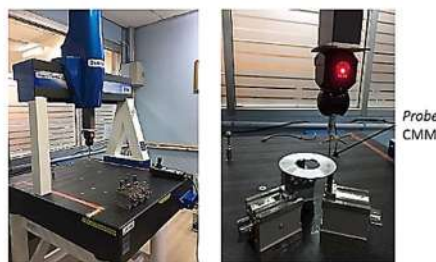
## 1. Pendahuluan

Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1981 tentang Metrologi Legal bertujuan untuk melindungi kepentingan umum melalui jaminan kebenaran pengukuran dan adanya ketertiban dan kepastian hukum dalam pemakaian satuan ukur, standar acuan, metode pengukuran dan Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya (UTTP) [1]. Meter Gas *Orifice* merupakan salah satu jenis alat UTTP yang diatur karena terkait dengan transaksi perdagangan melalui kegiatan tera/tera ulang. Meter gas *orifice* merupakan alat ukur aliran fluida hidrokarbon, sedangkan pelat *orifice* adalah elemen primer dari meter gas *orifice* yang berhubungan langsung dengan aliran fluida. Pelat *orifice* yang paling banyak digunakan pada alat ukur meter gas *orifice* adalah pelat jenis konsentris [2]. Pengujian pelat *orifice* jenis konsentris meliputi pengukuran diameter luar (D) dan diameter dalam (d) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diameter luar (D) dan diameter dalam (d) pelat *orifice* jenis konsentris [2].

Pengujian nilai D dan d dilakukan dengan teknik kontak langsung menggunakan *probe Coordinate Measuring Machine* (CMM) [3] seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian nilai D dan d dilakukan dengan teknik kontak langsung [2].

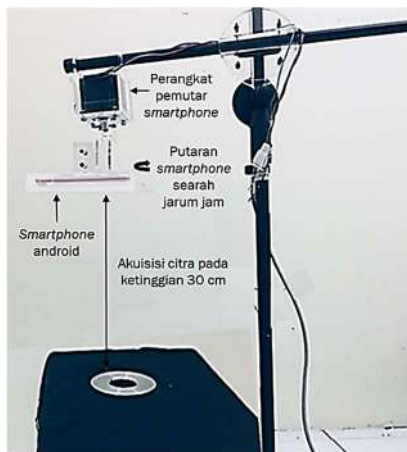
Berdasarkan Raja [4] teknik kontak langsung memiliki keterbatasan untuk alat uji yang tidak bisa disentuh oleh sensor *probe*. Teknik pengujian non-kontak menggunakan CMM optik seperti ditunjukkan pada Gambar 3 masih menimbulkan unsur subyektifitas dari Penguji untuk penentuan deteksi tepi dari citra pelat *orifice*.





Gambar 3. Teknik pengujian non-kontak menggunakan CMM optik.

Pengembangan teknik non-kontak menggunakan sistem *Computer Vision* (CV) memiliki kelebihan yaitu penggunaan perangkat keras yang lebih murah dan analisis citra lebih efisien menggunakan pemrograman python dan OpenCV [5][6]. Prototipe analisis citra OpenCV seperti ditunjukkan pada Gambar 4 memiliki nilai akurasi rata-rata D 96,28% dan d 94,33%, serta nilai presisi D 93,88% dan d 92,23% [2].



Gambar 4. Prototipe Analisis Citra OpenCV [2]

ISO/IEC 17025:2017 klausul 7.8 menyatakan bahwa laporan pengujian atau kalibrasi memuat ketidakpastian pengukuran yang dinyatakan dalam satuan yang sama atau dalam bentuk relatif dari besaran yang diukur. Pernyataan nilai akurasi alat ukur direpresentasikan dengan nilai koreksi ataupun eror dan ketidakpastian. Metode evaluasi dan pernyataan ketidakpastian yang dapat diterima secara internasional yaitu *ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM) [7].

Nilai akurasi diharapkan berada didalam interval batas atas dan batas bawah nilai toleransi alat ukur, dimana interval nilai ketidakpastian paling tidak berada didalam area ketidakpastian dengan rasio perbandingan toleransi dan alat ukur 3:1 (33% area ketidakpastian, 67% area keberterimaan) [8]. Estimasi komponen ketidakpastian dimulai dari identifikasi sumber ketidakpastian yang berpengaruh dalam

kalibrasi alat ukur berdasarkan perumusan model matematis perhitungan dimensi.

Penelitian ini membandingkan 2 metode pengujian yaitu pengujian diameter pelat *orifice* menggunakan CMM Optik dan Analisis Citra OpenCV dengan tujuan untuk mengetahui apakah ketidakpastian bentangan yang didapatkan dari kedua metode tersebut memenuhi rasio toleransi dan akurasi alat ukur maksimum 3:1, serta untuk mengetahui ketidakpastian bentangan yang paling kecil dari dua metode tersebut.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Citra digital

Berdasarkan Andono [9] representasi citra digital merupakan bilangan *real* yang membentuk matriks  $M \times N$  dan merupakan fungsi 2 variabel  $f(x, y)$  dimana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat spasial seperti ditunjukkan pada persamaan (1).

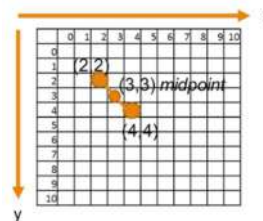
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, M-1) \\ f(1,0) & \dots & \dots & f(1, M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1, M-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Citra digital tersebut kemudian diolah menggunakan deteksi tepi dan dianalisis untuk mendapatkan nilai dimensi. Analisis citra yang digunakan diantaranya yaitu penentuan titik tengah dan jarak Euclidean.

#### 2.1.1. Penentuan titik tengah

Titik tengah dari sebuah garis pada analisis citra dihitung dengan persamaan (2) dan contoh penentuan titik tengah ditunjukkan pada Gambar 5.

$$\left( \frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2} \right) \quad (2)$$



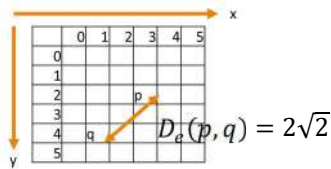
Gambar 5. Penentuan titik tengah

#### 2.1.2. Penentuan jarak Euclidean

Jarak Euclidean ( $D_e$ ) adalah perhitungan jarak dari 2 buah titik piksel pada koordinat  $x$  dan  $y$  seperti ditunjukkan pada persamaan (3). Contoh perhitungan jarak Euclidean pada piksel  $p$  (3,2) dan  $q$  (1,4)

didapatkan nilai  $D_e(p, q) = 2\sqrt{2}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 6

$$D_e(p, q) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3)$$



Gambar 6. Penentuan jarak Euclidean

## 2.2. Estimasi ketidakpastian

Model matematis perhitungan ketidakpastian untuk pengujian ataupun kalibrasi dimensi terdiri dari model dasar, model dengan memperhitungkan besaran yang berpengaruh serta persamaan ketidakpastian [10]. Standar internasional meter gas orifice yang digunakan mengacu pada *American Gas Association (AGA) Report No.3* yang masih menggunakan sistem *British* untuk satuan panjang yaitu in.

### 2.2.1 Model dasar

$$E = L - L_S \quad (4)$$

dengan

$E$ : Nilai eror, in

$L$ : Penunjukkan nilai diameter pelat orifice, in

$L_S$ : Penunjukkan panjang standar pada suhu 20 °C, in

### 2.2.2. Model dengan memperhitungkan besaran lain yang berpengaruh

$$E = L - L_S + L_S(\theta_S \cdot \delta\alpha + \alpha_S \cdot \delta\theta) - L_{drift} - G \quad (5)$$

dengan

$\theta_S$ : Suhu standar, °C

$\delta\alpha$ : Selisih antara koefisien muai termal pelat orifice dan standar, °C

$\alpha_S$ : Koefisien muai termal standar, °C

$\delta\theta$ : Selisih suhu antara UUT dan standar, °C

$L_{drift}$ : *Drift* standar sejak terakhir dikalibrasi, in

$G$ : Kesalahan geometris akibat ketidaksempurnaan *setup* atau kondisi, termasuk *cosine error* dan akibat ketidakrataan serta ketidaksejajaran muka ukur, in

### 2.2.3. Ketidakpastian

#### 2.2.3.1 Persamaan Ketidakpastian

$$u_c^2(E) = u^2(L) + u^2(L_S) + u^2(L_S \cdot \theta_S \cdot \delta\alpha) + u^2(L_S \cdot \alpha_S \cdot \delta\theta) + u^2(L_{drift}) + u^2(G) \quad (6)$$

#### 2.2.3.2. Sumber Ketidakpastian

1. Tipe A, Ulangan pengukuran (*Repeatability*),

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

• Koefisien Sensitifitas,  $c_{L_1} = \frac{\partial L_1}{\partial E} = 1$

• Pembagi Distribusi Normal,  $n = 10$

• Derajat Kebebasan Distribusi Normal,  $\nu_L = n - 1 = 9$   
 $u(L_1) = \frac{s_d}{\sqrt{n}}$

2. Tipe B, Standar Resolusi alat standar (*Readability*),

• Koefisien Sensitifitas,  $c_{L_2} = \frac{\partial L_2}{\partial E} = 1$

• Pembagi Distribusi Segiempat,  $\sqrt{3}$

• Derajat Kebebasan Distribusi Segiempat,  $\nu_{L_2} = 200$   
 $u(L_2) = \frac{1}{\sqrt{3}}$

3. Tipe B, Standar,  $U_{95}$  Sertifikat Standar  
 $c_{L_3} = \frac{\partial L_3}{\partial E} = 1$

• Koefisien Sensitifitas,

• Pembagi Distribusi t-Student, 2

• Derajat Kebebasan Distribusi t-Student,  $\nu_{L_3} = 60$   
 $u(L_3) = \frac{t_{95}}{2}$

4. Tipe B, Selisih Koefisien Muai,  $U_{\delta\alpha} =$  Estimasi sebesar  $\pm 2.10^{-6} / ^\circ C$

• Koefisien Sensitifitas,  $c_{\delta\alpha} = \frac{\partial \delta\alpha}{\partial E} = L_S \cdot \theta_S$

• Pembagi Distribusi Segiempat,  $\sqrt{3}$

• Derajat Kebebasan Distribusi Segiempat,  $\nu_{\delta\alpha} = 200$   
 $u(\delta\alpha) = \frac{1}{\sqrt{3}}$

5. Tipe B, Selisih Suhu Pelat dan Standar,  $U_{\delta\theta} =$

Estimasi sebesar  $\pm 0.2^\circ C$   
 $c_{\delta\theta} = \frac{\partial \delta\theta}{\partial E} = L_S \cdot \alpha_S$

• Koefisien Sensitifitas,

• Pembagi Distribusi Segiempat,  $\sqrt{3}$

• Derajat Kebebasan Distribusi Segiempat,  $\nu_{\delta\theta} = 200$   
 $u(\delta\theta) = \frac{1}{\sqrt{3}}$

6. Tipe B, *Drift* Standar,  $U_{Drift} =$  absolut selisih koreksi standar dengan sebelumnya

• Koefisien Sensitifitas,  $c_{L_{drift}} = \frac{\partial L_{drift}}{\partial E} = 1$

• Pembagi Distribusi Segiempat,  $\sqrt{3}$

• Derajat Kebebasan Distribusi Segiempat,  $\nu_{L_{drift}} = 200$   
 $u(L_{drift}) = \frac{1}{\sqrt{3}}$

7. Tipe B, Kesalahan Geometris,  $UG =$

$\pm 0.15.L \mu m$

- Koefisien Sensitifitas,  $c_G = 1$
  - Pembagi Distribusi Segiempat,  $\sqrt{3}$
  - Derajat Kebebasan Distribusi Segiempat,  $\nu_G = 200$
- $$u(G) = \frac{200}{\sqrt{3}}$$

2.2.3.3. Ketidakpastian Gabungan

$$u_C = \sqrt{(c_{L_1} u(L_1))^2 + (c_{L_2} u(L_2))^2 + (c_{L_S} u(L_S))^2 + (c_{\alpha} u(\alpha))^2 + (c_{\beta} u(\beta))^2 + (c_{drift} u(drift))^2 + (c_G u(G))^2}$$

2.2.3.4. Derajat bebas efektif,

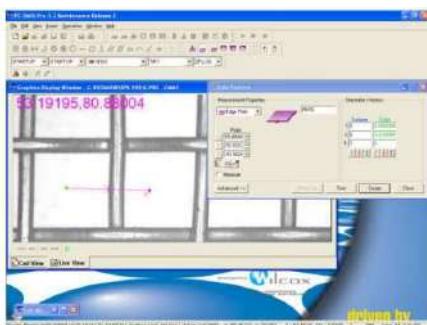
$$\frac{1}{\nu_{eff}} = \frac{1}{\nu_{L_1}} + \frac{1}{\nu_{L_2}} + \frac{1}{\nu_{L_S}} + \frac{1}{\nu_{\alpha}} + \frac{1}{\nu_{\beta}} + \frac{1}{\nu_{drift}} + \frac{1}{\nu_G}$$

2.2.3.5. Faktor cakupan, k  
 k dicari dari tabel t-Student terlampir pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat bebas =  $\nu_{eff}$

2.2.3.6. Ketidakpastian bentangan  
 $U_{95} = \pm k \cdot u_C$

2.3. Experiment

CMM Optik yang digunakan dilengkapi dengan sensor kamera Charge-Coupled Device (CCD) dan meja yang bergerak pada koordinat XYZ. Dilengkapi juga dengan sistem pencahayaan dan perbesaran tertentu. Penentuan deteksi tepi dari citra digital objek pelat orifice ditentukan oleh Penguji yang dapat menimbulkan subyektifitas. Nilai dimensi dihitung menggunakan jarak Euclidean. Contoh pengukuran dimensi pada CMM Optik ditunjukkan pada Gambar 7.



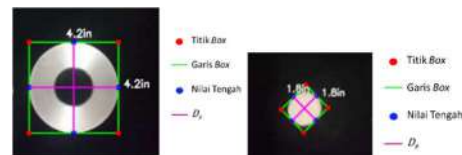
Gambar 7. Contoh pengukuran dimensi menggunakan CMM Optik

Metode Analisis Citra OpenCV menggunakan kamera smartphone dengan sensor Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) berbasis android untuk menampilkan nilai D dan d hasil pengukuran. Pengambilan data dilakukan pada sudut akuisisi citra 90°, 180°, 270° dan 360°. Proses pengolahan citra digital menggunakan citra keabuan, Gaussian blur, deteksi tepi Canny, dilasi, erosi dan kontur, sedangkan

analisis citra menggunakan penentuan titik tengah dan jarak Euclidean [2][11].

Nilai D dan d didapatkan dalam satuan inci (in) Nilai 1 in pada citra dikalibrasi setiap akuisisi citra digital menggunakan referensi koin Rp. 1.000,00 yang memiliki nilai diameter standar 24 mm atau 0,945 in, sehingga diperoleh jumlah piksel pada diameter koin tersebut  $\approx 1$  in.

Penunjukkan nilai D dan d metode analisis citra OpenCV secara otomatis seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Penunjukkan nilai D (kiri) dan d (kanan) [2].

Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali pada sudut 90°, 180°, 270° dan 360° untuk setiap D dan d pada masing-masing metode.

3. Hasil Dan Pembahasan

Nilai D dan d tertelusur ke CMM probe yang sudah terkalibrasi dan tertelusur di Direktorat Metrologi Kementerian Perdagangan dengan nilai rata-rata  $L_S$  untuk D dan d yaitu 4,40 in dan 1,80 in. Nilai rata-rata L untuk D dan d metode CMM optik dan Analisis Citra OpenCV dengan 10 kali pengulangan pada sudut 90°, 180°, 270° dan 360° ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai L perbandingan metode

L (in)			
CMM Optik		Analisis Citra OpenCV	
D	d	D	d
4,95	1,95	4,23	1,67

Sedangkan nilai E untuk D dan d kedua metode tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai E perbandingan metode

E (in)			
CMM Optik		Analisis Citra OpenCV	
D	d	D	d
0,55	0,15	-0,17	-0,13

Dari Tabel 2 didapatkan hasil bahwa nilai E pada metode Analisis Citra OpenCV lebih kecil daripada

Metode CMM Optik. Sehingga metode Analisis Citra OpenCV memiliki nilai %eror yang lebih kecil dibandingkan dengan metode CMM Optik D yaitu 3,86% dan d 7,22%. Nilai diameter pada metode Analisis Citra OpenCV dilakukan secara otomatis menggunakan analisis citra pada pemrograman python dan OpenCV. Serta pada pemrograman tersebut memiliki konstanta piksel per metrik untuk mendekati nilai standar  $L_s$ . Sedangkan pada metode CMM Optik masih ada unsur subyektifitas Penguji untuk penentuan deteksi tepi sehingga menyebabkan eror yang lebih besar.

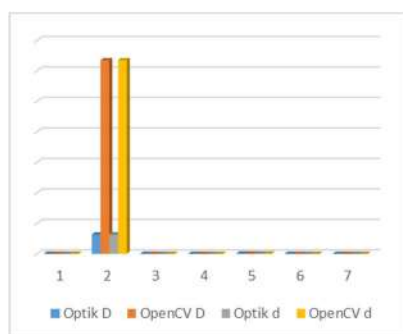
Nilai pada Tabel 1 digunakan untuk perhitungan  $U_{95}$  sesuai dengan perhitungan pada subbab 2.2.3 sehingga diperoleh nilai seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai  $U_{95}$  perbandingan metode

$U_{95}$ (in)			
CMM Optik		Analisis Citra OpenCV	
D	d	D	d
$\pm 5,7 \times 10^{-4}$	$\pm 5,7 \times 10^{-4}$	$\pm 5,7 \times 10^{-3}$	$\pm 5,7 \times 10^{-3}$

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan bahwa nilai  $U_{95}$  metode CMM Optik lebih kecil dibandingkan metode Analisis Citra OpenCV. Hal ini disebabkan karena nilai resolusi alat standar yang digunakan untuk melakukan pengujian pelat *orifice* pada metode Analisis Citra OpenCV lebih besar yaitu 0,005 in sedangkan untuk CMM Optik sebesar 0,0005 in.

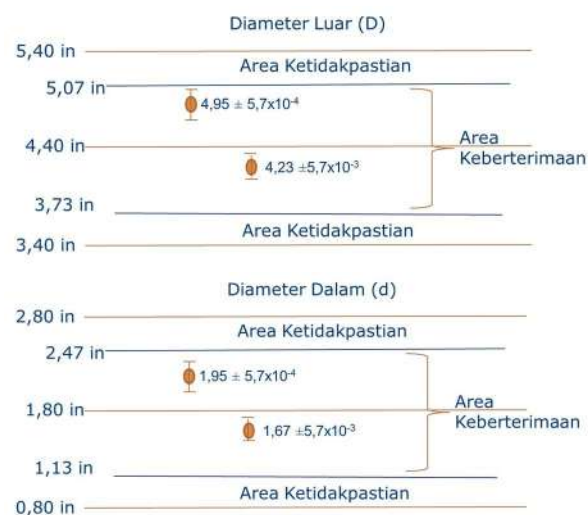
Perbandingan pengaruh sumber ketidakpastian pada subbab 2.2.3.3 nomor 1-7 untuk kedua metode ditunjukkan pada Gambar 9. Sumber ketidakpastian nomor 2 yaitu resolusi standar merupakan komponen terbesar yang mempengaruhi nilai  $U_{95}$ .



Gambar 9. Pengaruh sumber ketidakpastian terhadap nilai  $U_{95}$ .

Pelat *orifice* tersebut memiliki nilai toleransi atau Batas Kesalahan yang Diijinkan (BKD) untuk pengujian

diameter pelat *orifice* yaitu 0,25% Full Scale [3] dengan nilai 1 in. Berdasarkan Gambar 10 diperoleh bahwa 2 metode tersebut masih dalam batas area keberterimaan.



Gambar 10. Area keberterimaan D (atas) dan d (bawah)

#### 4. Kesimpulan

Pengujian pelat *orifice* meliputi pengukuran diameter luar pelat *orifice* (D) dan diameter dalam pelat *orifice* (d). Pengujian nilai D dan d saat ini dengan teknik kontak langsung menggunakan *probe Coordinate Measuring Machine* (CMM). Pengujian nilai D dan d juga dapat dilakukan dengan teknik non-kontak yaitu menggunakan CMM optik dan pengembangan teknik non-kontak secara otomatis untuk mengurangi unsur subyektifitas menggunakan analisis citra OpenCV. Estimasi komponen ketidakpastian dimulai dari identifikasi sumber ketidakpastian yang berpengaruh dalam pengujian diameter pelat *orifice* berdasarkan perumusan model matematis.

Dari 2 metode tersebut Analisis Citra OpenCV memiliki nilai %eror yang lebih kecil dibandingkan dengan metode CMM Optik D yaitu 3,86% dan d 7,22%. Nilai diameter pada metode Analisis Citra OpenCV dilakukan secara otomatis menggunakan analisis citra pada pemrograman python dan OpenCV. Serta pada pemrograman tersebut memiliki konstanta piksel per metrik untuk mendekati nilai standar  $L_s$ . Sedangkan pada metode CMM Optik masih ada unsur subyektifitas Penguji pada penentuan deteksi tepi sehingga menyebabkan eror yang lebih besar.

Dari 2 metode tersebut nilai  $U_{95}$  metode CMM Optik lebih kecil dibandingkan metode Analisis Citra OpenCV. Hal ini disebabkan karena nilai resolusi alat standar yang digunakan untuk melakukan pengujian

pelat *orifice* pada metode Analisis Citra OpenCV lebih besar yaitu 0,005 in sedangkan untuk CMM Optik sebesar 0,0005 in.

<https://www.pyimagesearch.com/2016/03/28/measuring-size-of-objects-in-an-image-with-opencv/>. (URL Link)

2 metode tersebut masih dalam batas area keberterimaan dengan memenuhi rasio toleransi dan akurasi alat ukur maksimum 3:1.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Balai Kalibrasi Dit. Standardisasi dan Pengendalian Mutu dan Dit. Metrologi Kementerian Perdagangan.

### Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, 1981 Undang-Undang Nomor: 2 Tahun 1981 tentang Metrologi Legal.
- [2] Rakhmawati, A., Juliastuti E., Umma, A. K., Sari, B. P., 2019, Prototipe Pengukuran Diameter Pelat *Orifice* Berdasarkan Analisis Citra OpenCV, Seminar Instrumentasi dan Kontrol.
- [3] Direktur Jenderal Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2011, Keputusan Nomor 906/SPK/KEP/12/2011 tentang Syarat Teknis Meter Gas *Orifice*.
- [4] Vinesh, R. & Kiran, J. F., 2008, *Reverse Engineering an Industrial Perspective*, Springer Series in Advanced Manufacturing, pp 15-17. (Buku)
- [5] Bitu, D., 2017, *Enhanced Image Analysis, A Tool for Precision Metrology in The Micro and Macro World*, PhD Dissertation, Department of Production Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. (PhD Dissertation)
- [6] Gupta, P. K., Tuncer, O., Mayank, Singh., 2019, *Predictive Intelligent Using Big Data and Internet of Things*, IGI Global, pp 187. (Buku)
- [7] ISO/IEC 17025:2017, 2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, ISO/IEC.
- [8] APLAC TC 004, 2004, *Method of stating test and calibration results and calibration compliance with specification*, APLAC.
- [9] Pulung, N., A., Sutojo, T., Muljono, 2017 Pengolahan Citra Digital, CV. Andi Offset, pp 2-4. (Buku)
- [10] EA-4/02 M: 2013, 2013, *Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration*, EA.
- [11] Adrian, R., 2016, *Measuring Size of Objects in an image with OpenCV*, pyimagesearch,



## Perancangan Simulator Akuisisi Data dan Pemrograman Pembacaan Sensor Suhu pada Transformator 150K kV

Wardah Mauritsa Nabilah<sup>1</sup>, Nurhadi Shadikin<sup>1</sup>, A.Damar Aji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Otomasi Listrik Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16425, Indonesia

E-mail: [wmnabilah2@gmail.com](mailto:wmnabilah2@gmail.com)

### Abstrak

Transformator berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga bisa mendistribusikan ratusan kilo volt sehingga bisa dialirkan kepada pelanggan dikehidupan sehari-hari yang sangat penting perannya. Dalam bidang tenaga listrik tegangan tinggi, transformator digunakan untuk mengirim daya listrik jarak jauh. Sedangkan dalam bidang elektronika, transformator digunakan sebagai impedansi antara sumber dan beban untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain, dan untuk menghambat arus searah atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian. Untuk mencegah timbulnya bahaya-bahaya akibat kerusakan transformator akibat kurangnya perhatian terhadap suhu didalam transformator, maka penulis membuat perancangan monitoring suhu transformator agar kerusakan yang berada di suhu transformator bisa dikendalikan secara cepat, masa hidup transformator Panjang dan dapat mengurangi biaya yang tinggi untuk perbaikan. Dengan menggunakan perbandingan suhu tranformator didalam DHT11 yang dapat menghasilkan data suhu dan kelembaban. Agar dapat menampilkan data suhu dan kelembaban secara *realtime* sehingga menggunakan Thingsboard sebagai pemrograman yang dapat memonitoring sensor suhu dan kelembaban.

*Keywords: Transformator, Sensor DHT11, Suhu, Monitoring, Thingsboard*

### 1. Pendahuluan

Transformator sangat penting untuk menaikkan dan menurunkan tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga bisa mendistribusikan ratusan kilo volt, untuk bisa dialirkan kepada pelanggan dikehidupan sehari-hari yang sangat penting perannya. Namun transformator seringkali menjadi peralatan listrik yang kurang diperhatikan perawatannya dan tidak diberikan alat perawatan yang memadai. Saat ini untuk pengecekan suhu pada transformator masih dilakukan secara manual oleh maintenance crew yang tidak berjaga 24 jam, sedangkan kerusakan pada transformator bisa terjadi kapan saja. Agar pengecekan pada transformator suhu ini dilakukan secara berkala, maka monitoring dan penggunaan sensor suhu menjadi opsi untuk pengecekan yang optimal secara *continue* dan *realtime*. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembabannya yaitu menggunakan sensor DHT11. DHT11 merupakan sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban, rentang

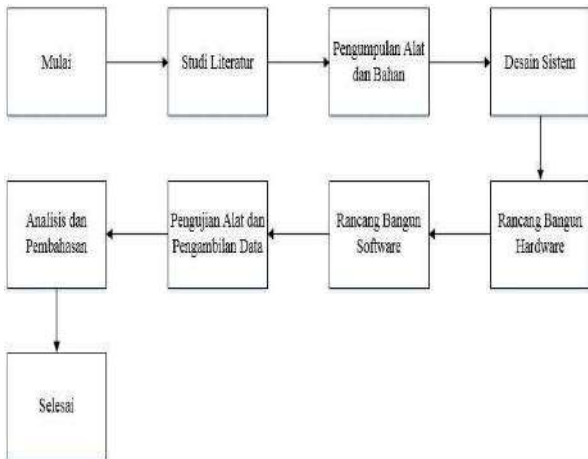
galat DHT11 sebesar 1-7% dan 11-35% masing-masing untuk pengukuran suhu dan kelembaban[1].

Perancangan monitoring suhu ini dilakukan dengan menggunakan DHT11 berbasis Raspberry dan akan ditampilkan data secara *realtime* melalui Thingsboard. Raspberry merupakan modul mikro computer yang mempunyai output digital port seperti pada mikrokontroler[2]. Setelah diolah oleh raspberry hasil pengukuran suhu akan ditampilkan ke Thingsboard. Thingsboard merupakan platform IoT open-source untuk pengumpulan data, pemrosesan, visualisasi, dan manajemen perangkat. Perangkat konektivitas melalui protokol IoT standar industri -MQTT, CoAP dan HTTP serta dekuangannya baik penyebaran cloud maupun di tempat. ThingBoard mengagabungkan skalabilitas, toleransi kealasan dan kinerja[3]. Keunggulan dengan menggunakan Thingsboard ini mampu menampilkan data dengan visualisasi *widget* yang memudahkan para pembacanya mengerti secara terperinci hasil data suhu dan kelembabannya.



## 2. Metode Penelitian

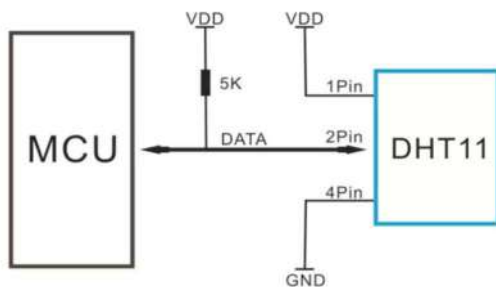
Langkah-langkah Penelitian yang ada pada di gambar 1



Gambar 1. Langkah-langkah penelitian[4]

Pada gambar.1 dijelaskan bahwa Langkah-langkah pada penelitian ini akan dilakukan dengan studi literatur, dengan menggunakan teori-teori yang telah didapatkan penelitian akan dilanjutkan ke prosedur perancangan serta pernaangan yang hasilnya akan dibandingkan dan dianalisis.

Rangkaian Pemasangan alat (Gambar. 2)



Gambar 2. Skematik rangkaian pemasangan alat sensor [5]

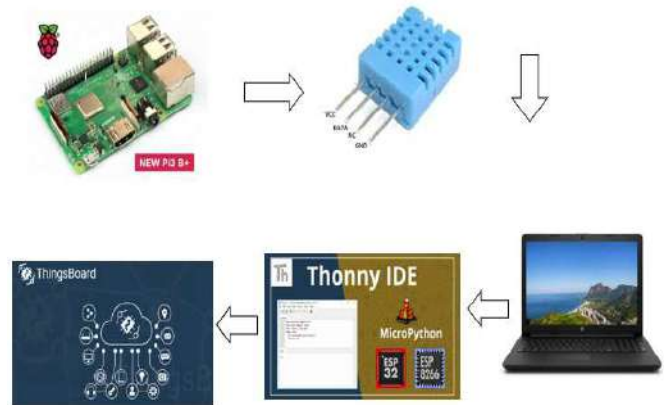


Gambar 3. Rangkaian pemasangan alat sensor DHT11 ke Raspberry pi untuk pengujian

Ditunjukkan gambar 3 Pada pin (+) sensor DHT11 yang terdapat di sebelah kiri sensor terhubung dengan tegangan 3V di Raspberry pada GPIO pin1, pin sensor kedua atau pin (data) pada sensor DHT11 melalui resistor 4.7K terhubung dengan GPIO raspberry pin7, dan pin (-) sensor DHT11 yang terdapat di sebelah kanan untuk GND terhubung dengan GPIO dari Raspberry pin6.

### Perancangan Sistem

Perancangan system terdiri dari dua bagian awal, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Rancangan perangkat keras terdiri dari *prototype* transformator serta beban yang diberikan dan bagian elektris lebih jelasnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antar komponen

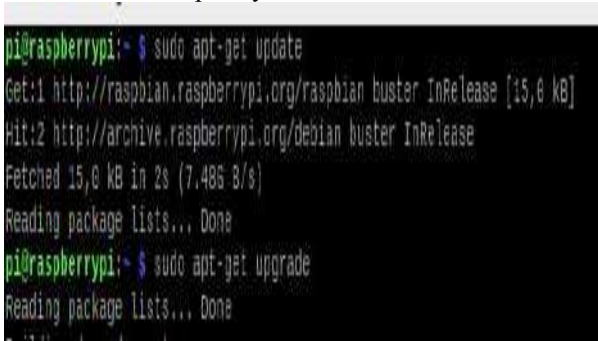
Pc/laptop digunakan untuk program awal pada Raspberry yang akan dipakai. Rasseberry sebagai peranti akuisisi data perantara baik computer maupun sensor, dengan tujuan membaca nilai input pada digital atau analog. Kemudian sensor suhu akan dipasangkan pada bagian kabel sekunder atau beban transformator. Diperlukan juga wifi sebagai penghubung antara *user* dengan raspberry PI. Sensor suhu DHT11 dikoneksikan dengan raspberry PI dan diprogramkan melalui Python selanjutnya akan digunakan untuk melihat data secara realtime menggunakan ThingsBoard. Thingboard akan menghasilkan data yang *realtime* apabila script yang sudah ada di Python tidak error dan data dapat diakuisisi oleh raspberry PI.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### Pembahasan

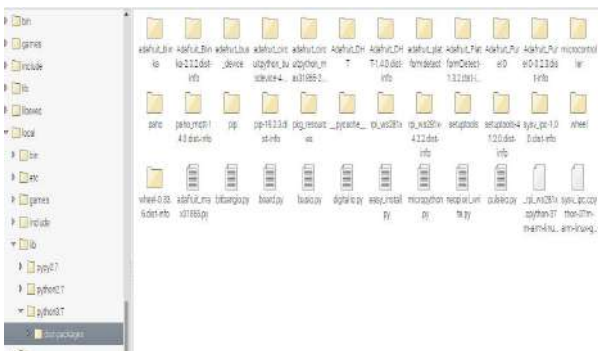
Pada gambar 5 menunjukkan dengan Diawali pembaruan os dan software yang berjalan pada Raspberry PI dengan cara menjalankan perintah "*sudo apt-get update*" dan

“*sudo apt-get upgrade*” secara berurutan pada aplikasi command-line raspberry PI.



Gambar 5. Hasil update dan upgrade

kemudian menginstall Python3 dan PIP3 agar library sensor DHT11 dapat dijalankan. Saat itu juga memastikan bahwa Python3 yang terinstall adalah versi terbaru lalu mendownload dan menginstall library sensor DHT11 secara berurutan pada command-line Raspberry PI ( Gambar. 6).



Gambar 6. Penyimpanan Library DHT11 pada Python3

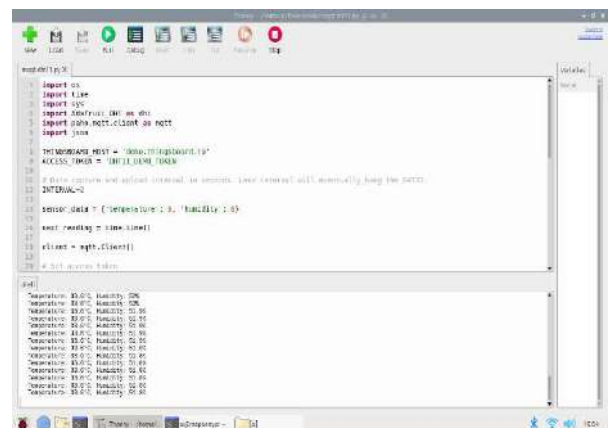
Setelah itu yang ditunjukkan pada gambar 7 Memasukkan source code di program Thonypython pada Raspberry PI yang telah disediakan oleh perangkat ThingsBoard. Perlu diperhatikan penulis menggunakan server demo pada Thingsboard sehingga alamat IP instalasi hostname THINGSBOARD\_HOST digunakan “*demo.thingsboard.io*” serta ACCESS\_TOKEN “*DHT11\_DEMO\_TOKEN*”.



Gambar 7. Alamat instalasi hostname

Setelah itu membuat “device” dengan nama “DHT11 DEMO DEVICE” yang berfungsi untuk mengumpulkan pembacaan suhu diberbagai bagian dan mendefinisikan hubungan antara asset dan device tersebut. Selanjutnya beberapa data dari device thermometer ke Thingsboard dengan menggunakan protocol HTTP. Mengganti host name dan access token yang telah tersedia di dalam device tersebut terlihat elementary yang sudah dihasilkan. Untuk mengatur konstanta aliran data dari device yaitu dengan menggunakan rulechain membuat generator data yang akan diberikan ke device secara fisik dan pesan berdasarkan nama yang kita gunakan. Kemudian membuat dashboard untuk memvisualisasikan data secara realtime. Dan yang terakhir simpan widget aliases yang telah dibuat dan akan terlihat pembacaan suhu secara realtime.

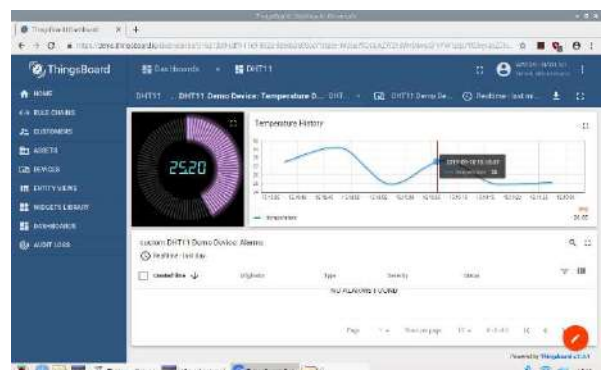
Hasil dari pengujian sirkuit akuisisi data sensor suhu



Gambar 8. Hasil pengujian sirkuit akuisisi data

Dari gambar 8 didapat data temperature yang dihasilkan oleh DHT11 dapat diakuisisi dan kemudian diproses serta ditampilkan oleh Raspberry PI melalui program Thonypython secara real time.

Hasil dari pengujian perancangan pemrograman pembacaan sensor suhu



Gambar 9. Hasil pengujian perancangan pemrograman

Terlihat dari gambar 9 bahwa temperature yang dihasilkan secara real time untuk memonitoring

transformator. Monitoring ini akan bisa memudahkan maintenance crew dalam menangani kendala yang terjadi secara tepat waktu.

#### **4. Kesimpulan**

Dapat disimpulkan dari perancangan simulator akuisisi data dan pemrograman pembacaan sensor suhu pada transformator 150kV menunjukkan monitoring kabel transformator sangat diperlukan untuk mengefesiesikan terjadinya kerusakan secara cepat. terdapat alat monitoring suhu trafo menggunakan Raspberry PI 3+ dan DHT11 dapat mendeteksi adanya perubahan suhu dengan indicator temperature dan humidity secara realtime, monitoring suhu trafo dapat dijadikan rekaman data dalam menentukan usia trafo tersebut dan penggunaan thingsboard untuk menampilkan data temperature dan humidity secara realtime sangat membantu untuk memonitoring trafo.

#### **5. Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) yang telah memfasilitasi penulis untuk melakukan praktik kerja lapangan di PT. Indonesia Comnet Plus yang telah membantu dalam bentuk bimbingan dan sarana penelitian sehingga penelitian dapat diselesaikan.

#### **6. Daftar Acuan**

- [1] A. H. Saptadi, "Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22," *J. INFOTEL - Inform. Telekomun. Elektron.*, vol. 6, no. 2, p. 49, 2014.
- [2] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi 3 Model B+ 1Gb," 2015. [Online]. Available: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>.
- [3] J. Kukkamäki, R. Costa, V. Heck Júnior, and E. N. Bitencourt, "IoT Centralization and Management Applying ThingsBoard Platform," no. August, 2018.
- [4] A. R. Madjid and B. Suprianto, "PROTOTYPE MONITORING ARUS , DAN SUHU PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERBASIS INTERNET OF THINGS ( IoT )," *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Negeri Surabaya*, pp. 111–119, 2019.
- [5] D. Lee, "Internet of Things : Smart Home System," *Metropolia University of Applied Sciences*, 2019.

## Pengujian dan *Monitoring Relay* Proteksi Arus Lebih 7SJ82 pada Sistem Proteksi Panel *Bus Coupler* 150 kV GI Blimbing Baru

Binardi Achmadiansyah<sup>1</sup>, Muhammad Haikal Faza<sup>1</sup>, dan Nuha Nadhiroh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. Ir. G. A Siwabessy Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok, 16425, Indonesia

E-mail: [binardiachmadiansyah@yahoo.com](mailto:binardiachmadiansyah@yahoo.com)

### Abstrak

Arus lebih adalah salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan transmisi maupun distribusi. Banyak hal yang menyebabkan arus lebih terjadi, salah satunya adalah arus hubung singkat yang menyebabkan nilai arus naik hingga jauh dari nilai nominal. OCR (*Overcurrent Relay*) menjadi salah satu solusi untuk melakukan proteksi pada jaringan listrik. Kemajuan zaman membuat relay beralih menjadi bentuk IED (*Intelligent Electronic Device*), IED *Relay* yang bekerja secara handal membuat gangguan terdeteksi menjadi lebih cepat. Dengan bantuan *monitoring* menggunakan SAS (*Substation Automation System*) yang dikomunikasikan dengan standar protokol IEC 61850 pada peralatan IED, gangguan pada *relay* proteksi arus lebih dapat dideteksi dengan mudah. Sinyal-sinyal gangguan *Earth Fault* dan *Overcurrent* yang terdeteksi oleh OCR akan ditampilkan pada visual SAS. Pengujian diperlukan untuk mengetahui *relay* arus lebih sudah sesuai dengan standar karakteristik kurva *overcurrent*, mengetahui gangguan apa yang sedang terjadi, serta memastikan bahwa saat gangguan terjadi CB akan memutuskan rangkaian menjadi open.

*Keywords: Overcurrent, Relay* Proteksi, SAS, *Bus Coupler*

## 1. Pendahuluan

Tahapan pengujian proteksi dalam panel control merupakan hal yang sangat penting. Terutama pada sistem tegangan tinggi. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui bahwa *relay* sudah mempunyai karakteristik yang sama dengan standar IEC 60255. *Relay overcurrent* dapat berfungsi sebagai pengaman dari arus hubung singkat yang mempunyai nilai arus hingga lebih dari 100 x nilai arus nominal. Selain itu, *relay overcurrent* dapat bekerja sebagai pengaman beban lebih, tetapi hanya sebagai backup dari sistem proteksi utama jika tidak bekerja [1]. Setelah *relay* bekerja, dengan menggunakan SAS (*Substation Automation System*) sinyal-sinyal gangguan tersebut dapat terdeteksi pada layar HMI. Hal ini sangat membantu operator dalam *memonitoring* kejadian tertentu. Seperti halnya terjadi short circuit atau arus beban lebih pada rangkaian tegangan tinggi yang terdeteksi oleh *relay* arus lebih. Dengan menggunakan SAS dan peralatan IED, operator dapat memantau seluruh kejadian yang terjadi tanpa harus ke lokasi [2].

### 1.1. *Relay Overcurrent*

*Relay* arus lebih atau *overcurrent relay* (OCR) merupakan *relay* yang bekerja jika ada kenaikan arus akibat gangguan hubung singkat atau beban lebih. Dimana saat nilai arus gangguan yang dihasilkan melebihi batasan arus dan waktu yang sudah diatur. Maka *relay* akan memerintahkan *circuit breaker* untuk melakukan *open* [3]

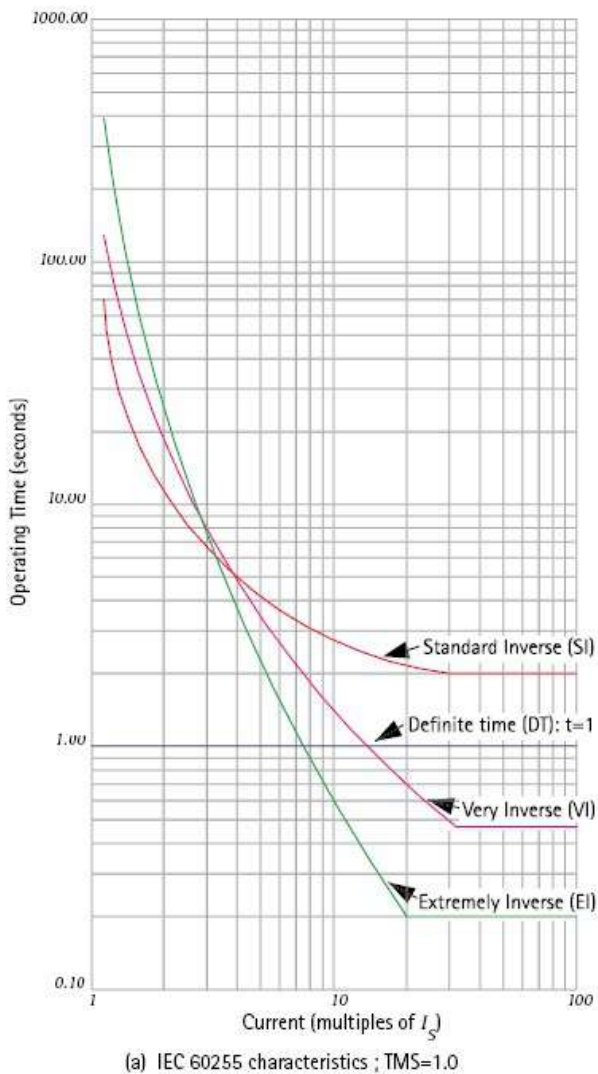
### 1.2. Karakteristik *Relay* Arus Beban Lebih

Operasi kerja *relay* arus lebih tergantung pada jenis karakteristik waktu yang digunakan. Ada dua jenis karakteristik pada *relay* arus lebih yakni:

#### 1. IDMT (Inverse Definite Minimum Time)

Kurva inverse memiliki karakteristik waktu tunda yang bergantung terhadap besar arus. Dimana semakin besar arus gangguan maka waktu *relay* bekerja akan semakin cepat seperti pada gambar 1 [4]. Berdasarkan standar IEC 60255 karakteristik kurva IDMT dibagi menjadi 3 jenis :

- Standar Inverse* (SI)
- Very Inverse* (VI)
- Extremely Inverse* (EI)



**Gambar 1.** Karakteristik Kurva IDMT IEC 6025

Untuk perhitungan masing – masing jenis kurva *inverse* terdapat pada Pers 1 (*Standard Inverse*), Pers 2 (*Very Inverse*), Pers 3 (*Extremely Inverse*) :

$$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1} \quad (1)$$

$$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1} \quad (2)$$

$$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1} \quad (3)$$

Keterangan :

$$I_r = I / I_s$$

$I_r$  = Rasio arus gangguan terhadap arus pengaturan

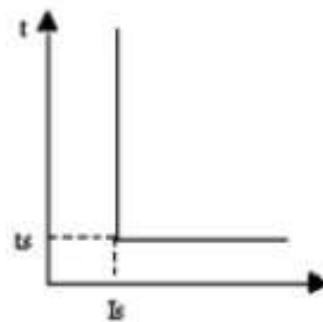
$I$  = Arus yang terukur atau arus yang mengalir pada jaringan

$I_s$  = Arus Pengaturan

$TMS$  = *Time Multiplier Setting*

## 2. Definite

*Definite* merupakan kurva yang memiliki waktu tunda yang tetap ( $t_s$ ). Kurva jenis ini tidak bergantung pada besar arus gangguan. Dari Gambar 2 jika besar arus gangguan yang melebihi besar arus pengaturan ( $I_s$ ) maka *relay* akan bekerja dengan waktu tetap [3].



**Gambar 2.** Karakteristik Kurva *Definite*

## 1.3. Jenis Pengaman Beban Lebih

*Relay* arus lebih memiliki dua jenis pengaman yaitu:

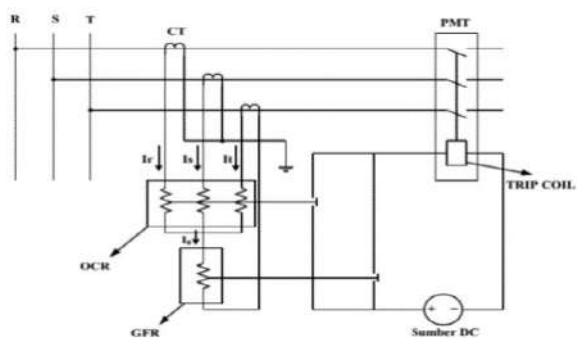
### 1. Pengaman Hubung Singkat Fasa

Pengaman hubung singkat fasa berguna mendeteksi arus gangguan hubung singkat fasa-fasa. Adapun besarnya nilai arus pengaturan ( $I_s$ ) yang digunakan di QC Siemens Indonesia nilainya satu kali arus nominal, *relay overcurrent* memiliki kode ansi 50/51 OCR ( $I_n$ ) [5].

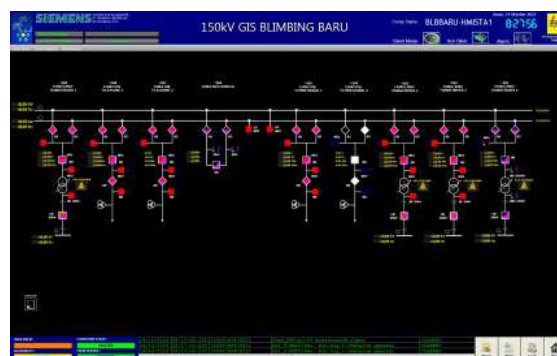
### 2. Pengaman Hubung Singkat Tanah

Pengamanan hubung tanah atau *ground fault relay* (GFR) berfungsi mendeteksi arus gangguan hubung singkat satu fasa tanah. Nilai gangguan hubung singkat jenis ini lebih kecil dari arus beban. Hal ini dikarenakan gangguan tanah melalui tahanan netral yang berimpedansi tinggi. Agar *relay* sensitif terhadap gangguan, maka *relay* dipasang pada kawat netral dari sekunder trafo *relay* arus [5]. Pada Gambar 3 *relay* ini akan bekerja jika dialiri oleh arus urutan nol pada kawat netral. Adapun besar *ground fault Relay* (GFR) nilainya sekitar 10% dari arus gangguan pada hubung singkat fasa. *Relay overcurrent earth fault* memiliki kode ansi 50/51N OCR [3].





Gambar 3. Rangkaian Pengaman OCR dan GFR



Gambar 5. HMI SAS

#### 1.4. IED (*Intelligent Electronic Device*)

IED adalah sebuah peralatan berbasis *digital* yang dapat berfungsi sebagai sistem otomasi, proteksi, pengukuran, dan monitoring pada sebuah sistem jaringan listrik [6], [7]. Pembahasan kali ini menggunakan peralatan IED proteksi 7SJ82 untuk *overcurrent* dan IED BCU 6MD (Bay Control Unit) 6MD85 untuk kontrol CB.

#### 1.5. SAS (*Substation Automation System*)

SAS atau yang disebut dengan SOGI (Sistem Otomasi Gardu Induk) merupakan sistem peralatan berbasis komputer pada gardu induk yang dilengkapi IED *bay control unit*, HMI, IED Proteksi (*Relay Overcurrent*), serta *server* dan *gateway* [8]. *Server* dan *gateway* (Gambar 4) berfungsi sebagai pusat data. Seperti alarm, event log, dsb. Sedangkan HMI berfungsi sebagai tampilan untuk masing – masing bay (Gambar 5).



Gambar 4. Server dan Gateway

SAS harus dihubungkan dengan *ethernet* (Gambar 6) dengan standar internasional protokol IEC 61850. Protokol IEC 61850 adalah yang terbaik dibandingkan dengan protokol lainnya dibandingkan dengan Modbus serial RS-232 atau RS-485. Hal ini dikarenakan setiap peralatan IED harus dapat berkomunikasi dengan peralatan IED lain yang berbeda manufaktur [9], [10]. Selain itu protokol IEC 61850 dapat mensinkronisasi waktu disaat peralatan IED sedang dalam kondisi remote [10]. Sehingga, tidak terjadi kesalahan pengumpulan data pada waktu terjadi gangguan atau perawatan.



Gambar 6. Ethernet

Proses SAS agar menampilkan gangguan pada *relay overcurrent* ditampilkan pada Gambar 7.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Pengujian *Relay Overcurrent*

Untuk melakukan pengujian pada *relay overcurrent*, diperlukan peralatan bernama OMICRON (Gambar 8). Alat tersebut berfungsi untuk memberikan arus dan tegangan sesuai dengan keinginan. Tegangan yang diberikan bervariasi.



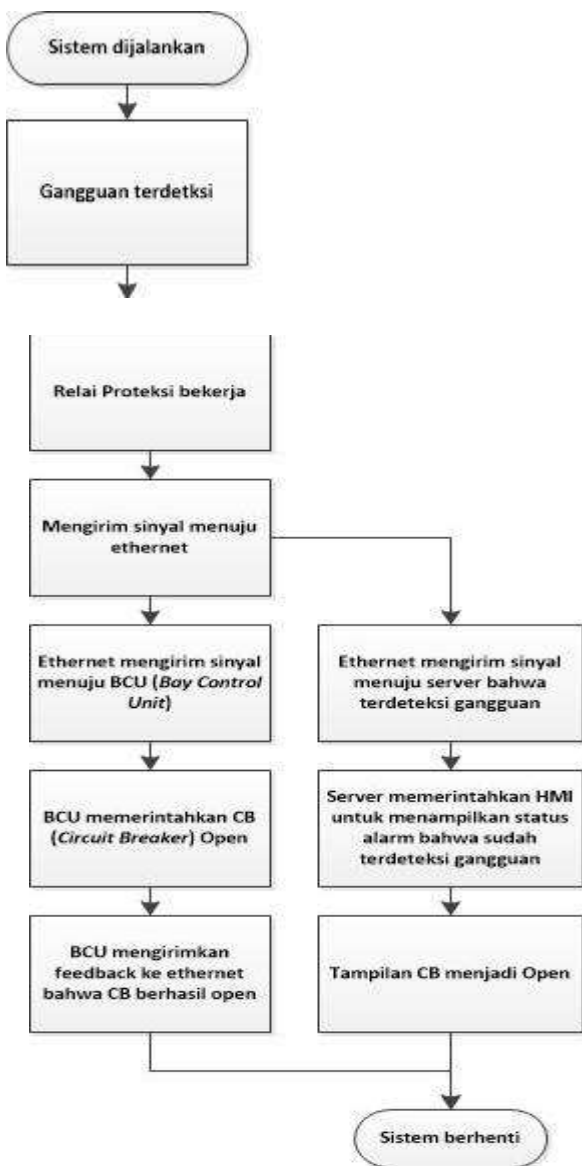
Gambar 8. OMICRON CMC 356



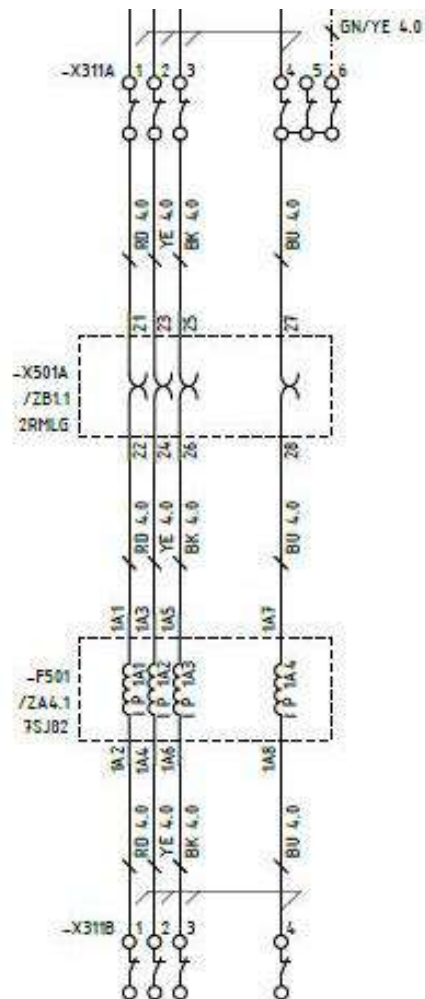
Pasang kabel grounding OMICRON terlebih dahulu (Gambar 9). Serta pasang kabel *output* arus dan kontak trip OMICRON pada terminal CT sesuai dengan *schematic drawing* panel seperti pada Gambar 10 dan 11.



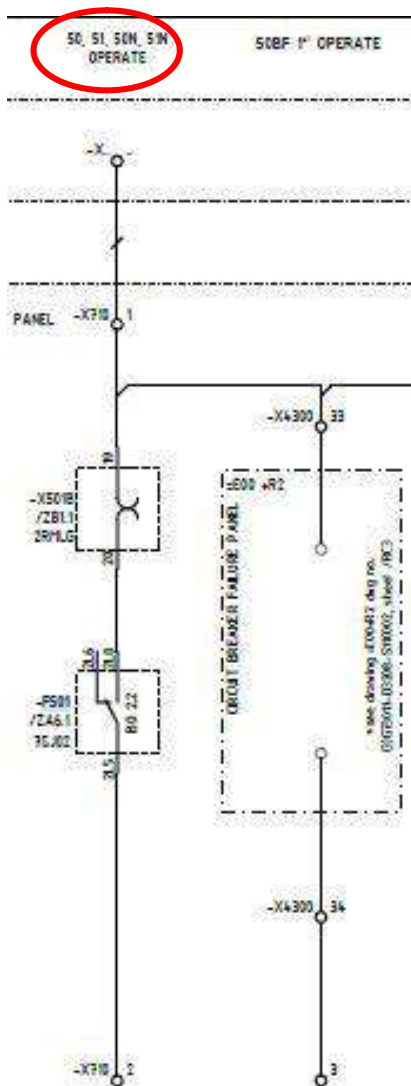
Gambar 9. Grounding OMICRON



Gambar 7. Flowchart SAS bekerja



Gambar 9. Terminal Circuit CT Bus Coupler



Gambar 10. Kontak trip Relay OCR

## 2.2. Setting Nilai Arus OCR

Relay overcurrent produk Siemens menggunakan aplikasi bernama SIPROTEC 5. Nilai dari setting arus dari gangguan *overcurrent* sudah sesuai dengan nilai gangguan untuk 50/51 OCR dan 50/51 N OCR yang tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2. Percobaan menggunakan kurva *inverse* jenis *standar inverse* (SI)

Tabel 1. Ketentuan nilai arus 50/51 OCR

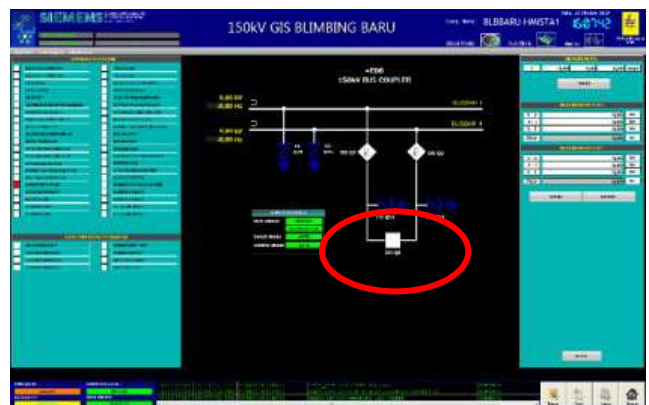
Jenis Gangguan	Kurva Karakteristik	Arus (A)
50/51 OCR	Definite	3
	Inverse	1

Tabel 2. Ketentuan nilai arus 50/51N OCR

Jenis Gangguan	Kurva Karakteristik	Arus (A)
50/51N OCR	Definite	0.3
	Inverse	0.1

## 2.3. Monitoring SAS

Persiapkan SAS agar dapat melihat status CB bekerja jika ada gangguan atau tidak. Pastikan ethernet dan SAS sudah terhubung dengan kabel LAN. Serta pastikan SAS dalam keadaan sudah diparameter. Perhatikan simbol CB pada visual SAS (Gambar 11), serta cek gangguan apa saja yang dapat dideteksi oleh SAS pada (Gambar 12).



Gambar 11. Visual SAS dalam keadaan gangguan belum terdeteksi (CB Close)



Gambar 12. Daftar Gangguan OCR

## 2.4. Pemberian Arus dengan menggunakan OMICRON

Pada Gambar 13 OMICRON diatur untuk memberikan nilai arus pada CT. Pemberian arus harus dengan nilai yang bervariasi. Dengan nilai setting sesuai dengan Tabel 1 dan Tabel 2. Maka, untuk kurva definite akan bekerja setelah 3 A dan kurva inverse dengan nilai 1 A s/d 3 A

Analog Outputs			
Set Mode	Direct		
V L1-E	0.000 V	0.00 °	50.000 Hz
V L2-E	0.000 V	-120.00 °	50.000 Hz
V L3-E	0.000 V	120.00 °	50.000 Hz
I L1	1.500 A	0.00 °	50.000 Hz
I L2	1.500 A	-120.00 °	50.000 Hz
I L3	1.500 A	120.00 °	50.000 Hz

Gambar 13. Tampilan saat pemberian arus pada OMICRON

### 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah mempersiapkan semua peralatan untuk pengujian *relay* dan monitoring, dengan memberikan arus secara bertahap seperti pada Tabel 3 dan setting *relay* kurva *standard inverse*, maka data yang diperoleh tertera pada Tabel 4 s/d Tabel 7. (Nilai  $I_s = 1$  A dan  $I_s = 0.1$  A untuk 50/51 OCR dan 50/51N OCR)

Tabel 3. Nilai arus yang diberikan untuk 50/51 dan 50/51N OCR

Arus (A)	
50/51 OCR (I)	50/51N OCR (I)
1.5	0.15
1.75	0.175
2	0.2
2.5	0.25
3	0.3
3.1	0.31
4	0.4

Tabel 4. Perbandingan perhitungan kurva *Standard Inverse* 50/51 OCR

Arus (A)	Kurva	Waktu Aktual	Waktu perhitungan
1.5	Inverse	17.9 s	17.19 s
1.75		12.47 s	12.44 s
2		9.99 s	10.03 s
2.5		7.56 s	7.57 s
3		6.28 s	6.30 s

Tabel 5. Perbandingan perhitungan kurva *definite* 50/51 OCR

Arus (A)	Kurva	Waktu Aktual
3.1	Definite	34.8 ms
4		29.1 ms

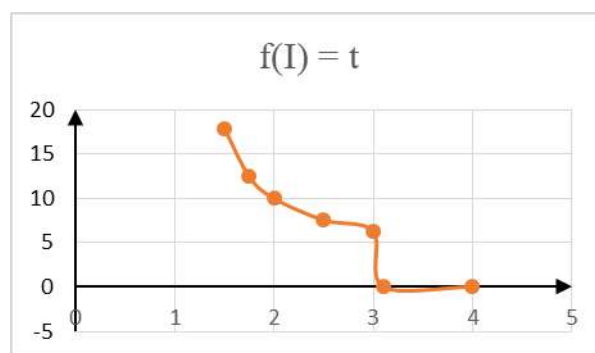
Tabel 6. Perbandingan perhitungan kurva *Standard Inverse* 50/51N OCR

Arus (A)	Kurva	Waktu Aktual	Waktu perhitungan
0.15	Inverse	17.025 s	17.19 s
0.175		12.37 s	12.44 s
0.2		10.02 s	10.03 s
0.25		7.49 s	7.57 s
0.3		6.295 s	6.30 s

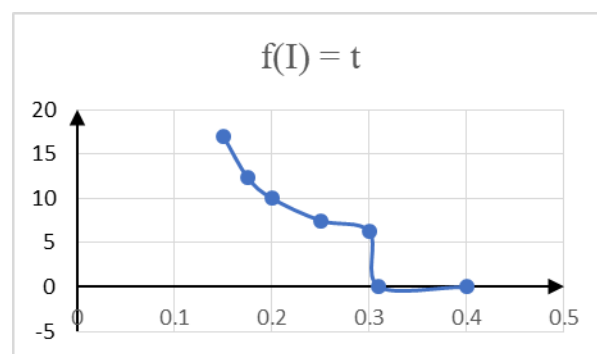
Tabel 7. Perbandingan perhitungan kurva *definite* 50/51N OCR

Arus (A)	Kurva	Waktu Aktual
0.31	Definite	34 ms
0.5		23.8 ms

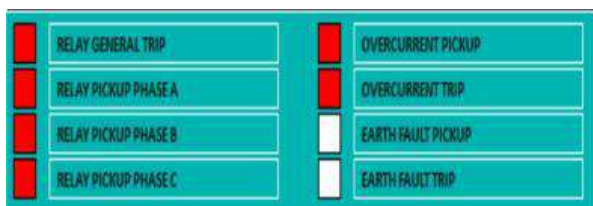
Grafik pada data Tabel 4 s/d Tabel 7 ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15. Serta tampilan CB dan sinyal setelah diberikan gangguan 50/51 OCR dan 50/51N OCR ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17.



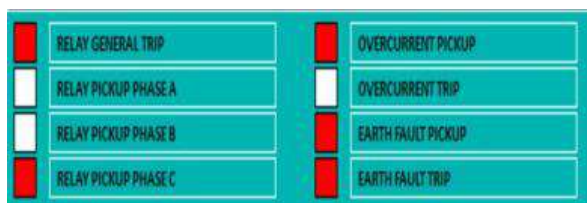
Gambar 14. Karakteristik kurva 50/51 OCR



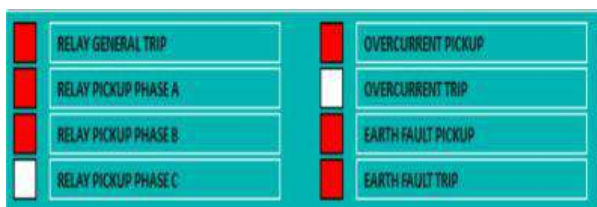
Gambar 15. Karakteristik kurva 50/51N OCR



Gambar 16. Sinyal Gangguan 50/51 OCR

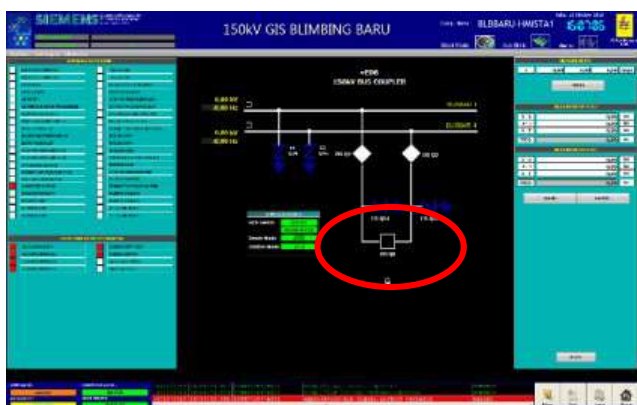


Gambar 17. Sinyal Gangguan 50/51N OCR



Gambar 18. Sinyal Gangguan 2 fasa

Sinyal gangguan terdeteksi akibat dari *relay* yang mendapatkan gangguan. Sehingga *relay* tersebut mengirimkan sinyal melewati komunikasi protocol IEC 61850 ke server. Sehingga gangguan tersebut dapat ditampilkan pada layar HMI seperti pada Gambar 16 dan Gambar 17. Saat gangguan pada Gambar 16 dan Gambar 17 aktif, CB akan menjadi open. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Terdeteksi gangguan yang menyebabkan CB Open

#### 4. Kesimpulan

- Relay* IED proteksi *overcurrent* memiliki jenis karakteristik kurva yang berbeda-beda
- Relay* dapat mendeteksi gangguan 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa
- Earth fault terdeteksi saat gangguan 1 fasa dan 2 fasa dengan nilai 10 % dari nilai setting arus beban lebih
- Karakteristik kurva *relay* proteksi 7SJ82 sudah sesuai dengan kurva karakteristik berdasarkan IEC 60255
- Semakin tinggi nilai arus gangguan, maka semakin cepat waktu *trip* dari *relay*
- Kurva definite mempunyai waktu trip diatas nol namun tidak pernah menyentuh nol
- SAS berfungsi sebagai monitoring data dan tampilan status peralatan
- Relay* akan memerintahkan CB open saat gangguan terdeteksi

#### 5. Daftar Acuan

- M. Pujiantara, V. R. Mahindara, and T. P. Sari, "Study of Overcurrent Relay Coordination Using Non-Standard Tripping Characteristic Method in 150 kV and 20 kV Network of PT. PLN (LTD) APJ Gilimanuk," *2018 Int. Conf. Comput. Eng. Netw. Intell. Multimedia, CENIM 2018 - Proceeding*, pp. 81–87, 2019.
- 2011 Pangestu Fajar, "Sistem BCU (Bay Control Unit) pada Sistem Otomasi Gardu Induk Purbalingga 150 kV PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Tengah Area Pemeliharaan Purwokerto," 2013.
- I. Affandi, "Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa Di Gi Cawang Skripsi," *Univ. Indones.*, pp. 15–18, 2009.
- T. Nova, "Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan " X ", vol. 1, no. 1, pp. 76–85, 2013.
- T. T. D. Ngedi, "Penggunaan Over Current Relay Dalam System Tenaga Listrik," 2016.
- Siemens, *Integration of Medium Voltage Switchgear according to IEC 61850 Applications & Tools*, no. February. 2013.
- Siemens, "SIPROTEC 5 – Devices Protection , Automation and Monitoring," 2016.
- PT. PLN (Persero), "Sistem Otomasi Gardu Induk," 2010.
- P. Pruthvi, H. B. Bhuvanewari, and L.

Sudheendran, "Analysis of utility communication protocol IEC 61850 for substation automation systems," *IET Conf. Publ.*, vol. 2013, no. 648 CP, 2013.

[10] V. Sarac and T. Atanasova-Pacemska, "Remote control system at 110/20 kV substation for

wind park 'Bogdanci,'" *CANDO-EPE 2018 - Proc. IEEE Int. Conf. Work. Obuda Electr. Power Eng.*, pp. 115–120, 2019.

## Pemeliharaan Transformator Transmisi 150/20kV pada GIS Cipinang

Indra<sup>1</sup>, Fajar Kurniawan<sup>1</sup>, Rahmat Febriyanto Putra<sup>1</sup>, Taufik Hidayat<sup>1</sup>, Kusnadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Otomasi Listrik Industri, Teknik Elektro<sup>1</sup>, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Baru, UI Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [Indraznr@gmail.com](mailto:Indraznr@gmail.com), [rahmatfputra05@gmail.com](mailto:rahmatfputra05@gmail.com), [fkurniawan912@gmail.com](mailto:fkurniawan912@gmail.com), [tauhidynth@gmail.com](mailto:tauhidynth@gmail.com)

### Abstrak

Dalam menyalurkan daya listrik Gardu Induk memiliki alat atau komponen listrik yang berupa transformator. Transformator daya memiliki peranan penting dalam penyaluran tenaga listrik. Jika terjadi gangguan pada transformator dapat menyebabkan keandalan transformator berkurang. Salah satu gangguan pada transformator tersebut adalah berkurangnya kualitas pada minyak transformator. Untuk itu dilakukan pemeliharaan transformator berupa penggantian minyak OLTC (*On Load Tap Changer*) dan melakukan pengujian BDV (*Breakdown Voltage*), serta pengujian tahanan belitan transformator. Hasil dari pemeliharaan tersebut yaitu minyak OLTC (*On Load Tap Changer*) yang sudah terpakai diganti dengan minyak baru. Untuk pengujian BDV (*Breakdown Voltage*) tegangan tembus pada minyak OLTC, main tank, dan tubular fasa R dalam kondisi baik yaitu >60kV. Sedangkan tegangan tembus pada tubular fasa S dan tubular fasa T dalam kondisi sedang yaitu 50-60kV. Untuk pengujian belitan transformator yaitu dalam kondisi baik karena nilai tahanan yang didapat pada belitan fasa R, S, dan T memiliki nilai yang hampir sama.

*Keywords: Breakdown Voltage, On Load Tap Changer, Transformer*

### 1. Pendahuluan

Pada masa ini, perkembangan teknologi semakin pesat dan mendorong pengguna untuk menggunakan peralatan yang serba elektrik. Peralatan elektrik membutuhkan daya listrik untuk mengoperasikannya. Karena banyaknya peralatan elektrik yang digunakan maka, beban listrik yang ditanggung penyedia jasa listrik akan semakin besar. Oleh karena itu, kehandalan listrik sangat penting untuk menjamin energi listrik dapat mengalir tanpa kendala.

Dalam sistem ketenagalistrikan komponen listrik yang sangat diperlukan dari suatu sistem pembangkitan yang berfungsi merubah tegangan dari pembangkit untuk ditransmisikan ke konsumen adalah Transformator [1]. Transformator merupakan bagian yang sangat vital dalam suatu bagian sistem pembangkit. Gangguan yang terjadi pada transformator akan mengganggu aktivitas dan memberikan kerugian baik pada masyarakat ataupun perusahaan listrik itu sendiri.

Salah satu pemeliharaan transformator transmisi 150/20kV yang dilakukan penulis pada GIS Cipinang yaitu, Penggantian minyak OLTC (*On Load Tap*

*changer*) yang dipasang pada transformator untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sisi sekunder dengan memilih rasio tegangan tanpa melakukan pemadaman, dimana rasio tegangan ini ditentukan oleh kumparan tegangan yang dihubungkan dengan tap selector pada OLTC, Pengujian tegangan tembus dilakukan, dimana minyak transformator diberi tegangan pada frekuensi sistem pada dua elektroda yang diletakkan didalam minyak isolasi [2], Pengujian tahanan belitan transformator atau tahanan isolasi dilakukan dengan cara mengukur isolasi antara belitan dan inti besi pada trafo [3]. Pemeliharaan transformator dilakukan untuk melihat kondisi transformator dan menjaga efektifitas dan daya tahan sistem ketenagalistrikan [4]

Transformator yang akan diuji (Gambar 1) dan Spesifikasi Transformator (Tabel 1) yang dilakukan di GIS Cipinang sebagai berikut.





Gambar 1. Transformator pada GIS Cipinang

Tabel 1. Spesifikasi Transformator

Serial Number	96P0050
Year Of Manufacture	1997
Standard	IEC 76
Rated Power	60 MVA
Voltage	150kv/20kv
Cooling	ONAN/ONAF - 70/100 %
Frequency	50 Hz
Phases	3
Connection	YNyn0+d
Max. Altitude	1000 m
Type Oil	IEC 296

## 2. Metode Penelitian

Pengambilan data menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif dengan teknik observasi. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk mendapatkan data hasil pengujian tegangan tembus (Gambar 2).



Gambar 2. Prosedur pengujian tegangan tembus (BDV)

## 3. Eksperimental

Langkah-langkah Penggantian Minyak OLTC adalah sebagai berikut. Pertama, buka terlebih dahulu kunci pada valve yang menghubungkan pipa dengan tangki minyak OLTC. kemudian hubungkan selang dengan pipa dan sisi selang satunya lagi dengan pompa (Gambar 3).



Gambar 3. Pembuangan minyak dari tangki minyak OLTC

Siapkan lagi satu buah selang untuk menghubungkan pompa dengan tangki pembuangan (Gambar 4).



Gambar 4. Penyedotan minyak dari tangki minyak OLTC menggunakan pompa

Siapkan minyak bersih sebanyak 2 drum sebagai minyak pengganti. Tahap selanjutnya adalah menghubungkan tangki minyak bersih dengan mesin High Vacuum Oil Purifier.

Lalu buang minyak kotor yang ada ditangki sebanyak 1,5 drum dengan cara mensirkulasi minyak . sirkulasi minyak ini bermaksud untuk membuang kotoran dan endapan yang ada di tangki minyak OLTC.

Setelah minyak selesai disirkulasi, selanjutnya adalah mengisi tangki minyak OLTC dengan minyak baru. Minyak baru yang akan diisi dihubungkan terlebih dahulu ke mesin High Vacuum Oil Purifier sebelum di alirkan ke tangki.

Tahap pertama dalam melakukan pengujian tegangan tembus yaitu menyiapkan peralatan dan bahan pengujian. Bahan yang diperlukan adalah sampel minyak dari main tank dan tubular pada transformator. Peralatan yang digunakan yaitu *BDV tester* dan wadah untuk menempatkan sampel minyak yang sudah diambil.

Setelah melakukan penggantian minyak OLTC, penulis melakukan pengujian tegangan tembus pada minyak main tank dan tubular RST.

Langkah-langkah Pengujian tegangan tembus adalah sebagai berikut. Sebelum melakukan pengujian siapkan sampel minyak yang akan diuji (Gambar 5). Untuk pengambilan sampel dibutuhkan sebuah wadah khusus yang didalamnya terdapat 2 buah elektroda yang berjarak 2,5mm. untuk mengambil sampel minyak sebelumnya wadah harus terlebih dahulu dicuci dan dibilas menggunakan minyak yang akan diambil sampelnya untuk membersihkan kotoran dan partikel serta sisa minyak dari pengujian sebelumnya agar tidak mempengaruhi hasil pengujian.



Gambar 5. Pengambilan sampel minyak

Setelah sampel minyak didapat, letakan wadah yang sudah berisi minyak kedalam alat uji (Gambar 6). Alat uji dapat disebut dengan *BDV tester*.



Gambar 6. Peletakkan sampel minyak pada alat uji

Selanjutnya pengujian dilakukan. alat akan otomatis menguji minyak sebanyak 6 kali dengan total waktu 15 menit.

Setelah melakukan pengujian tegangan tembus, penulis melanjutkan pengujian belitan pada transformator.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan murni dari sebuah belitan (R) sehingga untuk mendapatkan nilai tahanan murni dilakukan pengujian dengan memberikan arus searah (DC) karena jika menggunakan arus bolak – balik akan menimbulkan nilai tahanan induktansi ( $X_L$ ). Pengujian belitan dilakukan pada alat uji belitan transformator (Gambar 7).



Gambar 7. Alat uji belitan transformator

Untuk melakukan pengujian, hubungkan terminal positif dengan bushing salah satu fasa pada transformator menggunakan kabel. Kemudian hubungkan terminal negatif pada bushing netral pada transformator. Lalu, hubungkan terminal tegangan secara paralel dengan belitan. Setelah itu pengujian dapat dilakukan dengan memberikan arus sebesar 10 A.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan penggantian minyak OLTC dan dilanjutkan dengan pengujian tegangan tembus (BDV) pada pada minyak main tank dan tubular RST, maka didapatkan data hasil BDV sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil BDV minyak OLTC

Percobaan	Tegangan Tembus (kV)
1	92,1
2	88,8
3	75,5
4	85,0
5	80,0
6	78,7

Berdasarkan tabel 2, hasil yang didapat merupakan pengujian BDV pada minyak OLTC.

**Tabel 3. Hasil BDV minyak main tank**

Percobaan	Tegangan Tembus (kV)
1	83,8
2	96,0
3	87,0
4	82,0
5	86,1
6	86,6

Berdasarkan tabel 3, hasil yang didapat merupakan pengujian BDV pada minyak main tank.

**Tabel 4. Hasil BDV minyak tubular fasa R**

Percobaan	Tegangan Tembus (kV)
1	48,7
2	72,5
3	65,4
4	88,9
5	89,0
6	55,1

Berdasarkan tabel 4, hasil yang didapat merupakan pengujian BDV pada minyak tubular fasa R.

**Tabel 5. Hasil BDV minyak tubular fasa S**

Percobaan	Tegangan Tembus (kV)
1	42,8
2	42,2
3	55,8
4	57,1
5	59,0
6	54,8

Berdasarkan tabel 5, hasil yang didapat merupakan pengujian BDV pada minyak tubular fasa S.

**Tabel 6. Hasil BDV minyak tubular fasa T**

Percobaan	Tegangan Tembus (kV)
1	47,5
2	52,1
3	58,7
4	65,2
5	64,7
6	66,4

Berdasarkan tabel 6, hasil yang didapat merupakan pengujian BDV pada minyak tubular fasa S.

Dari hasil pengujian diatas, bahwa minyak OLTC, main tank dan tubular fasa R transformator dalam kondisi baik yaitu >60kV, sedangkan minyak tubular fasa S dan T dalam kondisi sedang yaitu 50-60kV[5]. Sesuai standar

maka perlu dilakukan pengambilan sampel lebih sering dan periksa parameter yang lain seperti kandungan air dan partikel, DPF/resistivitas dan keasaman

Dalam pengujian belitan transformator penulis mendapatkan data sebagai berikut.

**Tabel 7. Hasil belitan transformator**

Tahanan Penghantar	Tahanan (mΩ)
R	8,761
S	8,414
T	8,502

Berdasarkan tabel 7, data yang didapat dari hasil pengujian belitan transformator, bahwa transformator dalam kondisi baik yaitu nilai tahanan memiliki nilai yang hampir sama.

## 5. Kesimpulan

Pemeliharaan transformator pada GIS Cipinang antara lain penggantian minyak OLTC, pengujian tegangan tembus/ BDV (*Breakdown Voltage*), dan pengujian belitan transformator dimaksudkan untuk melihat kondisi transformator dan menjaga efektivitas transformator.

Untuk penggantian minyak OLTC, minyak yang sudah terpakai sudah diganti dengan minyak yang baru. Untuk BDV (*Breakdown Voltage*) tembus pada minyak OLTC, main tank, dan tubular fasa R dalam kondisi baik yaitu >60kV. Sedangkan tegangan tembus pada tubular fasa S dan tubular fasa T dalam kondisi sedang yaitu 50-60kV. Untuk pengujian belitan transformator yaitu dalam kondisi baik karena nilai tahanan yang didapat pada belitan fasa R, S, dan T memiliki nilai yang hampir sama.

## Daftar Acuan

- [1] S. A. Aziz, V. Lystianingrum, B. Putri, and A. Priyadi, "Analisis Kualitas Minyak Transformator Daya 25 KVA Berdasarkan Data Citra Kamera Termal dan Data Hasil Uji Gas Chromatograph," vol. 1, no. 1, p. 1, 2012.
- [2] A. Rafianto, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Semarang, "Analisis Sistem On Load Tap Changer (Oltc) Pada Transformator 150 / 20 Kv Untuk Menjaga Kestabilan Tegangan Pada Gi Kaliwungu Jawa Tengah," vol. 1, no. 1, p. 3, 2018.
- [3] A. Makkulau, N. Pasra, and R. R. Siswanto, "Pengujian Tahanan Isolasi Dan Rasio Pada Trafo PS T15 PT Indonesia Power Up MRICA," vol. 10, no. 1, p. 21, 2018.
- [4] D. I. Alamajibuwono, Hadha. Hermawan, "Pemeliharaan Transformator Daya Pada Gardu Induk 150kV Srdondol PT. PLN (PERSERO) P3B JAWA BALI

REGION JAWA TENGAH DAN DIY UPT  
SEMARANG,” p. 1, 2010.

[5] IEC, “Mineral Insulating Oils in Electrical  
Equipment - Supervision and Maintenance Guidance,”  
*IEC 60422*, 2013.

## Pemrograman *Prototype Modular Production System Handling* Menggunakan Bahasa *Sequential Function Chart*

Abraham Akbar Kridoputro<sup>1</sup>, Armando Putramala<sup>1</sup>, Madeleine<sup>1</sup> dan Isdawimah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Otomasi Listrik Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, 16424, Indonesia

<sup>2</sup>Magister Terapan Teknik Elektro, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, 16424, Indonesia

E-mail: arcedoe@gmail.com

### Abstrak

Pada era modern seperti saat ini, efektifitas pekerjaan sangat dibutuhkan. Termasuk dalam proses produksi di dunia perindustrian. Peran manusia dalam pekerjaan yang menjenuhkan dan membutuhkan ketelitian mulai digantikan oleh peran mesin – mesin otomatis. *MPS Handling* ini adalah *prototype* dari mesin yang berada di industri yang bertugas mengangkut dan mensortir benda kerja berdasarkan warna dari benda kerja yang diangkut tersebut. Tujuan dibuatnya *prototype* ini adalah agar para pelajar dan mahasiswa terbiasa dalam mendesain dan membuat program untuk mesin – mesin otomatis di dunia perindustrian. Pemilihan bahasa *SFC (Sequential Function Chart)* juga bertujuan mengenalkan bahasa pemrograman lain selain yang umum digunakan seperti bahasa pemrograman *ladder*. Pemrograman menggunakan bahasa *SFC* menghasilkan program yang lebih efisien dan efektif, juga membuat lebih mudah dalam proses modifikasi program bila ingin dilakukan perubahan.

*Keywords: Handling Station, Modular Production System, Pneumatic, Programmable Logic Controller, Sequential Function Chart*

### 1. Pendahuluan

Pada era modern seperti saat ini peran manusia dalam proses produksi di dunia industri mulai digantikan oleh mesin – mesin yang serba otomatis. Ide dasar otomasi ini yaitu penggunaan elektrik atau mekanik untuk menjalankan mesin atau alat tertentu disertai otak yang mengendalikan mesin atau alat tersebut sehingga produktifitas meningkat dan biaya produksi menurun [1]. Para *engineer* bidang otomasi juga mulai banyak yang mengembangkan desain – desain mesin yang serba otomatis, mesin - mesin tersebut ada yang bekerja dengan penggerak motor listrik, penggerak dengan media fluida (hidrolik), dan penggerak dengan media udara bertekanan (pneumatik) yang mana penggerak tersebut dikendalikan oleh sebuah sistem kontrol. Dalam penerapannya, *system* pneumatik banyak digunakan sebagai automasi [2]. Media penggerak yang lebih dominan digunakan pada *prototype* ini adalah pneumatik.

Dalam proses produksi di dunia industri terdapat berbagai jenis mesin yang dirancang untuk menangani berbagai proses, salah satunya adalah proses penanganan dan sortir. Pada proses ini mesin difungsikan untuk mengambil benda kerja kemudian meletakkannya ke tempat yang sudah disediakan berdasarkan karakteristik benda kerja tersebut.

Untuk melatih pelajar dan mahasiswa bidang otomasi maka dibuatlah sebuah *prototype* yang disesuaikan dengan proses produksi yang disebutkan di atas. Tujuan dari dibuatnya *prototype* tersebut agar para pelajar dan mahasiswa menjadi bisa dan terbiasa merangkai dan membuat program untuk menjalankan berbagai jenis mesin yang ada di industri.

### 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif. Langkah pertama yang

dilakukan pada penelitian ini adalah mengobservasi cara kerja dari *prototype MPS Handling*. Tujuan dari observasi ini adalah untuk mengetahui cara kerja dan komponen apa saja yang digunakan.

Langkah selanjutnya setelah melakukan observasi adalah menentukan kontroler dan bahasa pemrograman yang digunakan untuk menjalankan *prototype* tersebut. Dalam dunia industri, PLC banyak digunakan untuk mengendalikan berbagai mesin produksi dan proses produksi untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas produk yang dihasilkan [3]. Oleh karena itu kontroler yang dipilih untuk digunakan adalah PLC FESTO CPX – CEC dan bahasa pemrograman yang dipilih adalah SFC (*Sequential Function Chart*). *Sequential Function Chart* (SFC) adalah bahasa pemrograman grafis yang digunakan untuk *Programmable Logic Controller* (PLC) [4]. Setelah kontroler dan bahasa pemrograman dipilih, langkah selanjutnya adalah proses pemrograman.

Setelah proses pemrograman, langkah berikutnya yang dilakukan adalah pemasangan instalasi komponen pneumatik dan elektrik. Pada sistem kerja *prototype* ini udara bertekanan dihasilkan dari sebuah kompresor kemudian udara bertekanan tersebut dialirkan menuju unit pelayanan udara (*air service unit*). Pada unit pelayanan udara ini udara bertekanan diatur nilai tekanannya. Untuk keperluan pendidikan biasanya berkisar 4 sampai dengan 8 bar [5]. Pada *prototype* ini tekanan udara kami atur sebesar 6 bar.

### 3. Eksperimental

Langkah pertama pada tahap observasi yang dilakukan adalah melakukan pengamatan cara kerja dari *MPS Handling* dan mencatat komponen apa saja yang digunakan. Dari proses tersebut selanjutnya dapat dilakukan pengalamanan alamat I/O yang disajikan dalam bentuk tabel yang ditampilkan pada **Tabel 1** untuk alamat *input* dan **Tabel 2** untuk alamat *output*.

**Tabel 1. Tabel alamat input PLC**

Alamat	Nama	Keterangan
I0.0	<i>Gripper Hi</i>	Sesnsor <i>reed switch</i> yang mendeteksi posisi silinder penjepit saat berada di atas
I0.1	<i>Gripper Lo</i>	Sesnsor <i>reed switch</i> yang mendeteksi posisi silinder penjepit saat berada di bawah
I0.2	<i>Gripper FullLeft</i>	Sensor <i>reed switch</i> yang

I0.3	<i>Gripper Slider 1</i>	mendeteksi penjepit berada di atas <i>stack magezine</i> Sensor <i>reed switch</i> yang mendeteksi penjepit berada di atas <i>slider1</i>
I0.4	<i>Gripper Slider 2</i>	Sensor <i>reed switch</i> yang mendeteksi penjepit berada di atas <i>slider2</i>
I0.5	<i>GripperSensor</i>	Sensor <i>proximity</i> yang menyala jika penjepit menjepit benda berwarna merah muda
I0.6	<i>MagazineSensor2</i>	Sensor <i>proximity</i> untuk mendeteksi benda kerja setelah didorong keluar dari <i>stack magezine</i>
I0.7	<i>MagazineSensor1</i>	Sensor <i>proximity</i> untuk mendeteksi benda kerja di dalam <i>stack magezine</i>
I1.0	<i>PB start</i>	Tombol untuk menyalakan sistem
I1.1	<i>PB stop</i>	Tombol untuk menghentikan sistem
I1.2	<i>Selector AutoMan</i>	Selektor untuk memilih mode manual atau otomatis

**Tabel 2. Tabel alamat output PLC**

Alamat	Nama	Keterangan
Q0.0	<i>Gripper Down</i>	<i>Output</i> penjepit bergerak turun
Q0.1	<i>Gripper On</i>	<i>Output</i> penjepit aktif
Q0.2	<i>Magezine On</i>	<i>Output</i> silinder <i>stack magezine</i> bergerak maju
Q0.3	<i>Gripper Left</i>	<i>Output</i> motor memutar ke kiri
Q0.4	<i>Gripper Right</i>	<i>Output</i> motor memutar ke kanan



<b>Q0.5</b>	<i>Red Lamp</i>	Lampu tanda kondisi mesin berhenti
<b>Q0.6</b>	<i>Yellow Lamp</i>	Lampu tanda kondisi barang habis
<b>Q0.7</b>	<i>Green Lamp</i>	Lampu tanda kondisi mesin berjalan

Kemudian setelah melakukan tahap observasi, selanjutnya dilakukan proses pemrograman PLC. Pembuatan program PLC dilakukan dengan menggunakan software CoDeSys V2.3 program dibuat dalam bahasa pemrograman SFC. Setelah program dibuat, kemudian program diunduh ke PLC dengan menggunakan kabel ethernet.

Setelah tahap pembuatan program, langkah berikutnya yang dilakukan adalah menginstalasi komponen pneumatik dan mekanik seperti *air service unit, valve, cylinder, gripper, stack magazine, motor* dan *slider*. Komponen – komponen tersebut dipasang diatas sebuah plat alumunium yang terpasang di atas sebuah *trolley*. Setelah komponen – komponen tersebut terpasang dengan sempurna langkah selanjutnya adalah menghubungkan komponen – komponen pneumatik tersebut dengan menggunakan selang udara.

Selanjutnya adalah proses menginstalasi komponen elektrik. Pada tahap ini dilakukan pengaturan posisi dan sensitifitas sensor – sensor yang digunakan. Selain itu juga dilakukan pengkabelan komponen – komponen elektrik, pengkabelan dilakukan berdasarkan alamat I/O yang sudah dibuat.

Langkah terakhir dalam proses perakitan ini adalah menghubungkan suplai listrik DC 24 V dan suplai udara bertekanan sebesar 6 bar.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

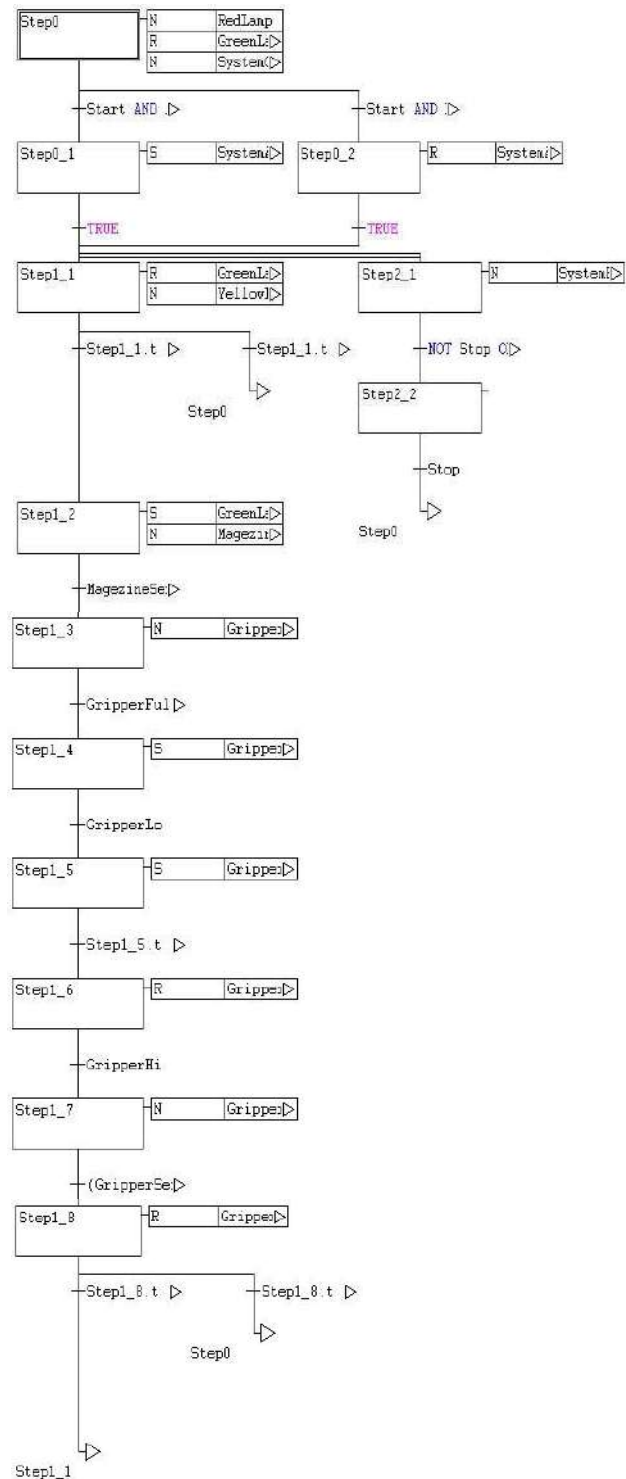
Dari tahap proses pemrograman menghasilkan, sebuah program dalam bahasa SFC, yang membuat *prototype MPS Handling* ini dapat bekerja dalam dua mode, yaitu secara manual dan otomatis.

Pada saat mode manual, *MPS Handling* hanya akan bekerja satu siklus dalam setiap penekanan tombol *START*. Sementara pada saat mode otomatis, *MPS Handling* akan terus mengulang siklus kerja dalam satu penekanan tombol *START* dan siklus kerja akan berhenti ketika tombol *STOP* ditekan atau benda kerja pada *stack magazine* habis.

Dari proses pemrograman tersebut juga membuat *MPS* ini mampu membedakan warna benda kerja yang sedang

diangkut oleh *gripper* dan meletakkannya pada *slider* yang berbeda pula antara warna satu dengan yang lain.

Hasil pemrograman dalam bahasa SFC menggunakan software pemrograman CoDeSys V2.3 ditampilkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Hasil pembuatan program**

Pada tahap instalasi komponen pada plat alumunium, tata letak komponen disusun seperti yang terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Hasil pemasangan komponen pada plat alumunium**

Pada tahap instalasi komponen pneumatik, untuk menyalurkan udara bertekanan menuju aktuator pneumatik digunakan selang udara sebagai media penyaluran. Contoh dari hasil instalasi ini dapat dilihat pada **Gambar 3**. Panjang dari selang pneumatik ini disesuaikan dengan jarak maksimum dari pergerakan dari *MPS Handling*, tujuannya adalah agar pergerakan dari *MPS Handling* tidak terbatas oleh panjang selang.



**Gambar 3. Hasil instalasi komponen pneumatik**

Tahap berikutnya setelah instalasi komponen pneumatik adalah pemasangan dan pengaturan posisi sensor untuk mendeteksi benda kerja. Pada proses ini dilakukan pengaturan posisi dan sensitifitas sensor agar sensor bisa

mendeteksi benda kerja dengan akurat. Hasil dari proses ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4. Hasil pengaturan posisi sensor**

Hasil dari proses instalasi komponen elektrik dapat dilihat pada **Gambar 5**. Desain dan tata letak kontrol panel, terminal kabel, dan *PLC* dibuat seperti pada gambar dengan tujuan *prototype* ini dapat dengan mudah dibongkar pasang untuk pembelajaran.



**Gambar 5. Hasil instalasi komponen elektrik**

## 5. Kesimpulan

Tujuan pembuatan *prototype MPS Handling* ini agar pelajar atau mahasiswa dapat mempelajari sistem otomasi sebuah proses penanganan dan pensortiran benda kerja berdasarkan warna. Selain itu dengan pemilihan bahasa pemrograman *SFC* yang digunakan, juga bertujuan agar banyak orang yang lebih familiar dengan bahasa pemrograman lain selain yang umum digunakan seperti bahasa pemrograman *ladder*. Dengan berbagai jenis bahasa pemrograman orang akan memilih

bahasa pemrograman yang sesuai dengan deskripsi kerja dari alat yang akan mereka program. Bahasa pemrograman *SFC* ini sangat cocok untuk proses kerja alat atau mesin yang bersifat berurutan. Penyajiannya dalam bentuk grafis juga memudahkan pemrogram dalam membuat logika program yang efektif dan sederhana.

### **Daftar Acuan**

- [1] A. Sukendar, Martinus, and N. Tanti, "Pembuatan Sistem Otomasi untuk Pengaturan Mekanisme Kerja Mesin Cetak Kerupuk Menggunakan Mikrokontroler ATmega," *FEMA*, vol. 1, no. 1, pp. 31–38, 2013.
- [2] A. Kahlid and H. Raihan, "Rancang Bangun Simulasi Sistem Pneumatik Untuk Pemindah Barang," *INTEKNA*, vol. 16, no. 1, pp. 39–44, 2016.
- [3] D. W. Nugraha, "Sistem pengaturan mesin pemotong kentang berbasis," *SMARTek*, vol. 8, no. 4, pp. 270–279, 2010.
- [4] Winwin, Soeharsono, and A. Halim, "Pengendalian Modul Overhead Handling Station Berbasis Sequential Function Chart," *POROS*, vol. 13, no. 1, pp. 15–22, 2015.
- [5] A. Akhmad, "Perancangan Simulasi Sistem Pergerakan Dengan Pengontrolan Pneumatik Untuk Mesin Pengamplas Kayu Otomatis," *J. Rekayasa Sriwij.*, vol. 18, no. 3, pp. 21–28, 2009.

## Analisis Kualitas Jaringan 4G LTE dengan Metode Drive Test pada Jalur Pelayaran Tanjungpinang-Batam

Fitri Farida<sup>1</sup>, Sapta Nugraha<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Maritim Raja Ali Haji

<sup>1,2</sup>Jl. Politeknik Senggarang, Tanjungpinang 29100

E-mail: fitri.farida.fte@umrah.ac.id, saptanugraha@umrah.ac.id

### Abstrak

Perkembangan teknologi komunikasi seluler terus meningkat baik dari segi produk dan layanan. Teknologi telekomunikasi 4G LTE telah menjadi standar dalam layanan seluler di Indonesia. Pengamatan kualitas jaringan menggunakan metode drive test dengan aplikasi yang sesuai dengan 4G LTE salah satunya *G-Net Track Pro*. Lokasi penelitian merupakan jalur pelayaran Tanjungpinang – Batam. Pengukuran kualitas jaringan berdasarkan parameter RSRP (*Reference Signal Receives Power*), RSRQ (*Reference Signal Receives Quality*), SINR (*Signal to Interference Noice Ratio*). Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan pada jalur pelayaran Tanjungpinang – Batam menggunakan kapal ferry maka diperoleh nilai presentase RSRP untuk kategori sangat baik 1,2 %, baik 2 %, normal 19,7 %, buruk 76,7 % dan sangat buruk 0,4 %. Presentase nilai RSRQ yaitu sangat baik 3,1 %, baik 5,95 %, normal 62,9 %, buruk 26,4 %, sangat buruk 1,71 %. Presentase nilai SINR kategori sangat baik 0,2 %, baik 39,4 %, normal 38,3 %, buruk 21,6 % dan sangat buruk 0,6 %.

*Keywords: Drive test, G-Net Track Pro., RSRP, RSRQ, SINR*

### *Analysis of 4G LTE Network Quality with the Drive Test Method on the Tanjungpinang-Batam Shipping Line*

#### Abstract

The development of cellular communication technology continues to increase both in terms of products and services. 4G LTE telecommunications technology has become a standard in cellular services in Indonesia. Observing network quality using the drive test method with applications that are compatible with 4G LTE, one of which is *G-Net Track Pro*. The research location is the Tanjungpinang - Batam shipping line. Measurement of network quality based on parameters RSRP (*Reference Signal Receives Power*), RSRQ (*Reference Signal Receives Quality*), SINR (*Signal to Interference Noice Ratio*). Based on the results of measurements that have been made on the Tanjungpinang - Batam shipping line using ferries, the RSRP percentage value is very good at 1.2%, good 2%, normal 19.7%, bad 76.7% and very bad 0.4 %. The percentage of RSRQ values is very good 3.1%, good 5.95%, normal 62.9%, bad 26.4%, very bad 1.71%. The percentage of SINR score in the category of very good is 0.2%, good 39.4%, normal 38.3%, bad 21.6% and very bad 0.6%.

*Keywords: Drive test, G-Net Track Pro., RSRP, RSRQ, SINR*

#### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi di dunia terjadi dengan sangat pesat karena adanya kebutuhan untuk berkomunikasi dan bertukar data dengan cepat, mudah

dan *mobile*. Perkembangan komunikasi ditandai dengan pengembangan teknologi sistem komunikasi bergerak yang dimulai dari generasi pertama ke generasi berikutnya, seperti teknologi yang sedang dikembangkan saat ini yaitu 4G *Long Term Evolution* (LTE). Teknologi

4G LTE menjadi solusi untuk para konsumen yang menginginkan kecepatan dalam mengakses data [1].

Teknologi telekomunikasi 4G LTE telah menjadi standar dalam layanan seluler di Indonesia. Setiap operator layanan seluler terus melakukan perluasan jaringan 4G LTE di berbagai daerah, khususnya di kota – kota dengan trafik layanan data yang tinggi, termasuk kota Tanjungpinang dan Batam. Kota Tanjungpinang dan Batam merupakan kota yang terpisahkan oleh laut. Rute Pelayaran Tanjungpinang – Batam merupakan jalur pelayaran yang selalu ramai dilalui oleh masyarakat.

Pada artikel ini operator seluler yang dianalisis adalah Telkomsel yang merupakan operator yang banyak digunakan oleh masyarakat di daerah karena memiliki cakupan yang luas. Suatu upaya diperlukan untuk menjamin kualitas layanan LTE yang dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran menggunakan metode *drive test*. Pengukuran dengan metode *drive test* harus dilengkapi perangkat lunak yang mendukung seperti pada penelitian ini menggunakan G-Net Track Pro.

### 1.1. 4G Long Term Evolution (LTE)

4G LTE diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan 4G LTE antara lain kecepatannya dalam mengirimkan data, memberikan jangkauan area yang luas, kapasitas layanan yang lebih besar, arsitektur jaringan sederhana, biaya operasional yang rendah, mendukung pengguna *multiple* antena, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth*, dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada. Teknologi LTE mampu melayani kecepatan data puncak *downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gbps saat bergerak pelan atau diam [2]. Hal ini memungkinkan penggunaan layanan telekomunikasi yang handal dalam teknologi masa depan yang membutuhkan layanan maksimal bagi para pengguna di berbagai belahan dunia.

### 1.2. Reference Signal Receives Power (RSRP)

Parameter RSRP adalah parameter spesifik pada *drive test* 4G LTE dan digunakan oleh perangkat untuk menentukan titik *handover*. Daya dari sinyal referensi merupakan sinyal LTE daya yang diterima oleh pengguna dalam frekuensi tertentu. Semakin jauh jarak antara *site* dan pengguna, maka semakin kecil pula RSRP yang diterima oleh pengguna. RS merupakan *Reference Signal* atau RSRP di tiap titik jangkauan area. Pengguna yang berada di luar jangkauan, maka tidak akan mendapatkan layanan LTE. Kategori nilai RSRP berdasarkan standar KPI dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Kategori Nilai RSRP

Kategori	Range Nilai RSRP
Very good	$(-80) \leq x$
Good	$(\leq -90) x < (-80)$
Normal	$(\leq -100) x < (-90)$
Bad	$(\leq -120) x < (-100)$
Very bad	$(< -120) x$

### 1.3. Reference Signal Receives Quality (RSRQ)

*Reference Signal Receive Quality* merupakan kualitas sinyal yang diterima *User Equipment* (UE). RSRP merupakan rasio antara RSRP dan *wideband power*. RSRQ juga dipengaruhi oleh sinyal, *noise* dan *interference* yang diterima UE. Satuan RSRQ adalah decibel (dB) dan nilainya selalu negatif (karena nilai RSSI selalu lebih besar dibandingkan dengan  $N \times RSRP$ ). RSRQ membantu sistem dalam proses *handover* di mana RSRQ dapat mengkategorikan layanan kinerja kandidat sel dalam proses *cell selection-reselection* dan *handover* berdasarkan kualitas sinyal yang diterima. Kategori nilai RSRQ berdasarkan standar KPI dijelaskan pada tabel 2.

### 1.4. Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

SINR merupakan rasio kuat sinyal antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dibanding noise background yang timbul (tercampur dengan sinyal utama). Dalam arti rasio antara rata-rata power diterima dengan rata-rata interferensi dan noise [3]. Kategori nilai SINR dijelaskan pada tabel 3.

Tabel 2. Kategori Nilai RSRQ

Kategori	Range Nilai RSRQ
Very good	$(-9) \leq$
Good	$(-10) \leq x < (-9)$
Normal	$(-15) \leq x < (-10)$
Bad	$(-19) \leq x < (-15)$
Very bad	$(-20) <$

Tabel 3. Kategori Nilai SINR

Kategori	Range Nilai RSRQ
Very good	$(30) \leq x < (15)$
Good	$(15) \leq x < (0)$
Normal	$(0) \leq x < (-5)$
Bad	$(-5) \leq x < (-11)$
Very bad	$(-11) \leq x < (-20)$

### 1.5. Drive Test

Drive Test adalah pengambilan data yang dilakukan untuk mengamati performansi kondisi area cakupan. Hal ini dilakukan guna mengamati dan merupakan tahap untuk mengetahui kondisi jaringan dan pengukuran kuat sinyal. Drive test bertujuan untuk mengumpulkan informasi jaringan secara *real* di lapangan. Informasi yang dikumpulkan merupakan kondisi aktual Radio Frekuensi (RF) di suatu *eNodeB* [4].

### 1.6. G-Net Track Pro

G-Net Track Pro adalah suatu aplikasi berbasis android untuk melakukan monitoring jaringan UMTS, GSM, LTE, CDMA dan EVDO. Aplikasi ini memonitor *service* dari CELL ID, LEVEL, QUAL, MCC, MNC, LAC, waktu cell, servis cell yang berdekatan dan levelnya [5]. Perangkat ini memungkinkan pemantauan dan pencatatan informasi jaringan seluler dan sel tetangga tanpa menggunakan perangkat khusus. Perangkat ini dapat digunakan oleh profesional untuk mendapatkan wawasan yang lebih baik tentang jaringan nirkabel dan perangkat radio seluler. Gambar 1 menunjukkan tampilan aplikasi *G-Net Track Pro* untuk Operator Telkomsel.

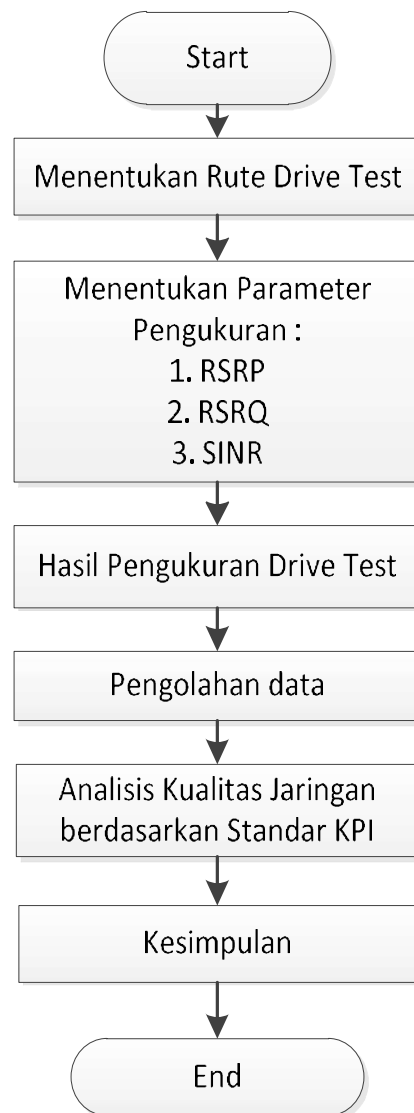
## 2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di jalur pelayaran Tanjungpinang - Batam. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2019. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data yang diperoleh setelah melakukan *drive test*. Pengukuran yang dilakukan adalah dengan metode drive test untuk mengukur kualitas sinyal 4G LTE menggunakan software *G-Net Track Pro*.



Gambar 1. Tampilan aplikasi *G-Net Track Pro*

Rute *drive test* pada penelitian ini adalah jalur pelayaran dari Pelabuhan Sri Bintang Pura Tanjungpinang sampai ke Pelabuhan Telaga Punggur Batam menggunakan kapal ferry. Setelah menentukan rute, maka berikutnya adalah menentukan parameter kualitas jaringan 4G LTE yaitu Parameter RSRP, RSRQ dan SINR sebagai parameter pengukuran. Nilai dari setiap parameter kualitas jaringan 4G nantinya akan ditentukan kategori sesuai dengan standar KPI. Pengukuran menggunakan *handphone* android yang telah di-*install* aplikasi G-Net Track Pro. Proses pengambilan data dilakukan dengan metode *drive test*, kemudian data akan terekam pada aplikasi. Hasil perekaman data tersebut selanjutnya dilakukan analisis data, sehingga dapat diperoleh kesimpulan kualitas jaringan 4G LTE pada jalur pelayaran Tanjungpinang – Batam sesuai dengan standar KPI. Gambar 2 menunjukkan diagram alir perancangan perangkat pengukuran parameter kualitas jaringan 4G LTE.



Gambar 2. Diagram alir perangkat pengukuran



### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Parameter RSRP

Tabel 4 menunjukkan hasil drive test untuk parameter RSRP pada daya sinyal yang diterima oleh pengguna. Pada pengukuran yang telah dilakukan nilai RSRP terbaik yaitu -72 dBm pada koordinat *longitude* 104.15005 dan *latitude* 1.0202823 sedangkan nilai terburuk yaitu -136 dBm pada koordinat *longitude* 104.23663 dan *latitude* 0.9635052. Presentase terbesar adalah pada kategori buruk dengan persentase 76,7 %. Rata – rata keseluruhan nilai RSRP yaitu -105,3 dBm dengan kategori buruk.

#### 3.2. Parameter RSRQ

Tabel 5 menunjukkan hasil drive test untuk parameter RSRQ jaringan 4G LTE. Hasil didapatkan bahwa nilai terbaik yaitu -8 dBm pada koordinat *longitude* 104.26274 dan *latitude* 0.9532649, sedangkan nilai terburuk yaitu -20 dBm pada koordinat *longitude* 104.21284 *latitude* 0.9698853, *longitude* 104.21274 *latitude* 0.9699273. Persentase terbesar berada pada kategori normal sebesar 62,9 %. Rata – rata nilai RSRQ yaitu -13,8 dBm dengan kategori normal.

**Tabel 4. Hasil drive test parameter RSRP**

Kategori	Range Nilai RSRP	Jumlah titik	%
Very good	$(-80) \leq x$	22	1,2 %
Good	$(\leq -90) x < (-80)$	36	2 %
Normal	$(\leq -100) x < (-90)$	358	19,7 %
Bad	$(\leq -120) x < (-100)$	1393	76,7 %
Very bad	$(< -120) x$	7	0,4 %
Rata - rata			-105,3

**Tabel 5. Hasil drive test parameter RSRQ**

Kategori	Range Nilai RSRQ	Jumlah Titik	Presentase
Very good	$(-9) \leq$	56	3,1 %
Good	$(-10) \leq x < (-9)$	108	5,95 %
Normal	$(-15) \leq x < (-10)$	1142	62,9 %
Bad	$(-19) \leq x < (-15)$	479	26,4 %
Very bad	$(-20) <$	31	1,71 %
Rata - rata			-13,8

**Tabel 6. Hasil drive test parameter SINR**

Kategori	Range Nilai RSRQ	Jumlah Titik	%
Very good	$(30) \leq x < (15)$	3	0,2 %
Good	$(15) \leq x < (0)$	702	39,4 %
Normal	$(0) \leq x < (-5)$	681	38,3 %
Bad	$(-5) \leq x < (-11)$	384	21,6 %
Very bad	$(-11) \leq x < (-20)$	10	0,6 %

#### 3.3. Parameter SINR

Tabel 6 menunjukkan hasil drive test untuk parameter SINR. Analisis data hasil pengukuran untuk parameter SINR menunjukkan nilai SINR terbaik yaitu 15.8 dB pada titik koordinat *longitude* 104.13352 dan *latitude* 1.0350738 sedangkan nilai terburuk -13,4 dB pada titik koordinat *longitude* 104.21226 dan *latitude* 0.9702091 . Presentase terbesar yaitu 39,5 % dengan kategori baik.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengukuran parameter 4G LTE Telkomsel pada jalur Pelayaran Tanjungpinang – Batam, maka diperoleh kesimpulan bahwa untuk parameter RSRP rata – rata nilai adalah -105,3 (kategori buruk) dengan presentase terbesar adalah 76,7 % pada kategori buruk. Sedangkan untuk parameter RSRQ nilai rata – rata -13,8 (kategori normal) dengan presentase terbanyak adalah 62,9 % pada kategori normal. Parameter SINR presentase terbanyak pada kategori baik yaitu 39,4 %.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH) melalui Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat, dan Penjaminan Mutu (LP3M) UMRAH yang telah membiayai penelitian ini dalam skema Hibah Penelitian Dosen Muda.

### Daftar Acuan

- [1] A.R. Irianto, M.F.E. Purnomo, E.B. Purnomowati, Analisis Nilai Level Daya Terima menggunakan Model Walfisch-Ikegami pada Teknologi Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 1800 MHz, *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 2 n. 6, 2014, pp. 1 – 6.
- [2] W.H. Pratama, U.K. Usman, S.D. Mardiyanto, Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) menggunakan Metode Frekuensi Reuse 1, Fractional Frequency Reuse dan Soft Frequency Reuse Studi Kasus Kota Bandung, *e-Proceeding of Engineering*

*vol. 1, n. 1*, Desember 2014, pp. 111 – 117, Telkom University, Bandung.

[3] F. Afroz, R. Subramanian, R. Heidary, K. Sandrasegaran, and S. Ahmed, SINR, RSRP, RSSI and RSRQ Measurements in Long Term Evolution Networks, *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, *vol.7. n. 4*, August 2015, pp. 113 – 123.

[4] I.G.M.Y.P.A. Saputra, P.K. Sudiarta, G. Sukadarmika, Analisis Hasil Drive Test menggunakan

Software G-NET dan NEMO di Jaringan LTE Area Denpasar, *E-Journal SPEKTRUM*, *vol.5, n. 2*, Desember 2018, pp. 216 – 223.

[5] <http://gyokovsolutions.com/manuals/gnettrackpromanual.php>, diakses tanggal 20 April 2019.

## Pemetaan Ruang dengan Metode *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) Berbasis LiDAR

Moch Bilal Zaenal Asyikin<sup>1</sup>, Dimas Novendra Pramudia<sup>1</sup>, Amar Fadillah<sup>1</sup>,  
Dadan Nurdin Bagenda<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung, 40012

E-mail: [bilalmoch@gmail.com](mailto:bilalmoch@gmail.com)

### Abstrak

Teknologi navigasi robotik banyak dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan robot. Penggunaan kamera dengan OpenCV menjadi salah satunya. Namun, penggunaan teknologi OpenCV kurang baik dalam kondisi medan yang kotor atau berdebu karena mengganggu pemrosesan citra gambar yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, telah dilaksanakan penggunaan LiDAR sebagai sensor yang handal terhadap kondisi lapang yang tidak memiliki pencahayaan yang baik sebagai pengganti kamera. Percobaan secara eksperimental dan *trial and error* dilakukan untuk memastikan LiDAR bekerja sesuai spesifikasi yang diberikan. Hasil dari percobaan menunjukkan LiDAR dapat bekerja dengan baik dengan memberikan data jarak, jumlah sudut dan frekuensi *scanning* sesuai dengan spesifikasi. Percobaan selanjutnya adalah menerapkan metode *Simultaneous localization and Mapping* (SLAM) agar LiDAR dapat digunakan untuk melakukan pemetaan ruang. Dengan menggunakan *Robot Operating System* (ROS) versi melodic pada ubuntu versi bionic, pemetaan berhasil dilakukan dengan menggunakan tool Rviz yang menampilkan hasil dari pemetaan dengan persentase keberhasilan pemetaan sebesar 73.7%.

*Keywords: LiDAR, Navigation, ROS, SLAM.*

### 1. Pendahuluan

Pertumbuhan teknologi robotik di era globalisasi ini telah diikuti oleh peningkatan kemampuan dari robot itu sendiri yang semakin cerdas. Teknologi yang banyak dikembangkan adalah dalam hal navigasinya. Terdapat beberapa opsi penggunaan sensor yang membantu navigasi semakin baik. Salah satu yang sudah dikembangkan adalah penggunaan kamera dengan teknologi OpenCV yang dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan efisien dibanding dengan penggunaan sensor deteksi jalur (Guobo & Wen, 2013). Namun penggunaan kamera tersebut dianggap kurang tepat jika digunakan di medan yang tidak memiliki pencahayaan yang baik atau gelap. Selain itu penggunaan teknologi OpenCV kurang baik dalam kondisi medan yang kotor atau berdebu karena mengganggu pemrosesan citra gambar yang dihasilkan. Untuk mengatasi masalah-masalah diatas digunakanlah sensor lain yang handal terhadap kondisi lapang yang tidak memiliki pencahayaan yang baik dan memiliki algoritma yang lebih sederhana yaitu sensor *Light Detection And Ranging* (LiDAR).

Trend penggunaan LiDAR saat ini mengarah kepada penggunaannya yang dilengkapi dengan motor sebagai

penggerak sehingga LiDAR dapat berputar 360 derajat. Keuntungannya adalah penggunaan satu LiDAR yang mampu mendeteksi jarak seluruh lingkungan dihadapannya. Namun, kendalanya adalah algoritma pembacaan jarak lingkungan yang semakin kompleks sehingga perkembangan *mobile robot* dengan menggunakan LiDAR sulit berkembang.

Berdasarkan latar belakang yang telah disajikan, maka pada penelitian ini dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan sensor LiDAR dalam memetakan ruang dengan metoda *Simultaneous localization and mapping* (SLAM).

### 2. Metode Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan dengan metode eksperimental dan metode *trial and error*. Pada tahapan awal, dilakukan pengujian terhadap spesifikasi dan karakteristik sensor LiDAR dengan metode eksperimental. Hasil pengujian pada tahapan tersebut menjadi nilai referensi untuk membuat algoritma pemrograman dalam melakukan pemetaan. Sedangkan pada tahapan pembuatan algoritma pemrograman metode yang digunakan adalah *trial and error*. Metode tersebut digunakan untuk menghasilkan

algoritma yang paling sesuai dengan spesifikasi dan karakteristik dari seluruh komponen yang digunakan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam proses pelaksanaan program penelitian, ada beberapa tahap yang telah dilaksanakan. Berikut merupakan tahapan yang telah dilaksanakan.

#### A. Pengujian Sensor LiDAR

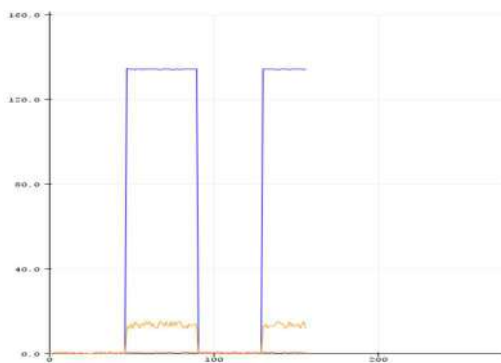
Untuk memastikan LiDAR layak pakai, dilakukan beberapa pengujian untuk kemudian dibandingkan dengan *datasheet* yang telah disediakan oleh pihak produsen. Pengujian dilakukan dengan mengambil data sensor LiDAR yang telah di hubungkan dengan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560. Pemilihan Arduino Mega 2560 berdasarkan kepada kebutuhan komunikasi antara sensor LiDAR, Mikrokontroler dan Laptop yang membutuhkan lebih dari satu komunikasi serial. Arduino Mega 2560 memiliki 4 buah komunikasi serial. Berikut merupakan parameter – parameter hasil pengujian.

##### 1) Jarak

Pengujian jarak dilakukan dengan mengambil data jarak yang dihasilkan sensor LiDAR dengan jarak sebenarnya yang diukur menggunakan penggaris. Pengujian dilakukan didalam ruangan dengan cahaya ruang lampu tanpa ada tambahan cahaya sumber lainnya.

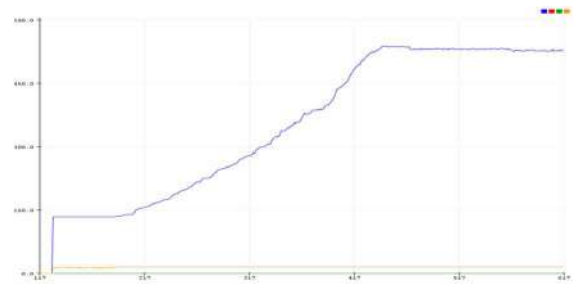


Gambar 3.1 Pengujian jarak



Gambar 3.2 Pengujian jarak

Berdasarkan Gambar 3.2, sensor LiDAR memberikan keluaran nilai 0 ketika jarak yang diukur lebih kecil dari 87 mm. sehingga dapat disimpulkan sensor LiDAR yang digunakan memiliki keterbatasan pembacaan jarak (*blind spot*) yaitu minimal 87 mm.



Gambar 3.3 Linearitas pembacaan jarak antara 87 – 500 mm

Tabel 1. Hasil Pengukuran Jarak

Sudut (°)	Jarak real (mm)	Jarak Terbaca (mm)	Selisih (mm)
0 - 0.5	<87	0	<87
	87	133.75	46.75
	90	134.75	44.75
	100	140.75	40.75
	150	187.50	37.5
	200	235.50	35.5
	250	282	32
	300	329	29
	350	377	27
	400	425.50	25.5
	450	478.50	28.5
	500	528	28
	1000	1039.75	39.75
1500	1557.25	57.25	
Selisih Rata - Rata			36.33

Pengujian jarak dilakukan pada sudut 0 – 0.5 derajat celcius dan dengan jarak 0 – 1500 mm. berdasarkan Tabel 4.1 selisih jarak minimum adalah 25.5 mm dan selisih jarak maksimum adalah 57.25 mm. jika mangacu pada *datasheet* sensor LiDAR pada Tabel 4.2 sensor memiliki akurasi 1%. Namun peneliti berasumsi bahwa titik pengukuran yang dilakukan antara produsen dan peneliti berbeda. Selain itu, data yang diambil merupakan data acak diantara sudut 0 derajat sampai 0.5 derajat. Sehingga untuk memastikan kelayakan sensor LiDAR dilakukan pada parameter lainnya.

Tabel 2. Spesifikasi LiDAR

Item	Unit	Min	Typical	Max	Comments
Distance Range	Meter(m)	TBD	0.15 - 6	TBD	White objects
Angular Range	Degree	n/a	0-360	n/a	
Distance Resolution	mm	n/a	<0.5 <1% of the distance	n/a	<1.5 meters All distance range*
Angular Resolution	Degree	n/a	≤1	n/a	5.5Hz scan rate
Sample Duration	Millisecond(ms)	n/a	0.5	n/a	
Sample Frequency	Hz	n/a	≥2000	2010	
Scan Rate	Hz	1	5.5	10	Typical value is measured when RPLIDAR A1 takes 360 samples per scan

```
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 6
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 6
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 6
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 7
frekuensi scene : 6
```

Gambar 3.5 Frekuensi scanning

Secara keseluruhan, sensor LiDAR menghasilkan keluaran yang sesuai dengan datasheet seperti pada Tabel 4.2. Sehingga dapat disimpulkan sensor LiDAR yang dipakai layak untuk digunakan

### 2) Jumlah Sudut

Pengujian berikutnya adalah menguji jumlah tiap sudut yang diukur jaraknya. Proses penghitungan jumlah sudut dilakukan dengan memanfaatkan data *start bit* yang dihasilkan oleh sensor. *Start bit* merupakan data yang diberikan sensor ketika akan mulai melakukan proses *scanning*. Data *start bit* bernilai logika 1. Berikut merupakan hasil pengujian jumlah sudut.

```
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
302
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
Total angle :
303
```

Gambar 3.4 Pengujian jumlah sudut pada 10 proses scanning

### 3) Frekuensi scanning

Pengujian frekuensi dilakukan dengan menghitung jumlah proses *scanning* sensor LiDAR dalam satu detik. Sama halnya dengan pengujian jumlah sudut, data *start bit* digunakan sebagai acuan sensor ketika memulai proses *scanning*. Kemudian data *start bit* dijumlahkan dalam waktu satu detik. Berdasarkan Gambar 3.5, frekuensi yang terukur adalah 6 – 7 Hz. Berikut merupakan hasil pengujian.

### B. Robot Operating System (ROS)

Tahapan selanjutnya setelah memastikan sensor LiDAR berfungsi dengan baik adalah menginstal *Robot Operating System* (ROS). Dalam penelitian ini ROS yang digunakan adalah tipe Melodic menyesuaikan dengan sistem operasi yang digunakan pada laptop adalah versi 18.04.3 Bionic. *Robot Operating System* (ROS) adalah sebuah tool atau disebut juga middleware yang sudah sangat populer di kalangan para robotic *researchers* bidang robotika. ROS hanya dapat dijalankan secara keseluruhan pada sistem operasi Linux, namun dapat di install di Windows dalam bentuk exe. Pada penelitian ini digunakan tool Rviz untuk menampilkan GUI dari ROS yang terinstal.

#### 1) Instalasi ROS

Berikut merupakan *command* yang harus diketikkan pada terminal Ubuntu.

```
sudo sh -c 'echo "deb
http://packages.ros.org/ros/ubuntu $(lsb_release -sc)
main" > /etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
sudo apt-key adv --keyserver
'hkp://keyserver.ubuntu.com:80' --recv-key
C1CF6E31E6BADE8868B172B4F42ED6FBAB17C654
sudo apt update
sudo apt install ros-melodic-desktop-full
sudo rosdep init
rosdep update

echo "source /opt/ros/melodic/setup.bash" >>
~/.bashrc

source ~/.bashrc

source /opt/ros/melodic/setup.bash
```

## 2) Instalasi Catkin dan Library

Berikut merupakan *command* yang harus diketikkan pada terminal Ubuntu.

```
sudo apt-get install catkin
mkdir -p ~/catkin_ws/src
cd ~/catkin_ws/src
catkin_init_workspace
```

```
git clone
https://github.com/robopeak/rplidar\_ros.git
```

```
cd ~/catkin_ws/
catkin_make
```

```
source devel/setup.bash
```

## C. Metode SLAM

Tahap selanjutnya adalah menggunakan metode *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) untuk menampilkan pemetaan ruangan yang dilewati sensor LiDAR menggunakan tool Rviz. Pada tahap ini digunakan *library* yang telah disediakan oleh tim hector SLAM. Berikut merupakan proses instalasi library hector SLAM.

```
sudo apt-get install qt4-qmake qt4-dev-tools
cd ~/catkin_ws/src
git clone https://github.com/tu-darmstadt-ros-pkg/hector\_slam.git
cd ~/catkin_ws
catkin_make
```

Sebelum memulai percobaan SLAM, ada beberapa list program yang harus diedit, hal ini dikarenakan tidak digunakannya sensor posisi pada penelitian ini. Sedangkan *library* yang dibuat oleh tim hector SLAM menggunakan metode sensor posisi. Beberapa list program yang diedit adalah sebagai berikut.

Pada File :

```
catkin_ws/src/hector_slam/hector_mapping/launch/mapping_default.launch
```

Mengedit list program baris ke-3 menjadi :

```
<arg name="base_frame" default="base_link"/>
dan mengedit program baris ke-4 menjadi
<arg name="odom_frame" default="base_link"/>
dan mengedit program pada dua baris terakhir menjadi
<node pkg="tf" type="static_transform_publisher"
name="base_to_laser_broadcaster" args="0 0 0 0 0
base_link laser 100" />
```

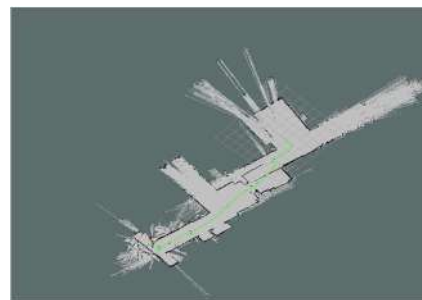
Kemudian pada file :

```
catkin_ws/src/hector_slam/hector_slam_launch/launch/tutorial.launch
```

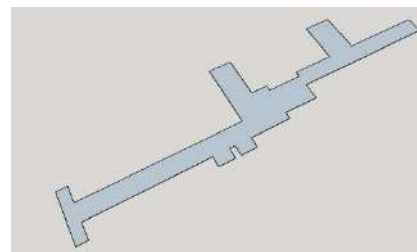
Mengedit list program pada baris ke-3 menjadi:

```
<param name="/use_sim_time" value="false"/>
```

Setelah semua program telah dimodifikasi, langkah selanjutnya adalah memanggil beberapa fungsi rplidar ros pada setiap terminal yaitu roscore, rplidar.launch dan tutorial.launch. Berikut merupakan hasil percobaan pemetaan menggunakan metode SLAM yang telah dilakukan di Lab Elektronika Politeknik Negeri Bandung.



Gambar 3.6 Hasil pemetaan Lab Elektronika Politeknik Negeri Bandung

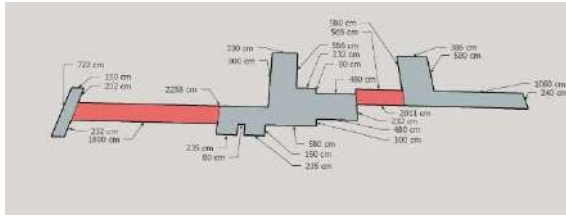


Gambar 3.7 Peta asli Lab Elektronika Politeknik Negeri Bandung

Berdasarkan Gambar 3.6 pemetaan ruang menggunakan metode SLAM telah berhasil dilakukan. Jika dibandingkan dengan peta asli pada Gambar 3.7 terdapat beberapa kesalahan dari hasil pemetaan diantaranya pemetaan pada ruang dengan jarak yang sama hanya terbaca diawal saja. Sehingga pada Gambar 3.6 terdapat hasil pemetaan yang lebih pendek dari ruang yang sebenarnya di lapangan seperti pada Gambar 3.7. Hal ini terjadi karena tidak digunakan sensor posisi pada penelitian ini. Sehingga ketika sensor bergerak menelusuri ruang dengan jarak yang sama, hasil dari GUI yang ditampilkan pada tool Rviz seolah-olah tidak terjadi perpindahan posisi. Jika pengukuran kesalahan dimulai dari titik awal kesalahan pemetaan, maka kesalahan



pemetaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8 pada area berwarna merah.



Gambar 3.8 Kesalahan pemetaan Lab Elektronika Politeknik Negeri Bandung

Mengacu pada luas lab elektronika dari hasil pengukuran manual seperti Gambar 3.8, maka dari total luas area 2170888 cm<sup>2</sup> yang diukur, didapatkan luas area kesalahan pemetaan sebesar 571620 cm<sup>2</sup>. sehingga luas area terukur sebesar 1599268 cm<sup>2</sup>. Dengan demikian persentase keberhasilan pemetaan sebesar 73.7%.

#### 4. Kesimpulan

Pemetaan ruang dengan metode *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) berhasil dilakukan dengan menggunakan sensor LiDAR. Algoritma SLAM berhasil diimplementasikan menggunakan *Robot Operating System* (ROS) versi melodic pada ubuntu versi 18.04.3 Bionic. Persentasi keberhasilan pemetaan pada penelitian ini adalah sebesar 73.7%. Hasil dari pemetaan yang ditampilkan pada *tool* Rviz masih memiliki kekurangan yaitu terdapat pemetaan ruang yang lebih pendek dari ruang yang sebenarnya di lapangan. Hal ini

terjadi karena tidak digunakan sensor posisi pada penelitian ini. Sehingga ketika sensor bergerak menelusuri ruang dengan jarak yang sama, algoritma tidak membaca terjadinya perubahan posisi.

#### Daftar Acuan

- [1] Dong, Pinliang, Chen, Qi, *LiDAR Remote Sensing and Application*, 2018, Taylor & Francis.
- [2] Douglas W. Gage, *A brief history of Unmanned Ground Vehicle (UGV) development efforts, Special Issue on Unmanned Ground Vehicles, 1995, Unmanned Systems Magazine*.
- [3] Lu, Wen. Xie, Guobo, *Image Edge Detection Based On Opencv, International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, Volume 1, No.2, 2013.
- [4] Pffretzschner, Brian, *Autonomous Car Driving using a Low-Cost On-Board Computer*, 2013, Technische Universitat Darmstadt. B.Sc Thesis.
- [5] Predota, Jan, *LiDAR based obstacle detection and collision avoidance n an outdoor environment*, 2016, Czech Technical University in Prague.
- [6] Reid, Robert George, *Large-Scale Simultaneous Localization and Mapping for Teams of Mobile Robot*, School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, 2016, The University of Western Australia.
- [7] Rizki, Aditya, *Pemodelan Lingkungan dan Objek dengan SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)*, 2014, Adityarizki.net. Diakses 12 Januari 2019. (<https://adityarizki.net/pemodelan-lingkungan-dan-objek-dengan-slam-simultaneous-localization-and-mapping/>).
- [8] Veiga, Ricardo S. dkk, *Localization and Navigation of a Climbing Robot Inside a LPG Spherical Tank Based on Dual – LiDAR Scanning of Weld Beads*, Springer International Publishing Switzerland, 2016.

## PENGARUH ARAH ORIENTASI DAN SUDUT KEMIRINGAN MODUL SURYA TERHADAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *OFF-GRID* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA *CHARGING POINT SHELTER*

Jacky Kornelius<sup>1</sup>, Ahmad Irsadi Hrp<sup>2</sup>, dan Julita<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G. A. Siwabessy, Kukusan, Beji, Kota Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [jackykorneliussinaga@gmail.com](mailto:jackykorneliussinaga@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh arah orientasi dan sudut kemiringan modul surya terhadap penambahan media Reflektor. Besar daya dan efisiensi modul surya dapat diketahui dengan mengukur arus dan tegangan dengan alat ukur multimeter digital. Modul surya yang digunakan tipe Polycrystalline Silicone dan Monocrystalline Silicone dengan kapasitas 250 Wp. Pada penelitian ini arah orientasi modul surya yang diuji menghadap Barat dan Timur. Sudut kemiringan modul yang diteliti 0°, 10°, 20°, dan 30°. Waktu pengujian dilaksanak pada pukul 10.00 sampai dengan 14.00 Waktu Indonesia Barat (WIB). Data menunjukkan, perolehan untuk arah orientasi dan sudut kemiringan modul surya optimal yaitu Untuk tipe modul surya Polycrystalline Silicone arah orientasi dapat diarahkan menghadap Barat dengan sudut kemiringan modul surya 20° diperoleh peningkatan daya operasi -1,3 % dan peningkatan efisiensi 70,8 % dan tipe modul surya Monocrystalline Silicone arah orientasi dapat diarahkan menghadap Barat dengan sudut kemiringan modul surya 30° diperoleh peningkatan daya operasi 9,6 % dan peningkatan efisiensi 76,3 %.

**Kata Kunci:** Modul Surya, Reflektor, Arah Orientasi, Sudut Kemiringan, Daya Operasi, Efisiensi

### ABSTRACT

*This study discusses the effect of orientation direction and tilt angle of the solar module on the addition of the Reflector media. The power and efficiency of the solar module can be determined by measuring current and voltage using a multimeter digital. The solar modules used are Polycrystalline Silicone and Monocrystalline Silicone types with a capacity of 250 Wp. In this study the orientation of the solar modules being tested faces West and East. The tilt angle of the module under testing is 0°, 10°, 20° and 30°. The testing time is at 10.00 AM until 02.00 PM West Indonesia Time (WIT). The data shows, the acquisition for orientation and tilt angle of the optimal solar module that is for the Polycrystalline Silicone module type of orientation direction can be directed facing West with the solar module tilt angle of 20° obtained an increase in operating power of -1.3 % and an increase in efficiency of 70.8 % and type of Monocrystalline Silicone solar module orientation direction can be directed facing West with the tilt angle of the solar module 30° obtained an increase in operating power of 9.6 % and an increase in efficiency of 76.3 %.*

**Key Words:** Solar Module, Reflector, The Orientation, Tilt Angle, Operating Power, Efficiency

### 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu jenis pembangkit yang memanfaatkan energi berupa panas dan cahaya (radiasi matahari) yang dipancarkan matahari menjadi energi listrik dan

merupakan sumber energi terbarukan dengan jumlah yang tidak terbatas, dan pemanfaatannya tidak menimbulkan polusi yang dapat merusak lingkungan.

Sebagai negara yang berada di kawasan khatulistiwa, Indonesia adalah negara tropis yang mempunyai potensi

energi matahari yang sangat besar dengan isolasi harian yakni  $4,8 \text{ kWh/m}^2$ .

Pada penelitian ini, peneliti telah melakukan pengukuran terhadap tegangan dan arus pada modul surya komersial yang digunakan yaitu jenis *Polycrystalline Silicone* dan *Monocrystalline Silicone* terhadap orientasi serta sudut kemiringan pada arah modul surya yang diteliti. Dengan mengetahui tegangan dan arus pada masing-masing modul surya maka akan diperoleh daya keluaran dari modul surya yang diukur. Dari hasil perhitungan daya keluaran pada kedua modul surya yang diuji akan diperoleh nilai efisiensi terbaik dari modul surya yang diuji akibat pengaruh intensitas iradiasi matahari dan intensitas iluminasi cahaya matahari.

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada skripsi ini adalah metode eksperimen dengan hasil daya keluaran modul surya (fotovoltaik) diukur terhadap dengan pengaruh orientasi arah permukaan serta variasi sudut kemiringan modul surya.

Penelitian dan pengujian dilakukan dari bulan Mei sampai Juli bertempat di lokasi Lapangan Elektro samping Gedung I: *Workshop* Teknik Listrik, Politeknik Negeri Jakarta.

Teknik pengumpulan data menggunakan peralatan ukur yaitu Multimeter (AVO-meter) digital, Luxmeter digital, serta Piranometer digital dengan data hasil ukur dimasukkan dalam tabel.

### a. KOMPONEN-KOMPONEN PLTS

#### 2.1.1 FOTOVOLTAIK

Fotovoltaik berasal dari bahasa Yunani yaitu berasal dari dua kata '*photo*' yakni *phos* yang berarti 'cahaya', dan '*voltaic*' yakni 'volt' yang merupakan satuan turunan di dalam Standar Internasional (SI) sebagai pengukur perbedaan tegangan atau potensial listrik yang diambil dari nama fisikawan Italia bernama Alessandro Volta (1745–1827) yang merupakan pendorong studi listrik [1].



Gambar 1 Urutan Penyusunan Fotovoltaik [3]

Urutan penyusunan fotovoltaik dimulai dari satu sel (*cell*) fotovoltaik, lalu sekelompok sel menjadi modul (*module*) fotovoltaik, kemudian kumpulan modul yang terhubung secara seri ataupun paralel menjadi panel (*string*) fotovoltaik, dan seluruh kelompok panel (*string*) di dalam suatu sistem disebut larik (*array*) fotovoltaik [2]. Urutan fotovoltaik dapat diamati pada Gambar 1.

#### a.) Sel Fotovoltaik

Sel (*cell*) fotovoltaik merupakan bagian terkecil dari sistem fotovoltaik. Pada umumnya, sel surya dirangkai dalam jumlah besar menjadi modul surya untuk dikomersilkan, sebab daya dan tegangan yang dihasilkan per sel sangat kecil, hanya sekitar  $0,05 - 3 \text{ Watt}$  dan  $0,5 \text{ Volt}$  per selnya [4].

Seiring perkembangan teknologi, para ilmuwan menciptakan teknologi-teknologi terbaru pada sel fotovoltaik, berikut jenis-jenis sel fotovoltaik:

- **Monocrystalline Silicone**  
Sel fotovoltaik berbasis silikon kristal tunggal (*Monocrystalline Silicone*) dibuat dari potongan tipis dari sebuah kristal silikon homogen.
- **Polycrystalline Silicone**  
Silikon Polikristal merupakan sel fotovoltaik yang terbentuk dari bongkahan kristal silikon dengan orientasi tidak seragam karena kristal silikon yang telah terbagi menjadi beberapa kluster memiliki orientasi masing-masing.
- **Thin Film Solar Cell (TFSC)**  
TFSC merupakan sel fotovoltaik yang dibuat dengan penyimpanan satu atau lebih lapisan tipis (*thin film*) dari material fotovoltaik. Sel yang termasuk TFSC adalah *Amorphous Silicone* (a-Si), *Cadmium Telluride* (CdTe) dan *Copper Indium Gallium (di)Selenide* (CIGS).
- **Organic Photovoltaics (OPV) Cell**  
Sel fotovoltaik lapisan tipis yang sedang dikembangkan akibat dari keterbatasan unsur alam yang menjadi bahan dasar dari sel surya lapisan tipis komersial generasi kedua. Sel fotovoltaik yang termasuk dari OPV adalah *Copper Zinc Tin Sulfide* (CZTS), *Dye-Sensitised Solar Cell* (DSSC), *Organic Solar Cell* (OSC), *Perovskite Solar Cell* (PSC), dan *Quantum Dot Solar Cell* (QDSC).

#### b.) Modul Fotovoltaik

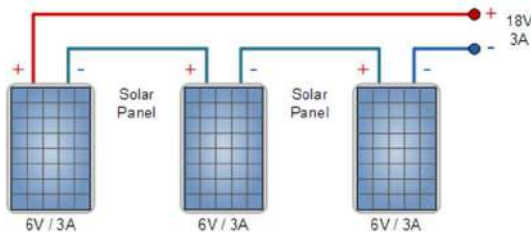
Modul fotovoltaik merupakan kepingan-kepingan sel fotovoltaik yang disusun dengan jumlah dan kapasitas tertentu, baik dirangkai paralel maupun seri sehingga menghasilkan arus dan tegangan yang berbeda sesuai kebutuhan daya yang diinginkan, disusun pada satu *frame* dan diberi lapisan pelindung [2].

**c.) Panel Fotovoltaik**

Panel fotovoltaik merupakan gabungan beberapa modul fotovoltaik. Pada umumnya, modul fotovoltaik dihubungkan secara seri agar tegangan yang dihasilkan sel surya lebih besar namun arus yang dihasilkan tetap berdasarkan hukum Kirchoff. Sedangkan bila modul fotovoltaik dirangkai secara paralel, besarnya tegangan yang dihasilkan adalah tetap dengan arus total lebih besar berdasarkan hukum Kirchoff.

• **Hubungan Seri**

Hubungan seri pada modul surya merupakan Hukum Kirchhoff Tegangan (*Kirchhoff's Voltage Law*) dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Rangkaian Hubungan Seri Panel Fotovoltaik [5]

Persamaan tegangan *output*:

$$V_{TOTAL} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (1)$$

Persamaan arus *output*:

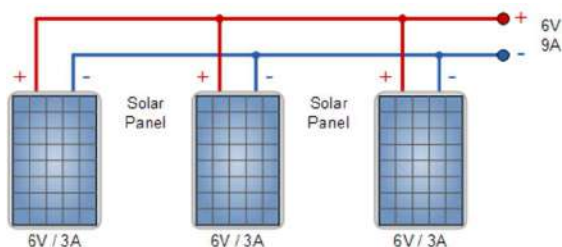
$$I_{TOTAL} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (2)$$

Persamaan daya *output*:

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (3)$$

• **Hubungan Paralel**

Hubungan paralel pada modul surya merupakan Hukum Kirchhoff Arus (*Kirchhoff's Current Law*) dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Rangkaian Hubungan Paralel Panel Fotovoltaik [5]

Persamaan tegangan *output*:

$$V_{TOTAL} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (4)$$

Persamaan arus *output*:

$$I_{TOTAL} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (5)$$

Persamaan daya *output*:

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (6)$$

**d.) Larik Fotovoltaik**

Larik fotovoltaik sebuah aplikasi membutuhkan daya dalam jumlah yang lebih tinggi dari pada yang dapat disediakan oleh satu panel saja maka diperlukan sistem-sistem yang lebih besar. Sistem ini dibuat dengan menghubungkan beberapa buah panel. Penambahan jumlah panel akan menyebabkan konfigurasi sistem menjadi lebih kompleks.

**2.1.2 SOLAR CHARGE CONTROLLER**

*Solar charge controller* (SCC) atau juga dikenal sebagai *battery charge regulator* (BCR) adalah komponen elektronika daya pengkonversian DC-DC untuk mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul fotovoltaik menjadi lebih optimal [6].

*Solar charge controller* (SCC) memiliki dua tipe utama, yaitu:

• **Pulse Width Modulation (PWM)**

PWM adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap [7].

• **Maximum Power Point Tracker (MPPT)**

MPPT adalah konversi DC to DC (yang lebih efisien daripada model PWM karena sistem MPPT dapat mengambil maksimum daya dari Fotovoltaik [8].

**2.1.3 BATERAI**

Baterai (*Battery*) adalah sebuah energi yang dapat merubah energi kimia yang disimpan menjadi energi listrik [2, 9]. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (katoda) dan terminal negatif (anoda) serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Keluaran (*output*) arus listrik dari baterai adalah listrik searah atau DC (*Direct Current*). Berdasarkan sifat pemakaiannya, baterai terdiri dari dua jenis utama, yaitu [9]:

• **Baterai Jenis Primer**

Baterai jenis Primer atau Baterai sekali pakai merupakan baterai yang paling sering digunakan, Baterai primer yang memiliki siklus perubahan energi kimia menjadi energi listrik yang tak dapat berulang (tidak dapat diulang). Contoh baterai primer adalah baterai *Zinc-carbon*, *Zinc-chloride*, *Alkaline*, *Lithium-ion disulphide*, *Mercury*, dan sebagainya.

• **Baterai Jenis sekunder**

Baterai Sekunder adalah baterai yang dapat di isi ulang kembali atau *Rechargeable Battery*. Contoh baterai sekunder adalah baterai Asam Timbal (*Lead*

Acid), Nickel-cadmium, Nickel-Metal hydride, Lithium-ion, Lithium polymer dan sebagainya.

### 2.1.4 INVERTER

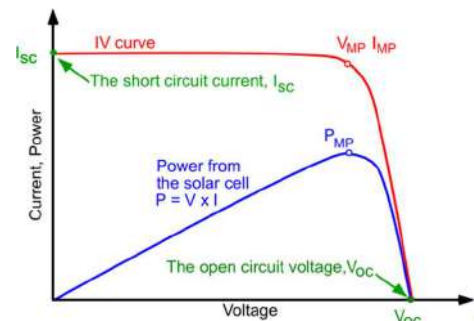
Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah dari listrik searah (*direct current*) menjadi listrik bolak-balik (*alternating current*) [2]. Berdasarkan gelombang keluaran (output) yang dihasilkan dapat dibagi menjadi 3 (tiga macam) yaitu sebagai berikut [10]:

- **Square Sine Wave**  
Inverter ini adalah yang paling sederhana dapat menghasilkan listrik bolak-balik berupa gelombang berbentuk persegi namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga dapat digunakan pada beberapa peralatan listrik yang tidak memiliki sifat beban induktif, seperti lampu pijar. Hal ini disebabkan karakteristik *output* ini adalah memiliki level *Total Harmonic Distortion* (THD) yang tinggi.
- **Modified Sine Wave**  
*Modified Sine Wave* disebut juga *Modified Square Wave* atau *Quasy Sine Wave* karena gelombang yang dihasilkan hampir sama dengan gelombang persegi, namun keluaran menyentuh titik nol untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu, *Total Harmonic Distortion* lebih sedikit dibandingkan *Square Sine Wave* maka dapat dipakai untuk beberapa peralatan listrik seperti komputer, televisi dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif.
- **Pure Sine Wave**  
*Pure Sine Wave* atau *True Sine Wave* merupakan Inverter yang menghasilkan gelombang hampir sempurna menyerupai gelombang sinusoidal, dengan *Total Harmonic Distortion* (THD) kurang dari 3%. Sehingga dapat dipakai untuk peralatan yang bersifat induktif seperti motor-motor listrik. Oleh sebab itu, Inverter ini juga disebut *Clean Power Supply*. Teknologi yang digunakan Inverter jenis ini umumnya disebut *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dapat mengubah listrik searah (DC) menjadi listrik bolak-balik (AC) dengan bentuk gelombang hampir samadengan gelombang sinusoidal.

## 2.2 PARAMETER PANEL SURYA

### • Kurva Karakteristik I-V

Salah satu parameter untuk mengukur karakteristik dari panel surya adalah kurva arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) terhadap tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4  
Kurva Karakteristik I-V [11]

- **Arus Hubung Singkat**  
Arus hubung singkat atau arus *short-circuit* ( $I_{sc}$ ) merupakan arus yang melalui sel surya saat tegangan yang melalui sel surya bernilai nol atau ketika beban dihubungkan singkat [12].
- **Tegangan Rangkaian Terbuka**  
Tegangan rangkaian terbuka atau tegangan *open-circuit* merupakan tegangan maksimum yang dihasilkan divais sel surya yang terjadi pada saat arus sebesar nol Ampere [13].
- **Fill Factor**  
*Fill Factor* (FF) merupakan parameter yang berfungsi untuk menentukan daya maksimum dari sel surya dalam kaitan dengan  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  [14]. *Fill factor* didefinisikan sebagai rasio daya maksimum dari sel surya dengan  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ , sehingga dirumuskan [14]:

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (7)$$

$$FF = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

$$FF = \frac{V_{OC} - \ln(V_{OC} + 0,72)}{V_{OC} + 1}$$

Dimana:

FF = *Fill factor*

$P_{MP}$  = Daya *maximum power point* (Watt)

$V_{OC}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

$V_{MP}$  = Tegangan *maximum power point* (Volt)

$I_{SC}$  = Arus *maximum power point* (Ampere)

### • Daya Panel Surya

Daya yang dihasilkan panel surya berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang di terima panel surya maka daya yang di dihasilkan panel surya semakin besar. Jika luas sel surya adalah (A) dengan intensitas (G) tertentu, maka daya input sel surya ( $P_N$ ) adalah [15]:

$$P_{IN} = G \times A \quad (8)$$



Dimana:

$P_{IN}$  = Daya yang diterima akibat iradiasi matahari (Watt)

$G$  = Intensitas iradiasi matahari ( $W/m^2$ )

$A$  = Luas area permukaan sel surya ( $m^2$ )

Semakin besar daya masukan yang diberikan, maka daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sel surya semakin besar. Daya listrik adalah besaran yang diturunkan dari nilai tegangan dan arus sehingga nilai tegangan dan arus yang dihasilkan merupakan bagian dari kelistrikan yang dimiliki oleh sel surya. Daya listrik yang diberikan oleh sel surya adalah [16]:

$$P_{MODUL} = V_O \times I_O \quad (9)$$

Dimana:

$P_{MODUL}$  = Daya modul surya saat beroperasi (Watt)

$V_O$  = Tegangan modul surya saat beroperasi (Volt)

$I_O$  = Arus modul surya saat beroperasi (Ampere)

Besar daya output sel surya ( $P_{OUT}$ ) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{OC}$ ), arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat di peroleh dengan persamaan [17]:

$$P_{OUT} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (10)$$

Dimana:

$P_{OUT}$  = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (Watt)

$V_{OC}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

FF = *Fill factor*

- **Efisiensi**

Efisiensi keluaran maksimum ( $\eta$ ) didefinisikan sebagai persentase keluaran daya optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$\eta = \frac{V_{OC} \times I_{SC} \times FF}{P_{IN}} \quad (11)$$

$$\times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi panel surya (%)

$V_{OC}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

FF = *Fill factor*

$P_{IN}$  = Daya masukan panel surya (Watt)

$P_{OUT}$  = Daya keluaran panel surya (Watt)

## 2.3 FAKTOR PENGOPRASIAN PANEL SUYA

Besar daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh panel surya sangat bergantung pada faktor sebagai berikut:

- **Efek Perubahan Temperatur pada Panel Surya**  
Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum temperatur sel tetap normal pada suhu 25 °C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan yang dihasilkan, sebaliknya arus mengalami peningkatan dengan adanya penambahan temperatur.
- **Perubahan Pancaran Iradiasi Matahari**  
Intensitas iradiasi matahari akan berpengaruh pada daya keluaran panel surya. Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diperoleh panel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan akan menurun.
- **Kecepatan Angin Bertiup di Area Pemasangan Panel Surya**  
Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi panel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan suhu pada permukaan panel surya sehingga temperaturnya dapat terjaga dikisaran 25 °C.
- **Keadaan Atmosfir Bumi**  
Keadaan atmosfer bumi yang mempengaruhi daya keluaran panel surya adalah keadaan cuaca, cerah, berawan, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi udara juga menentukan hasil maksimal untuk arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya.
- **Arah Orientasi Panel Surya**  
Pengaturan arah orientasi panel surya sesuai dengan arah mata angin pada kompas, yaitu: Utara (0°), Timur Laut (45°), Timur (90°), Tenggara (135°), Selatan (180°), Barat Daya (225°), Barat (270°), dan Barat Laut (315°).
- **Sudut Kemiringan Panel Surya**  
Mempertahankan sinar matahari jatuh kesebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan radiasi matahari maksimum. Pemasangan panel surya harus dipasang dengan sudut kemiringan sedemikianrupa agar sudut datang matahari yang diterima oleh panel surya dapat maksimal.

## 2.4 ALAT DAN BAHAN PENGUJIAN

Beberapa alat penunjang dibutuhkan untuk pengambilan data dalam penelitian dan digunakan dalam menganalisis kinerja daya panel surya. Berikut alat-alat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

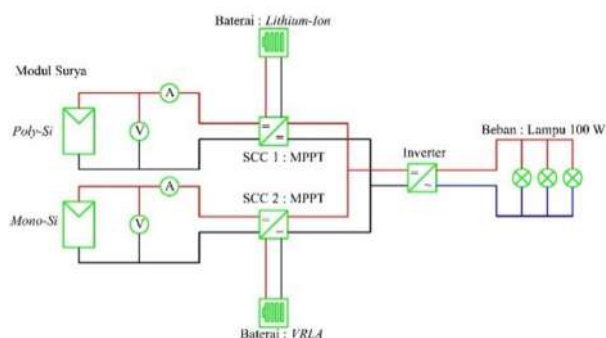


**Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian**

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	Modul Surya	250 Wp, <i>Polycrystalline Silicone</i>	1	Unit
2	Modul Surya	250 Wp, <i>Monocrystalline Silicone</i>	1	Unit
3	MCB DC	63 A, 24 V, 2 Pole	2	Unit
4	MCB AC	220 VAC, 2 Pole	1	Unit
5	Solar Charger Controller	MPPT, 24V, 10 A (Peak power Voltage = 29V-36V)	1	Unit
6	Solar Charger Controller	MPPT 24V, 10 A	1	Unit
7	Baterai	12 volt, 26 Ah, VRLA	2	Unit
8	Baterai	Lithium-ion Battery, Voltage Nominal 22.2 V, capacity 52 Ah, Min-Max output Voltage 18 - 25.2V	1	Unit
9	Dioda	Power Dioda 50 UHF 40 A	4	Unit
10	Inverter	1000 W, 24 VDC to 220 VAC	1	Unit
11	Kabel	NYAF 1.5 mm <sup>2</sup> (Abu-Abu, Biru)	25	Meter
12	Kabel	NYAF 4 mm <sup>2</sup> (Merah, Biru)	10	Meter
13	Lampu	220 VAC, 100 W	2	Unit
14	Reflektor	Alumunium Foil 2 x 1 m	1	Unit
15	Multimeter	1000 VDC, 10 A DC, 1000 V AC, 10 A AC, -20 °C s/d + 55°C, 201 × 98 × 52 mm, 355 g	8	Unit
16	Luxmeter	20, 200, dan 2000 lx ranges, 74 × 170 × 30 mm, 310 g (dengan baterai)	1	Unit
17	Piranometer	0,1 W/m <sup>2</sup> , 0,1 BTU/(ft <sup>2</sup> .h), 0-50 °C, <80 % RH, 132 × 65 × 38 mm, 310 g	1	Unit
18	Kompas dan Busur Derajat	Kompas dan Busur Derajat bawaan dari aplikasi <i>Smartphone</i>	1	Unit

## 2.5 RANGKAIAN PENGUJIAN

Rangkaian pengujian dalam penelitian ini dapat diamati pada Gambar 5.



**Gambar 5** Diagram Rangkaian Pengujian pada Modul Surya

## 2.6 VARIASI PENELITIAN

Adapun percobaan yang dilakukan adalah:

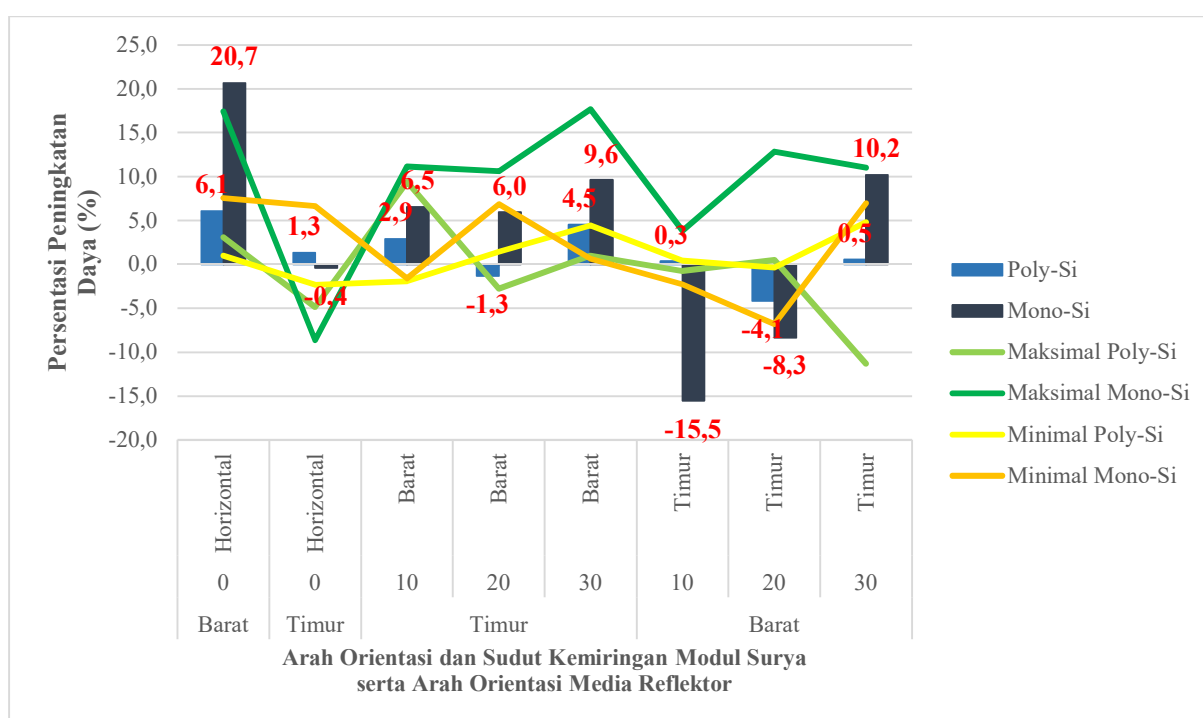
- 1.) Percobaan pengaruh modul tanpa media reflektor:
  - a.) Pengaturan modul surya sejajar dengan bidang horizontal.
  - b.) Pengaturan sudut kemiringan modul surya dengan orientasi arah modul surya menghadap Barat.
  - c.) Pengaturan sudut kemiringan modul surya dengan orientasi arah modul surya menghadap Timur.
- 2.) Percobaan pengaruh modul surya dengan pemanfaatan media reflektor:
  - a.) Pengaturan modul surya sejajar bidang horizontal dengan arah orientasi media reflektor menghadap Barat dan Timur.

- b.) Pengaturan sudut kemiringan modul surya dengan orientasi arah modul surya menghadap Barat terhadap media reflektor menghadap arah orientasi Timur.
- c.) Pengaturan pengaruh sudut kemiringan modul surya dengan orientasi arah modul surya menghadap Timur dengan media reflektor menghadap arah orientasi Barat.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### ANALISA DAYA OPERASI

Daya operasi modul surya diperoleh dari perhitungan pada persamaan 9 dengan pengamatan pengukuran Voltmeter dan Amperemeter yang terhubung dengan modul surya, data daya operasi dicatat untuk setiap jam yang diujikan pada modul surya dengan variasi arah orientasi menghadap barat dan timur, dan variasi sudut kemiringan yang diteliti 0°, 10°, 20°, dan 30°. Pengujian modul surya dilakukan tanpa pemanfaatan media reflektor dan menggunakan media reflektor, dan Hasil persentasi pengaruh daya operasi modul surya setelah membandingkan dengan pemanfaatan reflektor dapat diamati pada Grafik 1.



**Grafik 1. Persentasi Pengaruh Daya Operasi Modul Surya dengan Membandingkan Tanpa Reflektor dan Pemanfaatan Media Reflektor**

Dari Grafik 1 terlihat setiap arah orientasi dan sudut kemiringan modul surya bahwa daya operasi rata-rata, daya operasi maskimal dan daya operasi minimal dari kinerja modul surya setelah membandingkan dengan pemanfaatan media reflektor mengalami peningkatan ataupun penurunan dalam bentuk nilai persentasi. Berikut penjelasan mengenai persentasi pengaruh arah orientasi modul dan sudut kemiringan modul surya terhadap peningkatan setelah penambahan media reflektor, yaitu:

- Pada pengaturan modul surya sejajar pada bidang Horizontal (0°), dengan pengaturan arah orientasi media reflektor menghadap Barat peningkatan daya operasi sebesar 6,1 % pada tipe *Polycrystalline*

*Silicone* serta 20,7 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.

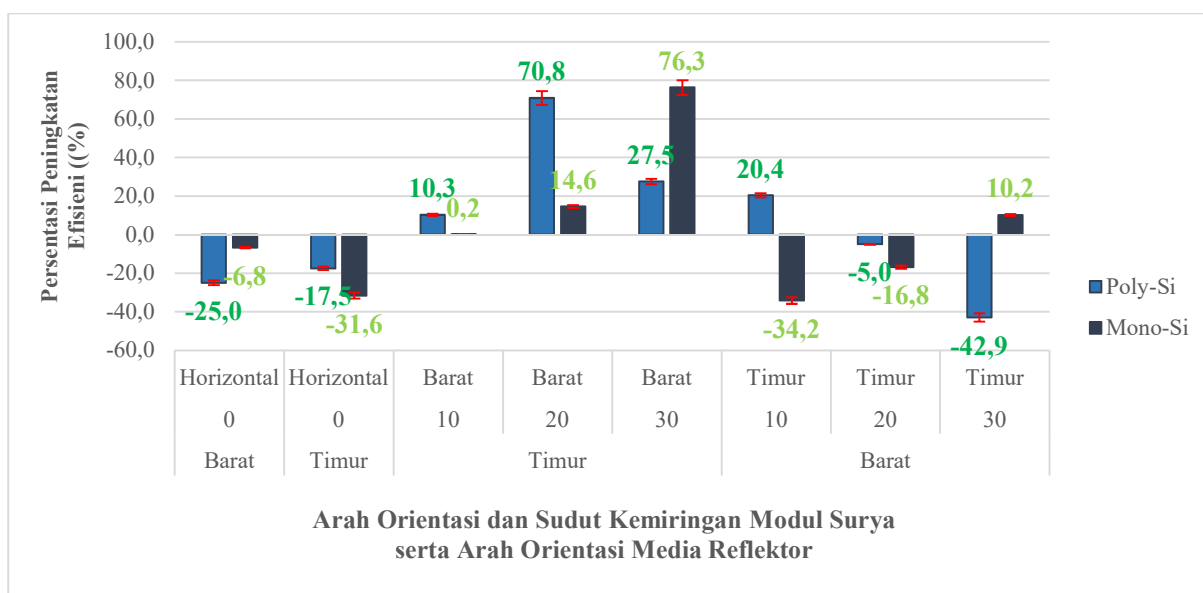
- Pada pengaturan modul surya sejajar pada bidang Horizontal (0°), dengan pengaturan arah orientasi media reflektor menghadap Timur peningkatan daya operasi sebesar 1,3 % pada tipe *Polycrystalline Silicone* serta penurunan daya operasi sebesar -0,4 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.
- Pada pengaturan kemiringan modul surya pada arah orientasi modul surya menghadap Barat dengan arah orientasi reflektor menghadap Timur, sudut yang menghasilkan daya keluaran terbesar adalah sudut kemiringan modul 30° sebesar 4,5 % pada tipe

*Polycrystalline Silicone* serta sudut kemiringan 30° sebesar 9,6 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.

- Pada pengaturan kemiringan modul surya pada arah orientasi modul surya menghadap Timur dengan arah orientasi reflektor menghadap Barat, sudut yang menghasilkan daya keluaran terbesar adalah sudut kemiringan modul 30° sebesar 0,5 % pada tipe *Polycrystalline Silicone* serta sudut kemiringan 30° sebesar 10,2 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.

### ANALISA EFISIENSI

Efisiensi modul surya diperoleh dari perhitungan pada persamaan 11 dengan pengamatan pengukuran Luxmeter dan Piranometer disekitar area modul surya, data efisiensi dicatat untuk setiap jam yang diujikan pada modul surya dengan variasi arah orientasi menghadap barat dan timur, dan variasi sudut kemiringan yang diteliti 0°, 10°, 20°, dan 30°. Pengujian modul surya dilakukan tanpa pemanfaatan media reflektor dan menggunakan media reflektor, dan Hasil persentasi pengaruh efisiensi modul surya setelah membandingkan dengan pemanfaatan reflektor dapat diamati pada Grafik 2.



**Grafik 2** Persentasi Pengaruh Efisiensi Modul Surya dengan Membandingkan Tanpa Reflektor dan Pemanfaatan Media Reflektor

Dari Grafik 2 terlihat setiap arah orientasi dan sudut kemiringan modul surya bahwa efisiensi rata-rata dari kinerja modul surya setelah membandingkan dengan pemanfaatan media reflektor mengalami peningkatan ataupun penurunan dalam bentuk nilai persentasi. Berikut penjelasan mengenai persentasi pengaruh arah orientasi modul dan sudut kemiringan modul surya terhadap peningkatan setelah penambahan media reflektor, yaitu:

- Pada pengaturan modul surya sejajar pada bidang Horizontal (0°), dengan pengaturan arah orientasi media reflektor menghadap Barat penurunan efisiensi sebesar -25,0 % pada tipe

*Polycrystalline Silicone* serta -6,8 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.

- Pada pengaturan modul surya sejajar pada bidang Horizontal (0°), dengan pengaturan arah orientasi media reflektor menghadap Timur penurunan efisiensi sebesar -17 % pada tipe *Polycrystalline Silicone* serta penurunan daya operasi sebesar -31,6 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.
- Pada pengaturan kemiringan modul surya pada arah orientasi modul surya menghadap Timur dengan arah orientasi reflektor menghadap Barat, sudut yang menghasilkan peningkatan efisiensi terbesar adalah sudut kemiringan modul

10° sebesar 20,4 % pada tipe *Polycrystalline Silicone* serta sudut kemiringan 30° sebesar 10,2 % pada tipe *Monocrystalline Silicone*.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, diperoleh kesimpulan untuk menentukan arah orientasi dan sudut kemiringan pada modul surya terhadap pemanfaatan media reflektor, yaitu:

- Untuk tipe modul surya *Polycrystalline Silicone* arah orientasi dapat diarahkan menghadap Barat dengan sudut kemiringan modul surya 20° diperoleh peningkatan daya operasi -1,3 % dan peningkatan efisiensi 70,8 % ataupun pada sudut kemiringan 30° diperoleh peningkatan daya operasi 4,5 % dan peningkatan efisiensi 27,5 %.
- Untuk tipe modul surya *Monocrystalline Silicone* arah orientasi dapat diarahkan menghadap Barat dengan sudut kemiringan modul surya 30° diperoleh peningkatan daya operasi 9,6 % dan peningkatan efisiensi 76,3 % ataupun pada sudut kemiringan 20° diperoleh peningkatan daya operasi 6,0 % dan peningkatan efisiensi 14,6 %.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Jakarta sebagai pihak institusi dan Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat untuk mendukung penulisan jurnal ini dan memberikan kesempatan menjadi pemakalah di acara Seminar Nasional Teknik Elektro Tahun 2019. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat untuk pembaca.

#### 6. DAFTAR ACUAN

- [1] M. dan H. Setiawan, "Peningkatan Efisiensi Modul Surya 50 WP dengan Penambahan Reflektor," dalam *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*, Semarang, 2011.
- [2] S. E. D. Saputro, Y. dan K. H. Khwee, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbantuan Program System Sizing Estimator," *Jurnal Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*, pp. 1-10.
- [3] Safrizal, "Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik pada Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UNISNU Jepara," *Jurnal DISPROTEK*, vol. 08, no. 02, pp. 75-81, 2017.
- [4] I Care Indonesia, "Perkembangan Teknologi Sel Surya," I Care Indonesia Foundation, 4 Juli 2017. [Online]. Available: <https://icare-indonesia.org/perkembangan-teknologi-sel-surya/>. [Accessed 27 Mei 2019].
- [5] Alternative Energy Tutorials, "Connecting Solar Panels Together," How to Connect Solar Panels Together, 1 Juni 2019. [Online]. Available: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/connecting-solar-panels-together.html>. [Diakses 18 Juli 2019].
- [6] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*, Jakarta: Energising Development (EnDev), 2018.
- [7] Mitra Energi Mandiri, "PWM," CV Mitra Energi Mandiri, [Online]. Available: <http://www.mitraenergi.co.id/pwm-99492>. [Diakses 15 Januari 2019].
- [8] Mitra Energi Mandiri, "MPPT," CV. Mitra Energi Mandiri, [Online]. Available: <http://www.mitraenergi.co.id/mppt-99493>. [Diakses 15 Januari 2019].
- [9] Mitra Energi Mandiri, "Battery," CV. Mitra Energi Mandiri, [Online]. Available: <http://www.mitraenergi.co.id/battery-99080>. [Diakses 15 Januari 2019].
- [10] B. H. Purwoto, M. A. F dan I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Alternatif," *Jurnal Emitter*, vol. 18, no. 01, pp. 10-14, 2010.
- [11] PVEDUCATION, "IV Curve," Solar Cell Operation, 2019. [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve>. [Diakses 22 Juli 2019].
- [12] PVEDUCATION, "Short-Circuit Current," Solar Cell Operation, 2019. [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/short-circuit-current>. [Diakses 22 Juli 2019].
- [13] PVEDUCATION, "Open-Circuit Voltage," Solar Cell Operation, 2019. [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage>. [Diakses 22 Juli 2019].

- [14] PVEDUCATION, "Fill Factor," Solar Cell Operation, 2019. [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/fill-factor>. [Diakses 22 Juli 2019].
- [15] R. Pido, S. Hirman dan M. , "Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi," vol. 19, no. 1, pp. 31-38, 2018.
- [16] S. Sidopekso dan A. E. Febtiwiyanti, "Studi Peningkatan Output Modul Surya dengan Menggunakan Reflektor," *Jurnal Berkala Fisika*, vol. 12, no. 03, pp. 101-104, 2010.
- [17] PVEDUCATION, "Solar Cell Efficiency," Solar Cell Operation, 2019. [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>. [Diakses 22 Juli 2019].
- [18] B. Ramadhani, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts, Jakarta: Energising Development (EnDev), 2018.
- [19] R. Sianipar, "DASAR PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA," *Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti*, vol. 11, no. 2, pp. 1-18, 2014.

## Rancang Bangun *Elevator Trainer* Berbasis PLC Dengan *Monitoring Scada*

Imam Halimi<sup>1</sup>, M.Fariz AR<sup>2</sup>, Vita Dearn<sup>2</sup>, Yusufal HN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro/Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Jakarta  
Jl. Prof. Dr. GA Siwabessy, Kampus UI, Depok  
E-mail: imam\_halimi@yahoo.com

### Abstrak

*Elevator* (lift) telah banyak digunakan pada bangunan yang memiliki jumlah lantai lebih dari dua. Penelitian ini merancang dan memodifikasi prototipe lift yang dapat mensimulasikan pengendalian lift pada gedung berlantai empat. Penerapan teknologi ini juga bertujuan mengembangkan bahan ajar mata kuliah teknik listrik semester 5 di Politeknik Negeri Jakarta. Metode pelaksanaannya dengan cara mencari referensi terkait *elevator trainer*, membuat rancangan desain, pembelian alat dan bahan, perakitan alat, dan pembuatan laporan. Penggerak pintu akses dan kabin *elevator trainer* menggunakan motor DC 12V 90mA yang dilengkapi dengan gear box. Keberadaan posisi pintu di setiap lantai menggunakan 4 limit switch di tiap-tiap lantai dan 1 load cell sensor di bagian bawah kabin. Hasil rancangan prototipe *elevator* disimulasikan menggunakan perangkat lunak SoMachineBasic sebagai *software* PLC, HMI Droid, Vijeo Citect sebagai *software* SCADA. Melalui simulasi tersebut diperoleh jumlah input dan output perangkat kontrol yang diperlukan, yaitu : 23 Input dan 15 Output.

**Kata Kunci:** *elevator trainer, plc, hmi droid, scada*

### 1. Pendahuluan

Sebuah pengendalian oleh PLC pada *elevator trainer* sangat membantu untuk memudahkan pengguna dalam pengoperasiannya, namun masih terasa kurang karena masih belum bisa memonitoringnya. Untuk melengkapi kekurangan tersebut, ada suatu sistem yang dinamakan HMI dan SCADA perlu dilakukan. Sistem HMI dan SCADA diketahui dapat memudahkan pengguna untuk memonitoring dan melakukan eksekusi langsung pada modul yang dibuat. Oleh karena itu, penelitian *elevator trainer* ini sangat penting untuk dilakukan untuk mewujudkan rancang bangun *elevator* yang inovatif dan efisien.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan antara lain :

- Membuat sebuah prototipe *elevator trainer* 4 lantai berbasis PLC dengan *input* HMI dan *monitoring* SCADA.
- Menjelaskan sistem kerja rancang bangun *elevator trainer* berbasis PLC dengan *input* HMI dan *monitoring* SCADA.

Adapun kegunaan dari penelitian ini antara lain :

- Dapat menjadi media pembelajaran bagi mahasiswa semester 5 Teknik Listrik di Politeknik Negeri Jakarta.
- Dapat menjadi acuan bagi pengembangan *elevator* di bidang kontrol kelistrikan.

*Elevator* (lift) merupakan alat transportasi vertikal yang digunakan untuk memindahkan orang atau barang pada suatu gedung/bangunan bertingkat. *Elevator* telah banyak digunakan pada bangunan yang memiliki jumlah lantai lebih dari dua. Ditinjau dari pergerakannya lift dapat dibagi menjadi : *Electric lift*, *Machine Room Less lift*, dan *Hydraulic lift*. Perancangan lift didasari oleh berbagai faktor, diantaranya yaitu : Kapasitas penumpang, jumlah lantai yang dilayani, interior dari lift, dan ketersediaan ruang mesin. Jumlah lantai yang dilayani dapat menjadi dasar pertimbangan dalam merancang sistem kendali lift. Semakin banyak jumlah lantai yang dilayani memiliki kecenderungan sistem kendali yang semakin kompleks. Penelitian ini merancang sistem kendali miniatur lift yang dapat mensimulasikan operasional lift pada gedung berlantai empat. Tipe penggerak lift yang digunakan adalah *electric lift* yang menggunakan motor listrik sebagai penggerakannya.[1]

PLC singkatan dari *Programmable Logic Controller* adalah perangkat yang menjadi pusat kontrol pengoperasian suatu system. Pengertian *PLC* menurut *National Electrical Manufacturer Assosiation (NEMA)* merupakan perangkat elektronik yang bekerja secara digital yang menggunakan "*Programmable Memory*" untuk penyimpanan intruksi internal guna menerapkan fungsi - fungsi khusus seperti *logic*, *sequencing*, pengukuran waktu, penghitungan dan aritmetik, untuk mengontrol modul - modul



input/output secara analog atau digital, berbagai jenis mesin atau proses tertentu.[2]

PLC diciptakan untuk menggantikan sistem otomasi yang menggunakan ratusan atau ribuan rele, timer dan alat kendali konvensional lainnya. PLC ini mula-mula dipakai oleh industri otomotif, di mana revisi software menggantikan panel control yang dirangkai secara hardwired, pada saat dilakukan perubahan model.[3]

SCADA singkatan dari Supervisory Control and Data Acquisition adalah sebuah system yang dirancang untuk sebuah pengendalian dan pengambilan data dalam pengawasan (Operator/Manusia). Biasanya SCADA digunakan untuk pengendalian suatu proses pada industri. SCADA umumnya mengacu pada sistem kontrol industri: sistem komputer yang memantau dan mengontrol industri, infrastruktur, atau fasilitas berbasis proses.[4] Dalam sistem SCADA ini difokuskan pada pembuatan simulator elevator trainer, selain itu ada fasilitas tambahan yaitu penggunaan PLC sebagai kontrol unit yang ditempatkan pada simulator dan koneksi PLC dan PC untuk penerapan visualisasi SCADA.[5] SCADA mengumpulkan informasi, lalu mengirimkannya kembali ke pusat, membawanya untuk setiap analisis penting dan kontrol, kemudian menampilkan informasinya pada layar operator.[6]

Sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri, namun harus didukung oleh berbagai macam infrastruktur, yaitu:

1. Telekomunikasi
2. Master Station
3. Remote Terminal Unit
4. Protokol Komunikasi[4]

Istilah Human Machine Interface muncul untuk menjembatani jurang antara manusia (operator) dengan plant (elevator), sehingga operator dapat mengawasi dan mengendalikan plant dengan mudah.[7] Tampilan yang ditampilkan berupa tombol-tombol penting dalam menjalankan, memproses dan menghentikan sistem, serta melakukan pemantauan proses.[8] Kelebihan dibandingkan sistem yang lain adalah HMI menyediakan fasilitas penyimpanan data.[9] Implementasi konsep HMI dapat membantu proses interaksi dan mengidentifikasi hal-hal yang dapat menyebabkan kegagalan dan penerapan sistem serta menciptakan sebuah sistem interaktif berkualitas tinggi bersifat akrab dan ramah dengan penggunaannya. [10] HMI mempunyai fungsi sebagai berikut :

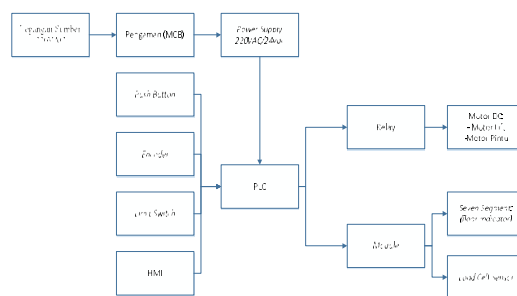
- a. Memonitor keadaan yang ada di elevator trainer.
- b. Mengatur nilai pada parameter yang ada di elevator trainer.
- c. Mengambil tindakan yang sesuai dengan keadaan yang terjadi.
- d. Memunculkan tanda peringatan dengan menggunakan alarm jika terjadi sesuatu yang tidak normal.
- e. Menampilkan pola data kejadian yang ada di elevator trainer baik secara real time maupun historical (trending history atau real time)[8]

## 2. Metode Penelitian

Metode pelaksanaan pada program ini, dengan mendesain alat terlebih dahulu, mencocokkan dari permasalahan yang ingin diselesaikan. Selanjutnya memilih alat penunjang dan bahan yang akan digunakan untuk dirakit.

Perakitan alat akan dilaksanakan jika semua alat penunjang dan bahan serta data yang menunjang kebutuhan pembuatan alat sudah lengkap dan tersedia. Perakitan alat akan dilaksanakan di Kampus Politeknik Negeri Jakarta. Dalam pelaksanaannya, seluruh anggota termasuk ketua pelaksana mengerjakan secara total dan menyeluruh hingga alat elevator trainer ini bisa selesai sesuai target.

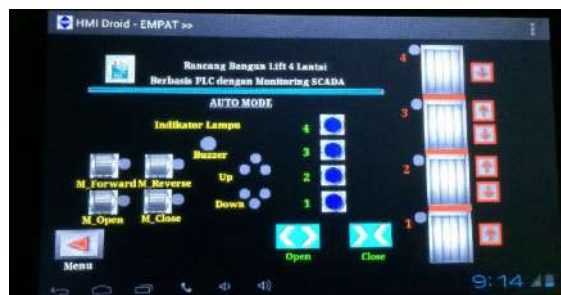
Untuk perakitannya, Pertama, membuat program ladder yang akan dimasukkan ke dalam PLC Schneider Modicon M221 40I/O dengan perangkat lunak SoMachineBasic. Kedua, membuat animasi untuk input dari HMI XP-Builder dan monitoring SCADA dengan software SCADA Vijeo Citect. Terakhir, memasang PLC, HMI, dan komponen-komponen lain yang dibutuhkan pada modul elevator trainer.



Gambar 3.1. Diagram Blok

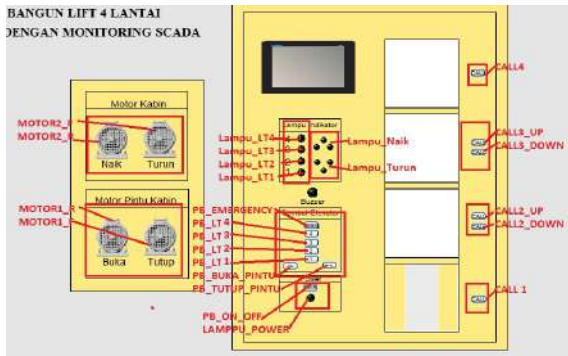
## 3. Hasil dan Pembahasan

Tampilan HMI ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Desain HMI

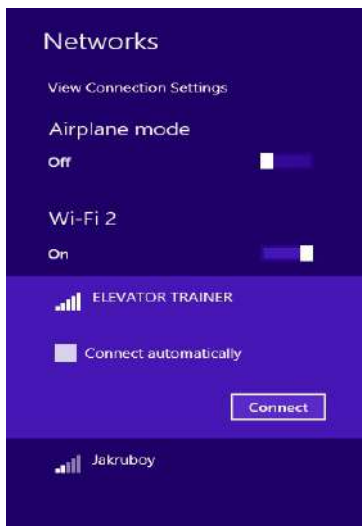
Tampilan desain SCADA ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Desain SCADA

### Komunikasi antara PLC, HMI Droid, dan SCADA

Dalam pengoperasian *elevator trainer*, harus ada sebuah media komunikasi yang menghubungkan seluruh perangkat yang digunakan untuk pengeksekusian dan pengawasannya. Pada rancang bangun *elevator trainer* ini menggunakan router dengan memanfaatkan jaringan wifi. Berikut gambaran secara umum sistem dari komunikasinya.



Gambar 4.3. Setting IP Address HMI

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian dan analisa data terkait penelitian ini, ada beberapa hal yang dapat penulis simpulkan antara lain :

1. Komunikasi antara PLC, HMI Droid, dan SCADA telah berhasil terhubung melalui jaringan wifi pada router.
2. Program PLC yang telah dibuat, berhasil merealisasikan pengendalian kontrol untuk rancang bangun lift trainer sesuai dengan deskripsi kerja yang diinginkan.
3. Desain HMI Droid dan SCADA telah berhasil digunakan untuk memantau ataupun mengeksekusi langsung program yang telah dibuat di PLC.

### DAFTAR ACUAN

- [1] Hartawan Liman, Shantika Tito, Ridwan Muhammad, Purwanto Tri Sigit. 2010. *Perancangan Sistem Kendali Miniatur Lift 3 Lantai*. Seminar Nasional-IX. ITENAS-Bandung
- [2] Bolton, W. 2003. *Programmable Logic Controller*. Third Edition. Oxford: Newnes.
- [3] Pranowo I. Deradjad, H David Lion. 2008. *Prototipe Elevator Barang 4 Lantai Menggunakan Kendali PLC*. Jurnal Media Teknik Vol. 8 No.1. Universitas Sanata Dharma
- [4] Admin. 2015. SCADA. *Ensiklopedia Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)*
- [5] Pasila Felix, dkk. 2004. *Sistem Automasi Proses Produksi Minuman Dengan Sistem SCADA Menggunakan PLC*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 4 No.1. Universitas Kristen Petra
- [6] Bayusari Ike, dkk. 2013. *Perancangan Sistem Pemantauan Pengendali Suhu pada Stirred Tank Heater menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 10 No.3. Universitas Sriwijaya
- [7] Sarifuddin, Yanti Nur. 2012. *Implementasi Programmable Logic Control Dan Wonderware Intouch Untuk Otomasi Smart Home*. Jurnal Teknologi Terpadu Vol.2 No.1. Politeknik Negeri Balikpapan
- [8] Admin. 2011. HMI. *Ensiklopedia Human Machine Interface (HMI)*

## Sistem Monitoring Limbah Industri Rayon

Latif Mawardi<sup>1</sup>, Megajaya Pertiwi<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro/Program Studi Elektronika Industri, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. GA Siwabessi Kampus UI, Depok, 16512, Indonesia

E-mail: [latif.mawardi@elektro.pnj.ac.id](mailto:latif.mawardi@elektro.pnj.ac.id)

### Abstrak

Monitoring air limbah dimanfaatkan untuk mengetahui seberapa banyak kadar pencemaran pada air limbah dengan parameter - parameter kualitas air limbah sesuai baku mutu. Parameter yang akan diukur pada penelitian ini yaitu suhu, pH dan kadar total padatan terlarut dalam air limbah. Monitoring bertujuan mempermudah pekerja untuk mengetahui nilai pH, kadar total padatan terlarut dan suhu pada outlet air limbah di industri rayon. Sensor yang digunakan yaitu sensor suhu DS18B20, turbidity SEN0189 dan pH meter SEN0161. Pada pengujian sistem monitoring ini tidak digunakan lingkungan outlet limbah yang sebenarnya, tetapi dilakukan pengujian pada pemodelan outlet limbah dengan tetap menggunakan air limbah dari industri rayon. Arduino Mega sebagai mikrokontroler yang berfungsi untuk mengolah hasil pendeteksian sensor. Pengelolaan data dari monitoring tersebut akan disimpan dalam perangkat datalogger waktu dan hasil pendeteksian sensor pada air limbah. Kemudian perangkat HMI Nextion berfungsi sebagai display dari hasil monitoring outlet air limbah. Hasil monitoring inilah yang akan mempermudah pekerja dalam mengetahui kadar pencemaran pada air limbah..

Kata kunci : air limbah, sensor, pH, kadar total padatan terlarut, suhu

### 1. Pendahuluan

Industri rayon merupakan salah satu industri tekstil yang menyumbang pendapatan negara cukup tinggi disetiap tahunnya. Rayon sendiri merupakan bahan tekstil selulosa jenis *cellulosic filament* (CF) yang diperoleh dari ekstraksi serat bubur kayu larut. Selain memberikan pendapatan pada negara, industri rayon memberikan dampak serius bagi lingkungan sekitar contohnya pada sungai, karena menghasilkan air limbah dalam proses produksinya. Air limbah yang dihasilkan akan dikeluarkan dengan syarat memenuhi baku mutu yang telah diatur oleh pemerintah.

Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor P.93 tahun 2018 tentang pemantauan kualitas air limbah secara terus menerus dan dalam jaringan bagi usaha dan/atau kegiatan, maka dalam suatu industri yang memiliki air limbah diwajibkan mempunyai Instalasi Pengolahan Air Limbah pada *outlet Waste Water Treatment Plant*. Monitoring bertujuan untuk mengawasi keadaan air limbah sesuai dengan keadaan yang memenuhi baku mutu sebelum air limbah dikeluarkan.

Standar baku mutu untuk air limbah rayon yaitu memiliki kadar pH 6 sampai 9 dan kadar total padatan

terlarut maksimal 50 mg/L. Arduino Mega dapat dioperasikan sebagai pengontrol (Diana,2017,p120), membaca data sensor suhu dan kelembaban (Hadisuryo,2015,p651), data dari sensor diintegrasikan serta ditampilkan secara *real time* dengan menggunakan data logger ( Sanjaya, 2017,p114)

### 2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan metode:

#### 2.1. Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berkaitan dengan regulasi limbah industr, pemahaman masalah sensor yang sesuai dengan kebutuhan pembuatan alat, pemrosesan data serta tampilandari hasil pengukuran.

#### 2.2. Perencanaan

Perencanaan meliputi perangkat keras yantu rangkaian dari mikrokontroler beserta dengan sensor-sensornya dan perangkat lunak. Pembuatan software dengan Arduino IDE pada bagian sensor dan *data logger*, dan untuk bagisn display dengan software bawaan modulnya.

### 2.3. Realisasi

Realisasi merupakan pembuatan alat pemonitor limbah sesuai dengan perencanaan dari tahap sebelumnya, pada tahap realisasi pekerjaan yang dilaksanakan adalah merangkai input sensor ke mikrokontroler, menghubungkan mikro kontroler ke data logger serta ke tampilan. Setelah semua selesai dirangkai dilanjutkan dengan pembuatan softwaranya.

### 2.4. Uji coba

Tahap uji coba merupakan evaluasi apakah alat dapat bekerja sesuai dengan perencanaan, baik secara hardware maupun softwaranya. Apabila ketidak sesuaian dengan perencanaan maka dilakukan penyempurnaan. Jika alat dapat beroperasi sesuai dengan perencanaan maka dilanjutkan ke tahapan berikutnya.

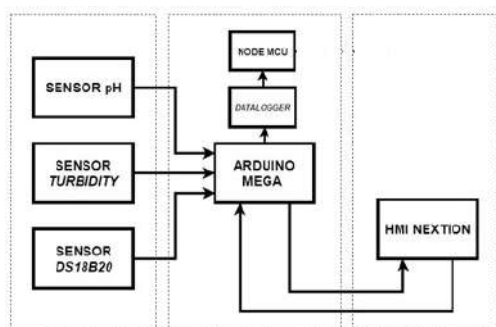
### 2.5. Implementasi

Tahap implementasi merupakan penerapan alat ke lapangan dimana alat akan ditempatkan seterusnya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil

Hasil dari penelitian iniberupa prototipe sitem monitor limbah industri rayon.



Gb 1. Blok Diagram Sistem

#### 3.1.1. Sensor pH

Sensor pH merupakan instrumen yang mengukur aktivitas ion hidrogen dalam larutan air, yang menunjukkan sifat asam atau basa dan dinyatakan dengan satuan pH. Sensor pH mengukur perbedaan potensial listrik antara elektroda pH dengan elektroda referensi (Gowtham, Hariharan, Hariprakash, & Rajasekaran, 2019).

Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas (membrane gelas) yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang tidak diketahui. Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif, elektroda gelas tersebut akan mengukur potensial elektrokimia dari ion

hidrogen atau diistilahkan dengan *potential of hydrogen* (Astria, 2014).

#### 3.1.2. Sensor Turbidity SEN0189

Sensor Turbidity merupakan sensor yang berfungsi mengukur kualitas air dengan mendeteksi tingkat kekeruhannya. Sensor ini mendeteksi partikel tersuspensi dalam air lalu jika banyak partikel dalam air tersebut maka jumlah cahaya yang ditransmisikan juga berkurang dari sanalah dapat diukur tingkat kekeruhannya. Sensor *turbidity* berisi rangkaian probe yang meliputi *photo emitting diode* dan phototransistor yang menerima cahaya. Rangka luarnya dibuat tahan air tetapi pada bagian atasnya tidak kedap air (Faisal, 2016).

Sensor Turbidity SEN0189 mendukung dua mode output, digital dan analog sehingga dapat dengan mudah diakses melalui arduino atau mikrokontroler lainnya. Sensor ini dapat diaplikasikan untuk mengukur tingkat kekeruhan air pada sungai, danau, laboratorium, limbah cair, dsb (Pramusinto, 2016).

#### 3.1.3. Sensor Suhu

DS18B20 merupakan sensor termo digital yang sederhana. Sensor ini menggunakan komunikasi antarmuka *one-wire* dengan mikrokontroler sebagai *master* dan yang lainnya sebagai *slave*. Komunikasi *one-wire* dirancang untuk mengirimkan data yang berupa data sinyal dan daya dalam satu jalur (Utomo & Firdaus, 2013). Sensor ini mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12-bit, rentang  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $125^{\circ}\text{C}$  dengan ketelitian  $(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ .

Sensor DS18B20 bisa mendapatkan daya dari 2 cara yaitu suplai dari luar dan suplai secara parasit. Untuk suplai dari luar maka *power supply* harus dihubungkan dengan pin Vdd, sedangkan jika menggunakan suplai secara parasit maka pin daya untuk DS18B20 tidak membutuhkan suplai dari luar (Astria, 2014).

#### 3.1.4. Arduino Mega

Arduino Mega 2560 menjadi salah satu kontroller yang dapat menunjang pada sistem monitoring, karena Arduino Mega 2560 dapat diintegrasikan dengan berbagai macam perangkat salah satunya dengan perangkat *data logger* yang dapat menyimpan data dari hasil monitoring. Selain itu hasil monitoring dapat diintegrasikan dengan perangkat HMI Nextion sebagai *display* dan sebagai pengaturan *offset* sensor dari hasil monitoring outlet air limbah.

Arduino Mega 2560 berbasis mikrokontroler ATmega2560. Memiliki 54 pin *input / output* digital, 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 *input* analog, 4 UART sebagai *port* serial pada perangkat keras, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Fitur - fitur tersebut dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. Penggunaan Arduino Mega dilakukan dengan menghubungkan ke computer via kabel USB (Wahyudi, 2017)

### 3.1.5. Data logger

Data logger merupakan perangkat elektronika yang difungsikan untuk proses pencatatan data dalam rentang waktu yang terintegrasi dengan sensor atau instrumen lainnya. Sebuah data logger beroperasi menggunakan daya dari baterai dan dapat menyimpan data selama satu periode tertentu dalam suatu perangkat penyimpanan. Data logger memiliki kemampuan untuk pencatatan data secara mandiri dengan periode 24 jam [Diego & Sujono, 2016].

Proses pengumpulan data yang dilakukan oleh data logger dikenal dengan istilah logging data. Logging data merupakan proses pencatatan data sensor atau instrumen lainnya dengan tujuan pengarsipan atau tujuan analisis. Data logger dilengkapi dengan Real Time Clock atau RTC didalamnya sehingga dapat menampilkan waktu dan tanggal untuk memastikan bahwa setiap data yang dicatat sesuai. Data logger dilengkapi juga dengan memori eksternal yang digunakan untuk menyimpan data yang diperoleh dari proses pencatatan data.



Gambar 2. Sistem Monitor Limbah

### 3.2. Data Pengukuran

#### Pengukuran pH

Pengujian sensor pH dilakukan dengan standar pH 4, 6.86 dan 9.18. Hasil pengujian pH dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 1. Hasil pendeteksian pH

Sampel uji	Pembacaan Sensor	pH Meter
Larutan pH 4.01	4,04	3,98
	3,96	4,00
	4,02	4,00
	3,97	4,01
	4,02	4,02
Larutan pH 6.68	3,98	4,01
	6,8	6,85
	6,79	6,86
	6,65	6,87
	6,74	6,87
Larutan pH 9.18	6,78	6,87
	9,14	9,18
	9,14	9,19
	9,14	9,20
	9,14	9,19

Berdasarkan tabel yang tertera maka dapat disimpulkan apabila semakin basa suatu cairan maka semakin tinggi tegangan keluaran sensor. Melalui pendekatan matematis maka diperoleh persamaan hubungan antara tingkat pH dalam air dengan tegangan keluaran sensor yang dinyatakan sebagai variabel x, yaitu :

$$y = 3,2 * x - 0,6216 \quad (1)$$

#### Pengukuran Turbidity

Pengujian untuk sensor turbidity diperlukan untuk menentukan nilai yang stabil dalam menentukan batas terendah dan batas tertinggi suatu kekeruhan pada air. Dalam hal ini digunakan air mineral yang jernih sebagai batas terendah suatu kekeruhan dengan nilai 0 NTU dan air kopi pekat dengan nilai tertinggi 100 NTU. Setelah diukur maka akan dicari persamaan linier lalu akan dimasukkan kedalam program arduino.

Tabel 2. Pembacaan Sensor Turbidity

Sampel Uji	Pembacaan Sensor	Tegangan
Air Jernih	0 NTU	4,27
Air Kopi Pekat	100 NTU	1,47

Pendekatan matematis yang didapat berdasarkan tabel diatas yaitu :

$$y = -31,25 * x + 150 \quad (2)$$

Untuk menentukan nilai total padatan yang terlarut pada air dilakukan pengujian dengan melakukan penyaringan air limbah yang dibandingkan dengan tegangan pada sensor turbidity setelah penyaringan tersebut. Hal ini



dikarenakan nilai kekeruhan air berbanding lurus dengan nilai total padatan terlarut pada air.

### Sensor Suhu DS18B2

Pengujian pada sensor DS18B20 untuk mengetahui keakuratan pembacaan suhu pada air pada beberapa jenis air. Hasilnya seperti table berikut.

Tabel 3. Pendeteksian Suhu

Sampel Uji	Pembacaan Sensor	Pembacaan Termometer
Air es	1,44	2
	1,44	2
	1,44	2
	1,44	2
	1,38	2
Air biasa	28,63	30
	28,63	30
	28,63	30
	28,63	30
	28,63	30
Air hangat	62,81	62,5
	62,81	62,5
	62,88	62,5
	62,88	62,5
	62,94	62,5

## 4. Kesimpulan

Dari data hasil pengujian alat dapat disimpulkan bahwa ada selisih pembacaan antara pembacaan dari sensor dibandingkan dengan pembacaan alat ukur pembanding. Namun sesuai dengan tujuan awal bahwa hasil dari penelitian ini adalah alat pemonitor bukannya alat ukur, maka hasil penelitian ini sesuai dengan tujuan awal.

## 5. Daftar Acuan

- [1] Diana,D., Amperawan, Rasyid,J. (2017). Implementasi Sensor Compas HMC5883L Terhadap Gerak Robot Micromouse dengan Menggunakan Algoritma PID. *Jurnal Teknik Elektro*,6: 120-124.
- [2] Harisuryo, R., Sumardi, Setiyono,Budi.,. (2015). Sistem Pengukuran Data Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara Dengan Telemetry Berbasis Frekuensi Radio. *Transient*,4:651-659.
- [3] Sanjaya,I,G,M., Partha,Cok,G,I. , Krisne,D,C. (2017). Rancang Bangun Sistem Data Logger Berbasis Visual Pada Solar Cell. *Teknologi Elektro*,16:114-121
- [4] Arifin,J.,Zulita,N,N., Hermansyah. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama* 12: 89-98.
- [5] Astria, F., Subito, M., & Nugraha, D. W. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur Ph Dan Suhu Berbasis Short Message Service (Sms) Gateway. *Jurnal Mektrik*, 47-55.
- [6] Gowtham, Hariharan, Hariprakash, & Rajasekaran. (2019). *Condition And Monitoring Of Drinking Water In Water Purifier Using Iot. International Research Journal Of Engineering And Technology (Irjet)*, 3524-3530.
- [7] Faisal, M., Harmadi, & Puryanti, D. (2016). Perancangan Sistem Monitoring Tingkat Kekeruhan Air Secara Realtime Menggunakan Sensor Tsd-10. *Jurnal Ilmu Fisika*: 9-16.
- [8] Diego,Sujono. (2016). Perancangan Sistem Data Logger Beban Arus Listrik Berbasis Mikrokontroler. Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu, 126-134. Universitas Budi Luhur, Jakarta.



# Design of the Detector and Monitoring System for Violations of Motorized Parking Vehicles Integrated with the FTTH Network

<sup>1</sup> Sri Danaryani, <sup>2</sup> Fira Mutia Ramaida

<sup>1,2</sup>Telekomunikasi, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI 16242, Indonesia

<sup>1</sup>sdanaryani@gmail.com, <sup>2</sup>firamutiar@gmail.com

## Abstract

*Violations of prohibited parking signs often occur in the Jakarta State Polytechnic environment where students often park their motorbikes in the prohibited parking area. This requires a system that can detect and monitor motorcycles parked by students. The problem is how monitoring parking violations can be done remotely? Fiber optic to the home can be used as a transmission medium to solve the problem of how to monitor remotely. IP cameras are used to monitor objects around the beacon, while the HC-SR04 ultrasonic sensor is used to detect objects around the beacon. The result of HC-SR04 design is able to detect objects approaching parking ban signs at a distance of less than 25 cm, which is marked by a buzzer sounding for 10 seconds. Detected data is processed by a microcontroller and sent to the nearest WiFi network using the Ethernet Shield. Wifi functions as a sending ONT that converts electromagnetic waves from the reading of data from the microcontroller into light waves that will be passed on optical fiber. The receiver's ONT device is connected to the web server. The LCD monitor on the Webserver reads the distance of the vehicle's position with the sensor, where the distance measured by the system differs from the actual distance of about 0.14cm or a reading error of 0.79%. System performance is measured using Wireshark where delay is 36 ms, packet loss 0%, throughput 27.55bps. Fiber attenuation measured by ODM is - 14.75 dBm.*

*Kata kunci: Buzzer, FTTH, IP Camera, Mikrokontroler, Sensor Ultrasonik, Wireshark*

## 1. PENDAHULUAN

Rambu larangan parkir merupakan kewajiban yang harus dipatuhi oleh semua pengguna jalan. Kenyataannya masih banyak pengguna kendaraan yang melakukan pelanggaran dengan tidak mengindahkan peraturan tersebut. Pelanggaran rambu larangan parkir juga sering terjadi di lingkungan Politeknik Negeri Jakarta (PNJ), dimana mahasiswa memarkirkan berkendaraan bermotornya di tempat yang sudah terpasang rambu larangan parkir motor seperti di samping Laboratorium Telekomunikasi. Hal ini biasanya dilakukan karena mahasiswa lupa membawa Surat Tanda Nomor Kendaraan (STNK) sehingga tidak dapat keluar dari area parkir yang disediakan oleh PNJ karena tidak dapat menunjukkan STNK. Padahal dengan parkir bukan pada tempatnya berisiko menambah jumlah pencurian kendaraan bermotor di lingkungan PNJ. Pelanggaran peraturan tentunya menambah beban kerja Satuan Pengamanan (Satpam) dengan melakukan pengawasan. Karena jumlah Satpam terbatas maka pengawasan langsung di lingkungan PNJ menjadi kurang maksimal.

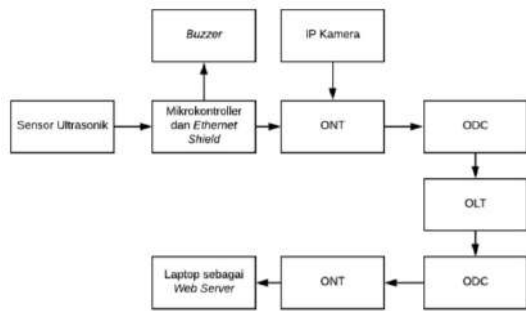
Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu dibuat suatu sistem yaitu sistem pemantauan pelanggaran rambu larangan parkir otomatis.. Monitoring pelanggaran parkir dapat dilakukan

jarak jauh sehingga dibutuhkan media untuk mengirimkan data dan video. Permasalahannya adalah bagaimana memantau kondisi di area sekitar rambu larangan parkir dan mempermudah satpam untuk mengetahui para pelaku yang melanggar rambu larangan parkir.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian terapan untuk memecahkan masalah pelanggaran parkir motor. Pelanggaran parkir motor dapat diketahui dengan meletakkan sensor dan kamera pada lokasi tertentu dan mengirimkan informasi yang didapat ke web server sehingga satpam dapat memonitor langsung dari ruang satpam. Sistem ini memanfaatkan sensor *ultrasonic* untuk mendeteksi adanya kendaraan bermotor yang mendekati rambu dan *buzzer* yang berfungsi untuk memberikan peringatan kepada pelanggar berupa suara. Sistem ini harus didukung sebuah media transmisi dengan delay yang rendah dan *bandwidth* yang besar sehingga memungkinkan untuk mengirimkan data dan video dalam satu jalur kabel serat optic. Alat ini dapat di *monitoring* melalui *web server* sehingga dapat memantau kondisi di area sekitar rambu larangan parkir dan mempermudah satpam untuk mengetahui para pelaku yang melanggar rambu larangan parkir dengan bantuan IP kamera.

Diawali dengan merancang perangkat pendeteksi pelanggaran rambu lalu lintas dan pemantauan posisi kendaraan. Hasil pantauan dan pendeteksian dikirim melalui jaringan fiber optik to the home FTTH. Berikutnya dilakukan membangun, mengukur dan menguji performansi sistem pelanggaran rambu larangan parkir terintegrasi dengan jaringan FTTH di Laboratorium Telekomunikasi PNJ. Dalam perancangan dilakukan dengan beberapa tahap, seperti inialisasi perangkat-perangkat yang digunakan, konfigurasi ONT dan IP Camera. Secara blok diagram penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



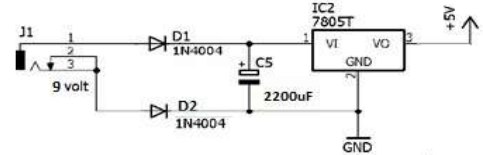
**Gambar 1. Blok diagram sistem pelanggaran rambu larangan parkir terintegrasi dengan jaringan FTTH**

Perangkat pendeteksi dan pemroses yang digunakan berupa mikrokontroler Atmega328, sensor ultrasonik, buzzer, ethernet shield, dan IP camera. Mikrokontroler berfungsi untuk proses input dari sensor ultrasonik, dimana sensor ini berfungsi untuk mendeteksi adanya objek atau tidak yang mendekati rambu larangan parkir pada jarak kurang dari 25 cm. Pada sisi output terdapat buzzer yang berfungsi untuk memberikan peringatan kepada pelanggar berupa suara. IP camera digunakan untuk memonitor keadaan sekeliling sehingga satpam pada jarak tertentu dapat memonitor dengan melihat video streaming yang dilewatkan pada jaringan FTTH. Untuk itu perlu dilakukan konfigurasi pada ONT dan IP Camera yang digunakan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu merealisasi hasil perancangan mikrokontroler yang akan digunakan sebagai pusat proses dari perangkat-perangkat yang terhubung dengan sistem pendeteksi pelanggaran rambu larangan parkir. Mikrokontroler Atmega328 beroperasi pada tegangan 5V. Agar mikroprosesor dapat bekerja dengan tepat, dibutuhkan catu daya dengan rangkaian catu daya yang digunakan menggunakan trafo center tap (CT). Tegangan output trafo sebesar 9V AC. Sedangkan tegangan output catu daya yang diharapkan sebesar 5V DC. Tegangan AC harus

diubah menjadi DC digunakan diode bridge. Untuk menurunkan tegangan 9V menjadi 5V dalam rangkaian catu daya ditambahkan IC regulator 7805 yang berfungsi apabila  $V_{in} \geq V_{out}$ , tegangan keluaran stabil 5 V, dengan rangkaian seperti pada Gambar 2. Hasil pengukuran catu daya dengan multimeter sebesar 4,9865 V.



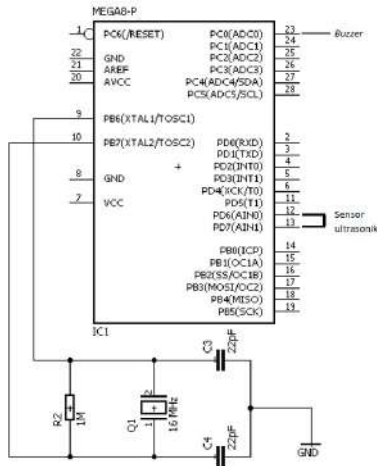
**Gambar 2. Skematik Rangkaian Catu Daya**

Sedangkan untuk merealisasi Mikrokontroler, perlu diperhatikan pin yang akan digunakan. Alokasi pin Mikrokontroler yang dipergunakan pada sistem ini diperlihatkan pada Tabel.1

**Tabel 1. Penggunaan Pin Mikrokontroler**

Pin Mikrokontroler	Penggunaan
PD7	Trig Pin Sensor Ultrasonik
PD8	Echo Pin Sensor Ultrasonik
PC0	Buzzer

Untuk dapat beroperasi, mikrokontroler membutuhkan sebuah osilator. Mikrokontroler sendiri sudah memiliki osilator sebesar 8 MHz. Namun agar kinerja mikrokontroler lebih cepat, dibutuhkan osilator eksternal (Kristal) yang nilainya melebihi dari 8 MHz. Sehingga agar dapat beroperasi secara maksimal digunakanlah Kristal osilator sebesar 16 MHz. Mikrokontroler akan memproses pembacaan data yang dikirimkan dari sensor ultrasonik. Rangkaian mikrokontroler ATmega328 dengan kristal ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengukuran osilator kristal menggunakan osiloskop didapat 16.006 MHz. nilai pengukuran dengan perancangan ada perbedaan yang kecil yaitu sebesar 0.006 MHz, atau perbedaannya hanya 0.03%. Sehingga osilator yang digunakan pada mikrokontroler dapat dianggap baik karena memenuhi standar.



**Gambar 3. Mikrokontroler ATmega328 dengan kristal**

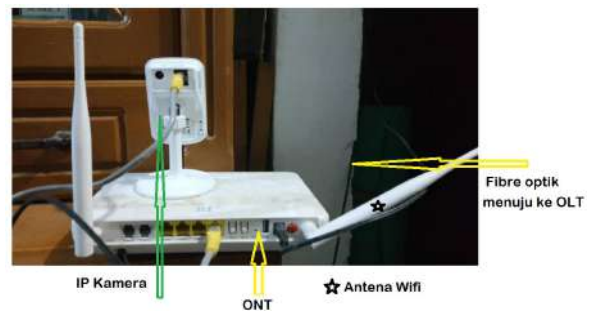
Pin PD7-PD8 merupakan pin *input* mikrokontroler, yang tersambung dengan sensor ultrasonic HC-SR04. Sensor ultrasonik akan mendeteksi kendaraan yang berada didekat sensor tersebut. Sensor HC-SR04 mampu mendeteksi hingga jarak 30 cm, tetapi dari hasil percobaan dalam penelitian ini hanya mampu hingga jarak 25 cm. Inisialisasi dibuat bila sensor ultrasonik mendeteksi adanya objek pada jarak  $\leq 25$  cm akan bernilai *high*, dan sebaliknya bila lebih dari 25cm akan bernilai *low*. Apabila sensor ultrasonik mendeteksi adanya objek pada jarak  $\leq 25$  cm, data jarak yang terbaca oleh mikrokontroler membuat keluaran menjadi *high* dan selanjutnya diproses untuk mengaktifkan *buzzer* yang terpasang pada pin *output* PC0 dari mikrokontroler. *Buzzer* akan berbunyi selama 10 detik. Data jarak tersebut disambungkan ke LCD monitor melalui jaringan FTTH dengan menggunakan *ethernet shield* yang telah diatur *IP address*-nya.

Untuk menguji kebenaran jarak respon dari sensor, dilakukan pengukuran letak kendaraan bermotor pada jarak tertentu untuk membuktikan bahwa sensor bekerja dengan benar. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan penggaris sehingga dapat terbaca hingga satu angka dibelakang koma, sedangkan data yang terbaca pada serial monitor Arduino IDE dibuat dalam bilangan bulat. Hasilnya ada kesalahan pembacaan rata-rata 0.14 cm, atau persentase kesalahan 0.79 %, sehingga data pembacaan masih dianggap benar karena jarak yang terbaca telah mendekati jarak sebenarnya.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik**

Jarak terukur manual (cm)	Jarak terbaca pada Serial Monitor (cm)
12.2	12
15	15
17.4	17
20	20
24.1	24

Selain membuat rangkaian pendeteksi kendaraan dengan sensor, berikutnya mengkonfigurasi IP Camera yang akan digunakan untuk memantau posisi kendaraan yang sedang parkir. Konfigurasi kamera dilakukan dengan *set up* perangkat lunak dari CD-ROM yang didapat dari D-Link DCS-930 pada komputer, sehingga akan tersambung dengan Cloud. Pilih koneksi *set up* yang digunakan via *ethernet cable*. Setelah itu *IP Camera* disambungkan ke *ONT* pada *PORT 1* menggunakan kabel *UTP*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Lakukan *set up wizard* akan mencarikan *IP address* dari *IP Camera* pada jaringan yang telah terhubung, dimana *IP address* yang didapatkan adalah 172.31.16.213.



**Gambar 4. IP Camera , wifi dan ONT**

Setelah melakukan konfigurasi *IP Camera*, selanjutnya melakukan konfigurasi pada ONT. ONT yang digunakan adalah ZTE f660. Konfigurasi dilakukan dengan memasukkan kabel UTP kesalah satu port LAN yang berada pada ONT, kemudian masuk ke LAN browser dan menuliskan IP default dari ONT yaitu 192.168.1.1. kemudian memasukkan default dari username dan password dari ONT yaitu user. Kemudian tekan login. Setelah itu memilih menu "*network*" di sebelah kiri dan memilih "*LAN*" lalu mengklik pada bagian *DHCP server* untuk mengkonfigurasi *IP address*. *IP address* dari *DHCP server* yang digunakan dimulai dari 192.168.1.2 sampai dengan 192.168.1.254. Selanjutnya menekan submit untuk menyimpan hasil konfigurasi.

Selanjutnya, perlu dilakukan pengukuran redaman FTTH yaitu fiber yang terpasang dari wifi (ONT)

hingga kesentral FTTH (OLT) yang terdapat pada ruangan lain dengan fiber optik yang digunakan sepanjang 1 km. Hal ini dibutuhkan untuk memastikan redaman kabel masih pada batas yang diperbolehkan. Hasil pengukuran redaman menggunakan Optical Power Meter OPM didapat redaman sebesar -14.75 dBm. Nilai yang terukur memenuhi standar spesifikasi redaman yang dapat diterima ONT sebesar  $\geq -28$  dBm. Dengan redaman jauh lebih kecil dari standard, maka data yang dikirim dari lokasi pengukuran dapat dibaca pada jarak yang telah ditetapkan sebesar 1 km.

Untuk mengetahui performansi system dari mikrokontroler dilakukan pengukuran dengan menggunakan perangkat lunak *wireshark*. Parameter yang dihitung adalah delay, packet loss, dan throughput. Hasil pengukuran menggunakan *wireshark* didapatkan data sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Hasil pengujian dengan *wireshark***

Parameter	Hasil perhitungan	Satuan
<i>Delay</i>	36	Ms
<i>Packet Loss</i>	0	%
<i>Throughput</i>	27,55	<i>Bps</i>

Data hasil pengukuran dapat dianalisis dengan menggunakan perhitungan didasarkan pada data pengukuran, dimana hasil pengukuran packet 9039, time span (*between first and last packets*) sebesar 328 s, jumlah paket yang diterima pengirim sebanyak 9039 paket, dan rata-rata packet size 376 Byte. Untuk mengetahui *delay* pada hasil tersebut, dapat menggunakan Pers.1.

$$Delay = \frac{\text{Between First and Last Packet}}{\text{packet}} \quad (1)$$

Delay =  $328/9039 = 0,036$  s = 36 ms. Dari perhitungan tersebut, didapat *delay data* yang diakses sebesar 0,036 s.

Untuk menghitung nilai *throughput* dapat dihitung menggunakan Pers.2

$$Throughput = \frac{E_{\text{packets}}}{\text{time span}} \quad (2)$$

*Throughput* =  $9039/328 = 27,55$  bps

Untuk menghitung nilai *packet loss*, dapat dihitung menggunakan Pers-3.

$$Packet Loss = \frac{\text{packet capture} - \text{packet display}}{\text{packet capture}} \times 100\% \quad (3)$$

Packet loss =  $(9039-9039)/9039 \times 100\% = 0\%$

Berdasarkan perhitungan, nilai *packet loss* adalah 0. Hal ini berarti paket yang dikirim tidak ada yang hilang dan paket yang diterima yaitu 100%.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Sistem minimum mikrokontroler dan *sensor ultrasonic* dapat mendeteksi adanya objek berupa motor yang parkir pada jarak  $\leq 25$  cm dari rambu larangan parkir. Melalui *ethernet shield* yang terhubung dengan ONT, data dikirim ke *web server* melalui jaringan FTTH.
2. Hasil pengujian performansi pada jaringan FTTH didapatkan redaman -14,75 dBm memiliki kriteria baik, standar  $\geq -28$  dBm. *Delay* 36 ms memiliki kriteria sangat baik, standar *delay* < 150 ms. *Packet loss* 0 % dinyatakan sangat baik standar *packet loss* < 3 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahambali Staff Telkom University. FTTH. Bandung: Universitas Telkom. <https://ahambali.staff.telkomuniversity.ac.id/>, 2014.
- [2] Amrulloh, Akhmad Ghazali. Implementasi Pendeteksi Gerak Manusia Dengan Sensor Passive Infra-Red (Pir) Sebagai Kontrol Arah Kamera Dan Sistem Pengendali Kunci Pintu Dan Jendela Menggunakan Mikrokontroler. Bandung: Universitas Telkom, <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id>, 2015.
- [3] Ariestianti, Dinda Nurvita. Rancang Bangun Jaringan Fiber to The Home (FTTH) Di Laboratorium Telekomunikasi Politeknik Negeri Jakarta. Depok: Tugas Akhir. 2017.
- [4] Dewo, E. Setio. Bandwith dan Throughput. Jakarta: Artikel Populer Ilmu Komputer. <http://ilmukomputer.org>, 2004.
- [5] PT Telkom Indonesia, Tbk. Dasar Sistem Komunikasi Optik. Jakarta: Modul Perusahaan, 2012.
- [6] Putra, Samuel Mahatma. Analisis dan Perancangan Aplikasi Monitoring IP Camera Menggunakan Protokol HTTP pada Mobile Phone. Yogyakarta: Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2010 (SNATI 2010). 2010.
- [7] Rahman, Abdu.. Osilator dan Buffer. Politeknik Negeri Jakarta. Depok: Tugas Akhir, 2017
- [8] Winarno, Rasyid. Kabel Fiber Optik, <https://dosenit.com/2017>
- [9] Yulianto, Tejo. Sistem Pendeteksi Denyut Nadi Berbasis Modulasi FSK, Depok: Tugas Akhir, 2014

## Rancang Bangun *Wifi Extender* 2.4 GHz

Dandun Widhiantoro<sup>12</sup>, Abdul Aziz Abdullah<sup>12</sup>, Muhammad Faishal Akbar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, Indonesia

<sup>2</sup>Fakulti Teknologi Maklumat dan Komunikasi, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Malaysia

E-mail : dandun@elektro.pnj.ac.id

### *Abstrak*

Rancang Bangun Wifi Extender pada Frekuensi 2.4 GHz berbasis mikrokontroler merupakan alat untuk menguatkan sinyal wifi utama menjadi sinyal yang baru dengan kuat sinyal yang baik. Alat ini mempunyai performansi yang baik pada 10 meter terhadap Access Point dan Client maksimal sebesar 462 Kbps dengan kuat sinyal 62 dBm. Alat ini dapat berguna juga untuk lokasi-lokasi yang tidak tercapai wifi utama sehingga dapat diletakan pada tempat yang terjangkau wifi utama dengan kuat sinyal -58 sampai -75 dBm atau pada standar baik. pengujian pada malam hari membuat wifi extender ini tidak menunjukkan performa yang baik, dikarenakan tidak adanya Air Conditioner dan membuat kuat sinyal yang di pancarkan lebih kecil daripada siang hari dengan perbandingan -10 dBm. Perbedaan dengan wifi existing yang ada di pasaran hanya berupa jarak, yang dimana jarak maksimum dari wifi ini bisa mencapai 30 meter.

**Kata Kunci :**Wifi, Extender, Kuat Sinyal, Internet

### *Abstract*

*A design of wifi extender in frequency 2.4 GHz with microcontroller basis is a tool to strengthen the main wifi signal to be a new signal with a good signal strength. This tool has a good performance to 10 metres throughout the access point and client maximum up to 462 Kbps with 62 dBm signal strength. This tool could make several locations which are not reachable by the main wifi to have a good signal strength by -58 up to -75 dBm and it could run with a good standard. An extender wifi could not run well when the trial did in the afternoon. It caused by air conditioner was unavailable. It caused by no any air conditioner, thus the signal emitted slower compared to the afternoon trial with comparison by -10dBm. The differentiation between extender wifi and the existing one available in the market is in the maximum distance of this wifi which could raise up to 30 metres.*

**Key words:** wifi, extender, signal strength, internet.

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan jaringan internet di zaman milenial saat ini sangatlah penting bagi setiap individu, entah keperluannya untuk hal yang penting, atau hanya sekedar bermain game [1]. Tidak seperti di awal masuknya internet ke indonesia, jaringan itu hanya bisa menggunakan kabel dan diakses dengan komputer. Pada saat ini tidak sedikit orang-orang yang bisa mengakses internet dengan *handphone*-nya menggunakan jaringan data, maupun wifi yang ada di kafe atau perkantoran, bahkan tidak sedikit yang telah memasang jaringan wifi di rumah masing-masing. Wifi merupakan teknologi yang dirancang agar memudahkan para pengguna agar dapat berselancar di dunia maya dengan nyaman tanpa perlu diganggu oleh banyaknya kabel [2]. Namun ketergantungan terhadap internet menjadi masalah

baru, yang membuat user ingin berselancar dimana pun tempatnya, sehingga diperlukan cakupan jaringan agar pengguna dapat menggunakan internet di tempat yang tidak terjangkau sinyal wifi [1,4]. Terutama di dalam rumah yang biasanya memiliki beberapa ruangan tertutup, agar jaringannya dapat melingkupi seluruhnya diperlukan beberapa Access Point di setiap sudut ruangan, namun penarikan kabel dan penambahan tempat menjadi masalah lain di dalam rumah.

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan perangkat yang dapat memancarkan kembali sinyal Wifi yang terpancar sedikit di ruangan tanpa perlu memikirkan besarnya biaya dan ruangan khusus. Repeater atau extender adalah solusi yang tepat untuk masalah tersebut. Alat ini merupakan perangkat

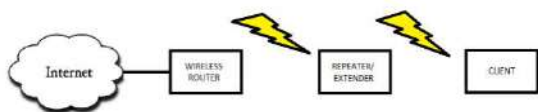
elektronik yang dapat menerima sinyal wifi yang kecil di dalam sebuah ruangan, dan memancarkannya kembali sehingga dapat memaksimalkan kebutuhan jaringan internet pada ruangan tersebut. Alat ini juga tidak perlu tersambung ke listrik, karena mempunyai power supply sendiri dari baterai yang tertanam didalamnya [3].

Wifi extender dapat digunakan sebagai alternatif untuk mendapatkan sinyal wifi dengan biaya yang murah di dalam akses internet yang sama.

## 2. Eksperimental

### 1. Deskripsi Alat

Alat yang di rancang untuk skripsi ini adalah alat yang akan menguatkan sinyal wifi utama sehingga memperluas jangkauan sinyal ke berbagai arah. Wifi extender ini dapat memancarkan kembali sinyal yang ada sesuai dengan standar IEEE 802.11b/g/n pada frekuensi 2.4 GHz. Sinyal yang dipancarkan tersebut dapat terhubung pada komputer atau handphone pengguna dengan menyambungkan wifinya. SSID (*Service set identifier*) yang digunakan wifi extender ini berbeda dengan wifi utama agar berinterferensi dengan sinyal utama.

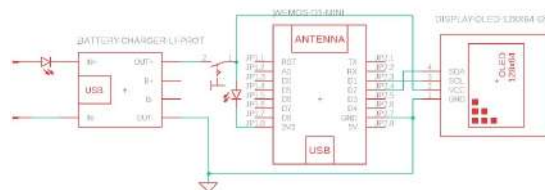


Gambar 1 Diagram Blok Alat

Alat ini menggunakan sebuah baterai untuk catu dayanya. Dilengkapi dengan baterai yang bisa di-charge ulang serta rangkaian charger-nya. Diletakkan juga indikator, indikator untuk menginformasikan apakah alat ini sudah terhubung dengan sinyal wifi utama. Setelah indikator sinyal wifi terdeteksi maka masukan *password* pada SSID *wifi extender*.

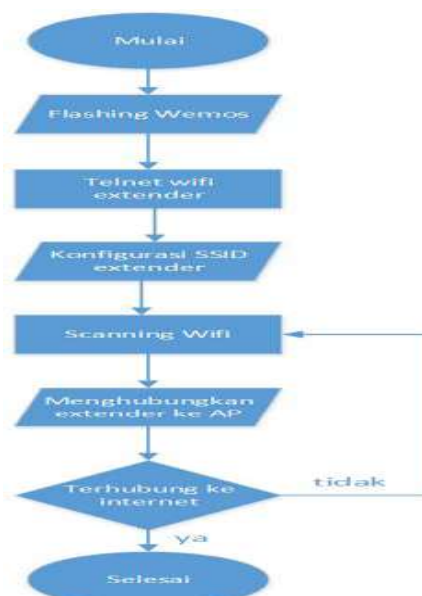
### 2. Perancangan Hardware

Wifi Extender ini dibuat menggunakan Wemos ESP8266. Seperti gambar 3.3 terlihat bahwa ada 2 buah wemos yang di gunakan secara berbeda, wemos pertama di gunakan sebagai inputan oled, dimana dapat menampilkan wifi yang ada di sekitar. Wemos yang kedua di gunakan sebagai alat utama wifi extender ini yang dapat menerima dan memancarkan kembali sinyal wifi yang ada.



Gambar 2 Rangkaian Wifi Extender

Perancangan program oled pada Wemos ini menggunakan Arduino IDE, dimana diatur akses poin mana yang dapat di tampilkan di layar oled. Sedangkan perancangan wifi extender pada ESP8266 ini menggunakan Flashtool, dengan mengunggah firmware pada Wifi Extender maka akan dibuat alat tersebut menjadi wifi extender. ini dibuat menggunakan ESP8266, dimana alat ini akan di flash menggunakan flashtool V3.4.1 dengan memasukan firmware wifi extender.



Gambar 3 Diagram Alir Program

### 3. Perancangan Software

Proses perancangan wifi extender ini dengan cara flash firmware ESP8266 dengan menggunakan flashtool, setelah itu hubungkan dengan komputer dan lakukan telnet. Setelah itu dapat di konfigurasi dalam telnet tersebut ssid yang ingin di gunakan pada extender. Setelah itu lakukan scanning terhadap wifi yang ada pada sekelilingnya, bila telah menemukan wifi yang dituju, hubungkan extender dengan wifinya. Hal ini dituangkan dalam bentuk flowchart di gambar 3.



#### 4. Realisasi *Hardware*

Realisasi perangkat keras Alat penguat sinyal wifi yang terdapat pada gambar 4, merupakan rangkaian yang terdiri dari Battery Shield dengan baterai 18650 sebagai sumber tegangan, Wemos ESP8266 sebagai perangkat yang digunakan sebagai Wifi Extender.



Gambar 4 Diagram Alir Program

#### 5. Realisasi *Software*

*Sketch* program wifi extender dibawah ini.

```
WiFi.getNetworkInfo(network, ssid, encryptionType, RSSI, BSSID, channel, isHidden);
if (BSSID[5] != curEss) {
  Serial.println("New Ess!");
  curEss = BSSID[5];
  Serial.print(BSSID[5],HEX);
  Serial.println(curEss,HEX);
}
Serial.print("Signal strength: ");
int bars;
// int bars = map(RSSI,-90,-46,1,6); // this method doesn't reflect the Bars well
// simple if then to set the number of bars
if (RSSI > -55) {
  bars = 5;
} else if (RSSI < -55 & RSSI > -65) {
  bars = 4;
} else if (RSSI < -65 & RSSI > -70) {
  bars = 3;
} else if (RSSI < -70 & RSSI > -75) {
  bars = 2;
} else if (RSSI < -75 & RSSI > -82) {
  bars = 1;
} else {
  bars = 0;
}
```

Gambar 5 *Sketch* Program Wifi Extender

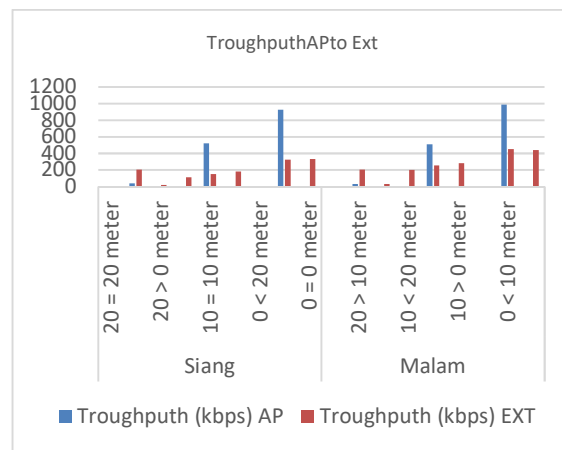
### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk membuktikan kinerja wifi extender yang telah dibuat, maka dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dalam dua skenario. Skenario pertama menguji kinerja dari wifi extender yang telah dibuat. Skenario kedua, membandingkan wifi extender yang telah dibuat dengan wifi extender yang ada di pasaran.

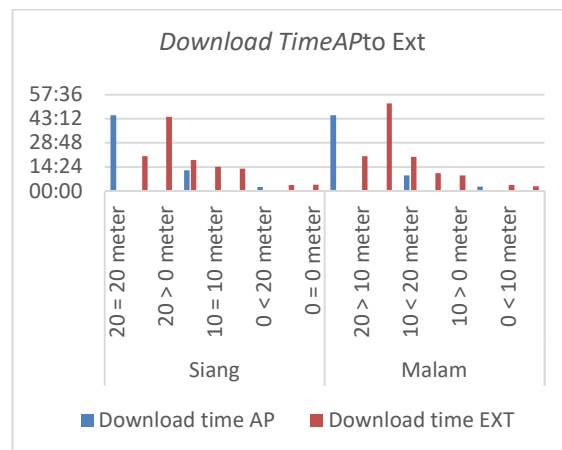
#### 1. Skenario Pertama

Pengujian dilakukan dengan mengunduh file multimedia berbentuk Video dengan format Mp4 sebesar 95 Mbps pada Google Drive. Wifi extender

diletakan dengan AP dengan jarak 0 Meter, 10 meter dan 20 meter dan jenis propagasinya LOS di siang dan malam hari.. Parameter yang diukur adalah throughput dan waktu.



Gambar 6 Grafik Throughput saat Kondisi Siang dan Malam Hari

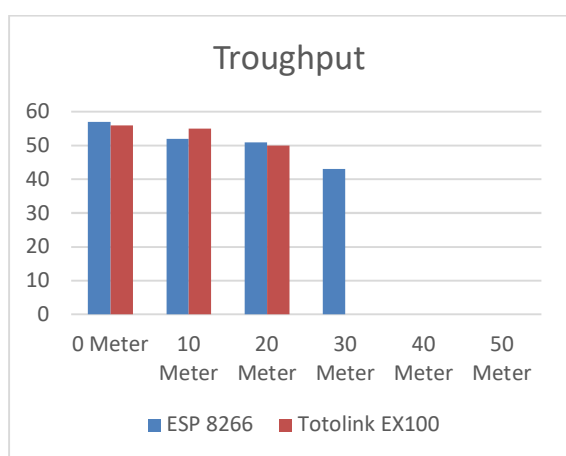


Gambar 7 Grafik download time saat Kondisi Siang dan Malam Hari

Pada gambar diatas bahwa AP memiliki performasi yang lumayan tinggi pada jarak yang dekat denga *client*. Namun perbedaan pada *extender* yang melakukan *download* sebesar 95 Mb ini. Terlihat bahwa banyaknya kegagalan yang terjadi ketika melakukan pengunduhan. Hal ini bisa di sebabkan karena tidak dapatnya akses yang baik untuk melakukan pengunduhan melalui akses point yang berada di 20 meter dengan melalui obstacle. Namun masih tetap seperti sebelumnya dalam jarak 10 meter AP dan *extender*, memiliki performa yang cukup baik untuk sebuah *extender* yang menggunakan mikrokontroler.

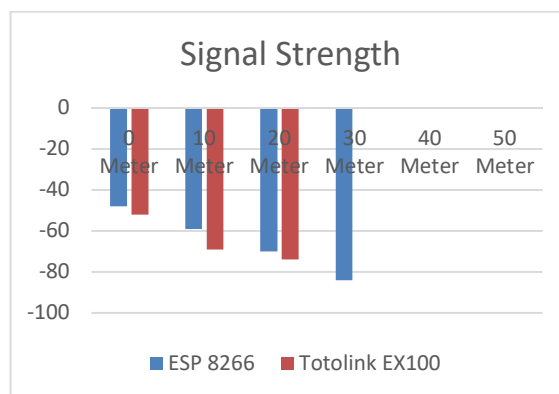
## 2. Skenario Kedua

Pengujian kedua dilakukan dengan membandingkan wifi extender dengan wifi extender buatan pabrik. Pengujian dilakukan dengan melakukan video streaming video music di youtube selama 3:43 Menit dengan kualitas video 360p dengan menggunakan extender ESP8266 dan Extender Totolink EX100. Wifi extender diletakkan dengan client pada jarak 0 – 50 Meter dengan interval jarak masing-masing 10 meter. Parameter yang di ukur adalah throughput, packet loss dan Signal Strength



Gambar 8 Grafik perbandingan throughput antara dua wifi extender

Pada gambar 8 dan 9 adalah hasil dari komparasi performansi dari dua *extender* yang berbeda. Satu menggunakan ESP8266 dan lainnya Totolink EX100. Pada spesifikasi yang di berikan, *wifi extender* Totolink mempunyai kecepatan up to 150 Mbps, sedangkan pada ESP8266 hanya sampai 72.2 Mbps. Namun pada hasil yang dicapai, untuk performansi kedua *extender* ini tidak jauh berbeda. Terlihat pada troughput pada *extender* ESP8266 dimana ketika melakukan *video streaming music* di youtube pada mode 360p terlihat *troughput* stabil kisaran 40 sampai 50 Kbps. *Extender* Totolink EX100 juga memiliki troughput yang tidak jauh berbeda dari sebelumnya, memiliki kisaran 40 sampai 50 Kbps. Ini membuktikan bahwa ketika menggunakan *wifi extender* ESP8266 ini dapat digunakan seperti *wifi* pada umumnya yang ada di pasaran.



Gambar 9 Grafik perbandingan signal strength antara dua wifi extender

Kelebihan dari *wifi extender* ESP8266 ini memiliki jarak yang lebih jauh dari Totolink EX100, dimana hasil kuat sinyal yang di pancarkan bisa mencapai 30 Meter sedangkan Totolink hanya mencapai 20 meter. Ini mungkin bisa di sebabkan karena *bandwidth* yang di pancarkan pada esp8266 ini hanya sebesar 72.2 Mbps, sehingga bisa memancarkan sinyal lebih jauh dibanding Totolink EX100 yang bisa mencapai 150 Mbps, tetapi tidak begitu jauh kuat sinyal yang di pancarkan.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan proses pembuatan tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Kuat sinyal yang dipancarkan wifi extender bisa mencapai -51 dBm pada propagasi LOS dan -53 dBm pada propagasi NLOS, dimana kuat sinyal tersebut masuk dalam kategori sangat baik (-10 dBm to -57dBm).
2. Pengaruh jarak antara extender dengan AP sangat terlihat. Dalam pengujian extender saat berjauhan dengan AP maupun dengan *client* sejauh 20 Meter mempunyai performansi yang buruk hanya mencapai 20-40 Kbps, bahkan beberapa kali melakukan kegagalan pengunduhan. Sedangkan pada jarak 10 meter dengan AP, pengunduhan dapat berjalan dengan baik berkisar 200 – 450 Kbps walau tidak sebaik AP dengan jarak 10 meter bisa mencapai 500 – 600 Kbps. Tetapi walaupun extender diletakkan berdekatan dengan client dan AP hal ini tidak membuat extender lebih tinggi dari 450 Kbps.
3. Perbedaan komparasi performansi antara Wifi buatan menggunakan ESP8266 dengan extender pasaran Totolink EX100 ini hampir memiliki performa yang sama. Troughput yang di

hasilkan ketika melakukan *videostreaming* di *youtube* selama 3 menit bisa mencapai 40 – 50 Kbps. Namun pada jarak jangkauannya wifi buatan ini lebih jauh dibandingkan wifi extender pasaran, karena bisa mencapai 30 Meter, yang dimana wifi extender pasaran hanya bisa menjangkau 20 Meter.

#### 4. Daftar Acuan

- [1] Riza Kurniawan. (2015). Analisis Kinerja Jaringan Komputer Nirkabel Di Sekolah
- [2] Pontianak : Universitas Tanjungpura. Pearl Pratama Romadhon. (2014). Analisis Kinerja Jaringan Wireless LAN
- [3] Kurniawan, Wiharsono. (2007). Jaringan Komputer. Yogyakarta : C.V. Andi Offset.
- [4] Aryanto, Kadek Yota Ernanda dan Kadek Surya Mahedy. (2014). Jaringan Komputer. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [5] Mulyanta, Edi S. (2005). Pengenalan Protokol Jaringan Wireless Komputer. Yogyakarta : C.V. Andi Offset.
- [6] Patrya Sasmita, Wahyu. (2012). Analisis Quality of Service (QoS) Pada Jaringan Internet (Studi Kasus : Fakultas Kedokteran Universitas Tanjungpura).
- [7] Iskandar, Iwan dan Alvinur Hidayat. (2015). Analisa Quality of Service (QoS) Jaringan Internet Kampus (Studi Kasus : UIN Suska Riau). Riau : Universitas Negeri Islam Sultan Syarif Kasim Riau.
- [8] Saleh Lubis, Rahmad (2104). Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Internet Di SMK Telkom Medan. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [9] Santosa, Budi. (2004). Manajemen Bandwidth Internet dan Intranet. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [10] Stallings, Williams. (2005). Komunikasi dan Jaringan Nirkabel. (Alih Bahasa : Dimas Aryo Sasongko, S.T. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [11] Wi-Fi Alliance. (2016). Certification. Diakses dari <http://www.wifi.org/certification> pada tanggal 29 Agustus 2016, jam 22.46 WIB.
- [12] Wulandari, Rika. (2016). Analisis QoS (Quality of Service) Pada Jaringan Internet (Studi Kasus : UPT Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon – LIPI). Sukabumi : Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

# Sistem Kendali Drone Menggunakan SP Android dan Router Openwrt

Abdul Aziz Abdullah<sup>1,2</sup>, Nanda Fadillah Ramadhan<sup>1</sup> dan Dandun Widhiantoro<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, Indonesia

<sup>2</sup>Fakulti Teknologi Maklumat dan Komunikasi, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malaysia

E-mail: abdul.aziz@tik.pnj.ac.id; nandek\_fadillah@yahoo.com; dandun@elektro.pnj.ac.id

## Abstrak

Pada era modern ini, berbagai jenis pekerjaan atau aktivitas manusia telah difasilitasi oleh keberadaan mesin. Mesin diprogram sesuai dengan persyaratan kerja mesin. Salah satu manfaat mesin sebagai alat dokumentasi suatu peristiwa langka dengan memanfaatkan mesin Unmanned Aerial Vehicle (UAV) yaitu Drone yang dilengkapi dengan kamera. Dan pemanfaatan SP Android yang akrab di masyarakat sebagai pengendali mesin Drone. Menggunakan router nirkabel yang telah diinstalasi firmware openwrt Linux, kemudian diintegrasikan dengan rangkaian kendali Drone, dan berkomunikasi dengan SP Android melalui TCP Socket. SP Android akan berfungsi sebagai pengirim kendali perintah, dan router nirkabel digunakan sebagai penerima perintah yang kemudian diteruskan ke Arduino UNO (AU), kemudian AU mengkondisikan nilai pesanan yang diterima seperti *throttle*, *yaw*, *pitch*, and *roll*. Hasil pesanan pengkondisian akan dikirim dalam bentuk pulsa melalui sinyal pin Pulse Width Modulation (PWM) ke pengontrol penerbangan pada Drone. Hasil penelitian ini berupa Drone dapat dikendalikan menggunakan SP Android dan dapat diakses melalui jalur lokal atau Local Area Network dan internet menggunakan IP publik.

Kata kunci Android, Arduino Uno, OpenWrt, Drone, TCP Socket

## 1. Pendahuluan

Drone masuk dalam kategori UAV (Unmanned Aerial Vehicle) yaitu pesawat tanpa awak [1]. UAV menggunakan jalur udara yang dapat dimanfaatkan seperti pemetaan, peliputan berita, dan sampai pengintaian melalui udara untuk keperluan militer, salah satu teknologi UAV adalah Drone [2]. Drone merupakan salah satu jenis pesawat Vertical Take off Landing (VTOL) yang dapat melakukan take off dan landing secara tegak lurus terhadap bumi sehingga dapat dilakukan pada area yang sempit [3].

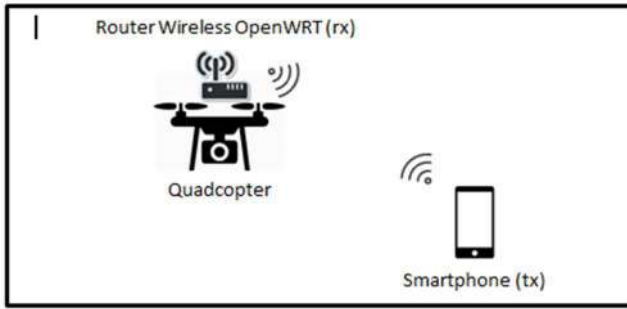
Dalam menerbangkan Drone sesuai dengan keinginan pengguna, dapat digunakan *remote control* hasil fabrikasi dengan menggunakan media transmisi gelombang radio atau Wifi [4]. Tentu terdapat berbagai jenis perangkat kendali atau remote control dan frekuensi yang digunakan sebagai jalur komunikasi, salah satunya menggunakan perangkat android dengan frekuensi 2.4Ghz yaitu Wi-Fi atau Bluetooth. Kemampuan smartphone (SP) android tentu mempunyai batas jarak dalam menangkap atau mencarakan sinyal radio. Linux menyediakan sistem operasi OpenWRT yang dipasangkan pada perangkat Wireless Router yang mendukung WRT. Openwrt adalah sebuah proyek opensource untuk menciptakan sebuah sistem operasi gratis yang bisa di install (embedded) pada perangkat radio wireless [5]. Perangkat OpenWRT ditambahkan pada Drone digunakan sebagai penerima perintah atau receiver yang dikirimkan oleh SP android atau transmitter, dan jalur komunikasi yang digunakan menggunakan TCP Sockets yaitu dengan membuka port baru dengan protokol TCP. TCP Socket agar dapat diakses secara jaringan lokal (Local Area Network) point to point

atau jaringan internet menggunakan IP Publik. Melalui beberapa perangkat tersebut di atas bagaimana sistem UAV Drone dapat dikendalikan dan tidak dibatasi oleh jarak ataupun jaringan lokal selama Drone dan perangkat pengendali terhubung dengan internet dan jalur untuk kendali Drone tersedia, mengendalikan Drone dengan sistem SP.

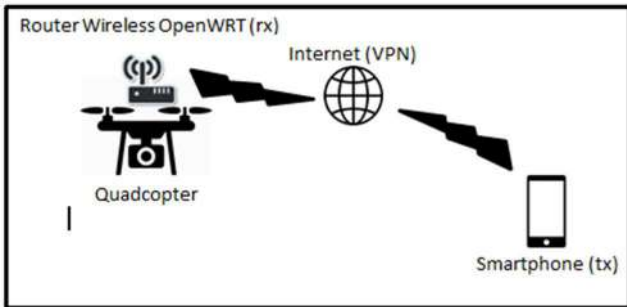
## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari SP android yang dipasang aplikasi sistem kendali yang telah selesai dibuat menggunakan bahasa java di lingkungan Android Studio. Dan aplikasi yang telah terinstalasi pada SP android menjadi perangkat kendali berkomunikasi mengirimkan perintah kepada router wireless, dan router wireless yang berpasangan dengan AU akan meneruskan perintah tersebut kepada *flight controller Drone* yaitu APM 2.6, dan melalui pin PWM (Pulse Width Modulation) AU mengirimkan nilai pulse yang akan mempengaruhi putaran pada motor *brushless Drone*. Gambar 3.1 mengendalikan Drone terhubung dengan jaringan lokal. SP terhubung dengan router wireless melalui sinyal Wi-Fi 2.4Ghz yang dipancarkan oleh router wireless.

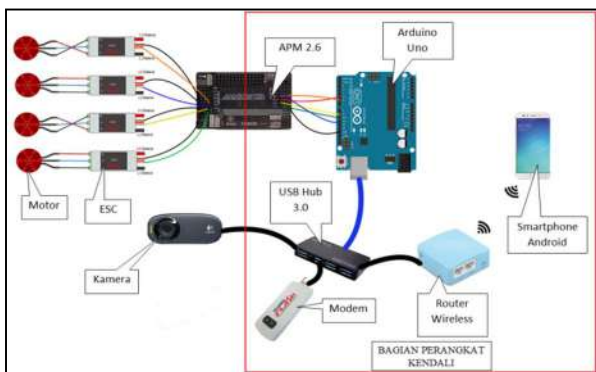
Gambar 3.2 mengendalikan Drone terhubung dengan jaringan internet. Pengendalian Drone melalui jaringan internet, Drone harus memiliki IP Publik agar dapat diakses. Drone diintegrasikan dengan suatu modem dan terhubung dengan jaringan Virtual Private Network (VPN) yang menyediakan IP Publik dan *fitur port forward*.



Gambar 3.1 Kendali Drone koneksi jaringan lokal



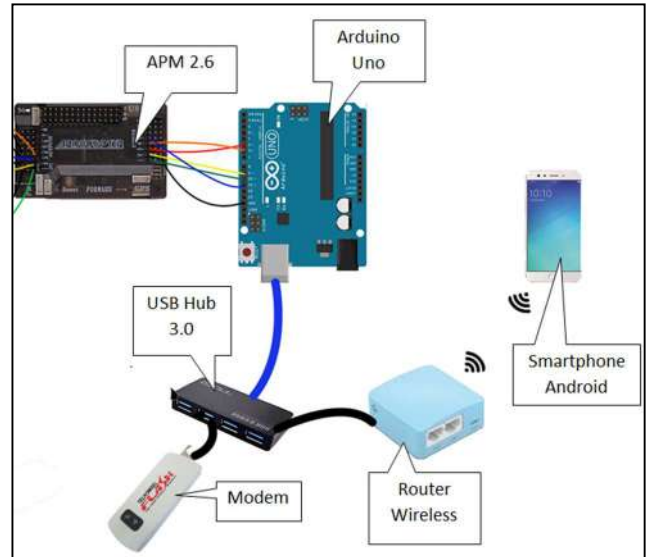
Gambar 3.2 Pengendalian *Drone* saat terkoneksi jaringan internet melalui VPN



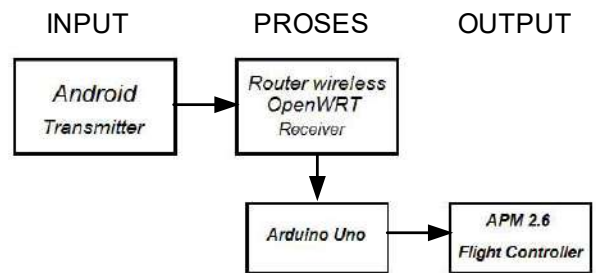
Gambar 3.3 Bentuk skematik integrasi perangkat keseluruhan

Rangkaian skematik terlihat pada gambar 3.3 menjelaskan integrasi perangkat keseluruhan. Dapat terlihat pada bagian sebelah kanan yang di dalam area persegi empat adalah merupakan sistem perangkat kendali *Drone* seperti yang terlihat pada gambar 3.4 dibawah. Dan pada bagian sebelah kiri gambar 3.3 di atas adalah beberapa motor *brushless* merupakan bagaian yang dikendalikan melalui sub sistem kendali *quacopter*.

Gambar 3.4 beberapa perangkat yang dibutuhkan untuk membangun rangkaian kendali *Drone*, perangkat-perangkat tersebut adalah SP android, Router wireless, USB Hub, Modem, Arduino Uno (AU), dan APM 2.6 sebagai output, perangkat yang dikendalikan melalui AU. Dan gambar 3.5 adalah diagram blok sistem kendali *Drone* menggunakan SP android dan dengan router OS openwrt. Penggambaran sederhana mulai dari sistem SP android hingga kepada sistem pengendalian penerbangan *Drone*.



Gambar 3. 4 Bagian Perangkat Kendali



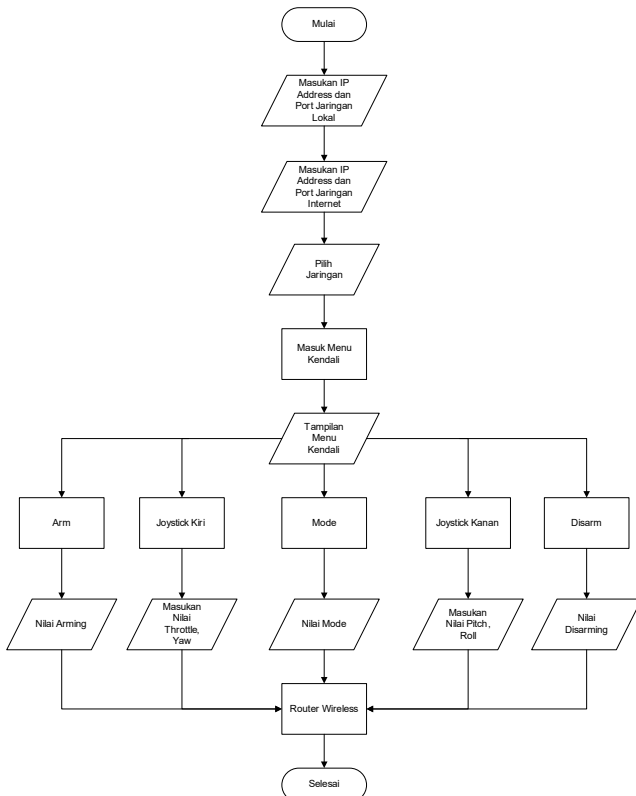
Gambar 3.5 Diagram blok perangkat kendali

Pada perangkat *remote control Drone* fabrikasi, terdapat 2 buah joystick kanan dan kiri yang digunakan untuk menggerakkan *Drone*. Joystick kiri digunakan untuk memberikan perintah throttle dan yaw dan joystick kanan digunakan untuk memberikan perintah pitch dan roll. Nilai yaw, pitch, dan roll akan selalu kembali ke nilai 1500 jika selesai memberikan gerakan joystick untuk perintah tersebut, karena jarak angka nilai untuk perintah adalah 1000 hingga 2000, sehingga nilai 1500 dipilih sebagai nilai tengah untuk *Drone* tetap pada posisi tegak atau tidak miring, dan untuk throttle digunakan untuk ketinggian, semakin besar throttle maka semakin tinggi *Drone*, sehingga throttle dapat diatur dan tidak kembali ke nilai 1500.



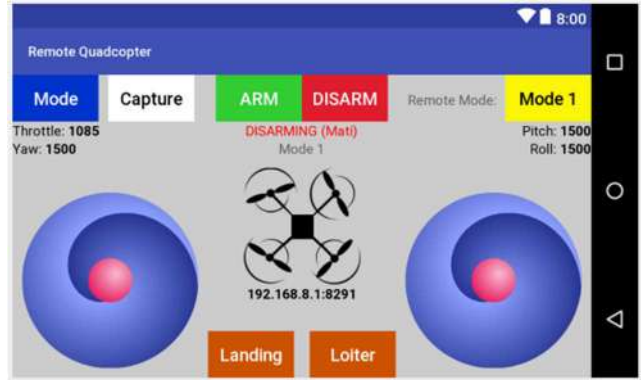
Gambar 3. 6 Remote control sudah jadi

Gambar 3.7 Bentuk diagram alir rancang bangun sistem kendali Drone menggunakan SP android dan openwrt. Diagram alir gambar 3.7, merupakan diagram alir aplikasi kendali Drone agar tersedia untuk mengendalikan Drone, user dengan SP yang terhubung jaringan lokal atau internet mengisi IP address dan port yang digunakan untuk terhubung ke TCP socket server pada router. IP Address dan port yang diisikan harus sesuai yang dipasangkan pada router, dan untuk menggunakan jaringan internet IP address dan port diisikan sesuai pemberian dari layanan VPN karena Port Forward yang dilakukan oleh pihak layanan VPN.



Gambar 3.7 Diagram alir aplikasi kendali Drone

Hasil dari implementasi diagram alir gambar 3.7 menggunakan pemrograman java mobile pada lingkungan Android Studio, terlihat pada gambar 3.8. Aplikasi remote control setelah dijalankan pada SP, penggambaran beberapa menu, dimana joystick bagian kiri digunakan untuk memberikan nilai throttle dan yaw, dan joystick bagian kanan untuk memberikan nilai pitch dan roll. Dan tombol mode untuk mengganti mode terbang Drone, tombol arm digunakan agar Drone kesiapan untuk terbang, dan tombol disarm digunakan untuk mematikan ketersediaan / kesiapan Drone untuk terbang. Gambar 3.8 menunjukkan bentuk GUI, graphical user interface dari menu kendali Drone.



Gambar 3.8 Interface aplikasi kendali

Bentuk interface aplikasi untuk mengendalikan Drone adalah dua buah Joystick. Joystick kiri memberikan nilai throttle dan yaw, joystick kanan memberikan nilai pitch dan roll, arm.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pengujian Sistem

Peneliti kemudian melakukan pengujian penggunaan aplikasi remote control atau aplikasi kendali Drone dari SP yang telah terkoneksi. Pengujian Stick kanan dan kiri, pengujian Menu Arm, Disarm, Mode, pengujian waktu tunggu atau Delay.

Pengujian pengiriman nilai karakter dari SP android (tx) menuju router nirkabel (rx) yang diteruskan kepada AU lalu ke pengendali APM, yakni pengujian throttle, yaw, pitch dan roll. Tabel 3.1 joystick kiri digeser ke arah bawah akan memberikan perintah throttle, joystick kiri digeser ke arah kiri akan memberikan perintah yaw, joystick kanan digeser ke arah bawah akan memberikan perintah pitch, dan joystick kanan digeser ke arah kiri akan memberikan perintah roll.

Tabel 3.1 Pengujian nilai karakter dari joystick

Joystick	Arah Geser	Perintah
Kiri	Bawah	Throttle
Kiri	Kiri	Yaw
Kanan	Bawah	Pitch
Kanan	Kiri	Roll

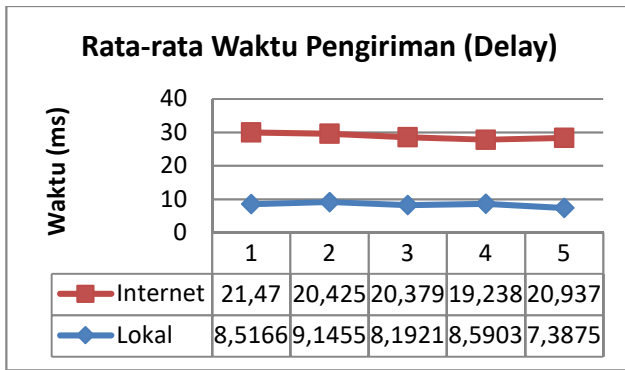
Hasil pengujian remote control pada SP lihat tabel 3.2 merupakan pengujian menekan tombol arm pada menu kendali keluarannya akan mengirimkan perintah arming, tombol disarm akan mengirimkan perintah disarming, dan tombol mode akan mengirimkan perintah untuk merubah mode.

Tabel 3.2 Pengujian pengiriman nilai karakter dari tombol

Tombol	Perintah
Arm	Arming
Disarm	Disarming
Mode	Merubah Mode Terbang

Pengujian yang dilakukan kemudian adalah menghitung rata-rata delay atau rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan nilai karakter dari transmitter ke receiver, persamaan Delay (4).





Gambar 3. 1 Grafik rata-rata waktu pengiriman

Gambar 3.1 di atas merupakan grafik hasil pengujian rata-rata delay atau rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan nilai karakter dari transmitter ke receiver. Hasil tabulasi diperoleh dengan menggunakan *tool wireshark*, skenario pengujian menggunakan perintah shell script dilakukan sebanyak 5 kali dan pada setiap pengujian dilakukan pengiriman 200 kali nilai karakter dengan kuat sinyal -54 dBm untuk komunikasi jaringan lokal.

### 3.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian pengiriman nilai karakter dari SP android (tx) menuju router wireless (rx) yaitu *throttle*, *yaw*, *pitch*, *roll*, *arm*, *disarm*, dan *mode*, agar Drone kesiapan untuk terbang dengan menekan tombol arim dan untuk mematikannya dengan tombol *disarm*, untuk menerbangkan Drone dengan memberikan nilai perintah *throttle* yaitu dengan menggeser joystick kiri kearah atas dan untuk menurunkan dengan menurunkan joystick kearah bawah, untuk melakukan putaran atau *yaw* dengan menggeser joystick kiri kearah kiri atau kanan, untuk membuat Drone maju atau mundur yaitu memberikan nilai *pitch* dengan menggeser joystick kanan kearah atas atau bawah, untuk membuat Drone berbelok arah kiri atau kanan yaitu memberikan nilai perintah *roll* dengan menggeser joystick kanan kearah kiri atau kanan, dan untuk merubah mode terbang Drone dengan menekan tombol *mode*.

Kecepatan pengiriman nilai karakter dari SP android menuju router wireless berdasarkan hasil pengujian, pengiriman dengan jaringan lokal lebih baik dari pada pengiriman dengan jaringan internet. Rata-rata waktu tercepat dan terlama untuk jaringan lokal adalah 7,387 ms dan 9,145 ms, dan untuk jaringan internet rata-rata waktu tercepat dan terlambat adalah 19,238 ms dan 21,469 ms. Hasil tabulasi pengujian dan dibandingkan dengan menggunakan tabel kategori standarisasi delay dari TIPHON pada tabel 2.1, pengujian koneksi kendali Drone melalui VPN atau jaringan internet termasuk dalam kategori sangat bagus dan demikian juga melalui jaringan lokal atau LAN sangat bagus [13].

Pengendalian melalui jaringan lokal lebih baik dari jaringan internet, jaringan internet dapat digunakan jika Drone diluar dari jangkauan jaringan area lokal dan dapat dimanfaatkan mode terbang kembali ke titik awal terbang

dengan menekan tombol mode untuk merubah mode terbang Drone

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sistem kendali Drone dan SP, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pengendalian Drone menggunakan SP dalam pengujian terkoneksi, dapat dilakukan dan teroneksi dengan baik.
- Pengendalian Drone menggunakan SP dengan media jaringan lokal juga dapat dilakukan pengendalian dengan baik, jaringan lokal lebih unggul dengan kecepatan rata-rata pengiriman tercepat 7,387 ms dan terlama 9,145 ms.
- Pengendalian Drone menggunakan media jaringan internet, memberikan kemampuan kecepatan yang berbeda, jaringan internet dengan kecepatan rata-rata tercepat 19,238 ms dan terlama 21,469.
- Pengendalian Drone menggunakan SP dengan media jaringan lokal ataupun internet, yakni menghubungkan Drone melalui jaringan nirkabel. Penelitian menggunakan router nirkabel openwrt, dan modem yang terhubung dengan VPN dengan menyediakan IP Publik dan memberikan fitur port forward.

Saran pekerjaan dapat berlanjut dengan baseline penelitian tentang Drone, AU, router openwrt serta modem nirkabel yang telah dilakukan. Dan disarankan penelitian berbasis Drone dengan jumlah lebih dari satu dan berkelompok.

### 5. Daftar Acuan

- [1] A. A. Abdullah, S. Shahib, and N. A. Abu, "Drone Ad-Hoc Networks (DRANETs)," in *Proceeding of The 6th ASAIS 2017*, 2017, pp. 113–123.
- [2] A. A. Abdullah, I. Machfudin, and M. W. Zamuswara, "Flying weather network system based on wireless sensor , a flights investigation," *IOP Conf. Ser. J. Phys. Conf. Ser.* 1193, vol. 1, 2018.
- [3] B. J. Utomo, "Rancang Bangun UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Model Quadcopter dengan Menggunakan Algoritma Proportional Integral Derivative," *J. Tek. Komput. Univ. Telkom*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [4] S. W. Hadi, G. E. Setyawan, and R. Maulana, "Sistem Kendali Navigasi Ar . Drone Quadcopter Dengan Prinsip Natural User Interface Menggunakan Microsoft Kinect," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 380–386, 2018.
- [5] F. Pratama, "Analisis Perbandingan Quality of Service ( Qos ) Firmware Original Tl-Mr3020 Dengan Firmware Openwrt," vol. II, no. 2, pp. 1–15, 2016.
- [6] M. Latif and H. Budiarto, "Perancangan sistem autonomous Quadcopter," *Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. November, pp. 1–5, 2014.
- [7] R. I. Sulistiyawati, W. A. Syafei, and I. Santoso,

- “RANCANG BANGUN JARINGAN PRINTER NIRKABEL MENGGUNAKAN WIRELESS ROUTER TL-MR3420V2 DAN OPENWRT,” pp. 2–7, 2015.
- [8] A. A. Mahardani and Asmunin, “Implementasi Openvpn Menggunakan LDAP Sebagai Manajemen User,” *J. Manaj. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 29–35, 2017.
- [9] I. Al Fikri, D. Herumurti, and R. Rahman, “Aplikasi Navigasi Berbasis Perangkat Bergerak dengan Menggunakan Platform Wiktitude untuk Studi Kasus Lingkungan ITS,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 1, pp. 48–51, 2016.
- [10] R. L. Amanda, E. Setijadi, and Suwadi, “Rancang Bangun Demodulator FSK pada Frekuensi 145,9 MHz untuk Perangkat Receiver Satelit ITS-SAT,” *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no. 2, pp. 294–299, 2013.
- [11] D. Setiawan, J. Triyono, and C. Iswahyudi, “Analisis Perbandingan Quality Of Service (QoS) Firmware Default Dan Firmware Openwrt Pada Access Point TP-LINK MR3020,” *J. JARKOM*, vol. 5, no. 2, pp. 109–119, 2017.
- [12] A. A. Abdullah, A. Setiawan, R. S. Mangiang, and N. F. Soelaiman, “Ontology of QoS For Comparative Analysis Of Dynamic Network Protocols OSPFv3 And RIPng In File-Sharing,” 2019.
- [13] ETSI-TIPHON, “Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS),” Valbonne, 1999.

## ANALISA PROSES AUDIT ENERGI LISTRIK DI GEDUNG D POLITEKNIK NEGERI BENGKALIS

Abdul Hadi<sup>1</sup>, Zainal Abidin<sup>2</sup>, Wan Muhammad Faizal<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis

abdulhadi@polbeng.ac.id, zainal@polbeng.ac.id, wanfaizal@polbeng.ac.id

### Abstrak

Politeknik Negeri Bengkalis sebagai institusi pendidikan vokasi yang terus berkembang dan mengalami peningkatan kuantitas dan kualitas. Peningkatan jumlah mahasiswa dan perkembangan sarana dan prasarana akan mengakibatkan konsumsi energi listrik yang meningkat. Masalah kelistrikan timbul karena peningkatan konsumsi energi listrik akan mengakibatkan biaya tagihan listrik meningkat. Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah menghitung intensitas konsumsi energi listrik pada gedung-gedung perkuliahan dan praktek di kampus Politeknik Negeri Bengkalis guna mengetahui sejauh mana efisiensi penggunaan energi listrik pada kampus Politeknik Negeri Bengkalis; mengetahui profil penggunaan energi listrik di kampus Politeknik Negeri Bengkalis; mencegah pemborosan tanpa mengurangi kenyamanan pemakaian energi dan memenuhi standar yang telah ditetapkan; meningkatkan efisiensi penggunaan listrik pada gedung kampus Politeknik Negeri Bengkalis tanpa mengurangi produktifitas dan kenyamanan kegiatan belajar mengajar dan administrasi perkuliahan; dan memberikan masukan kepada Politeknik Negeri Bengkalis tentang peluang penghematan energi yang dapat dilakukan Politeknik Negeri Bengkalis. Jangkauan audit energi dimulai dari survei data sederhana hingga pengujian data yang sudah ada secara rinci, digabungkan dengan uji coba fasilitas (gedung) secara khusus, yang dirancang untuk menghasilkan data baru. Lamanya pelaksanaan suatu audit energi bergantung pada besar dan jenis fasilitas gedung-gedung dan tujuan dari audit itu sendiri.

Kata kunci : audit energi, survei awal, efisiensi listrik

### Abstract

*State Polytechnic of Bengkalis as a vocational education institution that continues to grow and experience an increase in quantity and quality. Increasing the number of students and the development of facilities and infrastructure will result in increased electrical energy consumption. Electrical problems arise because of increased consumption of electrical energy will result in increased electricity billing costs. The objectives to be achieved in this study is to calculate the intensity of electrical energy consumption in lecture buildings and the practice at the campus of Bengkalis State Polytechnic to know the extent of the efficiency of the use of electrical energy on the campus of Bengkalis State Polytechnic; know the profile of the use of electric energy in the campus of Bengkalis State Polytechnic; prevent waste without reducing the comfort of energy consumption and meeting established standards; improve the efficiency of electricity usage on the campus building Bengkalis State Polytechnic without reducing the productivity and comfort of teaching and learning activities and lecture administration; and provide input to State Polytechnic Bengkalis about energy saving opportunities that can be done State Polytechnic Bengkalis. The range of energy audits starts from simple data surveys to detailed testing of existing data, combined with special facility (building) trials, designed to generate new data. The duration of the implementation of an energy audit depends on the size and type of building facilities and the purpose of the audit itself.*

**Keywords:** energy audit, preliminary survey, electricity efficiency

### 1. Pendahuluan

Politeknik Negeri Bengkalis sebagai institusi pendidikan vokasi yang terus berkembang dan mengalami peningkatan kuantitas dan kualitas. Peningkatan jumlah mahasiswa dan perkembangan sarana dan prasarana akan mengakibatkan

pemanfaatan energi listrik yang meningkat. Masalah kelistrikan timbul karena peningkatan pemanfaatan energi listrik akan mengakibatkan biaya tagihan meningkat. Permasalahan lain adalah peningkatan pemakaian energi listrik yang tidak sebanding dengan peningkatan kemampuan (kapasitas) energi listrik yang tersedia akan mengakibatkan gangguan

seperti pemadaman, sekring meledak, stabilitas daya, dan lain lain. Dalam Kebijakan Energi Nasional yang dituangkan dalam Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006, salah satu kebijakan utamanya adalah konservasi energi. Adapun salah satu tergetnya adalah menurunkan elastisitas energi sebesar kurang dari satu pada tahun 2025. Elastisitas energi adalah perbandingan antara pertumbuhan energi terhadap pertumbuhan ekonomi. Elastisitas energi adalah salah satu indicator konservasi energi, semakin kecil nilai elastisitas energi berarti semakin efisien. Salah satu langkah nyata yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut yang sesuai dengan kebijakan energi nasional adalah melaksanakan langkah-langkah konsevasi energi antara alain melalui audit energi dan implementasi hasil-hasilnya.

Audit energi sebagai bagian manajemen energi merupakan langkah awal yang tepat untuk dilaksanakan dalam proses evaluasi dan efisiensi energi. Audit energi merupakan aktifitas pemeriksaan berkala untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan dalam suatu kegiatan penggunaan energy listrik di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bengkalis. Penelitian ini perlu dilakukan dalam upaya mendorong civitas akademika Politeknik Negeri Bengkalis melakukan efisiensi dalam pemanfaatan energi listrik. Dari hasil survei dan penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti bahwa sektor industri mempunyai potensi penghematan sekitar 10-30%. Beberapa perusahaan dan lembaga (institusi) telah melakukan upaya peningkatan efisiensi energi terutama berkaitan dengan penggantian peralatan dan pengoperasian peralatan. Namun demikian dalam penerapannya masih banyak dijumpai hambatan karena belum dilakukannya audit energi dan penerapan efisiensi energi dilakukan berdasarkan perkiraan saja.

Balai Besar Teknologi Energi - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) telah mempublikasikan buku dengan judul perencanaan efisiensi dan elastisitas energi tahun 2012. Dimana dalam buku tersebut memuat hal diantaranya mengenai peluang peningkatan efisiensi energi, penerapan efisiensi energi, audit energi dan penerapan audit energi. Buku tersebut ditambah dengan artikel artikel dari jurnal ilmiah dan seminar bidang audit energi, peneliti jadikan sebagai tinjauan pustaka dalam melaksanakan penelitian.

Program manajemen energi adalah program terencana yang bertujuan untuk mengurangi anggaran biaya pengeluaran energi pada suatu perusahaan [1]. Awal mula manajemen energi

adalah dengan menyelaraskan strategi perusahaan dengan penerapan manajemen energi [2], dengan demikian seluruh karyawan akan dapat berkomitmen terhadap penghematan energi di perusahaan. Institusi pendidikan terutama pendidikan vokasi merupakan salah satu institusi atau lembaga yang memiliki tingkat ketergantungan tinggi terhadap kebutuhan energi untuk operasional kegiatan belajar mengajar.

Oleh karena itu, apabila usaha penghematan energi dapat berhasil dilakukan maka hal itu akan memberikan dampak yang signifikan pada biaya yang harus dikeluarkan untuk pembelian energi [3]. Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindaklanjuti dengan analisis peluang hemat energi [4], yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan. Penghematan energi pada bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni [5].

### Audit Energi

Audit energi adalah teknik dan analisa yang digunakan dalam menghitung besarnya konsumsi energi pada gedung bangunan dan pabrik. Hasil audit akan menunjukkan adanya kemungkinan pemborosan dan kurang-efisienian penggunaan energi, dan dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk efisiensi energi. Dari kutipan, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral dalam program kemitraan konversi energi (2005) menyatakan audit energi merupakan kegiatan untuk mengidentifikasi titik-titik pemborosan energi yang terjadi pada suatu sistem pemanfaatan energi, merencanakan, menganalisa dan merekomendasikan langkah langkah dalam meningkatkan efisiensi energi. Menurut Rahmadoni (2011) audit energi bertujuan mengetahui potret penggunaan energi dan mencari upaya peningkatan efisiensi penggunaan energi. Audit Energi merupakan langkah awal dalam melaksanakan pencatatan data-data pemakaian energi, mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi dan analisis kemungkinan penghematan energi, serta pembuatan perhitungan atas langkah-langkah yang diperlukan.

Menurut beggs dan clive tahun 2009 [6] audit energi secara sederhana dikelompokan menjadi 3 (tiga) level, yaitu :

- *Preliminary audit*, relatif cepat dan dirancang untuk menentukan proyek. audit ini berkaitan dengan pengumpulan data dari rekening bulanan, maka dapat disebut juga dengan audit energi secara finansial.

- *Targeted audit*, biasanya merupakan kelanjutan hasil dari *Preliminary Audit*. Pada *targeted audit* disediakan data dan analisis yang lebih rinci terhadap proyek-proyek yang ditargetkan khusus.
- *Comprehensive Audit*, memberikan data yang rinci pada energi masukan, dan aliran energi dalam suatu industri serta rencana implementasi objek energi. Tipe audit ini harus menghasilkan rencana pelaksanaan proyek energi yang mendetail.

#### a. Audit Energi Awal

Audit energi awal adalah pengumpulan contoh data awal dan memperkenalkan istilah-istilah seperti audit singkat dan survey awal. Audit energi awal pada prinsipnya dapat dilakukan pemilik/pengelola bangunan gedung yang bersangkutan berdasarkan data rekening pembayaran energi yang dikeluarkan dan pengamatan visual. Kegiatan audit energi awal meliputi pengumpulan data energi bangunan dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran serta melakukan perhitungan Intensitas Konsumsi Energi berdasarkan data yang telah dikumpulkan [7].

#### b. Audit Energi Rinci

Audit energi rinci merupakan tindak lanjut yang dilakukan jikalau dari analisa sebelumnya nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan. Audit energi rinci juga perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan gedung, sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaiannya cukup besar. Kegiatan yang dilakukan pada audit energi rinci diantaranya: penelitian dan pengukuran konsumsi energi. [7].

#### c. Analisis Peluang Hemat Energi

Setelah melakukan audit energi awal dan audit energi rinci maka perlu adanya identifikasi peluang hemat energi. Hasil pengumpulan data selanjutnya ditindak lanjuti dengan perhitungan besarnya IKE dan penyusunan profil penggunaan energi bangunan gedung. Apabila besarnya IKE hasil perhitungan ternyata sama atau kurang dari IKE target maka kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau diteruskan untuk memperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Bila hasilnya lebih dari IKE target, berarti ada peluang untuk melanjutkan proses audit energi rinci berikutnya guna memperoleh penghematan energi [7].

Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisis peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan. Penghematan energi pada

bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni.[7].

## 2. Metode Penelitian

### Tahapan Penelitian :

#### A. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan berupa kajian pustaka terhadap sumber-sumber bacaan yang relevan sehingga mampu menunjang dalam proses audit energi seperti mempelajari dan memahami mengenai konservasi energi listrik, perhitungan, teori mengenai mesin dan transformator yang menunjang dalam penyusunan penelitian.

#### B. Persiapan Proses Audit Energi

Kegiatan ini berhubungan dengan pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja yang dibutuhkan berkaitan dengan menyiapkan proses audit energi.

#### C. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk dapat mengevaluasi manajemen energi pada organisasi, melakukan verifikasi data sekunder, melakukan verifikasi data primer dan mengklarifikasi hasil survei.

#### D. Analisis Data Survei Lapangan

Aktifitas yang dibutuhkan dalam kegiatan analisis data antara lain :

- Melakukan analisis penerapan sistem manajemen energi
- Melakukan analisis data sekunder dan data primer
- Melakukan analisis peluang penghematan energi.

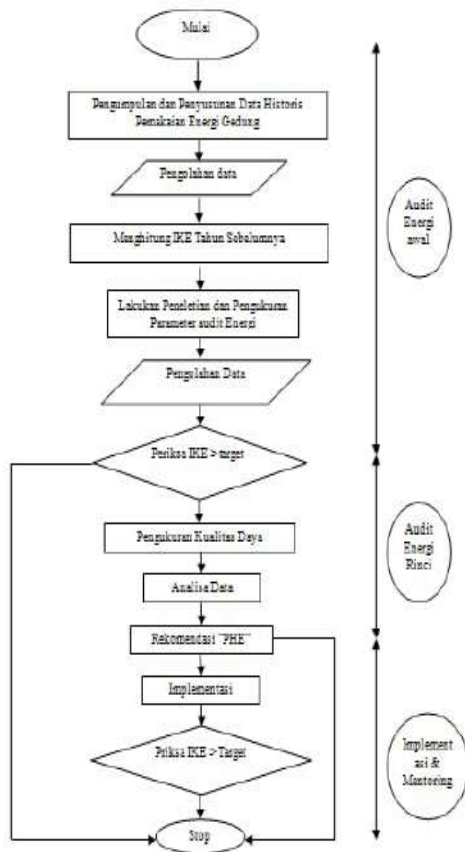
Analisis data dilakukan untuk mendapatkan kinerja pemanfaatan energi dan langkah yang diperlukan untuk peningkatan efisiensi energi. Output yang diperoleh antara lain: pengguna energi signifikan; intensitas energi; kecenderungan intensitas energi, korelasi intensitas dengan produksi atau parameter operasi; neraca energi; efisiensi/kinerja pemanfaatan energi; faktor yang mempengaruhi efisiensi energi; potensi penghematan energi; kajian tekno ekonomi (*cost benefit ratio*).

#### E. Laporan Audit Energi

Aktifitas yang dibutuhkan dalam membuat laporan audit energi antara lain:

- Menyusun konsep laporan audit energi
- Mempresentasikan konsep laporan akhir audit energi
- Membuat laporan akhir

Diagram alir proses penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Flowchart Penelitian

### Perangkat Pengukuran Energi

Beberapa alat pengukuran konsumsi energi yang sering dipergunakan dalam pelaksanaan audit energi antara lain adalah:

- *Power Analyzer*, Secara umum, analisis daya digunakan untuk menjelaskan fluktuasi beban kVA yang terhubung dengan beban yang sebenarnya.
- *Clamp pada Tester Power*, Penjepit pada tester daya adalah pengukur perangkat listrik untuk menentukan Tegangan, Arus, Tegangan / arus puncak, efektif / reaktif / daya nyata
- (satu-fase atau 3-fase), Faktor Daya, Reaktivitas, sudut fasa, Frekuensi, deteksi Fase (3 - tahap), Tegangan / level harmonis arus (sampai 20).
- *Lux meter*, Lux meter digunakan untuk mengukur tingkat pencahayaan / tingkat kuat cahaya iluminasi.
- Pengukuran Kelembaban, Kelembaban meter adalah jenis instrumen audit energi yang digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban.
- *Anemometer*, *Anemometer* adalah jenis instrumen audit energi yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara.
- *Manometer*, *Manometer* adalah alat audit energi yang digunakan untuk mengukur

perbedaan tekanan antara dua titik pengukuran. *Manometer* biasa digunakan dalam pipa distribusi (udara, air dan gas), peralatan seperti kompresor dan pompa.

- *Sound meter*, *Sound meter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan dalam desibel (dB).

### 3. Hasil Dan Pembahasan

#### A. Kegiatan Survei Lapangan di Gedung B Politeknik Negeri Bengkalis

Kegiatan Survei Pengambilan Data:

1. Mengukur Data Arus, Tegangan, Frekuensi menggunakan Power Analyzer
2. Mengukur Temperatur Ruang Kerja/Praktek
3. Pengukuran Penerangan/Pencahayaan di Ruang terbuka (Bengkel Listrik). Mnggunakan flux meter
4. Pengukuran Penerangan/Pencahayaan di Ruang terbuka (Lab Jalan Raya). Mnggunakan flux meter
5. Pengukuran Penerangan/Pencahayaan di Ruang terbuka (Lab Uji Bahan). Mnggunakan flux meter
6. Mengukur Temperatur Ruang Kerja/Praktek (Lab. Komputer)
7. Mengukur Kelembaban Ruang Kerja/Praktek (Lab. Ruang Jurusan)



Gambar 2: Beban Listrik di Lab Jalan Raya





Gambar 3. Pengambilan Data dengan Power Analyzer



Gambar 4. Kondisi panel yang tidak standar PUIL 2000



Gambar 5. Main Panel terbuka

peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan. Penghematan energi pada bangunan gedung tidak dapat diperoleh begitu saja dengan cara mengurangi kenyamanan penghuni. Analisa peluang hemat energi dilakukan dengan usaha-usaha :

- a. Mengurangi sekecil mungkin penggunaan energi. ( Mengurangi kW dan jam operasi ).
- b. Memperbaiki kinerja peralatan.
- c. Penggunaan sumber energi yang murah

#### Audit Energi awal

Audit energi awal dilakukan dengan menganalisis tingkat kuat penerangan, sistem tata udara setiap ruangan dan menghitung Intensitas Konsumsi Energi ( IKE ) Listrik setiap lantai pada gedung D Politeknik Negeri Bengkalis. Konsumsi energi listrik suatu gedung dikatakan efisien jika tingkat kuat penerangan, sistem tata udara disetiap ruangan dan Intesitas Konsumsi Energi (IKE) Listriknya sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan. Dalam hal ini standar yang di gunakan adalah ASEAN-USAID sebesar 240 kWh/m<sup>2</sup>/tahun.

#### Analisis Tingkat Kuat Penerangan

Dari hasil penelitian diketahui bahwa sebagian besar aktifitas di gedung B Politeknik Negeri Bengkalis dilakukan pada siang hari. Dan ruang-ruangan di gedung B Politeknik Negeri Bengkalis masih menggunakan penerangan lampu karena dinding kaca sering di tutup hordeng pada waktu siang hari. Hanya di tempat tertentu menggunakan penerangan alamiah.

Perbandingan tingkat kuat penerangan hasil pengukuran dengan standar yang sudah ditetapkan dalam SNI 03-6197-2000 untuk beberapa sampel ruangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Area Masing-masing Ruangan

No	Lantai	Area	Luas (m <sup>2</sup> )
1.	1	Bengkel Listrik	72
2.		Lab. Uji bahan	70
3.		Lab. Lab. komputer	48
4.		Lab. Ilmu Ukur Tanah	70
5.		Lab. Jalan Raya	32
6.	2	Ruang Jurusan dan Dosen	64
7.		Ruang Rapat	18
8.		Selasar	15
9.		Toilet	4

#### B. Analisis Dan Pembahasan

Apabila peluang hemat energi telah dikenali, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisa

Tabel 2. Data Pengukuran Suhu dan Kelembaban

No	Nama Gedung	Lantai	Ruangan	Suhu (°C)	RH (%)
1	Gedung D	1	Lab Uji Bahan	29	59
2	Gedung D	1	Lab Tanah	28	57
3	Gedung D	1	Lab Jalan Raya	29	69
4	Gedung D	1	Lab Ilmu Ukur Tanah	29	63
5	Gedung D	1	Lab Komputer	30	59

Tabel 3. Data Pengukuran beban 3 phasa

No	Hari dan Tanggal	Phasa			
		R	S	T	N
1	Senin 22 Agustus 2019	11.87	10.09	5.7	10.42
2	Senin 23 Agustus 2019	10.52	12.43	5.54	09.02
3	Senin 24 Agustus 2019	09.67	09.12	5.12	08.47
4	Senin 25 Agustus 2019	12.96	11.31	08.12	09.26
5	Senin 26 Agustus 2019	10.58	09.61	5.7	6.81
<b>Rata-Rata Total</b>		<b>11.42</b>	<b>10.51</b>	<b>6.04</b>	<b>08.79</b>

Dari audit beban gedung D awal dapat disimpulkan bahwa tingkat efisiensi konsumsi energi listrik di gedung D Politeknik Negeri Bengkalis masih di bawah standar 240 Kwh/m<sup>2</sup>/tahun. Dari audit energi awal dapat disimpulkan bahwa tingkat efisiensi konsumsi energi listrik di gedung B Politeknik Negeri Bengkalis masih di bawah standar 240 Kwh/m<sup>2</sup>/tahun. Dengan demikian bisa dikatakan nilai IKE masih efisien. Hal tersebut disebabkan karena tingkat kuat penerangan disebagian besar ruangnya masih dibawah standar yang ditetapkan dalam SNI 03-6197-2000. Selanjutnya kondisi suhu dan kelembaban udara disetiap ruangnya pada saat terjadi beban pendinginan maksimum tidak sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan.

#### 4. Kesimpulan

1. Berdasarkan beberapa pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kondisi kelistrikan di Gedung D tidak memenuhi standar PUIL 2000, baik dari pengaturan beban dan sistem pemasangan instalasi listriknya. Kondisi ini bisa dilihat secara kasat mata dan melalui kegiatan pengukuran listrik. Berdasarkan data

pengukuran beban 3 phasa pada bulan agustus 2019, menunjukkan angka beban yang tidak seimbang pada setiap pаса R,S,T.

2. Intensitas pencahayaan (Lux) kurang terang (dibawah standar SNI). Kondisi lampu penerangan rata-rata dibawah standar SNI pencahayaan buatan dan kondisi ini akan mempengaruhi kenyamanan kerja karyawan. Kuat pencahayaan rata-rata tiap ruangan di bawah 50 Lux, 300 Lux dan 500 Lux. Kondisi AC secara umum dibawah performance nya yang berpotensi pemborosan energi listrik. Penurunan performance ini diakibatkan karena kurangnya perawatan dan usia AC sebagian sudah melebihi batas usia ekonomis maupun teknis (>10 tahun). Suhu ruang kerja rata-rata diatas 26 C, kondisi ini akan mempengaruhi kenyamanan kerja karyawan.
3. Gedung D memiliki instalasi lama dan baru. Dalam implementasinya instalasi yang baru belum digunakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Sujatmiko, "Penyempurnaan Standar Audit Energi Pada Bangunan Gedung". Bandung: Prosiding PPIS (2008).
- [2] Hary Apriyanto, "Audit Energi dan Analisis Pemilihan Alternatif Manajemen Energi Hotel dengan Pendekatan metode MCDMP romethee (Studi Kasus: Surabaya Plaza Hotel)", Surabaya: Jurusan Teknik Industri ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2011).
- [3] R. Salpanio, "Audit Energi Listrik pada Gedung Kampus Universitas Diponegoro Peleburan Semarang". Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro (2010).
- [4] M. Santamoursts, E. Dascalaki, C. Balaras, A. Argiriou, A. Gaglia, "Energy Performance and Energy Conservation in Health Care Buildings in Hellas". Energy Conservations Management vol. 35 (1993) 293-305.
- [5] R. Setyodewanti, "Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Penghematan Listrik di Gedung DPRD Tingkat II Kota Surabaya". Surabaya: Jurusan Teknik Industri ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2006).
- [6] Beggs, Clive. "Energy: Management, Supply and Conservation". Great Britain: Elsevier Ltd. (2009).
- [7] SNI 03-6169-2000. 31-03-2009.
- [8] DEPDIKNAS, "Pedoman pelaksanaan konservasi energi dan Pengawasan di lingkungan Depdiknas", Jakarta, Depdiknas. (2004)

## Simulasi Image Processing X-Ray Untuk Peningkatan Density Citra Menggunakan MATLAB

Mohammad Hiro<sup>1</sup>, Sulis Setiowati<sup>2</sup>

Program Studi Instrumentasi & Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [hiro.mohammad12@gmail.com](mailto:hiro.mohammad12@gmail.com)<sup>1</sup>

### Abstrak

Deteksi objek menggunakan gambar scan bagasi X-Ray telah menjadi sarana penting untuk keamanan penerbangan saat ini. Akan tetapi, x-ray tidak memberikan diagnosis benda karena noise pada gambar yang blur. Akibatnya pada saat screening objek pada x-ray, benda akan sulit diidentifikasi. Kasus ini berlaku pada objek yang mempunyai density rendah seperti plastic, kaca kayu dan lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan simulasi image processing pada x-ray berbasis pada sistem pengolahan gambar yang memberikan klasifikasi berdasarkan informasi yang diperoleh dari gambar x-ray yang disimpan dalam format gambar komputer seperti JPEG, PNG. Metode image processing digunakan untuk meningkatkan density pada objek sehingga benda dapat diidentifikasi dan diklasifikasi sesuai jenisnya. Tahapan image processing meliputi image transformation, image enhancement, Gaussian filtering, color conversion dan pseudo color. Dalam penelitian ini, gambar simulasi image processing x-ray dapat mengalami berbagai pengurangan noise, kompresi gambar dan kualitas hasil dapat diukur untuk memberikan nilai yang akurat.

*Keywords: X-Ray, Image Enhancement*

### 1. Pendahuluan

Inspeksi Bagasi merupakan proses penting untuk keamanan bandara dan pesawat karena kehadiran orang banyak (pelanggan dan personil) dan sejarah pola teroris di bandara dan di pesawat terbang. Di sisi lain, inspeksi Bagasi selalu menjadi tantangan karena kompleksitas hadir dalam mengetahui isi dari setiap tas penumpang. Pertumbuhan yang drastis dalam berbagai teknologi juga telah menyebabkan peningkatan kecanggihan dan metode penyembunyian perangkat oleh teroris. Kendala dalam inspeksi, diperparah oleh pertimbangan dari operator alat yang terus-menerus menatap layar dan melihat jenis objek yang hampir sama berulang-ulang[10] yang menyebabkan akurasi kurang baik karena faktor kelelahan, ketidaktelitian dan keteledoran. Sistem x-ray efektif dalam mendeteksi objek dari komposisi logam (pisau dan senjata), sementara senjata dengan densitas rendah dapat dengan mudah lolos dari pemeriksaan x-ray. Objek seperti senjata logam dan pisau, yang ditandai dengan respons densitas tinggi dalam gambar sinar-x, mudah terlihat oleh screener. Namun, objek seperti plastik, kaca, dan kayu yang berbentuk tajam dicirikan oleh respon sangat samar, low density

dalam proyeksi x-ray sangat sulit untuk dibedakan dengan screeners. Keterbatasan utama dari perangkat ini adalah bahwa mereka tidak dapat membedakan antara lembaran tipis penyerap yang kuat dan lempengan tebal dari penyerap lemah.



**Gambar 1. Gambar hasil X-Ray dengan benda berdensity rendah. (Alex, 2011)**

Sebagian besar metode analisis gambar x-ray ini menggunakan algoritma yang dikembangkan untuk gambar spektrum yang terlihat. Metode-metode ini mengasumsikan bahwa benda-benda itu buram dan saling menyumbat. Foton sinar-X, bagaimanapun, menembus sebagian besar bahan. Akibatnya, semua objek di sepanjang jalur x-ray menipiskan x-ray dan

berkontribusi pada intensitas akhir yang diukur. Inilah yang memungkinkan pencitraan x-ray untuk "melihat" menembus objek [1]. Image processing merupakan metode yang banyak digunakan dalam proses dan identifikasi gambar. Metode tersebut terbukti dapat memberikan identifikasi yang akurat. Salah satu tahapan image processing adalah image enhancements.

Tujuan utama dari fungsi image enhancements adalah untuk memproses gambar sehingga hasilnya lebih cocok daripada gambar asli untuk aplikasi tertentu seperti misalnya skrining x-ray di Bandara [6]. Pada gambar x-ray, penyempurnaan gambar dapat meningkatkan visibilitas objek di dalam tas dan menghapus kebisingan latar belakang.

Pada penelitian ini metode pseudo color digunakan untuk meningkatkan density gambar agar mudah diidentifikasi dengan mudah, cepat, tanpa takut terpengaruh kelelahan dari operator yang berada di depan layer monitor terus menerus

## 2. Metode Penelitian

Ada beberapa metode yang diterbitkan yang telah mencoba untuk meningkatkan kualitas gambar pada gambar x-ray dan mereka telah terbukti sangat berguna untuk meningkatkan tingkat deteksi objek mengancam dalam gambar x-ray scan. Pada paper ini metode yang digunakan adalah dengan Pseudo Color atau dengan menambahkan warna pada gambar.

### 2.1 Transformasi Level Citra Abu-abu

Transformasi tingkat abu-abu adalah bagian penting dari teknik peningkatan gambar yang menangani gambar yang terdiri dari piksel. Hasil dari proses ini dapat berupa gambar atau serangkaian karakteristik yang representatif. Efeknya sederhana namun rumit dalam implementasinya (Evans, (2018))

Langkah pertama, perangkat lunak harus menemukan berapa banyak saluran warna dalam gambar input. Berdasarkan Marques O. (2011), level abu-abu dari sebuah gambar di representasikan sebagai :

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (1)$$

Dimana

$(x,y)$  – Output Gambar setelah di Proses

$(x,y)$  – Gambar Asli Yang di Input

$T$  – Operasi Gambar Asli

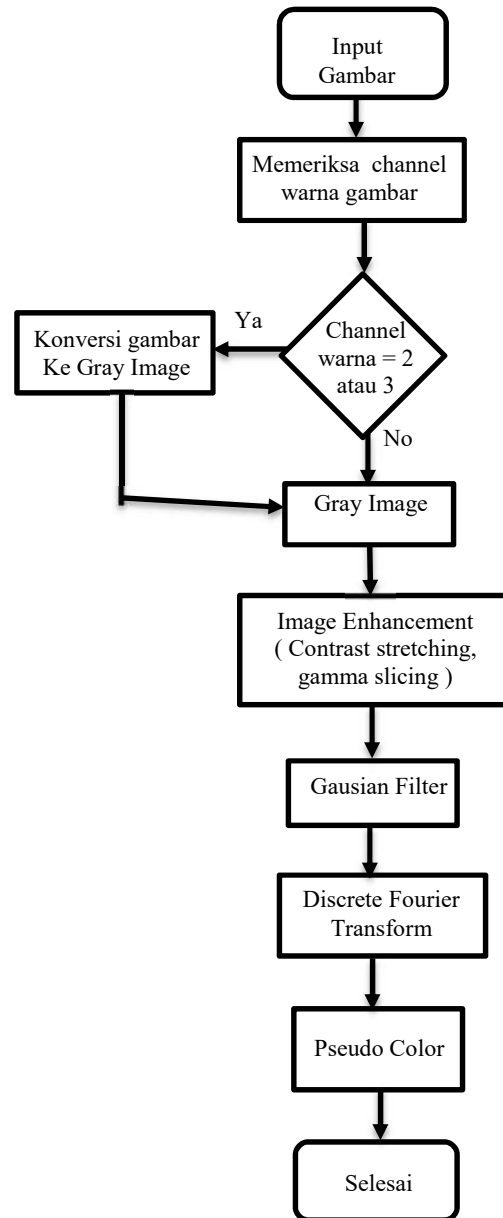
Namun koordinat sebenarnya tidak cukup untuk mewakili fungsi transformasi. Oleh karena itu persamaan disederhanakan diwakili sebagai

$$s = T[r] \quad (2)$$

Dimana,

$s$  – Level Abu Gambar setelah di Proses

$r$  – Level Abu Gambar Asli



Gambar 2. FlowChart simulasi image processing x-ray pada objek density rendah

### 2.2 Image Enhancement

Image Enhancement atau peningkatan gambar diterapkan pada gambar untuk melihat dan mengukur informasi visual dengan jelas. Tujuan peningkatan gambar adalah untuk mendapatkan gambar yang jelas daripada gambar aslinya, menghilangkan noise, mempertajam tepi gambar dan mengaburkan gambar. Peningkatan ini dicapai dengan menggunakan penyaringan domain frekuensi

spasial yang terjadi langsung pada piksel sebenarnya dari gambar itu sendiri (Chris S. et al (2011)). Peningkatan Gambar pada penelitian ini akan menggunakan Koreksi gamma (*Gamma Correction*)

**2.2.1 Gamma Correction**

Koreksi Gamma merupakan proses dimana dengan rumus yang telah ada, mengubah atau menegaskan cahaya baik area gelap atau terang pada gambar. Prosedur koreksi intensitas Gamma memodifikasi nilai piksel berdasarkan persamaan:

$$I' = c I^\gamma \quad (3)$$

di mana I dan I' adalah gambar asli dan ditingkatkan dan c adalah faktor penskalaan. Nilai Gamma ( $\gamma$ ) kurang dari 1 menegaskan area cahaya dan nilai yang lebih besar dari 1 menekankan area gelap pada gambar asli setelah konversi dilakukan.

**2.3 Gaussian Filtering**

Tujuan utama penghalusan dan filter adalah menghilangkan noise pada gambar. Untuk menghilangkan noise ada banyak jenis filter yang digunakan dalam pemrosesan gambar. (Chris S. et al (2011)). Dalam kasus ini digunakan Gaussian filter untuk menyaring noise dan menghaluskan gambar input. Gaussian filter adalah low pass filter yang diimplementasikan dengan kernel yang tidak seragam. Ini disampel sebagai fungsi 2Dimension (2D) Gaussian.

Penjelasan matematis untuk Gaussian filter.

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

dimana  $\sigma$  - *standard deviation* dari gaussian filter. Parameter standar deviasi  $\sigma$  mempengaruhi tingkat kehalusan gambar.

**2.3.1 Fourir Transform**

Penyaringan domain frekuensi juga disebut transformasi Fourier adalah teknik penyaringan daya penuh yang digunakan dalam pemrosesan gambar. Transformasi Fourier memenuhi syarat untuk melihat pencitraan dari sudut pandang tidak konvensional dengan mentransformasikan masalah ke ruang lain. Peran utama penerapan transformasi Fourier adalah mengubah gambar input (biasanya dalam ruang Cartesian 2D) menjadi domain yang berbeda (ruang frekuensi). Dalam pemrosesan domain spasial, pertimbangan utamanya adalah bagaimana masing-masing piksel dipengaruhi pada gambar saat digunakan filter. (Chris S. et al (2011)).

Representasi matematis dari transformasi 2D diskrit Fourier adalah

$$f(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad (5)$$

dimana,  
*M, N - M \* N siz of image*  
*f (x, y) original image*  
*x - dimensi baris , - kolom baris*  
*f (u, v) - processed image*

Namun dalam praktiknya, Fourier didefinisikan sebagai teorema konvolusi. Konsep transformasi Fourier diskrit diterapkan dalam pemrosesan gambar di mana ukuran array  $M \times N$ , fungsi gambar  $f(x, y)$ . Nilai sampel  $\Delta x$  and  $\Delta y$  jarak interval gambar diambil secara acak dan sering sepanjang koordinat x dan y. Oleh karena itu, transformasi Fourier diskrit (DFT) untuk fungsi untuk ukuran  $f(x, y)$  dan  $M \times N$  adalah

$$f(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad (6)$$

dimana  $u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  dan  $v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

Frekuensi sampling spasial  $u\Delta u$  dan  $v\Delta v$  terkait dengan transformasi Fourier diskrit  $F(u, v)$  adalah  $F(u\Delta u, v\Delta v)$ . (Chris S. et al. (2011)).

**2.4 Konversi Warna**

Konversi warna adalah metode untuk mengubah gambar skala abu-abu menjadi gambar berwarna. Berbagai metode untuk konversi keluar warna. Ini bisa dilakukan dengan menggunakan peta warna. Peta warna [4] ada dalam matriks rentang 0 dan 1 yang mengatakan warna untuk permukaan, gambar, dan objek tambalan. MATLAB [9] menggambar objek grafik dengan merepresentasikan nilai data untuk diwarnai dalam peta warna. Sudah ada peta warna yang sudah ditentukan sebelumnya di Matlab.

**2.4.1 Metode Warna**

Bone: Bone adalah peta warna dengan skala abu-abu di mana warna biru memiliki nilai lebih tinggi. Peta warna tulang bermanfaat untuk menambah tampilan elektronik gambar grayscale seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 : Skala warna tulang

Jet: Jet [2] membentang dari warna biru ke warna merah, dan beralih dari cyan, kuning, lalu ke oranye. 256 warna

dapat diterapkan ke jet color map. jet digunakan di mana kita membutuhkan multi warna.



Gambar 4 : memprediksi skala warna jet

Summer: Peta warna summer berwarna kuning dan hijau seperti pada gambar 5



Gambar 5 : Skala warna summer

Musim dingin: Peta warna musim dingin memiliki warna yang hijau dan biru seperti di gambar



Gambar 6 : Skala warna summer

### 2.5 Pseudo Color

Teknik pewarnaan semu digunakan dalam mengkonversi gambar skala abu-abu ke gambar warna demi tampilan manusia.

Saat mengonversi gambar abu-abu menjadi gambar berwarna pseudo, gambar berwarna pseudo mengambil setidaknya tiga komponen yang disebut RGB (Merah, Hijau dan Biru) dan piksel warna dipertahankan sebagai vektor.

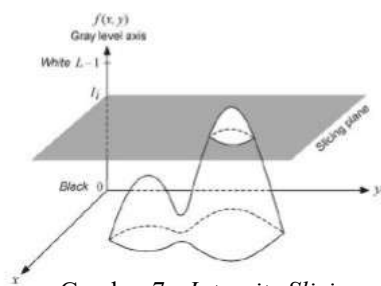
$$c(x, y) = \begin{bmatrix} C_R(x, y) \\ C_G(x, y) \\ C_B(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dimana  $c$  – arbitrary vector pada ruangan warna RGB

$x, y$  – nilai ukuran gambar vektor  $M \times N$

Metode utama pewarnaan semu adalah pengiris intensitas yang digunakan dalam proyek ini. Dengan menggunakan pengirisan intensitas, piksel paling menonjol dari gambar abu-abu input ditempatkan ke beberapa bidang. Oleh karena itu setiap sisi pesawat diberi warna yang berbeda

$$f(x, y) = I_i$$



Gambar 7 : Intensity Slicing

Oleh karena itu penjelasan matematis dari mengubah gambar skala abu-abu ke gambar warna semu adalah

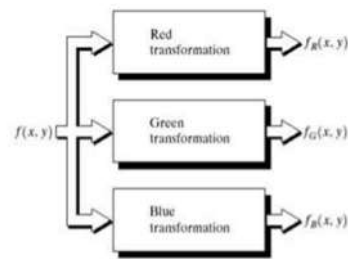
$$f(x, y) = I_R(x, y)$$

$$f(x, y) = I_G(x, y)$$

$$f(x, y) = I_B(x, y)$$

### 2.5.1 Konversi Level Gambar Abu ke Warna

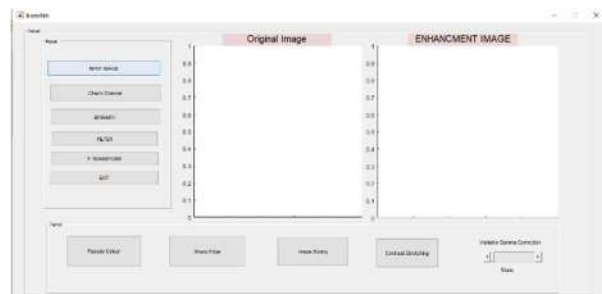
Transformasi *Gray level to Color* dilakukan untuk mencapai nilai luas peningkatan warna semu. Tiga transformasi independen level dilakukan pada nilai level abu-abu untuk setiap piksel input; nilai-nilai ini dikirim secara terpisah ke saluran merah, hijau, dan biru dari monitor televisi berwarna. (Gbr. 7) ini dapat didasarkan pada fungsi smoothing, nonlinear, yang didasarkan pada gambar monokrom tunggal.



Gambar 8 : flow chart Konversi Level Gambar Abu ke Warna

## 3. Hasil Dan Pembahasan

Pengolahan Citra Gambar pada X-Ray menggunakan MATLAB, berdasar software image processing dikembangkan pada image processing tool box pada Mathwork MATLAB software 2015

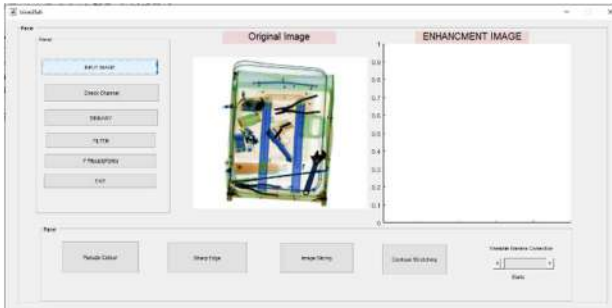


Gambar 9 : tampilan GUI MATLAB



### 3.1 Membaca Gambar

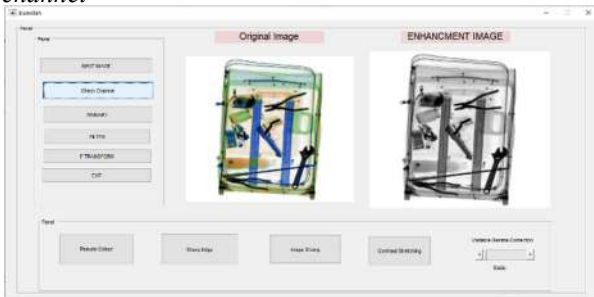
Langkah pertama, Gambar asli hasil scan X-Ray yang akan di olah citra di masukkan ke dalam Workspace MATLAB



Gambar 10 : Hasil Input Pada GUI

### 3.2 Check ukuran dari colour channel gambar yang di input

Untuk pengecekan dan pengujian dari software, penulis mengambil data gambar X-Ray dari perusahaan dan juga mendownload dari internet, namun kendalanya adalah gambar tersebut tidak memiliki color channel yang spesifik. Untuk tahap preprocessing gambar yang di butuhkan harus memiliki satu *color map*, namun beberapa gambar terkadang memiliki 2 sampai 3 *color channel*



Gambar 11 : Hasil dari pengecekan *color channel*

### 3.3 Image Enhancement

#### 3.3.1 Gamma Correction

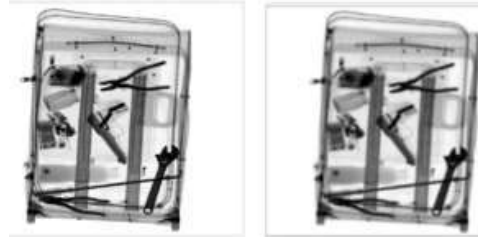
Saat menggunakan koreksi gamma pada gambar yang di input, maka peningkatan gambar dapat di kembangkan berdasarkan pencahayaan yang di inginkan.



Gambar 12 : hasil Gamma koreksi berbagai macam value

#### 3.3.2 Gaussian Filter

Saat menggunakan filter Gaussian untuk memfilter gambar input, peningkatan gambar dapat ditingkatkan dengan memvariasikan standar deviasi



Gambar 13 : hasil gaussian filter

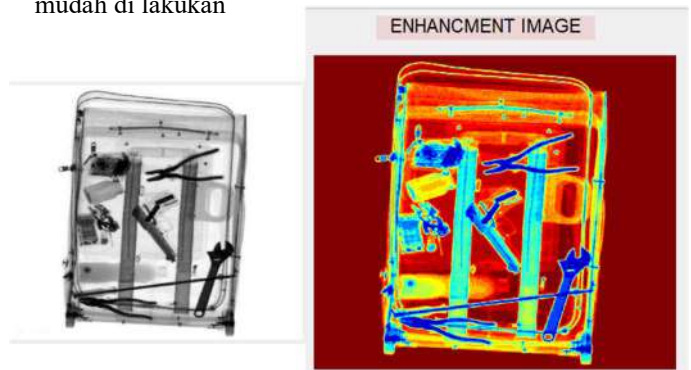
#### 3.3.1 Fourier Transform



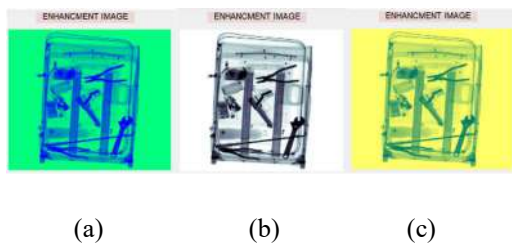
Gambar 14 : Merupakan hasil dari *Fourir Transform*

#### 3.4 Pseudo Color

Proses terakhir dari project ini adalah dengan mengubah hasil dari proses gambar tersebut menjadi gambar yang berwarna. Karena ketika gambar berwarna maka penganalisaan beserta pendeteksian benda akan lebih mudah di lakukan



Gambar 15 : hasil dari pseudo



Gambar 16 : penggunaan warna *Winter*(a), *Bone*(b), *Summer*(c)

Setelah melalui berbagai proses peningkatan gambar, metode pseudo color dapat membantu bahkan meningkatkan kinerja operator dalam mengidentifikasi benda – benda yang berdensity rendah. proses gamma correction juga menambah tingkat kejelasan benda – benda yang berdensity rendah.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini mempresentasikan hasil peningkatan gambar menggunakan metode pseudo. Dengan menggunakan metode tersebut benda – benda dengan density rendah bisa dengan mudah diidentifikasi dengan penambahan warna. Warna meningkatkan kualitas dan persepsi gambar serta kualitas visual juga menjadi lebih jelas. Setelah membandingkan color map yang tersedia, maka sangat disarankan untuk menggunakan warna jet karena chromaticity dan luminance untuk visualisasi gambar paling baik jika dibandingkan dengan colormaps lainnya, yang membuat pengidentifikasian benda dengan density lemah akan lebih mudah di lakukan.

#### Daftar Acuan

- [1] Heitz, G., Chechik, G.: Object Separation in X-Ray Image Sets. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2010)
- [2] Yue Zheng, X-Ray Image Processing and Visualization for Remote Assistance of Airport Luggage Screeners. (2004)
- [3] Ting, Raphael, Clarissa, A view-independent line-coding color map for diffusion tensor imaging. SIBGRAP (I2016).
- [4] Ting, Raphael, Clarissa, A view-independent line-coding color map for diffusion tensor imaging. SIBGRAP (I2016)
- [5] Steve Eddin, Rainbow Color Map Critiques: An Overview and Annotated Bibliography, Math Works
- [6] Gonzalez, R. and Woods, R.: Digital Image Processing (3rd Edition). Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA (2006)\
- [7] Marques O, 2011. Practical image and video processing using MATLAB. 1st ed. John Wiley & Sons press: John Wiley & Sons.
- [8] Alex G, 2011 Image Processing Methods for X-Ray Luggage Images : A Survey
- [9] Chris S. and Toby B., 2011. Fundamental of Digital Image Processing. 1st ed. John Wiley & Sons press: John Wiley & Sons.

## Algoritma B217AN menggunakan Metode *Spread Spectrum* Berbasis PCMK/PCMB

Septian Rheno Widiyanto<sup>1</sup>, Yohan Suryanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Enjinereng Indoroma, Purwakarta – Indonesia

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Universitas Indonesia

E-mail: [septian.rheno@pei.ac.id](mailto:septian.rheno@pei.ac.id)

### Abstrak

*Spread spectrum* dalam dunia komunikasi merupakan proses sinyal pita sempit dimodulasi oleh sinyal pita lebar yang akan menyebar sinyal pita sempit tersebut *Output* atau hasil dari algoritma steganografi yang berupa citra baru mengandung pesan yang sudah disembunyikan (*stego-image*). Pengirim dan penerima harus memiliki *stego-key* yang sama dan dirahasiakan dari pihak yang tidak diizinkan untuk mengetahui isi pesan tersebut. Penerima harus menggunakan gambar yang berisi *stego-image* untuk dapat menerima pesan rahasia tersebut. Kinerja algoritma steganografi yang dihasilkan dapat tahan perubahan kecerahan dan kontras kompresi JPEG, *Gaussian noise*, *Poisson noise*, *Salt and Pepper noise*, dan *speckle noise*, *data loss*.

*Keyword: stego-image, stego-key, Spread Spectrum.*

### 1. PENDAHULUAN

Metode keamanan data yang efektif dilakukan adalah menggunakan penggabungan kriptografi dan steganografi. Misalnya, kerahasiaan data dihasilkan melalui algoritma enkripsi yang mengacak / mencampur informasi pribadi sehingga menjadi tidak dapat dibaca oleh pihak selain penerima yang dimaksud. Secara khusus, dalam aplikasi kriptografi, pihak penyadap / pihak yang tidak berwenang mengetahui adanya informasi pribadi, dan tantangannya adalah menguraikan informasi yang dienkripsi. Di sisi lain, steganografi memberikan keamanan data dengan menyembunyikan informasi sehingga keberadaan pesan tersembunyi tidak diketahui oleh penyusup.

Steganografi terdiri dari dua system: (1) sistem agar pesan tersembunyi dan agar pesan dapat diambil. Enam komponen penyusun terdapat didalam system tersebut, yaitu [Lin, Eugene T. and Delp, Edward J. 2004]: (1) Pesan Rahasia (2) Cover Document, (3) Stego Document, (4) Stego Key, (5) Fungsi untuk menyembunyikan  $f^*(M,C,K) \rightarrow Z$ , (6) Fungsi Pendeteksi  $f^*(Z,C,K) \rightarrow M$ .

Penerapan steganografi dapat digunakan di semua file multimedia, dan citra digital merupakan yang paling sering digunakan, dikarenakan dalam bentuk citra digital pertukaran data di sebuah jaringan internet cukup *massive*,

dan diharapkan mengurangi factor kecurigaan pesan rahasia yang telah disisipkan. *Cover document* dari komponen-komponen penyusun steganografi yang terdapat di steganografi gambar digital yaitu *cover image* (Citra Digital).

*Output* atau hasil dari algoritma steganografi yang berupa citra baru mengandung pesan yang sudah disembunyikan (*stego-image*). Pengirim dan penerima harus memiliki *stego-key* yang sama dan dirahasiakan dari pihak yang tidak diizinkan untuk mengetahui isi pesan tersebut. Penerima harus menggunakan gambar yang berisi *stego-image* untuk dapat menerima pesan rahasia tersebut.

Dua karakteristik yang dimiliki sinyal *Chaotic* adalah *spectrum* daya yang kontinu pada suatu pita frekuensi tertentu, dari ciri ini menunjukkan bahwa sinyal *Chaotic* merupakan sinyal yang nonlinier sekaligus sering dikatakan sinyal *noise*, dan mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap kondisi awal [Supangat, Suhono H., Juanda, Kuspriyanto. 2000]. Pada aplikasinya sinyal *Chaotic* dapat berfungsi sebagai algoritma pemetaan dan sebagai pembangkit kode-kode *random* yang tidak mempunyai pola.

Dalam penelitian ini, diajukan sebuah algoritma steganografi menggunakan permutasi *Chaotic* berbasis multiputaran mengecil dan membesar (PCMPK/B) yang memiliki ruang kunci yang sangat besar, sehingga dapat diterapkan untuk metode steganografi yang tahan terhadap

*brute force attack* serta dapat mengantisipasi kebutuhan ruang kunci yang besar.

Metode tersebut dikembangkan dalam perangkat lunak berbasis C#, dan diimplementasikan dalam perangkat lunak Matlab untuk steganografi citra digital yang dapat digunakan untuk mengantisipasi perkembangan pertukaran informasi melalui sosial media, M2M, dan IOT. Metode PCMPK/B juga diimplementasikan dalam algoritma enkripsi *Chaotic Encryption System* (CES) yang dikembangkan dalam perangkat lunak berbasis C.

Beberapa hal yang menjadi perhatian dalam pembahasan, yaitu :

- a. Steganografi.
- b. Sistem *Chaos* (*Chaos*).
- c. Spread Spectrum.
- d. Analisis Stegano Citra.
- e. Algoritma Permutasi *Chaotic* Multiputaran Membesar (PCMB).
- f. Algoritma Permutasi *Chaotic* Multiputaran Mengecil (PCMPK)
- g. Algoritma B217AN

#### A. Steganografi

Steganografi diterapkan di berbagai bidang dan aplikasi seperti badan intelijen [Rebecca T. Mercuri. 2005], badan militer [P. Wayner], citra medis [R Rodriguez-Colin, F.-U. Claudia, and G. de J. Trinidad-Bias. 2007], [Y. Li, C. T. Li, and C. H. Wei. 2007], penyiaran TV [N.F. Johnson, S. Jajodia. 1998], *Checksum embedding* W. Bender, W. Butera, D. Gruhl, R. Hwang, F.J. Paiz, S. Pogreb. 2000], struktur data tingkat lanjut [H. Pang, K. L. Tan, and X. Zhou. 2003], [S. Hand and T. Roscoe. 2002], Sistem radar dan penginderaan jarak jauh.

Teknik Transform Domain, menyembunyikan informasi dalam bit dari *cover images* sehingga sangat sesuai dengan teknik seperti kompresi dan *cropping*. Teknik *Transform Domain* yang paling umum adalah transformasi kosinus diskrit dan transformasi *wavelet*, perbandingan antara jumlah informasi rahasia yang harus disematkan dengan kesulitan membaca pesan rahasia [B. Li, J. He, J. Huang, and Y.Q. Shi. 2011]. Spread spectrum mencakup gambar sebagai *noise* atau menambahkan *noise* ke *cover images*.

Selanjutnya adalah teknik statistik yang juga disebut sebagai teknik yang memodifikasi karakteristik dari *cover images* dan mencegah dari kesalahan dalam proses *embedding*. [S.C. Katzenbeisser. 2000] Modifikasi ini dapat dirasakan oleh manusia dengan mengidentifikasi variasi pencahayaan. Teknik ini rentan terhadap serangan *rotating*,

*cropping*, *scaling* dan juga semua serangan *watermarking*.



Gambar 1 Cover-data



Gambar 2 Stego-data.

Gambar 1 merupakan *file* gambar lena.jpg yang dijadikan sebagai *cover data*. Sedangkan gambar 2.2 merupakan *file* gambar lena.jpg yang telah dimasukan pesan rahasia berupa teks melalui aplikasi steganografi. Terlihat bahwa dengan mata manusia yang terbatas, perbedaan kedua gambar tersebut tidak terlihat. Keberadaan pesan rahasia di dalam gambar 2 pun tidak dapat diketahui keberadaannya oleh pihak lain [R. Mutia S. 2017].

#### B. Sistem *Chaos* (*Chaos*)

Sistem *chaos* adalah sistem deterministik yang acak, namun definisi sistem *chaos* adalah *tricky* dan para ahli tidak menemukan kata yang sepadat untuk definisi *chaos* seperti disampaikan oleh Weisstein [E. W. Weisstein. 2015]. Gleick [J. Gleick. 1997] bahwa tidak ada ahli sistem *chaos* yang diwawancarainya setuju dengan definisi dari kata *chaos* itu sendiri.

Berikut ini akan dijelaskan sekilas tentang teori *Chaos* yang sebagian besar merujuk dari pendapat Kocarev dan Lian dalam bukunya *Chaos-Based Cryptography* [L. Kocarev and S. Lian. 2011] seperti dijabarkan dalam bagian studi pustaka oleh Suryadi [M. Suryadi. 2013].

#### C. Spread Spectrum

Metode *spread spectrum* dalam steganografi diilhami dari skema komunikasi *spread spectrum*, yang mentransmisikan sebuah sinyal pita sempit ke dalam sebuah kanal pita lebar dengan penyebaran frekuensi. *Spread Spectrum steganography* terpecah-pecah sebagai pesan yang diacak (*encrypt*) melalui gambar. Untuk membaca suatu pesan, penerima memerlukan algoritma yaitu *crypto-key* dan *stego-key*. Metode ini juga masih mudah diserang yaitu penghancuran atau pengrusakan dari kompresi dan proses *image* (gambar) [P. Budi. 2011].

Pada proses penyembunyian data, bit-bit informasi yang telah mengalami proses *spreading* ini kemudian akan dimodulasi dengan *pseudo-noise signal* yang dibangkitkan



secara acak berdasarkan kunci penyembunyian. Hasil dari proses modulasi ini kemudian digabungkan sebagai *noise* ke dalam sebuah berkas media pada bit-bit terakhir dari berkas media. Oleh penerima, sinyal dikumpulkan kembali menggunakan replika *pseudo-noise signal* tersinkronisasi.

Media yang telah berisi informasi rahasia tersebut disaring terlebih dahulu dengan proses *pre-filtering* untuk mendapatkan *noise*. *Noise* yang dihasilkan selanjutnya dimodulasi dengan menggunakan *pseudo-noise signal* untuk mendapatkan bit-bit yang berkorelasi. Bit-bit yang berkorelasi tersebut dianalisa dengan perhitungan tertentu untuk menghasilkan bit-bit informasi yang sesungguhnya [P. Budi. 2011].

Berdasarkan definisi, dapat dikatakan bahwa steganografi menggunakan metode *spread spectrum* memperlakukan *cover-object* sebagai derau (*noise*) ataupun sebagai usaha untuk menambahkan derau semu (*pseudo-noise*) ke dalam *cover-object*. *Cover-object* sebagai derau Sistem yang memperlakukan *cover-object* sebagai derau dapat menambahkan sebuah nilai ke dalam *cover-object*. Nilai ini harus ditransmisikan di bawah tingkat derau yang ditambahkan nilai ke dalamnya. Hal ini berarti kapasitas sangat ditentukan oleh *cover-object*.

**D. Analisis Stegano**

Analisis yang dilakukan untuk mengukur hasil kinerja metode stegano citra adalah: visualisasi, analisis statistik (*histogram*, korelasi, entropi, analisis kerandoman NIST), analisis diferensial (NPCR, UACI), analisis sensitivitas terhadap kunci (NPCR, UACI, korelasi), dan ruang kunci. Metode tersebut diukur kinerjanya terhadap ketahanan gangguan, seperti: perubahan kecerahan dan kontras kompresi JPEG, *Gaussian noise*, *Poisson noise*, *Salt and Pepper noise*, dan *speckle noise*, *data loss*.

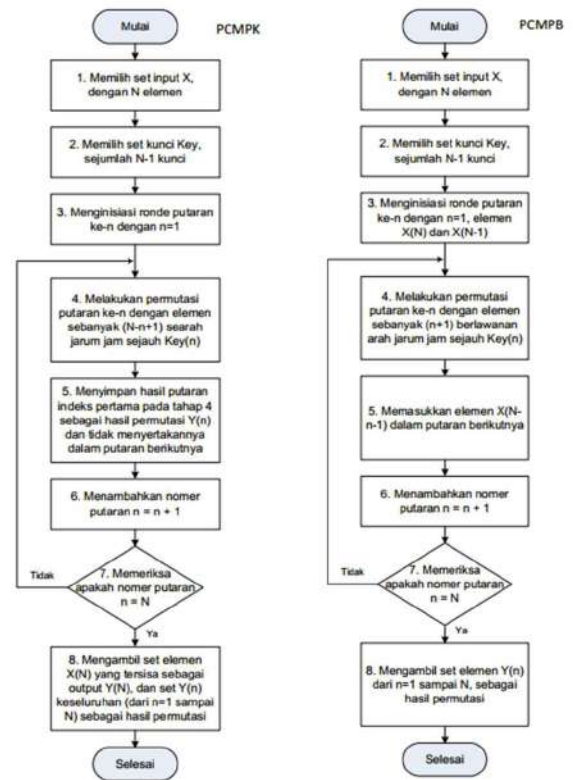
**E. Algoritma Permutasi Chaotic Multiputaran Membesar (PCMB)**

Untuk mendapatkan *set* elemen asli dari elemen yang diacak menggunakan metode PCMPK adalah dengan melakukan permutasi multiputaran membesar (PCMPB) yang dikontrol oleh rangkaian kunci *Key* yang sama. Berkebalikan dengan PCMPK, jumlah elemen yang terlibat dalam setiap ronde putaran pada PCMPB semakin berkembang yang secara visual. [Y. Suryanto. 2016]. digambarkan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Visualisasi Permutasi Chaotic Multiputaran Membesar (PCMPB) untuk Elemen [Y. Suryanto. 2016]

Algoritma PCMPK dan PCMPB digambarkan dalam Gambar 4.



Gambar 2.4 Algoritma permutasi Chaotic multiputaran mengecil (PCMPK) dan membesar (PCMPB) [Y. Suryanto. 2016]

1. Memilih *set* input *X*, dengan *N* elemen.
2. Memilih set kunci *Key* sejumlah  $N - 1$  rangkaian kunci  $Key(n)$ . ( $Key(n)$  dapat dipilih sembarang angka bilangan bulat dalam ruang kunci sesuai dengan Gambar 3.3.

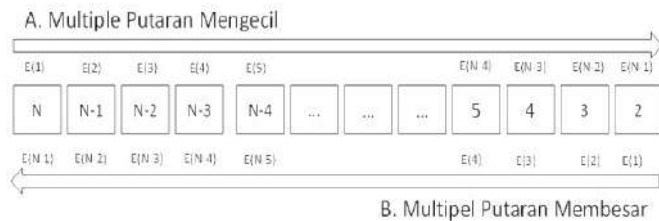
3. Menginisiasi ronde putaran ke- $n$  dengan  $n = 1$ , dua elemen terakhir  $X(n)$  dan  $X(n-1)$ .
4. Melakukan permutasi putaran ke- $n$  dengan elemen sebanyak  $(n + 1)$  searah jarum jam sejauh  $Key(n)$ .
5. Memasukkan elemen  $X(N - n - 1)$  pada elemen hasil putaran tahap 4 sebagai tambahan elemen input dalam putaran berikutnya.
6. Menambahkan nomer putaran  $n = n + 1$ .
7. Memeriksa apakah nomer putaran  $n = N$ , jika tidak ulangi langkah 4 dan jika iya lanjutkan ke langkah 8.
8. Mengambil *set* elemen  $Y(n)$  dari  $n = 1$  sampai sebagai hasil permutasi PCMPB.

**F. Algoritma Permutasi Chaotic Multiputaran Mengecil (PCMK)**

Metode PCMK ada dua metode yaitu permutasi PCMPK dan PCMPB yang merupakan kebalikan satu dengan lainnya. Visualisasi permutasi PCMPK [Y. Suryanto. 2016].

Algoritma PCMPK dijabarkan sebagai berikut:

1. Memilih set input  $X$ , dengan elemen.
2. Memilih set kunci Key sejumlah  $N - 1$  rangkaian kunci  $Key(n)$ .  $Key(n)$  dapat dipilih sembarang angka bilangan bulat positif dalam ruang kunci (Gambar 5).



Gambar 5 Ruang kunci untuk tiap tahap putaran permutasi multiputaran. [Y. Suryanto. 2016].

3. Menginisiasi ronde putaran ke- $n$  dengan  $n = 1$ .
4. Melakukan permutasi putaran ke- $n$  dengan elemen sebanyak  $(N - n + 1)$  searah jarum jam sejauh  $Key(n)$ .
5. Menyimpan hasil putaran indeks pertama ( $Y_n$ ) pada tahap 4 sebagai hasil permutasi putaran pertama dan tidak menyertakannya dalam putaran berikutnya.
6. Menambahkan nomer putaran  $n = n + 1$ .

7. Memeriksa apakah nomer putaran  $n = N$ , jika tidak ulangi langkah 4, dan jika iya lanjutkan ke langkah 8.
8. Mengambil *set* elemen  $X(n)$  yang tersisa sebagai output  $Y(n)$  yang terakhir, dan *set*  $Y(n)$  dari  $n = 1$  sampai  $N$  sebagai hasil permutasi PCMPK.

**G. Algoritma B217AN**

Algoritma B217AN merupakan algoritma steganografi baru, yang dibuat berbasis PCMPK/B menggunakan metode *spread spectrum*. Proses dilakukan pada penyisipan pesan terbagi menjadi yaitu PCMK, *spread image*, transformasi frekuensi, domain frekuensi, modulasi, retransformasi dan *stego image* (pesan rahasia disisipkan kedalam gambar).

Proses yang dilakukan pada ekstrasi pesan terbagi menjadi yaitu retransformasi image, domain frekuensi, demodulasi, *spread image*, PCMB, proses akhir menghasilkan kunci dan *information image*.

**2. Metodologi Penelitian**

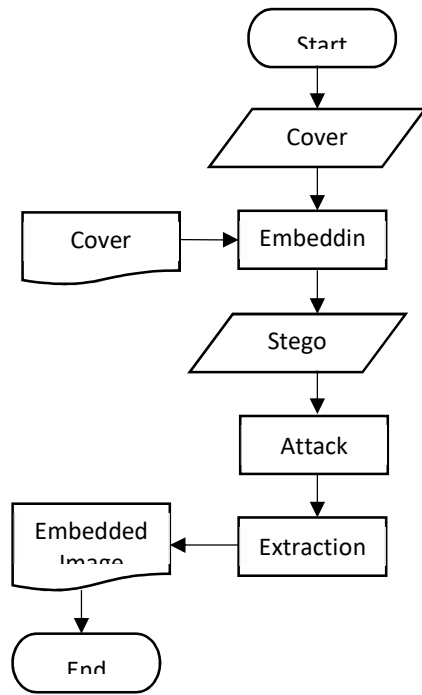
**2.1. Perancangan Algoritma B217AN**

Tahapan perancangan Algoritma B217 yaitu:

1. Pada pengirim pesan, yaitu melakukan pemilihan media *cover-image* yang akan digunakan dan memasukkan pesan rahasia (*embedded-image*) yang akan disisipkan.
2. *Embedding process* untuk dimasukkan ke *cover-image* menggunakan *spread spectrum*. Menghasilkan keluaran yaitu *stego-image* yang telah dimasukkan *embedded-image* dan citra telah tersisipi yang akan terlihat.
3. Tahap ketiga yaitu citra stego diuji kehandalannya dengan beberapa serangan, proses tersebut menghasilkan keluaran yaitu citra stego yang diserang.
4. Tahap keempat menghasilkan keluaran yaitu citra stego yang telah diserang. Pada penerima, *stego image* diekstraksi untuk menghasilkan pesan rahasia yang tersimpan di dalam *cover image*.

Blok diagram steganografi pada citra digital seperti Gambar 6.





Gambar 6 Diagram Alir Sistem.

Adapun penjelasan dari gambar 6 adalah sebagai berikut:

1. Tahap pertama yang dilakukan adalah pada pengirim pesan, yaitu melakukan pemilihan media *cover-image* yang akan digunakan dan memasukkan pesan rahasia (*embedded-image*) yang akan disisipkan.
2. Tahap kedua yaitu *embedding process* untuk disisipkan ke dalam *cover-image* dengan menggunakan metode *spread spectrum*. Proses tersebut menghasilkan keluaran yaitu *stego-image* yang telah disisipkan pesan rahasia (*embedded-image*) dan citra yang telah tersisipi yang akan terlihat.
3. Tahap ketiga yaitu citra stego diuji keandalannya dengan beberapa serangan, proses tersebut menghasilkan keluaran yaitu citra stego yang telah diserang.
4. Tahap keempat menghasilkan keluaran yaitu citra stego yang telah diserang. Pada penerima, *stego image* diekstraksi untuk menghasilkan pesan rahasia yang tersimpan di dalam *cover image*.

### 2.2 Proses Penyisipan Pesan

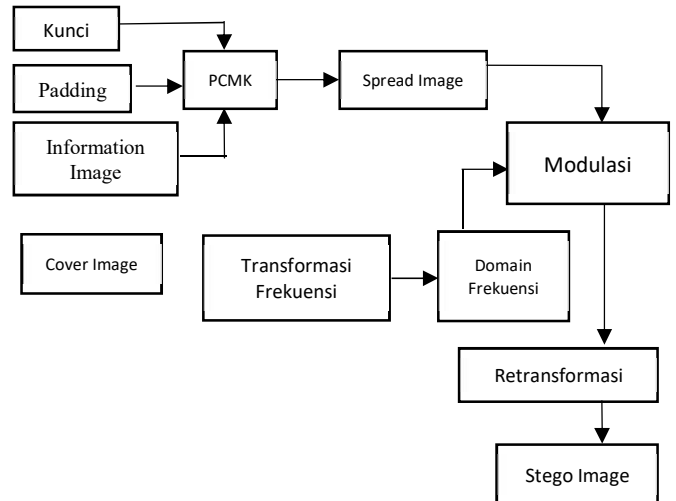
Diagram Blok proses penyisipan pesan pada citra digital seperti Gambar 7.

Adapun penjelasan dari gambar 7 adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan kunci yang akan digunakan, kunci tersebut akan digabungkan dengan *padding* dan *information image* kemudian diproses dengan metode PCMK (Permutasi *Chaotic* Multiputaran Mengecil).

2. Setelah melalui proses PCMK, akan menghasilkan *spread image*. Hasil dari *spread image* masuk ke modulasi.
3. Pada tahapan *cover image*, langkah yang dilakukan adalah transformasi frekuensi dan hasilnya akan masuk ke modulasi.

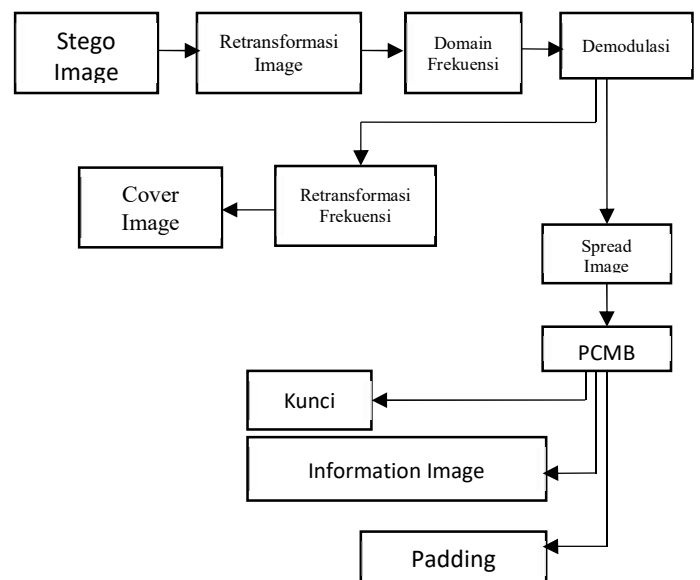
Setelah melalui tahapan modulasi, kemudian dilakukan retransformasi sehingga menghasilkan *stego image* yang sudah disisipi kunci dan *information image*



Gambar 7 Diagram Blok Proses Penyisipan Pesan

### 2.3 Proses Ekstrasi Pesan

Diagram Blok proses ekstrasi pesan pada citra digital seperti Gambar 8.



Gambar 8 Diagram Blok Proses Ekstrasi Pesan

Adapun penjelasan dari gambar 8 adalah sebagai berikut:

1. Tahap awal dari proses ekstraksi pesan yaitu dari *stego image* yang telah dihasilkan dari proses penyisipan pesan, kemudian dilakukan *retransformasi image*.
2. Setelah dilakukan *retransformasi image*, tahapan selanjutnya adalah mengubah menjadi domain frekuensi.
3. Pada tahap selanjutnya adalah demodulasi dari proses domain frekuensi.
4. Setelah melalui proses demodulasi, maka akan menghasilkan *spread image*. *Spread image* tersebut diproses menggunakan PCMB (Permutasi Chaotic Multiputaran Membesar), dari proses PCMB akan menghasilkan kunci, *information image* dan *padding*. Pada hasil akhir, *padding* tidak digunakan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Algoritma steganografi B217AN yang dihasilkan merupakan algoritma steganografi yang tahan terhadap gangguan, gangguan yang dimaksud meliputi ketahanan gangguan, seperti: perubahan kecerahan dan kontras kompresi JPEG, *Gaussian noise*, *Poisson noise*, *Salt and Pepper noise*, dan *speckle noise*, *data loss*.

Bertujuan untuk menghasilkan aplikasi steganografi berbasis Permutasi Chaotic Multiputaran Membesar dan Mengecil (PCMK/B) yang dibuat dengan menggunakan *software* Matlab\_R2016b.

#### 3.1 Pseudocode PCMK

Percobaan permutasi *chaotic* multiputaran mengecil (PCMK) dilakukan pada *software* Matlab\_R2016b, berikut ini adalah *pseudocode* dari PCMK

```
function Y = ACPMCSM2(X, keys);
%function CPMCSM, chaotic permutation
multicircular shrinking movement
%Mencari ukuran dari element yang akan
dipermutasi
NSize = length(X);
kunci = keys;
%ACPMCSM permutation
%Y = uint8(zeros(1,NSize));
index = 0;
for n=1:(NSize-1)
    index =mod(index+(kunci(n)),NSize-n+1);
    Y(n) = X(index+1); %Melakukan permutasi
    untuk urutan index, dilakukan penyesuaian index
    karena matlab dari 1
    X(index+1) = []; %Data yang sudah
    terpakai tidak disertakan lagi
end
Y(NSize) = X(1);
```

#### 3.2 Pseudocode PCMB

Percobaan permutasi *chaotic* multiputaran membesar (PCMB) dilakukan pada *software* Matlab\_R2016b, berikut ini adalah *pseudocode* dari PCMB

```
function Y = CPMCEM2(X, keys);
%function CPMCEM2, chaotic permutation
multicircular expanding movement
%mempercepat proses CPMCEM
%Untuk jumlah elemen besar bisa mempercepat,
seperti N=100000; CPMCEM 136,55
%detik sedangkan CPMCEM2 bisa 26,66 detik.
Untuk elemen kecil hampir sama
%Keluaran uint8 untuk image
%Mencari ukuran dari element yang akan
dipermutasi
NSize = length(X);
for n=1:NSize-1
    Y = X(NSize-n:NSize);
    index = mod(-keys(NSize-n),n+1)+1;
    X(NSize-n:NSize+1-index) = Y(index:n+1);
    if index > 1
        X(NSize+2-index:NSize) = Y(1:index-1);
    end
    Y = X;
end
end
```

### 4. Kesimpulan

Algoritma steganografi digabungkan dengan metode *spread spectrum* berfungsi untuk menyebar informasi yang terdapat didalam *embedded image* sehingga tidak diketahui keberadaan atau posisi dari pesan yang disisipkan tersimpan, sehingga pengirim pesan pun tidak mengetahui posisi dari pesan yang terdapat didalam *embedded image*.

Kinerja algoritma steganografi yang dihasilkan dapat tahan perubahan kecerahan dan kontras kompresi JPEG, *Gaussian noise*, *Poisson noise*, *Salt and Pepper noise*, dan *speckle noise*, *data loss*.

Pada penyisipan pesan menggunakan Permutasi Chaotic Multiputaran Mengecil (PCMK) untuk proses yang bersumber dari kunci, *padding*, dan *information image* menghasilkan *spread image* yaitu mengacak informasi yang telah didapatkan dari proses sebelumnya menjadi *spread image*. Proses dari *cover image* diawali dengan melakukan transformasi frekuensi menjadi domain frekuensi, kemudian disatukan dengan hasil dari proses *spread image* untuk dilakukan *retransformasi* sehingga menghasilkan sebuah *stego image*.

Proses ekstraksi pesan diawali dengan *stego image* yang telah dihasilkan untuk dilakukan *retransformasi image* kemudian diubah kedalam domain frekuensi dan dilakukan demodulasi, dari proses demodulasi menghasilkan 2 proses yang pertama adalah melakukan *retransformasi* frekuensi

dan menghasilkan sebuah *cover image* dan yang kedua melakukan *spread image* menggunakan permutasi *chaotic* multiputaran membesar (PCMB) yang akan menghasilkan kunci, *information image* dan *padding*, meskipun pada hasil akhir *padding* yang ditambahkan pada proses awal tidak digunakan pada hasil akhir dari proses steganografi citra.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Cachin (2005) : *Digital Steganography*
- [2] Cheddad, A. (2007) : “*Strengthening Steganography in Digital Image*”s, Disertasi Program Doktor, University of Ulster, Magee.
- [3] D. R. L. Davidchack. (2002, 10/17/2015). “*Bifurcation Diagram*”. Available: <http://www.math.le.ac.uk/people/rld8/ma1251/lab3.html>.
- [4] E. Rasul, Faridnia. Saed, S. Hossein, “*Using the Chaotic map in image steganography*”. International Conference on Signal Processing Systems, 2009.
- [5] Ersin Esen, A. Aydın Alatan, “*Comparison of Forbidden Zone Data Hiding and Quantization Index Modulation*”, *Digital Signal Processing* 22 (2012) 181–189.
- [6] Hideki Noda, Michiharu Niimi, Eiji Kawaguchi, “*High-performance JPEG steganography using quantization index modulation in DCT domain*”, *Pattern Recognition Letters* 27 (2006) 455–461.
- [7] I. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich, and. Kalker. “*Digital Watermarking and Steganography (Second Edition)*”, Morgan Kaufmann Publishers, 2007, ISBN: 978-0-12- 372585-1.
- [8] I. Rosziati, K.S. Teoh, “*Steganography algorithm to hide secret message inside an image*”. *Computer Technology and Application* 2 (2011) 102-108.
- [9] Joshi, S. V., Bokil A. A., Jain, N. A., Koshti, D. (2012) : “*Image Steganography Combination of Spatial and Frequency Domain*”, *International Journal of Computer Applications*, 53, 25 - 29.
- [10] L. Kocarev and S. Lian, “*Chaos-based cryptography*”: *theory, algorithms and applications* vol. 354: Springer, 2011.
- [11] M. Tabor, “*Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics*”: *An Introduction*: Wiley-Interscience, 1989.
- [12] M. Suryadi, “*Algoritma Baru Enkripsi Video dengan Menggunakan Multi Chaotic Cipher Berbasis Galois Field (256) dan Transformasi Cosinus Diskrit Terkuantisasi*,” Disertasi Doktor, *Department of Electrical Engineering*, Universitas Indonesia, Indonesia, 2013.
- [13] Munir, R. (2004) : “*Pengolahan Citra Digital*”, *Informatika*, Bandung.
- [14] P. Budi, “*Steganografi Pada Citra Digital Menggunakan Metode Spread Spectrum Dan Metode Least Significant Bit (LSB) Modification*”, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia. 2011.
- [15] R. Mutia S “*Studi dan Pengujian Algoritma Steganografi pada Aplikasi Steghide*”, Institut Teknologi Bandung, Indonesia. 2017.
- [16] S.C. Katzenbeisser. “*Principles of Steganography.*” in *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*, 2000.
- [17] S. Hand and T. Roscoe. Mnemosyne: “*Peer-to-peer steganographic storage*”. In 1st Intl. Workshop on Peer-to-Peer Systems, volume 2 429, March 2002, pages 130-140.
- [18] S.R. Widiyanto. “*Algoritma Steganografi dengan Metode Spread Spectrum Berbasis PCMK*”. *Jurnal Multinetics*”. Vol. 3. No. 2. 2017.
- [19] S.R. Widiyanto. “*Desain dan Analisa Algoritma Steganografi dengan Metode Spread Spectrum Berbasis PCMK (Permutasi Chaotic Multiputaran Mengecil dan Membesar) Menggunakan Matlab*”. Vol. 3. No. 1. 2018.
- [20] S.R. Widiyanto., Y. Suryanto. “*Desain Algoritma Steganografi dengan Metode Spread Spectrum Berbasis PCMK (Permutasi Chaotic Multiputaran Mengecil dan Membesar) yang Tahan Terhadap Gangguan.*”, *Prosiding SEMNASTEK Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 2018.
- [21] S. Wiggins, “*Introduction to applied nonlinear dynamical systems and chaos*” vol. 2: Springer Science & Business Media, 2003.
- [22] Supangkat, Suhono H., Juanda, Kuspriyanto. “*Watermarking sebagai Teknik Penyembunyian Label Hak Cipta pada Data Digital*”. ITB, Bandung. 2000.
- [23] V.M. Potdar, S. Han, E. Chang, “*Fingerprinted secret sharing steganography for robustness against image cropping attacks*”, *Proceedings of IEEE Third International Conference on Industrial Informatics (TNDIN)*, Perth, Australia, 10-12 August 2005, pp. 717-724.
- [24] V.Y Milad, A. Peyman, B.J. Milad, “*High secure digital image steganography based on 3D Chaotic map*”, *IKT2015 7th International Conference on Information and Knowledge Technology*.
- [25] Xian-ting Zeng, Zhuo Li, Ling-di Ping. “*Reversible data hiding scheme using reference pixel and multi-layer*

- embedding*”, International Journal of Electronics and Communications (AEÜ) 66 (2012) 532– 539.
- [26] Y. Suryanto, “*Pengembangan dan analisis metode permutasi Chaotic baru berbasis multiputaran mengecil dan membesar untuk enkripsi citra dengan tingkat keamanan tinggi, cepat dan tahan terhadap gangguan*”. Disertasi Program Doktor, Universitas Indonesia. 2016.
- [27] Y. Suryanto, R. R. Nasser, and R. F. Sari, "Performance Comparison of TCP Spoofing and End to End Approach to Enable Partial QoS on IP Based Network," *International Journal of Computers Communications & Control*, vol. 10, pp. 403-419, 2015.
- [28] Y. Zhou, L. Bao, and C. P. Chen, "A new 1D Chaotic system for image encryption," *Signal processing*, vol. 97, pp. 172-182, 2014.
- [29] Z. Xiaohong, M. Lequan, “*Steganography of multimedia information based on generalized chaos synchronization system*”. in: Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Circuits and System, 2006.

## Akuisisi Data Pengukuran Temperatur Berbasis LABVIEW

Abdul Aziz Ash Shiddiq<sup>1</sup>, Sulis Setiowati<sup>2</sup>, Andre Yulian Atmojo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Instrumentasi dan Kontrol Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [abdul.aziz.shiddiq93@gmail.com](mailto:abdul.aziz.shiddiq93@gmail.com)

### Abstrak

Sistem akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki. Tugas utama dari sistem akuisisi data adalah mengakuisisi sinyal sensor yang biasanya berupa sinyal analog, mengubahnya menjadi sinyal digital dan memberikannya kepada sistem monitoring ataupun sistem pengendalian. Pada sistem akuisisi data terdapat beberapa bagian, seperti transduser, pengkondisi sinyal, dan *A/D Converter*. Dengan adanya akuisisi data, industri dapat memantau dan mengontrol proses yang ada. Pada penelitian ini terdapat prototype bagian-bagian sistem akuisisi data dapat diimplementasikan secara *real time* dengan sinyal *input* sensor DS18B20 yang dikondisikan dengan Raspberry pi 2 dan diproses di LabVIEW untuk dapat dijadikan sistem monitoring, sistem *data logger*, atau sistem kendali *plant* menggunakan protokol TCP/IP untuk mengirim data pengukuran dan protokol UDP untuk mengirimkan status Raspberry pi. Saat sistem berjalan data pengukuran temperatur ditampilkan pada *front panel* LabVIEW setiap 5 detik.

*Keywords: sistem akuisisi data, LabVIEW*

### 1. Pendahuluan

Saat ini, sistem akuisisi data (DAQ) berfungsi sebagai jembatan antara lingkungan analog dan digital. DAQ banyak digunakan di laboratorium penelitian untuk pengujian dan pengukuran oleh ilmuwan dan insinyur, untuk otomasi di berbagai bidang industri dan sebagainya. Biasanya, DAQ adalah sistem yang cocok untuk mengukur sinyal arus dan tegangan. Data diperoleh oleh sensor atau transduser untuk diproses. Namun, sinyal output dari sensor atau transduser ini perlu dikondisikan sebelum dapat diperoleh oleh lingkungan digital untuk diproses lebih lanjut[1]. Informasi ini sering divisualisasikan sebagai grafik dan / atau bagan. Untuk memperoleh data dari sumber apa pun, diperlukan *Data Acquisition System* (DAS). Meskipun DAS memiliki beragam model dan kemampuan, sebagian besar DAS yang tersedia secara komersial memiliki setidaknya satu dari dua fitur utama berikut: mereka membuat sketsa grafik sinyal secara online, dan mereka menyimpan sampel data untuk analisis pasca percobaan..

Memilih DAS untuk dipilih bergantung pada pengaplikasiannya. Sebagai contoh, banyak aplikasi memerlukan resolusi tinggi konversi analog ke digital (ADC), sedangkan aplikasi lain mungkin memerlukan sampling rate tinggi [2]. Dalam kasus seperti itu orang

harus mencari DAS yang menawarkan kemampuan seperti itu.

Gagasan untuk menggunakan mikroprosesor untuk akuisisi data telah ada selama beberapa waktu. Sebagai contoh, pada tahun 1990, penulis di [3] mengusulkan sistem akuisisi data yang dirancang khusus untuk sistem *photo voltaic* (PV). Penulis mengusulkan arsitektur sistem mikro berbasis mikroprosesor MC68B09 yang mampu mengumpulkan dan menganalisis data. Pengumpulan data dalam adalah *real-time* dan melalui *interface serial RS232*.

Banyak yang telah berubah sejak 1990. Selama beberapa tahun terakhir, beberapa platform tertanam berbiaya rendah memasuki pasar elektronik. Sebagian besar platform ini bersifat *open source* dan mudah diprogram dan dioperasikan.

Penelitian ini disusun sebagai berikut: menjelaskan arsitektur sistem dengan gambaran singkat dari *micro computer* Raspberry Pi dikoneksikan dengan LabView yang berada di PC. Dibagian selanjutnya disajikan tes eksperimental yang dilakukan untuk memvalidasi fungsionalitas sistem.

## 2. Metode Penelitian

Elemen-elemen dasar dari sistem akuisisi data berbasis komputer (PC) yaitu, sebuah komputer, transduser; pengkondisi sinyal (*signal conditioning*), Perangkat keras akuisisi data, dan perangkat lunak yang terkait [4].

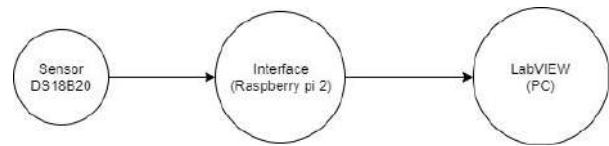
Metode akuisi yang dipakai adalah metode sistem akuisisi data secara *real time*. Biasanya, proses akuisisi data melibatkan pembacaan informasi sensorik dari satu atau lebih sensor, mengubah data yang diperoleh menjadi bentuk digital (konversi ADC), merencanakan dan menyimpan informasi ke dalam memori. Beberapa komponen dari proses akuisisi data diilustrasikan pada Gambar. 1.

Sensor mengukur kuantitas fisik dan menghasilkan tegangan yang sebanding dengan kuantitas yang diukur. Ada berbagai jenis sensor dengan karakteristik keluaran yang berbeda. Namun demikian, sensor analog yang digunakan dalam pekerjaan harian menghasilkan tegangan output antara 0 hingga 10 V.

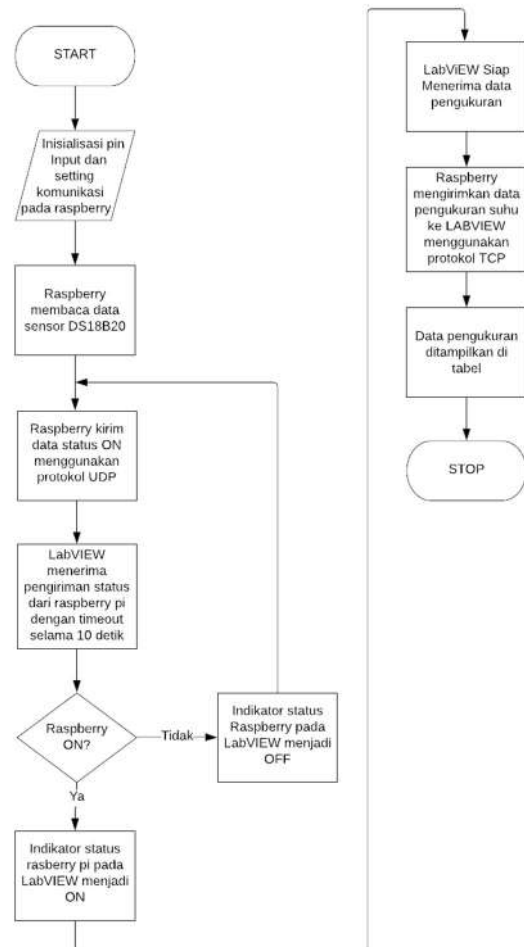


Gambar 1 Diagram blok sistem akuisisi data

Tegangan analog yang diperoleh dari sensor harus dikonversi ke bentuk digital. Ini dilakukan melalui konverter analog ke digital (ADC). Ada berbagai variasi ADC, tersedia dengan karakteristik yang berbeda (resolusi, kecepatan konversi, dan lain lain) [2]. Dalam penelitian ini, sensor DS18B20 sudah mengkonversikan nilai analog ke digital. Peran Raspberry pi 2 sebagai *interface* dan pengkondisi sinyal yang menghubungkan transduser dengan LabVIEW. Ada dua alasan utama di balik pemilihan Raspberry pi 2 sebagai interface untuk percobaan khusus ini. Pertama, Perangkat Raspberry pi menyediakan platform yang mudah digunakan untuk menulis dan men-debug program. Kedua, karena Raspberry pi 2 adalah mikrokomputer, ia menyediakan platform yang cocok dan fleksibel untuk perbaikan dan modifikasi lebih lanjut dari DAS yang dirancang. Raspberry pi 2 memiliki input analog, Setelah konversi analog ke digital dilakukan, data sensor digital harus ditransfer ke komputer, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Transmisi data ini dilakukan melalui protokol UDP yang mengirimkan data berupa kondisi raspberry pi yang sudah aktif untuk pengukuran dan melakukan buka koneksi dan protokol TCP yang mengirimkan data pengukuran seperti yang ditunjukkan di gambar 3



Gambar 2 Diagram blok sistem akuisisi data

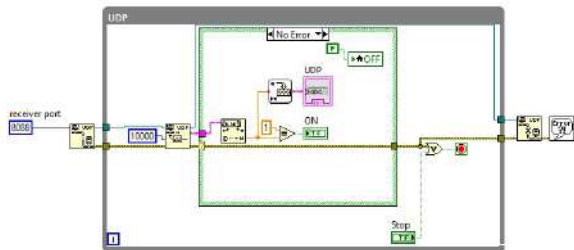


Gambar.3 Diagram alir sistem akuisisi data berbasis LabVIEW

Software akuisisi data merupakan komponen sistem akuisisi data yang mempunyai peran untuk mengolah data yang telah diambil dari plant untuk kemudian diproses untuk dijadikan sistem *monitoring*, sistem *data logger*, sistem kendali plant. software yang dipakai dalam penelitian ini adalah software LabVIEW. LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) merupakan bahasa pemrograman dengan performansi dan fleksibilitas seperti bahasa pemrograman yang lain yaitu C++, Fortran, Basic, dan lain-lain [5]. Pada penelitian kali ini LabVIEW akan menerima 2 data, yaitu data pengukuran dan data status raspberry. Data pengukuran dikirim menggunakan protokol TCP dan data

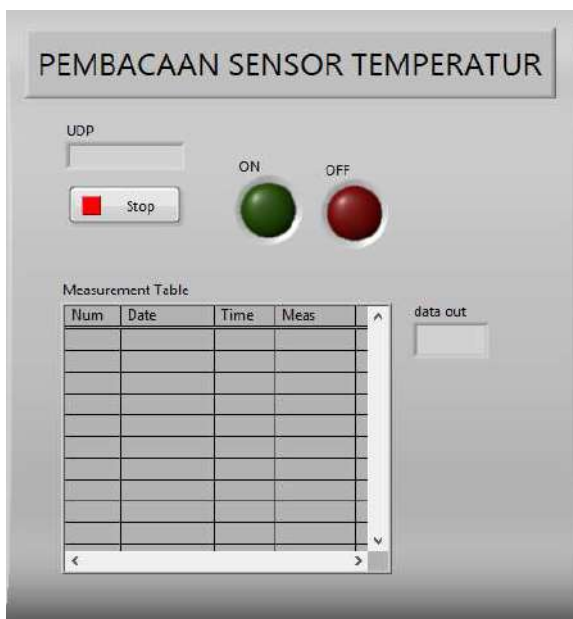


status dikirimkan dengan protokol UDP. Saat sistem dijalankan, raspberry akan mengirimkan nilai 1. Nilai ini menunjukkan bahwa raspberry pi dalam kondisi ON seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 4 Program UDP pada LabVIEW

Timeout diberikan 10 detik untuk memeriksa koneksi apakah raspberry pi masih beroperasi atau tidak. Jika raspberry ON, maka indikator ON di *front panel* pada LabVIEW akan menyala dan indikator OFF akan mati. Jika raspberry pi mati, maka indikator ON akan mati dan indikator OFF akan menyala.

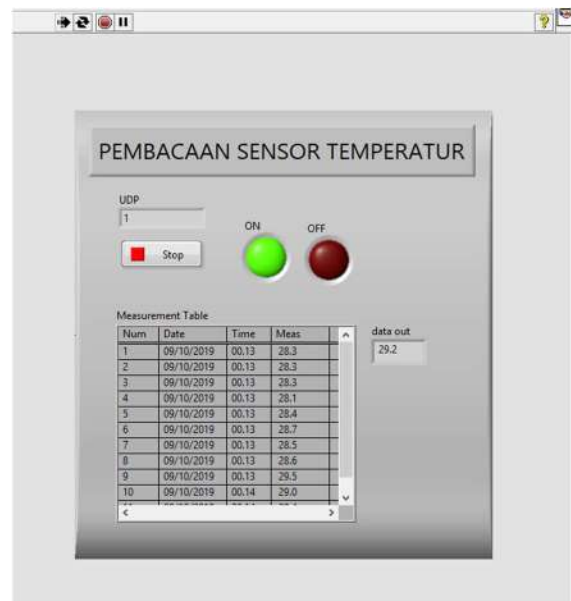


Gambar. 5 front panel pada LabVIEW

Ketika kondisi sudah ON, maka tabel boleh diisi dengan data pengukuran yang dikirimkan menggunakan protokol TCP.

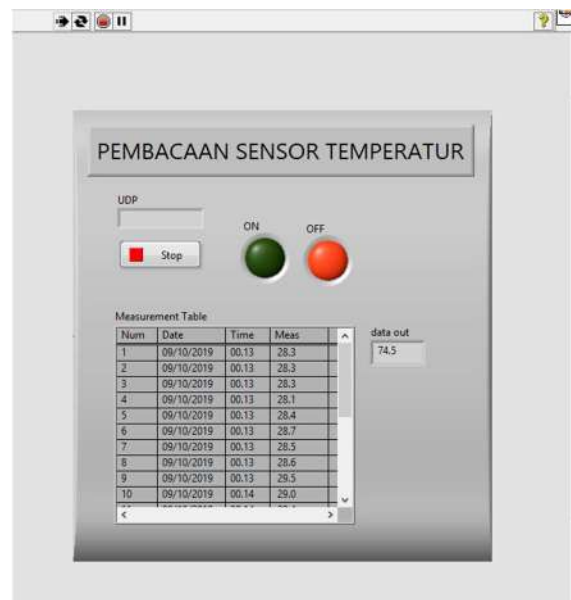
Pembacaan pengukuran akan ditampilkan tiap 5 detik di tabel dengan format urutan data, tanggal, waktu, dan besarnya pengukuran. Program akan berhenti ketika user memberhentikan program melalui tombol stop.

### 3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 6 Pembacaan pengukuran sensor

Gambar 6 menunjukkan hasil akuisisi data pengukuran temperatur ketika sistem sedang berjalan. Pada indikator UDP menunjukkan angka 1, menunjukkan adanya pengiriman data status, hal ini juga yang menyalakan indikator ON dan indikator OFF mati.



Gambar 7 Saat koneksi dengan raspberry dimatikan

Gambar 7 menunjukkan *front panel* saat koneksi dengan raspberry sudah mati, menunjukkan indikator UDP tidak berisikan angka 1, indikator ON mati, dan indikator OFF menyala.

#### 4. Kesimpulan

Pada sistem akuisisi data pengukuran temperatur menggunakan raspberry pi berbasis LabVIEW dapat dilakukan. Pada kesempatan kali ini penulis dapat menyimpulkan bahwa sistem akuisisi data pengukuran temperatur ini sesuai dengan elemen-elemen akuisisi data. Sensor DS18B20 sebagai transduser. Raspberry pi sebagai pengkondisi sinyal dan konverter analog ke digital. LabVIEW sebagai perangkat lunak akuisisi data.

Program LabVIEW dapat mengolah data-data hasil pengukuran. Terdapat aplikasi untuk membuat sketsa grafik sinyal secara *real time*, dan dapat menyimpan sampel data untuk analisis pasca percobaan.

#### Daftar Acuan

- [1] P. Sarma, H. K. Singh, and T. Bezboruah, "A Real-Time Data Acquisition System for Monitoring Sensor Data," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 6, pp. 539–542, 2018.
- [2] A. A. Asadi, S. Bagheri, A. Imam, E. Jalayeri, W. Kinsner, and N. Sepehri, "A data acquisition system based on Raspberry Pi: Design, construction and evaluation," *7th IEEE Annu. Inf. Technol. Electron. Mob. Commun. Conf. IEEE IEMCON 2016*, pp. 3–7, 2016.
- [3] M. Benganem and A. Maafi, "Data acquisition system for photovoltaic systems performance monitoring," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 47, no. 1, pp. 30–33, 1998.
- [4] A. P. Mandela, H. L. Guntur, J. T. Mesin, and F. T. Industri, "Data Pada Alat Uji Suspensi," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [5] P. Hireen and P. Dipak, "GUI Based Data Acquisition System Using ARM-Cortex M3 Microcontroller," *Int. J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 3199–3204, 2012.

# Kajian Sejumlah Metode Tertutup Untuk Mencari Akar-Akar Persamaan Non Linier Secara Iteratif

Mulyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Komputer FMIPA Universitas Negeri Jakarta

Email : [mulyono\\_unj\\_2006@yahoo.co.id](mailto:mulyono_unj_2006@yahoo.co.id)

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sejumlah metode tertutup untuk mencari penyelesaian atau akar-akar dari persamaan non-linier secara iteratif. Pada penelitian ini dibandingkan 3 metode untuk mencari penyelesaian atau akar-akar dari persamaan non-linier, yaitu : metode Bagi Dua (Bisection) dan metode Posisi Palsu (Regula Falsi). Dua faktor utama yang paling penting untuk dipertimbangkan dalam membandingkan metode-metode tersebut adalah akurasi penyelesaian numerik dan waktu komputasinya. Dalam penelitian ini digunakan Microsoft Excel untuk membandingkan kinerja dari kedua metode tersebut.

Hasil dari penelitian ini adalah bahwa dari kedua persamaan non linier yang diberikan, dengan menggunakan interval yang sama, metode posisi palsu selalu lebih cepat dalam mendapatkan akar-akarnya dibanding metode bagi dua.

**Kata Kunci:** Metode Bagi Dua, Metode Posisi Palsu, Metode Tertutup

## 1. Pendahuluan

Di dalam bidang sains dan teknik, sering dijumpai suatu persoalan untuk mencari solusi persamaan atau disebut akar-akar persamaan atau nilai-nilai nol yang berbentuk  $f(x) = 0$ . Umumnya persamaan yang akan dipecahkan muncul dalam bentuk persamaan non linier yang melibatkan bentuk sinus, cosinus, eksponensial, logaritma dan fungsi transenden lainnya.

Pada penelitian ini akan dibahas sejumlah metode untuk mencari akar-akar persamaan non linier dengan menggunakan metode numerik. Dalam Metode Numerik, pencarian akar-akar dari  $f(x) = 0$  dilakukan secara iteratif.

Metode iteratif dimulai dengan aproksimasi atau tebakan awal untuk penyelesaian-penyelesaian atau akar-akar yang sebenarnya, dan bila konvergen, hasil aproksimasi terdekat dari barisan tersebut adalah siklus dari perhitungan-perhitungan yang diulang-ulang, sampai diperoleh penyelesaiannya atau akarnya. Di dalam metode analitik, banyaknya perhitungan adalah tetap atau tertentu, tetapi pada metode iteratif, banyaknya perhitungan tergantung pada ketelitian yang diinginkan.

Pada penelitian ini, ada dua faktor utama yang paling penting untuk dipertimbangkan dalam membandingkan metode-metode tersebut yaitu

akurasi penyelesaian numerik dan waktu komputasinya atau banyaknya iterasi yang diperlukan sehingga mendapatkan penyelesaiannya.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian terhadap sejumlah metode tertutup untuk mencari penyelesaian atau akar-akar dari persamaan non linier secara numerik yaitu Metode Bagi Dua dan Metode Regula Falsi dengan melihat akurasi penyelesaian numerik dan waktu komputasinya, sehingga bisa mengetahui metode mana yang paling baik.

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan sebagai berikut:

- Persamaan yang dicari penyelesaiannya atau akar-akarnya adalah persamaan non linier.
- Perangkat keras yang digunakan adalah Laptop merk Acer, Intel Core i3, 2 GB DDR 3 Memory.
- Software yang digunakan adalah Microsoft Excel.

Pada kelompok metode tertutup, metodenya mencari akar di dalam suatu interval  $[a, b]$ , dimana pada interval tersebut dipastikan ada minimal satu akar, sehingga pada metode tertutup dipastikan bisa menemukan akar. Dengan metode iteratif, tebakan awal tersebut digunakan untuk menghitung tebakan awal yang baru, demikian

seterusnya secara iteratif, sehingga hampiran akar yang baru akan semakin mendekati akar sejati (konvergen) atau mungkin malah menjauhi akar sejati (divergen).

Berikut ini adalah dua metode tertutup yang akan digunakan untuk mencari akar-akar dari sejumlah persamaan non linier yang diberikan.

**a. Metode Bagi Dua (metode Biseksi)**

Misalkan sudah ditemukan interval yang cukup kecil [a, b] sehingga  $f(a)f(b) < 0$ , yang berarti pada interval tersebut memuat akar. Pada setiap iterasi, interval [a, b] dibagi menjadi 2 pada  $x = c = \frac{a+b}{2}$ , sehingga terdapat 2 interval baru yang berukuran sama : [a, c] dan [c, b]. Interval yang diambil untuk iterasi berikutnya adalah interval yang memuat akar. Interval yang baru yang dipilih pada iterasi berikutnya dibagi dua lagi dengan cara yang sama. Begitu seterusnya, sampai ukuran interval yang baru dan yang mengandung akar sudah sangat kecil. Kondisi berhenti dari iterasi dipilih satu dari tiga kriteria berikut ini :

- a. Lebar interval baru =  $|b-a| < \epsilon$ , dengan  $\epsilon$  adalah nilai toleransi lebar interval yang memuat akar.
- b. Nilai fungsi di hampiran akar :  $f(c) < \epsilon$ , dengan  $\epsilon$  bilangan yang sangat kecil.
- c. Kesalahan relatif hampiran akar =  $\left| \frac{c_{baru} - c_{lama}}{c_{baru}} \right| < \delta$ , dengan  $\delta$  adalah kesalahan relatif kesalahan yang diinginkan.

**2. Metode Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Menyiapkan sejumlah persamaan tidak linier, yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu yang akan dicari penyelesaiannya dengan menggunakan 2 metode yang akan diteliti yaitu : metode Bagi Dua dan metode Posisi Palsu.
- b. Mengimplementasi 2 metode yang akan dikaji, yaitu metode Bagi Dua dan metode Posisi Palsu.
- c. Melakukan eksperimen terhadap 2 metode yang sudah dibuat programnya dengan menggunakan persamaan tidak linier yang

**3. Hasil Dan Pembahasan**

Adapun persamaan non linier yang dipakai penelitian di sini adalah :

- 1. Carilah akar-akar dari persamaan :  $e^x - 5x = 0$  dengan  $\epsilon = 0,00000001$ .
- 2. Carilah akar-akar dari persamaan :  $e^x = 4x^2 - x$  dengan  $\epsilon = 0,00000001$ .

**b. Metode Posisi Palsu (metode Regula Falsi)**

Pada interval [a, b] yang memuat akar, bila  $f(a)$  lebih dekat ke nol daripada  $f(b)$ , maka akar lebih dekat ke  $x=a$  daripada ke  $x=b$ . Dengan menggunakan metode Regula-Falsi, titik (a,  $f(a)$ ) dan (b,  $f(b)$ ) ditarik suatu garis lurus, dan memotong sumbu-x di titik  $x = c$ , yang merupakan taksiran akar yang diperbaiki. Dari garis lurus yang menghubungkan titik (a,  $f(a)$ ) dan titik (b,  $f(b)$ ) yang memotong sumbu-x di titik  $x = c$ , didapat persamaan :  $\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = \frac{f(b)-f(c)}{b-c} = \frac{f(b)-0}{b-c}$ , sehingga didapat :  $c = b - \frac{f(b)(b-a)}{f(b)-f(a)}$ . Iterasi pada metode Regula-Falsi dihentikan jika nilai  $f(c)$  sangat kecil dan mendekati nol.

Untuk mengatasi titik ujung interval yang tidak pernah berubah atau titik mandek, maka caranya sebagai berikut :

- a. Pada akhir iterasi ke-1, kita sudah mendapatkan interval baru untuk iterasi ke-2.
- b. Berdasarkan interval baru tersebut, tentukan ujung interval yang merupakan titik mandek, misalkan titik b.
- c. Nilai f titik mandek pada iterasi ke-2 ( $f(b)$  pada iterasi ke-2) diganti dengan setengah kali nilai f titik mandek pada iterasi ke-1 ( $f(b)$  pada iterasi ke-1).
- d. Demikian seterusnya, nilai  $f(b)$  pada iterasi ke-i diganti dengan setengah kali nilai  $f(b)$  pada iterasi ke-(i-1), sampai diperoleh nilai nilai  $f(c)$  yang mendekati nol.

sama dan tebakan awal yang juga sama, sehingga bisa dibandingkan kecepatan dari 2 metode tersebut dalam mendapatkan penyelesaiannya.

- d. Melakukan evaluasi terhadap hasil-hasil uji coba yang dilakukan. Parameter yang digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja dari kedua metode tersebut adalah akurasi penyelesaian numerik dan waktu komputasinya dalam hal ini adalah banyaknya iterasi yang diperlukan sampai memperoleh penyelesaiannya.

Untuk mencari akar-akar dari  $e^x - 5x = 0$ , berarti  $f(x) = e^x - 5x$ , maka langkah-langkahnya adalah :

- 1. Mencari interval yang mengandung akar
  - ✓ Kita coba-coba hitung nilai  $f(x)$ , yaitu misalkan  $f(0) = e^0 - 5(0) = 1$ ,  $f(0,5) = e^{0,5} - 5(0,5) = -0,8513$ , sehingga akar pertama ada pada interval (0, 0,5).

✓ Coba dihitung  $f(2,5) = e^{2,5} \cdot 5(2,5) = -0,3175$  dan  $f(2,8) = 2,4446$ , sehingga akar kedua ada pada interval  $(2,5, 2,8)$ .

2. Mencari akar yang ada di interval yang sudah didapatkan di langkah 1 dengan menggunakan metode Bagi Dua maupun metode Posisi Palsu.

**Dengan metode Bagi Dua**

Mencari akar dari persamaan  $e^x - 5x = 0$  yang ada pada interval  $(0; 0,5)$ .

**Tabel 1. Perhitungan mencari akar dengan Metode Bagi Dua yang ada pada interval  $(0 ; 0,5)$**

	a	c=(a+b)/2	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	0.0000000	0.2500000	0.5000000	1.0000000	0.03402542	-0.85127873	(c, b)	0.5000000
2	0.2500000	0.3750000	0.5000000	0.03402542	-0.42000859	-0.85127873	(a, c)	0.2500000
3	0.2500000	0.3125000	0.3750000	0.03402542	-0.19566206	-0.42000859	(a, c)	0.1250000
4	0.2500000	0.2812500	0.3125000	0.03402542	-0.08146524	-0.19566206	(a, c)	0.0625000
5	0.2500000	0.2656250	0.2812500	0.03402542	-0.02387913	-0.08146524	(a, c)	0.0312500
6	0.2500000	0.2578125	0.2656250	0.03402542	0.00503365	-0.02387913	(c, b)	0.0156250
7	0.2578125	0.26171875	0.2656250	0.00503365	-0.00943265	-0.02387913	(a, c)	0.0078125
8	0.2578125	0.25976563	0.26171875	0.00503365	-0.00220197	-0.00943265	(a,c)	0.00390625
9	0.2578125	0.25878906	0.25976563	0.00503365	0.00141522	-0.00220197	(c, b)	0.00195313
10	0.25878906	0.25927734	0.25976563	0.00141522	-0.00039353	-0.00220197	(a, c)	0.00097656
11	0.25878906	0.25903320	0.25927734	0.00141522	0.00051081	-0.00039353	(c, b)	0.00048828
12	0.25903320	0.25915527	0.25927734	0.00051081	0.00005863	-0.00039353	(c, b)	0.00024414
13	0.25915527	0.25921631	0.25927734	0.00005863	-0.00016745	-0.00039353	(a, c)	0.00012207
14	0.25915527	0.25918579	0.25921631	0.00005863	-0.00005441	-0.00016745	(a, c)	0.00006104
15	0.25915527	0.25917053	0.25918579	0.00005863	0.00000211	-0.00005441	(c, b)	0.00003052
16	0.25917053	0.25917816	0.25918579	0.00000211	-0.00002615	-0.00005441	(a, c)	0.00001526
17	0.25917053	0.25917435	0.25917816	0.00000211	-0.00001202	-0.00002615	(a, c)	0.00000763
18	0.25917053	0.25917244	0.25917435	0.00000211	-0.00000496	-0.00001202	(a, c)	0.00000381
19	0.25917053	0.25917149	0.25917244	0.00000211	-0.00000142	-0.00000496	(a, c)	0.00000191
20	0.25917053	0.25917101	0.25917149	0.00000211	0.00000034	-0.00000142	(c, b)	0.00000095
21	0.25917101	0.25917125	0.25917149	0.00000034	-0.00000054	-0.00000142	(a, c)	0.00000048
22	0.25917101	0.25917113	0.25917125	0.00000034	-0.00000010	-0.00000054	(a, c)	0.00000024
23	0.25917101	0.25917107	0.25917113	0.00000034	0.00000012	-0.00000010	(c, b)	0.00000012
24	0.25917107	0.25917110	0.25917113	0.00000012	0.00000001	-0.00000010	(c, b)	0.00000006
25	0.25917110	0.25917111	0.25917113	0.00000001	-0.00000004	-0.00000010	(a, c)	0.00000003
26	0.25917110	0.25917111	0.25917111	0.00000001	-0.00000002	-0.00000004	(a, c)	0.00000001
27	0.25917110	0.25917110	0.25917111	0.00000001	0.00000000	-0.00000002	(a,c)	0.00000001
28	0.25917110	0.25917110	0.25917110	0.00000001	0.00000001	0.00000000	(c, b)	0.00000000

Jadi akar pertama dari  $e^x - 5x = 0$  adalah  $x = 0.25917110$ , didapat pada iterasi ke-28.

Mencari akar dari  $e^x - 5x = 0$  yang ada pada interval  $(2,5 ; 2,8)$ .

**Tabel 2. Perhitungan mencari akar dengan Metode Bagi Dua yang ada pada interval  $(2,5 ; 2,8)$**

	a	c=(a+b)/2	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	2.5000000	2.6500000	2.8000000	-0.31750604	0.90403865	2.44464677	(a, c)	0.3000000
2	2.5000000	2.5750000	2.6500000	-0.31750604	0.25631716	0.90403865	(a, c)	0.1500000
3	2.5000000	2.5375000	2.5750000	-0.31750604	-0.03948862	0.25631716	(c,b)	0.0750000
4	2.5375000	2.5562500	2.5750000	-0.03948862	0.10614884	0.25631716	(a, c)	0.0375000
5	2.5375000	2.5468750	2.5562500	-0.03948862	0.03276905	0.10614884	(a, c)	0.0187500
6	2.5375000	2.5421875	2.5468750	-0.03948862	-0.00349939	0.03276905	(c, b)	0.0093750
7	2.5421875	2.54453125	2.5468750	-0.00349939	0.01459985	0.03276905	(a, c)	0.00468750
8	2.5421875	2.54335938	2.54453125	-0.00349939	0.00554149	0.01459985	(a, c)	0.00234375
9	2.5421875	2.54277344	2.54335938	-0.00349939	0.00101887	0.00554149	(a, c)	0.00117187
10	2.5421875	2.54248047	2.54277344	-0.00349939	-0.00124081	0.00101887	(c, b)	0.00058594
11	2.54248047	2.54262695	2.54277344	-0.00124081	-0.00011110	0.00101887	(c, b)	0.00029297

12	2.54262695	2.54270020	2.54277344	-0.00011110	0.00045385	0.00101887	(a, c)	0.00014648
13	2.54262695	2.54266357	2.54270020	-0.00011110	0.00017136	0.00045385	(a, c)	0.00007324
14	2.54262695	2.54264526	2.54266357	-0.00011110	0.00003013	0.00017136	(a, c)	0.00003662
15	2.54262695	2.54263611	2.54264526	-0.00011110	-0.00004049	0.00003013	(c, b)	0.00001831
16	2.54263611	2.54264069	2.54264526	-0.00004049	-0.00000518	0.00003013	(c, b)	0.00000916
17	2.54264069	2.54264297	2.54264526	-0.00000518	0.00001247	0.00003013	(a, c)	0.00000458
18	2.54264069	2.54264183	2.54264297	-0.00000518	0.00000365	0.00001247	(a, c)	0.00000229
19	2.54264069	2.54264126	2.54264183	-0.00000518	-0.00000077	0.00000365	(c, b)	0.00000114
20	2.54264126	2.54264154	2.54264183	-0.00000077	0.00000144	0.00000365	(a, c)	0.00000057
21	2.54264126	2.54264140	2.54264154	-0.00000077	0.00000034	0.00000144	(a,c)	0.00000029
22	2.54264126	2.54264133	2.54264140	-0.00000077	-0.00000022	0.00000034	(c, b)	0.00000014
23	2.54264133	2.54264137	2.54264140	-0.00000022	0.00000006	0.00000034	(a,c)	0.00000007
24	2.54264133	2.54264135	2.54264137	-0.00000022	-0.00000008	0.00000006	(c,b)	0.00000004
25	2.54264135	2.54264136	2.54264137	-0.00000008	-0.00000001	0.00000006	(c,b)	0.00000002
26	2.54264136	2.54264136	2.54264137	-0.00000001	0.00000003	0.00000006	(a,c)	0.00000001
27	2.54264136	2.54264136	2.54264136	-0.00000001	0.00000001	0.00000003	(a,c)	0.00000000

Jadi akar kedua dari  $e^x - 5x = 0$  adalah  $x = 2.54264136$ , didapat pada iterasi ke-27

**Dengan metode Posisi Palsu**

Mencari akar dari  $e^x - 5x = 0$  yang ada pada interval  $(0, 0,5)$ .

Dengan 
$$c = b - f(b) \frac{b-a}{f(b)-f(a)}$$

**Tabel 3. Perhitungan mencari akar dengan Metode Posisi Palsu yang ada pada interval  $(0 ; 0,5)$**

k	a	c	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	0.00000000	0.27008359	0.50000000	1.00000000	-0.04034398	-0.85127873	(a,c)	0.50000000
2	0.00000000	0.25960989	0.27008359	1.00000000	-0.00162521	-0.04034398	(a,c)	0.27008359
3	0.00000000	0.25918865	0.25960989	1.00000000	-0.00006502	-0.00162521	(a,c)	0.25960989
4	0.00000000	0.25917180	0.25918865	1.00000000	-0.00000260	-0.00006502	(a,c)	0.25918865
5	0.00000000	0.25917113	0.25917180	1.00000000	-0.00000010	-0.00000260	(a,c)	0.25917180
6	0.00000000	0.25917110	0.25917113	1.00000000	0.00000000	-0.00000010	(c,b)	0.25917113

Jadi akar pertama dari  $e^x - 5x = 0$  adalah  $x = 0.25917110$ , didapat pada iterasi ke-6, dimana pada iterasi ke-6,  $f(c) = 0,00000000 < \epsilon$ .

Mencari akar dari  $e^x - 5x = 0$  yang ada pada interval  $(2,5 ; 2,8)$

**Tabel 4. Perhitungan mencari akar dengan Metode Posisi Palsu yang ada pada interval  $(2,5 ; 2,8)$**

	a	c	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	2.50000000	2.53448463	2.8	-0.31750604	-0.06249277	2.44464677	(c,b)	0.30000000
2	2.53448463	2.54110284	2.8	-0.06249277	-0.01185183	2.44464677	(c,b)	0.26551537
3	2.54110284	2.54235194	2.8	-0.01185183	-0.00223179	2.44464677	(c,b)	0.25889716
4	2.54235194	2.54258694	2.8	-0.00223179	-0.00041970	2.44464677	(c,b)	0.25764806
5	2.54258694	2.54263113	2.8	-0.00041970	-0.00007891	2.44464677	(c,b)	0.25741306
6	2.54263113	2.54263943	2.8	-0.00007891	-0.00001483	2.44464677	(c,b)	0.25736887
7	2.54263943	2.54264100	2.8	-0.00001483	-0.00000279	2.44464677	(c,b)	0.25736057
8	2.54264100	2.54264129	2.8	-0.00000279	-0.00000052	2.44464677	(c,b)	0.25735900
9	2.54264129	2.54264134	2.8	-0.00000052	-0.00000010	2.44464677	(c,b)	0.25735871
10	2.54264134	2.54264136	2.8	-0.00000010	-0.00000002	2.44464677	(c,b)	0.25735866
11	2.54264136	2.54264136	2.8	-0.00000002	0.00000000	2.44464677	(a,c)	0.25735864



Jadi akar kedua dari  $e^x - 5x = 0$  adalah  $x = 2.54264136$ , didapat pada iterasi ke-11, dimana nilai  $f(c) = 0,00000000 < \epsilon$ .

Untuk mencari akar-akar dari  $e^x = 4x^2 - x$  atau  $e^x - 4x^2 + x = 0$ , berarti  $f(x) = e^x - 4x^2 + x$ , maka langkah-langkahnya adalah :

1. Mencari interval yang mengandung akar

✓ Kita coba-coba hitung nilai  $f(x)$ , dan kita dapatkan 2 interval yang memuat akar, yaitu interval  $(-0,5;0)$  dan  $(0,5 ; 1)$ .

2. Mencari akar yang ada di interval yang sudah didapatkan di langkah 1 dengan menggunakan metode Bagi Dua maupun metode Posisi Palsu.

**Dengan metode Bagi Dua**

Mencari akar dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  yang ada pada interval  $(-0,5 ; 0)$

**Tabel 5. Perhitungan mencari akar dengan Metode Bagi Dua yang ada pada interval  $(-0,5 ; 0)$**

	a	c=(a+b)/2	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	-0.50000000	-0.25000000	0.00000000	-0.89346934	0.27880078	1.00000000	(a,c)	0.50000000
2	-0.50000000	-0.37500000	-0.25000000	-0.89346934	-0.25021072	0.27880078	(c,b)	0.25000000
3	-0.37500000	-0.31250000	-0.25000000	-0.25021072	0.02849063	0.27880078	(a,c)	0.12500000
4	-0.37500000	-0.34375000	-0.31250000	-0.25021072	-0.10730007	0.02849063	(c,b)	0.06250000
5	-0.34375000	-0.32812500	-0.31250000	-0.10730007	-0.03851608	0.02849063	(c,b)	0.03125000
6	-0.32812500	-0.32031250	-0.31250000	-0.03851608	-0.00479074	0.02849063	(c,b)	0.01562500
7	-0.32031250	-0.31640625	-0.31250000	-0.00479074	0.01190542	0.02849063	(a,c)	0.00781250
8	-0.32031250	-0.31835938	-0.31640625	-0.00479074	0.00357121	0.01190542	(a,c)	0.00390625
9	-0.32031250	-0.31933594	-0.31835938	-0.00479074	-0.00060630	0.00357121	(c,b)	0.00195313
10	-0.31933594	-0.31884766	-0.31835938	-0.00060630	0.00148332	0.00357121	(a,c)	0.00097656
11	-0.31933594	-0.31909180	-0.31884766	-0.00060630	0.00043873	0.00148332	(a,c)	0.00048828
12	-0.31933594	-0.31921387	-0.31909180	-0.00060630	-0.00008373	0.00043873	(c,b)	0.00024414
13	-0.31921387	-0.31915283	-0.31909180	-0.00008373	0.00017752	0.00043873	(a,c)	0.00012207
14	-0.31921387	-0.31918335	-0.31915283	-0.00008373	0.00004690	0.00017752	(a,c)	0.00006104
15	-0.31921387	-0.31919861	-0.31918335	-0.00008373	-0.00001841	0.00004690	(c,b)	0.00003052
16	-0.31919861	-0.31919098	-0.31918335	-0.00001841	0.00001424	0.00004690	(a,c)	0.00001526
17	-0.31919861	-0.31919479	-0.31919098	-0.00001841	-0.00000209	0.00001424	(c,b)	0.00000763
18	-0.31919479	-0.31919289	-0.31919098	-0.00000209	0.00000608	0.00001424	(a,c)	0.00000381
19	-0.31919479	-0.31919384	-0.31919289	-0.00000209	0.00000200	0.00000608	(a,c)	0.00000191
20	-0.31919479	-0.31919432	-0.31919384	-0.00000209	-0.00000005	0.00000200	(c,b)	0.00000095
21	-0.31919432	-0.31919408	-0.31919384	-0.00000005	0.00000097	0.00000200	(a,c)	0.00000048
22	-0.31919432	-0.31919420	-0.31919408	-0.00000005	0.00000046	0.00000097	(a,c)	0.00000024
23	-0.31919432	-0.31919426	-0.31919420	-0.00000005	0.00000021	0.00000046	(a,c)	0.00000012
24	-0.31919432	-0.31919429	-0.31919426	-0.00000005	0.00000008	0.00000021	(a,c)	0.00000006
25	-0.31919432	-0.31919430	-0.31919429	-0.00000005	0.00000002	0.00000008	(a,c)	0.00000003
26	-0.31919432	-0.31919431	-0.31919430	-0.00000005	-0.00000001	0.00000002	(c,b)	0.00000001
27	-0.31919431	-0.31919431	-0.31919430	-0.00000001	0.00000000	0.00000002	(a,c)	0.00000001
28	-0.31919431	-0.31919431	-0.31919431	-0.00000001	-0.00000001	0.00000000	(c,b)	0.00000000

Jadi akar pertama dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  adalah  $x = -0.31919431$ , didapat pada iterasi ke-28, dimana  $|b-a| < \epsilon$ .

Mencari akar dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  yang ada pada interval  $(0,5 ; 1)$ .

**Tabel 6. Perhitungan mencari akar dengan Metode Bagi Dua yang ada pada interval (0,5 ; 1)**

	a	c=(a+b)/2	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	0.50000000	0.75000000	1.00000000	1.14872127	0.61700002	-0.28171817	(c,b)	0.50000000
2	0.75000000	0.87500000	1.00000000	0.61700002	0.21137529	-0.28171817	(c,b)	0.25000000
3	0.87500000	0.93750000	1.00000000	0.21137529	-0.02453554	-0.28171817	(a,c)	0.12500000
4	0.87500000	0.90625000	0.93750000	0.21137529	0.09611752	-0.02453554	(c,b)	0.06250000
5	0.90625000	0.92187500	0.93750000	0.09611752	0.03646066	-0.02453554	(c,b)	0.03125000
6	0.92187500	0.92968750	0.93750000	0.03646066	0.00612938	-0.02453554	(c, b)	0.01562500
7	0.92968750	0.93359375	0.93750000	0.00612938	-0.00916145	-0.02453554	(a, c)	0.00781250
8	0.92968750	0.93164063	0.93359375	0.00612938	-0.00150562	-0.00916145	(a, c)	0.00390625
9	0.92968750	0.93066406	0.93164063	0.00612938	0.00231448	-0.00150562	(c,b)	0.00195313
10	0.93066406	0.93115234	0.93164063	0.00231448	0.00040508	-0.00150562	(c, b)	0.00097656
11	0.93115234	0.93139648	0.93164063	0.00040508	-0.00055011	-0.00150562	(a,c)	0.00048828
12	0.93115234	0.93127441	0.93139648	0.00040508	-0.00007247	-0.00055011	(a, c)	0.00024414
13	0.93115234	0.93121338	0.93127441	0.00040508	0.00016631	-0.00007247	(c,b)	0.00012207
14	0.93121338	0.93124390	0.93127441	0.00016631	0.00004692	-0.00007247	(c,b)	0.00006104
15	0.93124390	0.93125916	0.93127441	0.00004692	-0.00001277	-0.00007247	(a,c)	0.00003052
16	0.93124390	0.93125153	0.93125916	0.00004692	0.00001708	-0.00001277	(c, b)	0.00001526
17	0.93125153	0.93125534	0.93125916	0.00001708	0.00000215	-0.00001277	(c,b)	0.00000763
18	0.93125534	0.93125725	0.93125916	0.00000215	-0.00000531	-0.00001277	(a, c)	0.00000381
19	0.93125534	0.93125629	0.93125725	0.00000215	-0.00000158	-0.00000531	(a,c)	0.00000191
20	0.93125534	0.93125582	0.93125629	0.00000215	0.00000029	-0.00000158	(c,b)	0.00000095
21	0.93125582	0.93125606	0.93125629	0.00000029	-0.00000065	-0.00000158	(a,c)	0.00000048
22	0.93125582	0.93125594	0.93125606	0.00000029	-0.00000018	-0.00000065	(a,c)	0.00000024
23	0.93125582	0.93125588	0.93125594	0.00000029	0.00000005	-0.00000018	(c,b)	0.00000012
24	0.93125588	0.93125591	0.93125594	0.00000005	-0.00000006	-0.00000018	(a,c)	0.00000006
25	0.93125588	0.93125589	0.93125591	0.00000005	-0.00000001	-0.00000006	(a,c)	0.00000003
26	0.93125588	0.93125588	0.93125589	0.00000005	0.00000002	-0.00000001	(c,b)	0.00000001
27	0.93125588	0.93125589	0.93125589	0.00000002	0.00000001	-0.00000001	(c,b)	0.00000001
28	0.93125589	0.93125589	0.93125589	0.00000001	0.00000000	-0.00000001	(c,b)	0.00000000

Jadi akar kedua dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  adalah  $x = 0,93125589$ , didapat pada iterasi ke-28, dimana  $|b-a| < \epsilon$ .

**Dengan metode Posisi Palsu**

Mencari akar dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  yang ada pada interval  $(-0,5 ; 0)$ .

**Tabel 7. Perhitungan mencari akar dengan Metode Posisi Palsu yang ada pada interval (-0,5 ; 0)**

	a	c=(a+b)/2	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	-0.50000000	-0.26406554	0.00000000	-0.89346934	0.22493524	1.00000000	(a,c)	0.50000000
2	-0.50000000	-0.31151704	-0.26406554	-0.89346934	0.03264664	0.22493524	(a,c)	0.23593446
3	-0.50000000	-0.31816128	-0.31151704	-0.89346934	0.00441779	0.03264664	(a,c)	0.18848296
4	-0.50000000	-0.31905596	-0.31816128	-0.89346934	0.00059209	0.00441779	(a,c)	0.18183872
5	-0.50000000	-0.31917579	-0.31905596	-0.89346934	0.00007925	0.00059209	(a,c)	0.18094404
6	-0.50000000	-0.31919183	-0.31917579	-0.89346934	0.00001061	0.00007925	(a,c)	0.18082421
7	-0.50000000	-0.31919397	-0.31919183	-0.89346934	0.00000142	0.00001061	(a,c)	0.18080817
8	-0.50000000	-0.31919426	-0.31919397	-0.89346934	0.00000019	0.00000142	(a,c)	0.18080603
9	-0.50000000	-0.31919430	-0.31919426	-0.89346934	0.00000003	0.00000019	(a,c)	0.18080574
10	-0.50000000	-0.31919431	-0.31919430	-0.89346934	0.00000000	0.00000003	(a,c)	0.18080570

Jadi akar pertama dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  adalah  $x = -0,31919431$ , didapat pada iterasi ke-10, dimana  $f(c) = 0,00000000 < \epsilon$ .

Mencari akar dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  yang ada pada interval  $(0,5 ; 1)$ .

**Tabel 8. Perhitungan mencari akar dengan Metode Posisi Palsu yang ada pada interval (0,5 ;10)**

	a	c=(a+b)/2	b	f(a)	f(c)	f(b)	selang baru	b-a
1	0.50000000	0.90152740	1.00000000	1.14872127	0.11388355	-0.28171817	(c,b)	0.50000000
2	0.90152740	0.92987513	1.00000000	0.11388355	0.00539682	-0.28171817	(c,b)	0.09847260
3	0.92987513	0.93119325	1.00000000	0.00539682	0.00024508	-0.28171817	(c,b)	0.07012487
4	0.93119325	0.93125305	1.00000000	0.00024508	0.00001111	-0.28171817	(c,b)	0.06880675
5	0.93125305	0.93125576	1.00000000	0.00001111	0.00000050	-0.28171817	(c,b)	0.06874695
6	0.93125576	0.93125588	1.00000000	0.00000050	0.00000002	-0.28171817	(c,b)	0.06874424
7	0.93125588	0.93125589	1.00000000	0.00000002	0.00000000	-0.28171817	(c,b)	0.06874412

Jadi akar kedua dari  $e^x - 4x^2 + x = 0$  adalah  $x = 0,93125589$ , didapat pada iterasi ke-7, dimana  $f(c) = 0,00000000 < \epsilon$ .

#### 4. Kesimpulan

- Dari 2 persamaan non-linier yang diberikan, maka pada persamaan :
  - $e^x - 5x = 0$ , akar-akarnya ada di interval (0 ; 0,5) dan (2,5 ; 2,8). Pada interval (0;0,5), maka diperoleh akar pertama  $x = 0,25917110$  yang pada metode Bagi Dua diperoleh pada iterasi ke-28 dan pada metode Posisi Palsu diperoleh pada iterasi ke-6, sementara untuk akar kedua yang ada di interval (2,5 ; 2,8) adalah  $x=2,54264136$ , pada metode Bagi Dua diperoleh pada iterasi ke-27 dan pada metode Posisi Palsu diperoleh pada iterasi ke-11.
  - $e^x - 4x^2 + x = 0$ , akar-akarnya ada di interval (-0,5 ; 0) dan (0,5 ; 1). Pada

interval (-0,5 ; 0), maka diperoleh akar pertama  $x = -0,31919431$  yang pada metode Bagi Dua diperoleh pada iterasi ke-28 dan pada metode Posisi Palsu diperoleh pada iterasi ke-10, sementara untuk akar kedua yang ada di interval (0,5 ; 1) adalah  $x=0,93125589$ , pada metode Bagi Dua diperoleh pada iterasi ke-28 dan pada metode Posisi Palsu diperoleh pada iterasi ke-7.

- Dari 2 metode yang dibandingkan kinerjanya, yaitu antara metode Bagi Dua dan metode Posisi Palsu, maka metode Posisi Palsu adalah metode yang lebih cepat untuk menemukan akar-akarnya dibanding metode Bagi Dua.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Jaan Klusalaas, "Numerical methods in engineering with MATLAB", Cambridge Univ. Press, 2005.
- [2] R.H. Sianipar, "Pemrograman MATLAB dalam contoh dan penerapan", Penerbit INFORMATIKA Bandung, 2013.
- [3] S.R. Otto dan J.P. Denier, "An introduction to programming and numerical methods in MATLAB", Springer – Verlag, 2005.
- [4] Steven T.Karris, "Numerical analysis using MATLAB and Excel", Orchard Publications, California, 2007.
- [5] Won Y.Yang, dkk, "Applied numerical methods using MATLAB", Wiley-Interscience, Canada, 2005.
- [6] Samuel D.Conte & Carl de Boor, "Dasar-Dasar Analisis Numerik, Suatu Pendekatan Algoritma", Penerbit Erlangga, 1992.
- [7] Rinaldi Munir, "Metode Numerik", Informatika Bandung, 2013.

## Inovasi Metode ANN-S Untuk Pengecekan Baterai Berbasis LabVIEW

Satria Arief Aditya<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Endang Wijaya<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

E-mail: [satriaariefaditya@gmail.com](mailto:satriaariefaditya@gmail.com)

### Abstrak

ANN-S adalah inovasi metode yang menggabungkan ilmu matematika dan logika terstruktur bersyarat, melalui pendekatan dari metode ANN dan penyederhanaan dari neural network pada ANN sebagai dasar dari *artificial intelligence* yang dapat melakukan komparasi dari 4 buah nilai variable. ANN-S bekerja berdasarkan matematika, *identifier*, dan *case parameter*. Tujuan dari penulisan ini adalah memberikan metode yang sederhana bagaimana menentukan hasil komparasi dari nilai 4 buah variabel diuji pada eksperimen battery-checker LiPo 4S. Sehingga, pada saat pengecekan baterai dilakukan, dapat diketahui kondisi *cell* pada baterai pada kondisi *good balancing* atau *bad balancing* sebelum digunakan. Dari kegiatan perancangan ini dapat disimpulkan bahwa metode ANN-S dapat dibuktikan kebenarannya dan dapat diaplikasikan dalam membantu menyelesaikan masalah komparasi data dari 4 buah variabel. Keunggulan metode ini adalah lebih cepat dalam proses dan lebih mudah dipahami karena tidak ada *hidden layer*.

*Keywords: Innovation, Method, ANN-S, Comparison, LabVIEW*

### 1. Pendahuluan

Suatu kegiatan eksperimen ilmiah terkadang melibatkan banyak variabel yang ingin diketahui komparasinya. Pada pengujian baterai LiPo yang memiliki sumber tegangan dari 4 buah *cell* (4S), memiliki 4 nilai variabel tegangan yang diamati. Baterai dengan kondisi baik salah satu parameternya adalah memiliki nilai tegangan yang sama pada setiap *cell*-nya.[1] Kondisi tersebut dikenal sebagai kondisi seimbang (*balance*). Sebaliknya, jika dari masing-masing *cell* pada baterai memiliki nilai tegangan yang tidak sama, maka kondisi baterai dalam kondisi tidak baik. Kondisi tersebut disebut juga sebagai kondisi tak seimbang (*unbalance*).[2]-[3] Untuk mengetahui kondisi baterai, salah satu caranya adalah dilakukan pengecekan tegangan *cell*-nya dengan menggunakan *battery-checker* seperti pada gambar 1.

Pada artikel ini, nilai tegangan dari *cell* 1- 4 diganti dengan variabel A – D. Suatu kondisi dimana  $A > B$ ,  $B > C$ ,  $C > D$  dapat ditulis dengan bentuk lain yaitu  $A > B > C > D$ . Sering juga ditemukan hasil dari suatu penelitian dalam bentuk  $A > B$ ,  $B < C$ ,  $A < D$  sehingga dapat ditulis komparasinya menjadi  $D > A > B > C$ . Akan tetapi, hubungan A dengan C dan hubungan D

dengan C belum diketahui. Sehingga, hasil dari komparasinya belum dapat dipastikan.

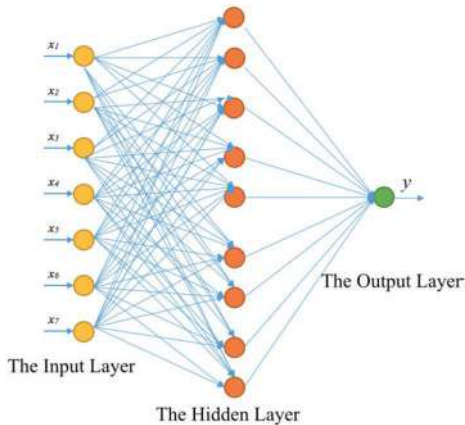
Tujuan dari artikel ini adalah memberikan metode yang sederhana bagaimana menentukan hasil komparasi dari nilai 4 buah variabel yang mewakili *n-cell* dari baterai LiPo 4S. Sehingga, pada saat pengecekan baterai dilakukan. Maka, dapat diketahui kondisi *cell* pada baterai apakah ada kerusakan atau tidak sebelum digunakan. Dan apabila *cell* pada baterai rusak, maka dapat diketahui pada baterai *cell* yang mana yang rusak.



Gambar 1. Battery checker multicell

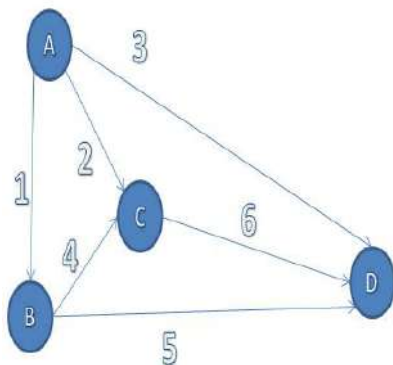
## 2. Metode Penelitian

Inspirasi untuk model *Artificial Neural Network* berasal dari studi proses di otak manusia. Jaringan-jaringan tersebut memperoleh pengetahuan melalui proses pembelajaran. Dalam hal ini koneksi antar-*neuron* yang dikenal sebagai bobot sinaptik digunakan untuk mengingat pengetahuan (Kusumadewi,2004).



Gambar 2. Model arsitektur *artificial neural network*

Pada artikel ini, menggunakan metode ANN yang telah dilakukan pendekatan untuk menyelesaikan komparasi dari 4 nilai variabel. Perlu dilakukan pendekatan karena pada software LabVIEW belum ada fungsi khusus untuk ANN. Sehingga, dibuatlah sebuah inovasi metode ANN-S untuk melakukan komparasi dari 4 buah nilai variabel berbasis LabVIEW. ANN-S adalah metode yang menggabungkan ilmu matematika dan logika terstruktur bersyarat, melalui pendekatan dari metode ANN dan penyederhanaan dari neural network pada ANN sebagai dasar dari *artificial intelligence* yang dapat melakukan komparasi dari 4 buah nilai variabel sehingga diketahui komparasinya kedalam bentuk lebih besar dari (>), sama dengan dari (=) dan lebih kecil dari (<).

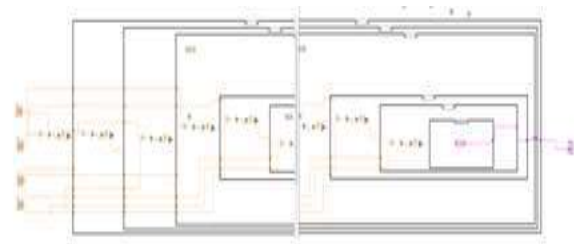


Gambar 3. Model arsitektur ANN-S

ANN-S bekerja berdasarkan matematika, *identificator*, dan *case parameter*. Prinsip kerjanya terdapat layer yang berlapis, didalamnya terdapat proses matematika yang hasilnya akan melakukan proses *selector* pada *case*, melalui proses secara berturut-turut (*rule*) adalah hubungan nilai variabel A-B, A-C, A-D, B-C, B-D dan terakhir C-D.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan berupa blok diagram didapat dengan menggunakan fungsi matematika, indetifikator dan *case parameter*. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4. Pada proses *selector* terdapat proses pengkodean antara lain lebih besar dari (>) di codekan dengan 1, sama dengan dari (=) dikodekan dengan 0 dan lebih kecil dari (<) dikodekan dengan 2. Dengan kode-kode tersebut maka *case* akan terbuka dan dapat dilakukan proses *learning* yang ditanamkan pada kondisi *case* tersebut. Hasilnya akan dikeluarkan langsung ke sisi output.



Gambar 4. Model arsitektur ANN-S

Untuk mempermudah memahami model matematika dari block diagram ANN-S. Maka, dibuatlah *basic learning* seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Dari gambar di atas, model matematika dari *basic learning* diatas ada pada Pers. (1-5). Pertama, melakukan pengurangan pada input :

$$\gamma' = x_1 - x_2; \quad (1)$$

Langkah kedua, mengubah  $\gamma'$  kedalam bentuk 1,0,-1 sebagai berikut:

$$\gamma'' = \frac{\gamma' + bi}{|\gamma' + bi|}; \quad (2)$$

Langkah ketiga adalah membandingkan  $\gamma''$  lebih kecil dari nol sebagai berikut:

$$\gamma''' = f(\gamma'') = \begin{cases} True, \gamma'' < 0 \\ False, \gamma'' \geq 0 \end{cases}; \quad (3)$$

Langkah keempat adalah mengcodekan  $Y'''$  dengan nilai 0,1,2 sebagai berikut:

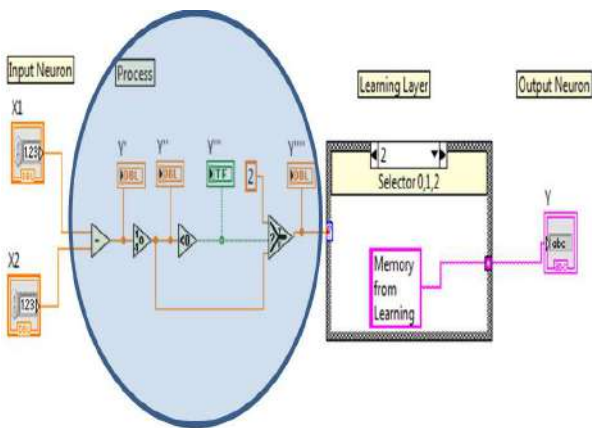
$$0; \gamma''' = 0 \quad (4)$$

$$\gamma''' = f(\gamma''') = \{1; \gamma''' > 0;$$

$$2; \gamma''' < 0$$

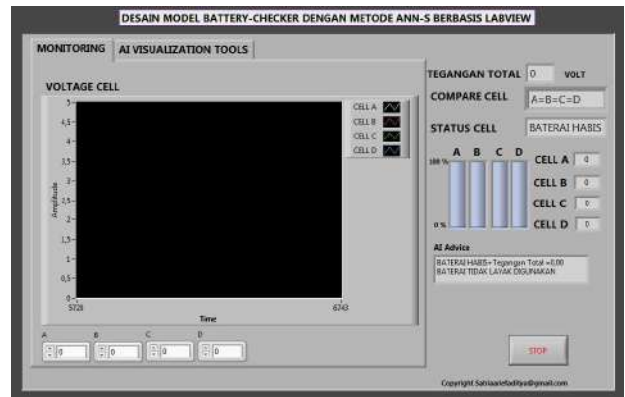
Terakhir, memasukan pembelajaran dengan memasukan statement :

$$\gamma = \gamma''' = \text{"Learning"}; \quad (5)$$

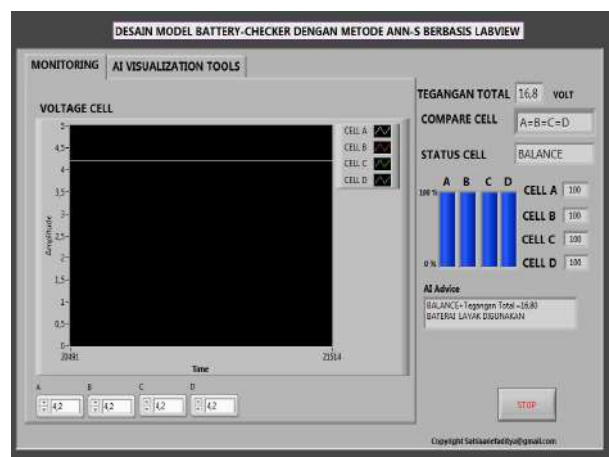


Gambar 5. Basic learning ANN-S pada LabVIEW

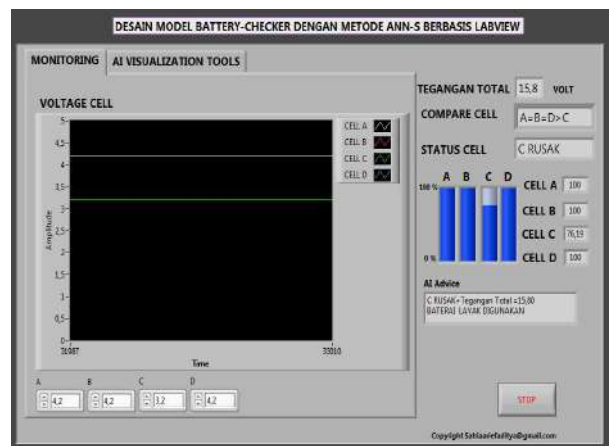
Hasil perancangan berupa front panel hasilnya dapat dilihat pada gambar 6 yang menunjukkan pada saat dilakukan pengecekan nilai tegangan baterai habis. Maka, *artificial intelligence advice* memberikan *statement* baterai tidak layak digunakan. Sebaliknya jika kondisi baterai penuh saat pengecekan maka akan memberikan *statement* baterai layak digunakan seperti pada gambar 7. Sedangkan bila pada saat dilakukan pengecekan nilai tegangan baterai terjadi gangguan pada salah satu nilai tegangan *cell*. Maka, *artificial intelligence advice* memberikan *statement* menunjukan lokasi *cell* yang rusak seperti yang diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 6. Front panel ANN-S pada LabVIEW



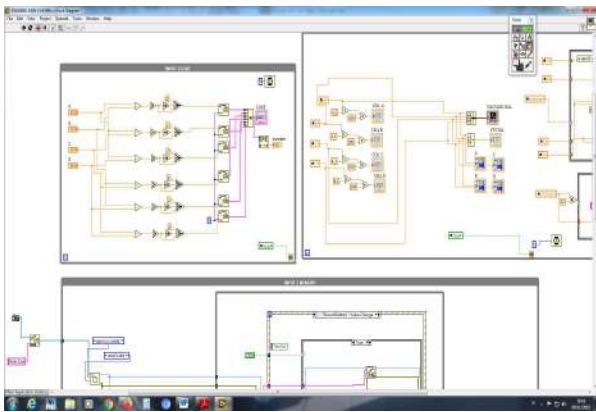
Gambar 7. Kondisi baterai penuh saat pengecekan



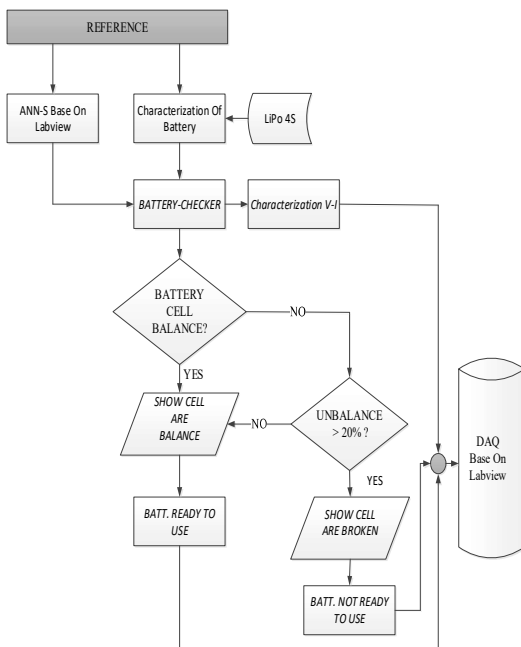
Gambar 8. Kondisi *cell* C baterai rusak saat pengecekan

Hasil perancangan program berupa blok diagram yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 9 yang menunjukan bagaimana jejaring dari *artificial neural network – satria* (ANN-S) dikonversikan kedalam blok diagram LabVIEW yang merupakan *graphical programming*. Adapun diagram alirnya seperti gambar 10.





Gambar 9. Blok diagram ANN-S pada LabVIEW



Gambar 10. Flowchart ANN-S

#### 4. Kesimpulan

Dari artikel ini, dapat disimpulkan bahwa metode ANN-S dapat dibuktikan kebenarannya dan dapat diaplikasikan dalam membantu menyelesaikan masalah komparasi data dari 4 buah variabel. ANN-S dapat diprogram ulang sesuai kebutuhan, karena prinsipnya adalah menggunakan artificial neural network yang dikembangkan hanya untuk mengkomparasi 4 nilai variabel. Metode ANN-S mudah untuk dipahami, proses pengeksekusian program cepat dan tepat.

#### 5. Saran

ANN-S dapat digunakan untuk kegiatan penelitian atau rekayasa kontrol yang menggunakan 4 variabel.

Kedepannya ANN-S mungkin dapat dikombinasikan dengan visual hardware dan bioteknologi untuk mengetahui sample biologi mana yang lebih cepat tumbuh, yang sama atau yang rusak.

#### Daftar Acuan

- [1] K. Chang, P. Rammos, S. A. Wilkerson, M. Bundy, and S. A. Gadsden, *LiPo Battery Energy Studies for Improved Flight Performance of Unmanned Aerial Systems*, vol. 9837, pp. 1–10, 2016.
- [2] W. Paper, “Introduction to Lithium Polymer Battery Technology.”
- [3] M. Daowd, M. Antoine, N. Omar, P. Van Den Bossche, and J. Van Mierlo, Single Switched Capacitor Battery Balancing System Enhancements pp. 2149–2174, 2013.
- [4] N. Navarathinam, R. Lee, and H. Chesser, Acta Astronautica Characterization of Lithium-Polymer batteries for CubeSat applications, *Acta Astronaut.*, vol. 68, no. 11–12, pp. 1752–1760, 2011.
- [5] A. Eddahech, O. Briat, and J. M. Vinassa, Adaptive Voltage Estimation for EV Li-ion Cell Based on Artificial Neural Networks State-of- Charge Meter, pp. 1318–1324, 2012.
- [6] M. Forecast and A. N. Network, Diabetes Mellitus Forecast Using Artificial Neural Network ( ANN ), pp. 135–139, 2005.
- [7] A. P. A. Silva, C. Ferreira, and A. C. Z. De Soma, *A NEW CONSTRUCTIVE ANN AND ITS APPLICATION TO ELECTRIC LOAD REPRESENTATION*, vol. 12, no. 4, pp. 1569–1575, 1997.
- [8] C. J. Devi, B. S. P. Reddy, K. V. Kumar, B. M. Reddy, and N. Raja, *ANN Approach for Weather Prediction using Back Propagation*, vol. 3, pp. 19–23, 2012.
- [9] J. D. Dogger, B. Roossien, and F. D. J. Nieuwenhout, *Characterization of Li-Ion Batteries for Intelligent Management of Distributed Grid-Connected Storage*, vol. 26, no. 1, pp. 256–263, 2011.

## Inovasi Model Lampu Taman Bertenaga Surya

Vickry Yudian Pradana<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Satria Arief Aditya<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat 16424

<sup>3</sup>Solar UAV, Pusat Teknologi Penerbangan, Jl. Raya LAPAN, Sukamulya Rumpin Bogor, Jawa Barat 16350

E-mail: [vickry.y@gmail.com](mailto:vickry.y@gmail.com)

### Abstrak

Lampu taman bertenaga surya diperlukan dalam rangka meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT). Keunggulan dari lampu taman bertenaga surya diantaranya unggul dari sisi instalasi, keamanan dan ekonomi. Pada artikel ini dibuatlah suatu inovasi model lampu taman bertenaga surya yang merupakan tahap awal dari desain lampu bertenaga surya 14 Wp dengan lampu LED 5Vdc, 6 Watt menggunakan baterai dengan kapasitas 7,2 Vdc, 50AH dengan waktu pengisian baterai 4 jam dan lama operasi lampu selama 12 jam.

Keywords: Inovasi, Desain, EBT, Lampu taman, Tenaga surya

### 1. Pendahuluan

Lampu penerangan saat ini memiliki jenis dan ragamnya. Ada yang bersumber pada tegangan AC dan ada pula yang DC. Untuk lampu penerangan yang bersumber dari tegangan DC, pada umumnya menggunakan lampu LED. Pada artikel ini akan membahas desain dari lampu taman yang menggunakan sumber tegangan DC yang didapat dari panel surya untuk digunakan pada lampu taman di Teknik Elektro – Politeknik Negeri Jakarta.

Pada lampu taman memiliki tingkat kesulitan tersendiri didalam desain yang menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi. Tidak hanya handal namun juga harus aman serta nilai estetika atau keindahan dari bentuk lampu taman itu sendiri sangat mempengaruhi tingkat kesulitan dalam sisi desain. Begitupun perhitungan energi yang akan digunakan juga terdapat banyak tantangan yang menarik, karena dimensi pada panel surya yang digunakan sebisa mungkin dirancang dengan dimensi yang seminim-minimnya namun harus pula handal dan memiliki nilai keindahan.

Tujuan dari penulisan artikel ini adalah memberikan alternatif lain dari desain lampu taman dengan menggunakan tenaga surya sehingga dapat memperkaya literatur dalam pengembangan lampu taman bertenaga surya dimasa depan. Sehingga, dimasa yang teknologi yang ramah lingkungan dan energi terbarukan akan

menghiasi taman-taman yang ada di kampus, sekolah ataupun di rumah-rumah.



Gambar 1. Lampu Taman Bertenaga Surya

### 2. Metode Penelitian

#### • Modul Surya

Ada 2 jenis sel surya yang beredar dipasaran saat ini, yaitu sel surya jenis kristal dan non-kristal (*amorf*). Untuk sel surya jenis kristal yang paling populer terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si). Sel surya Si kristal terdiri atas kristal tunggal (*monocrystal*), dan kristal jamak (*poly-crystal*). Sel surya jenis kristal yang lainnya adalah Galium Arsenide (GaAs). Sel ini sangat langka di pasaran dan tidak populer, karena selain harganya yang mahal, juga penerapannya yang sangat khusus. Pada awal perkembangannya sel ini dibuat

untuk keperluan satelit ruang angkasa. Sedangkan sel surya jenis amorf yang terkenal dan tersedia di pasaran adalah silikon amorf (a-Si). Sel ini berbentuk lapisan tipis (*thin film*) sehingga mudah dibuat dengan luas permukaan yang lebih lebar. Karena sifatnya sebagai lapisan tipis, maka sel inipun dapat “ditumbuhkan” pada substrat yang rigid ataupun lentur. Jenis sel surya amorf yang lain adalah germanium amorf (a-Ge), Cadmium-Teleride (CdTe), paduan a-SiGe, a-SiC, dll.

$$P_{solar\ cell} = V * I \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{max} = n \times P_{solarcell}$$

Dimana :

- $P_{solar\ cell}$  = Daya output solar cell (Watt)
- $I$  = Arus yang mengalir (Ampere)
- $V$  = Tegangan pada cell surya (Volt)
- $P_{max}$  = Daya panel surya (Watt)



Gambar 2. Solar Panel

• **Baterai**

Untuk menentukan total kapasitas baterai berdasarkan periode penyimpanan yang diinginkan sebagai berikut :

$$Q = i_{batt.} * t \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- $Q$  = Muatan pengisian baterai (*Ampere Hours*)
- $i_{batt}$  = Arus yang mengalir (*Ampere*)
- $t$  = Waktu pengisian (*Hours*)

$$i_{cc} = (i_{batt.} + i_{batt.} * \text{Efisiensi Baterai}) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- $i_{cc}$  = arus rating baterai (Ampere)
- $P_{maks}$  = banyak panel surya x  $P_{nom}$  (watt)



Gambar 3. Baterai Lippo 3,7V, 22 Ah

• **Daya Lampu**

Besar energi yang terpakai lampu PJU adalah besarnya daya lampu dikali dengan lamanya lampu menyala (beroperasi) adalah

$$E_{load} = P_{load} \times t \dots\dots\dots (4)$$

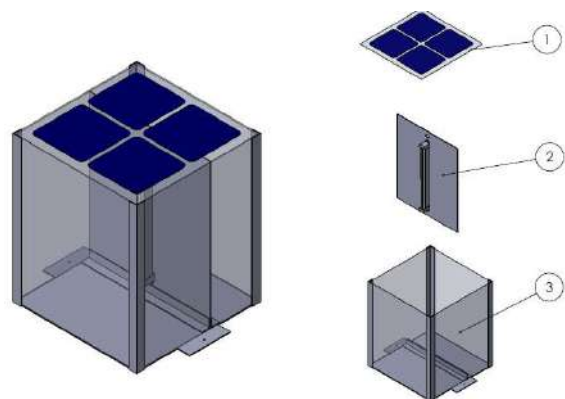
Dimana :

- $E_{load}$  = Energi yang terpakai (wh),
- $P_{load}$  = Daya beban atau lampu (watt)
- $t$  = Lama pemakaian beban (jam)

**3. Hasil dan Pembahasan**

**a. Desain model lampu taman**

Pada artikel ini dibuat desain lampu taman yang minimalis dengan ukuran 300 mm x 300 mm x 356 mm. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.



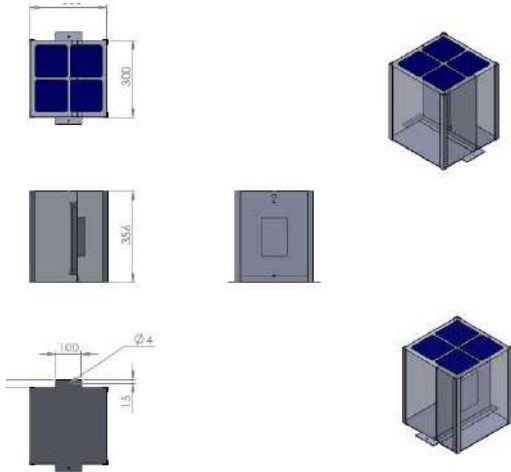
Gambar 4. Desain lampu taman 3D menggunakan software *solid-works*.

Pada gambar 4 didesain sebuah lampu taman bertenaga surya dengan 3 bagian utama yaitu :

1. Bagian untuk menempatkan solar cell dengan ukuran 300 mm x 300 mm x 2 mm yang di cover laminasi dengan laminasi jenis plastik film.

2. Bagian untuk menempatkan lampu 6W dan baterai dengan ukuran 356 mm x 300 mm x 2 mm.
3. Bagian rumah lampu yang fungsinya sebagai tempat integrasi komponen-komponen.

Desain lampu telah melalui studi literatur dari berbagai sumber dari lampu taman yang diminati oleh masyarakat. Berikut adalah gambar detail dari dimensi lampu taman dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Detail lampu taman 3D menggunakan software *solid-works*.

### b. Pemilihan bahan

Untuk mempermudah dalam pembuatan dari lampu taman bertenaga surya, dipilih bahan menggunakan polimer jenis akrilik dengan ketebalan 2 mm. Akrilik mudah didapat, mudah dibentuk dan tahan terhadap air. Pada sisi beban menggunakan lampu LED dengan tegangan 2VDC. Baterai yang digunakan adalah baterai jenis lithium ion yang sudah dirangkai khusus dalam sebuah modul yang didalamnya sudah terdapat *battery management system* (BMS). Untuk solar cellnya menggunakan solar cell jenis *mono crystalline silicon*.



Gambar 6. *Solar cell mono crystalline silicon*

Gambar diatas memiliki dimensi 125cm x 125 cm. Dengan spesifikasi data setiap cellnya seperti pada gambar 7.

Electrical Characteristics of Typical Cell at Standard Test Conditions (STC)						
STC: 1000W/m <sup>2</sup> , AM 1.5g and cell temp 25°C						
Bin	P <sub>mpp</sub> (Wp)	Eff. (%)	V <sub>mpp</sub> (V)	I <sub>mpp</sub> (A)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>sc</sub> (A)
G	3.34	21.8	0.574	5.83	0.682	6.24
H	3.38	22.1	0.577	5.87	0.684	6.26
I	3.40	22.3	0.581	5.90	0.686	6.27
J	3.42	22.5	0.582	5.93	0.687	6.28

All Electrical Characteristics parameters are nominal  
Unlaminated Cell Temperature Coefficients  
Voltage: -1.8 mV / °C      Power: -0.32% / °C

Gambar 7. *Electrical characteristics of typical cell at STC*

### c. Flowchart Diagram

Adapun *flowchart* diagram dari artikel ini dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. *Flowchart diagram*

**c. Perencanaan energi**

a. Perhitungan *Solar Cell*

Jumlah cell surya yang dipasang seri paralel sebanyak 4 buah, tegangan setiap cellnya rata-rata sebesar 0.58 Vdc, sehingga tegangan yang dihasilkan dari 4 buah rata-rata sebesar 1,16 Vdc. Sedangkan arusnya rata-rata sebesar 11,8 Ampere. Dengan menggunakan Pers.(1) didapatkanlah hasil 13,68 watt.

Untuk waktu pengisian baterai selama 4 jam, maka kapasitas baterai menurut Pers.(2) menjadi 47,2 Ah.

b. Baterai

Berdasarkan Pers.(2-3) maka pemilihan baterai adalah baterai dengan kapasitas 50Ah, 7,2 Vdc. Baterai disusun paralel hingga memenuhi kebutuhan arus 47,2Ah dan dibuat baterai pack dilengkapi dengan baterai charge controllernya .

c. Lampu

Waktu beroperasi selama 12 jam. Dengan menggunakan Pers.(4) didapati hasilnya adalah lampu dengan daya maksimal 30 Watt. Maka pemilihan bahan pada artikel ini menggunakan lampu 6 Watt, sehingga total beban lampu masih dalam batasan perhitungan beban.

#### 4. Kesimpulan

Dari kegiatan perancangan ini dapat disimpulkan bahwa pemilihan bahan sesuai dengan yang diharapkan. Dari hasil perancangan dan perhitungan didapati lampu taman bertenaga surya dengan spesifikasi lampu 6 Watt, baterai 50 Ah, dan solar cell 14 Wp.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] W. Anhar, M. Amin, and T. Sulisty, "Perhitungan Lampu Penerangan Jalan Berbasis Solar System," no. 1, pp. 33–36, 2018.
- [2] Prasetyo, Eri. (1999). *Dasar Fisika Energi*. Jakarta: Gunadarma Jakarta.
- [3] Sitompul, Rislina. (2011). *Manual Pelatihan: Teknologi Energi Terbarukan Yang Tepat Untuk Aplikasi Masyarakat Pedesaan*. Jakarta: Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat (PNPM).
- [4] Prihandoko, Bambang. (2010). *Laporan Akhir Program Intensif Peneliti Dan Perekayasa LIPI: Pembuatan Nanomaterial Sebagai Bahan Pembuatan Lithium*. Jakarta: Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

## Inovasi Model Lampu Penerangan Jalan Bertenaga Surya

Muhammad Rafi<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Satria Arief Aditya<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat 16424

<sup>3</sup>Solar UAV, Pusat Teknologi Penerbangan, Jl. Raya LAPAN, Sukamulya Rumpin Bogor, Jawa Barat 16350

*E-mail: rafi.jkt@gmail.com*

### Abstrak

Lampu penerangan jalan bertenaga surya pada artikel ini merupakan suatu inovasi untuk meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT). Keunggulan dari lampu penerangan jalan bertenaga surya dengan cover laminasi jenis polimer akrilik ini diantaranya unggul dari sisi mudah dalam melakukan instalasi, keamanan dan ekonomi. Artikel ini dibuat untuk menambah literatur dari penggunaan EBT. Pada artikel ini dibuatlah suatu inovasi model lampu penerangan jalan bertenaga surya yang merupakan tahap awal dari desain lampu bertenaga surya 30 Wp dengan lampu LED 5Vdc, 2 x 6 Watt menggunakan baterai dengan kapasitas 40 AH dengan waktu pengisian baterai 4 jam dan lama operasi lampu selama 12 jam.

Keywords: Inovasi, Desain, EBT, Lampu penerangan jalan, Tenaga surya

### 1. Pendahuluan

Perkembangan energi baru terbarukan di Indonesia sedang dalam kondisi yang menarik perhatian untuk dilakukan observasi dan eksplorasi secara nyata. Hal ini dikarenakan sumberdaya alam yang terkandung didalamnya dan memungkinkan untuk dijadikan suatu energi baru dan terbarukan. Letak astronomi Indonesia, terletak pada 6° LU– 11° LS dan 95° BT – 145° BT. Dari letak tersebut dapat dilihat bahwa Indonesia dilalui garis katulistiwa dan mempunyai iklim tropis sehingga mempunyai radiasi rata-rata harian matahari sebesar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

Seiring dengan pembangunan infrastruktur yang kian pesat, diantaranya pembangunan jalan hingga ke dalam pelosok-pelosok desa maka, diperlukan penerangan jalan umum yang memadai. Penerangan jalan umum sebisa mungkin didesain dengan penggunaan energi yang hemat dan efisien. Salah satunya adalah penggunaan energi baru terbarukan jenis panel surya.

Panel surya memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi utamanya. Sinar matahari dapat dirubah langsung kedalam energi listrik dengan prinsip fotovoltaik yang kemudian energi tersebut dialirkan menuju akumulator sebagai tepat penampungan energi

sebelum disalurkan ke beban atau bisa juga langsung dialirkan ke beban dengan menggunakan regulator.

Indonesia mendapatkan sinar matahari langsung sepanjang hari karena letaknya tepat berada di bawah garis khatulistiwa. Hal ini berpotensi untuk dijadikan sumber energi yang gratis dalam jumlah banyak. Menurut Dewan Energi Nasional, Indonesia memiliki potensi energi matahari rata-rata 4,8 kilowatt hour (kwh) per meter persegi per harinya. Sehingga energi ini perlu dimanfaatkan dengan salah satunya membuat desain dan perhitungan penerangan lampu jalan bertenaga surya.

Pada lampu penerangan jalan memiliki tingkat kesulitan tersendiri didalam desain. Tidak hanya handal namun juga harus aman serta nilai estetika atau keindahan dari bentuk lampu penerangan jalan itu sendiri sangat mempengaruhi tingkat kesulitan dalam sisi desain. Menghitung energi yang hendak digunakan juga terdapat banyak tantangan yang dihadapi, karena pemilihan jenis solar cell dan susunannya agar mendapatkan desain yang maksimal menjadi suatu yang menarik.

Tujuan dari penulisan artikel ini adalah memberikan alternatif literatur dari desain lampu penerangan jalan dengan menggunakan tenaga surya menggunakan cover



laminasi polimer jenis akrilik sehingga dapat dibuat oleh masyarakat untuk meningkatkan EBT dimasa depan. Sehingga, dapat diperoleh teknologi yang ramah lingkungan dan energi terbarukan akan menghiasi penerangan jalan umum yang ada di kampus dan pedesaan.



Gambar 1. Lampu Penerangan jalan Bertenaga Surya

## 2. Metode Penelitian

Metode pelaksanaan penelitian menggunakan kajian literatur, pengumpulan data dan observasi lapangan terhadap bagian-bagian dari sistem sel surya yang didesain sebagai perhitungan lampu penerangan jalan.

- **Modul Surya**

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya Memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik.[4]

$$\begin{aligned} P_{solar\ cell} &= V * I \text{ (Watt)} \\ P_{max} &= n \times P_{solarcell} \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana :

- $P_{solar\ cell}$  = Daya output solar cell (Watt)
- $I$  = Arus yang mengalir (Ampere)
- $V$  = Tegangan pada cell surya (Volt)
- $P_{max}$  = Daya panel surya (Watt)



Gambar 2. Solar Panel

- **Baterai**

Untuk menentukan total kapasitas baterai berdasarkan periode penyimpanan yang diinginkan sebagai berikut :

$$Q = i_{batt.} * t \quad (2)$$

Dimana :

- $Q$  = Muatan pengisian baterai (Ampere Hours)
- $i_{batt}$  = Arus yang mengalir (Ampere)
- $t$  = Waktu pengisian (Hours)

$$i_{cc} = (i_{batt.} + i_{batt.} * \text{Efisiensi Baterai}) \quad (3)$$

Dimana :

- $i_{cc}$  = arus rating baterai (ampere)
- $P_{maks}$  = banyak panel surya x  $P_{nom}$  (watt)



Gambar 3. Baterai Lippo 3,7V, 22 Ah

- **Daya Lampu**

Besar energi yang terpakai lampu PJU adalah besarnya daya lampu dikali dengan lamanya lampu menyala (beroperasi) adalah

$$E_{load} = P_{load} \times t \dots\dots\dots (4)$$

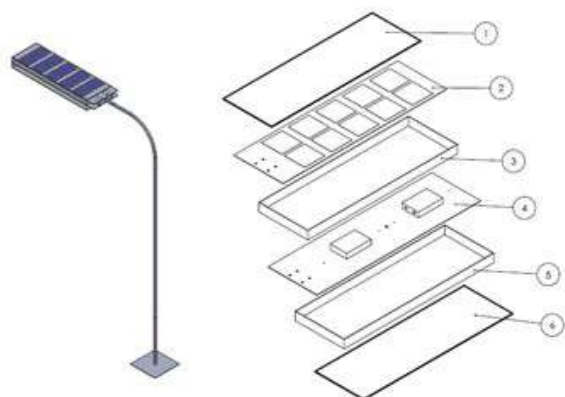
Dimana :

- $E_{load}$  = Energi yang terpakai (wh),
- $P_{load}$  = Daya beban atau lampu (watt)
- $t$  = Lama pemakaian beban (jam)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### a. Desain model lampu penerangan jalan

Pada artikel ini dibuat desain lampu penerangan jalan bertenaga surya yang dicover laminasi dengan bahan polimer akrilik dengan ukuran panel surya 915 mm x 300 mm x 112 mm. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.

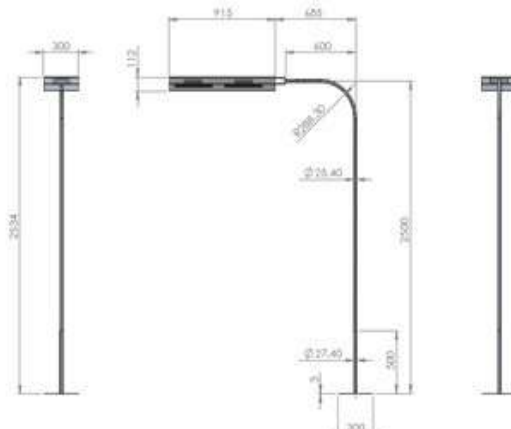


Gambar 4. Desain lampu penerangan jalan 3D menggunakan software *solid-works*.

Pada gambar diatas didesain sebuah lampu penerangan jalan bertenaga surya dengan 6 bagian utama yaitu :

1. Bagian cover laminasi dengan bahan polimer akrilik.
2. Bagian untuk menempatkan solar cell dengan ukuran 915 mm x 300 mm x 2 mm yang di cover laminasi dengan laminasi jenis plastik film.
3. Asesoris penguat konstruksi panel.
4. Bagian untuk menempatkan lampu 2 x 6W dan baterai dengan ukuran 915 mm x 300 mm x 2 mm.
5. Asesoris penguat konstruksi panel.
6. Bagian cover lampu berfungsi sebagai pelindung dari air dan debu.

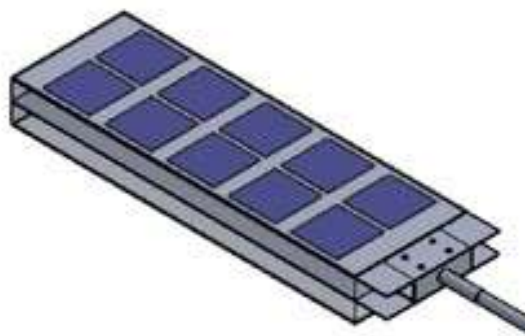
Desain lampu penerangan jalan bertenaga surya didesain sesuai dengan kebutuhan jalan umum yang ada. Desain ini dibuat untuk jalan umum pedesaan (jalan desa). Desain ini juga dapat dibuat oleh masyarakat pedesaan dengan peralatan yang sederhana. Berikut adalah gambar detail dari dimensi lampu penerangan jalan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Detail lampu penerangan jalan 3D menggunakan software *solid-works*.

#### b. Pemilihan bahan

Polimer jenis akrilik mudah didapat, mudah dibentuk dan tahan terhadap air. Pada sisi beban menggunakan lampu LED dengan tegangan 5 Vdc. Baterai yang digunakan adalah baterai jenis lithium polimer yang sudah dirangkai khusus dalam sebuah modul yang didalamnya sudah terdapat *battery management system* (BMS). Untuk solar cellnya menggunakan solar cell jenis *mono crystalline silicon*.



Gambar 6. Susunan *solar cell mono crystalline silicon*

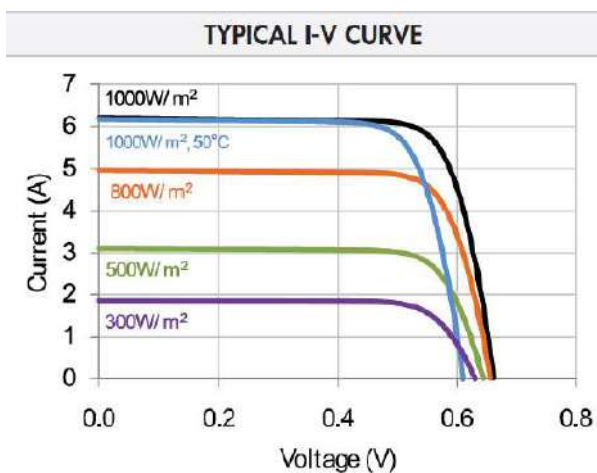
Gambar diatas memiliki dimensi *solar cell* 125cm x 125 cm sebanyak 10 buah disusun seri agar mendapatkan tegangan output sebesar 5 Vdc. Berikut spesifikasi data setiap cellnya seperti pada gambar 7.

Electrical Characteristics of Typical Cell at Standard Test Conditions (STC)						
STC: 1000W/m <sup>2</sup> , AM 1.5g and cell temp 25°C						
Bin	Pmpp (Wp)	Eff. (%)	Vmpp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Isc (A)
G	3.34	21.8	0.574	5.83	0.682	6.24
H	3.38	22.1	0.577	5.87	0.684	6.26
I	3.40	22.3	0.581	5.90	0.686	6.27
J	3.42	22.5	0.582	5.93	0.687	6.28

All Electrical Characteristics parameters are nominal  
Unlaminated Cell Temperature Coefficients  
Voltage: -1.8 mV / °C      Power: -0.32% / °C

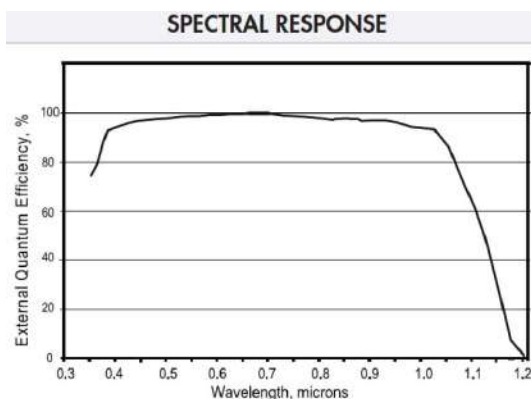
Gambar 7. Electrical characteristics of typical cell at STC

Adapun perbandingan arus dan tegangannya adalah seperti yang di tunjukkan gambar 8.



Gambar 8. Electrical characteristics of typical cell at STC

Adapun respon spectral yang di dapat dari datasheet solar cell adalah seperti gambar 9.



Gambar 8. Spectral response solar cell

Dari data didapati rata-rata energi surya didapati adalah arus dan tegangan rata-rata yang dihasilkan dari setiap cellnya pada 1000W/m<sup>2</sup> adalah sekitar 5.9 A dan 0.8 Vdc.

c. flowchart

Adapun flowchart diagram dari artikel ini dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Flowchart diagram

Gambar diatas menunjukkan pada saat dilakukan perancangan dan perhitungan desain hingga pembuatan gambar 3D.

d. Perencanaan energi

a. Perhitungan Solar Cell

Jumlah cell surya yang dipasang seri sebanyak 10 buah, tegangan setiap cellnya rata-rata sebesar 0.58 Vdc, sehingga tegangan yang dihasilkan dari 10 buah rata-rata sebesar 5,8 Vdc. Sedangkan arusnya rata-rata sebesar 5,9 Ampere. Dengan menggunakan Pers.(1) didapatkanlah hasil 34,22 watt.

Untuk waktu pengisian baterai selama 4 jam, maka kapasitas baterai menurut Pers.(2) menjadi 23,6 Ah.

b. Baterai

Berdasarkan Pers.(2-3) maka pemilihan baterai adalah baterai dengan kapasitas 40Ah, 7,2 Vdc. Baterai disusun paralel hingga mencapai 40Ah dan dibuat baterai pack dilengkapi dengan baterai charge controllernya .

c. Lampu

Waktu beroperasi selama 12 jam. Dengan menggunakan Pers.(4) didapati hasilnya adalah lampu dengan maksimal daya 24 Watt. Maka pemilihan bahan pada artikel ini menggunakan lampu 2 x 6 Watt, sehingga total beban lampu 12 Watt masih dalam batasan perhitungan beban.

#### **4. Kesimpulan**

Dari artikel ini dapat disimpulkan bahwa pemilihan bahan sesuai dengan yang diharapkan. Dari hasil perancangan dan perhitungan didapati lampu penerangan jalan bertenaga surya dengan spesifikasi lampu 2 x 6 Watt, baterai 40 Ah (2 x 20 Ah), dan solar cell 30 Wp.

#### **5. Daftar Pustaka**

- [1] A. rif Setiawan\*), : Ir. Yuningtyastuti, M.T. , Dr. Susatyo Handoko, S.T. , MT.Penggunaan, C. Cekung, C. Datar, K. Cermin, and C. U. Meningkatkan, “Daya Keluaran Pada Sel Surya.”
- [2] B. Heriyanto, “Pengaruh Suhu Permukaan Photovoltaic Module 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 00, 500, 600, 700, 800.,” *Univ. Diponegoro*, pp. 14–18, 2011.
- [3] T. T. Gultom, “Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *J. Mudira Indure*, vol. 1, no. 3, pp. 33–42, 2015.
- [4] P. Air, D. Menggunakan, and S. Cell, “Solar cell,” vol. 7, no. 2, pp. 157–163, 2015.

# Analisa Harmonik Dan Pengaruhnya Pada Transformator Distribusi Tenaga Listrik

R. Nursamsu<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Kusnadi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat 16424

[samsu\\_cuit@yahoo.com](mailto:samsu_cuit@yahoo.com)

## Abstrak

Harmonik merupakan gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik yang menyebabkan terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan akibat dari pemakaian penyearah. Salah satu dampak dari gangguan harmonik adalah terjadinya kenaikan temperatur pada transformator yang dirancang sesuai dengan frekuensi sehingga menyebabkan kerusakan atau turunya ketebalan atau tegangan tembus oli. Semakin tinggi total arus harmonik pada tiap fasa maka semakin tinggi pula rugi-rugi beban ( $P_{LL}$ ), pertambahan rugi  $I^2R$  dan pertambahan rugi *Eddy Current*. Rugi  $I^2R$  Cu sebesar 0,12 pu dan, Rugi *eddy current* 0,041 pu akan mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur pada trafo. Tegangan tembus oli trafo sebelum treatment rata-rata sebesar 21,5KV yang menunjukkan kurang dari nilai standar, sedangkan setelah treatment sebesar 75,2KV sesuai dengan nilai standar yang ditetapkan oleh IEC. Dengan pemasangan Active High Filter (AHF) terjadi pengurangan THD% arus dari 47,96 % menjadi 4,12 % %, ada penurunan arus sebesar 385,79A sehingga terjadi penghematan energi sebesar 254,085 KW.

Kata Kunci : Penyearah Harmonik, Trafo

## 1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan eksisting di PT Mekar Armada Jaya disuplai dari PLN dengan tegangan 20 KV dan kapasitas daya terpasang 1600 KVA. Tegangan 20 kV tersebut diturunkan menjadi 400 V oleh trafo distribusi. Hampir setiap tahun terjadi kerusakan di Trafo yang diakibatkan panas yang berlebih sehingga merusak packing list transformer dan menyebabkan kebocoran oli transformer. Beban utama berupa Penyearah yang dipakai untuk mesin Welding yang bekerja secara kontinue Rangkaian daya dari penyearah terdiri dari tiga fasa gelombang penuh 6 pulsa. Harmonik adalah sumber arus yang diekspresikan sebagai THD (Total Harmonic Distortion) arus, sedangkan arus harmonik setelah melewati impedansi sistem akan menimbulkan tegangan yang dikenal sebagai THD tegangan. Pengaruh dampak Harmonik pada sistem tenaga listrik sangat luas, salah satunya adalah multifungsi / kerusakan pada Trafo. Trafo sangat berperan dalam penyaluran daya ke pusat beban dan merupakan peralatan

yang paling merasakan adanya harmonik, karena letaknya yang lebih dekat terhadap beban non linier.

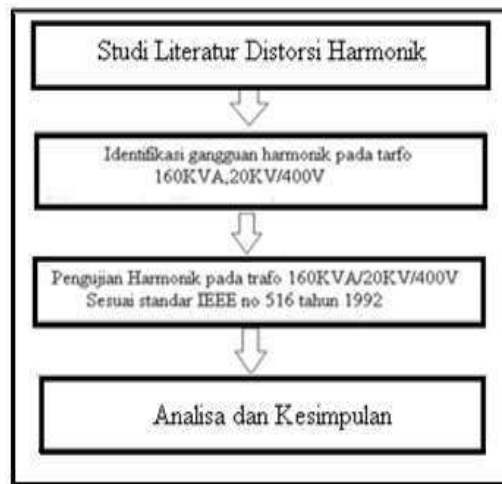
Sehingga permasalahannya adalah:

1. Identifikasi distorsi harmonik pada trafo 20KV/400, 1600KVA sesuai dgn Standar IEEE N0 519 THN 1992 dan alternatif solusi.
2. Analisa kandungan harmonisa arus terhadap kerugian daya pada trafo.
3. Identifikasi tegangan tembus dari oli trafo dengan mengikuti Standar pengujian IEC 156/ASTM D877 SPLN-8-9-1978/SPLN 49-1-1982
4. Identifikasi perubahan THD% Arus terhadap penghematan energy.

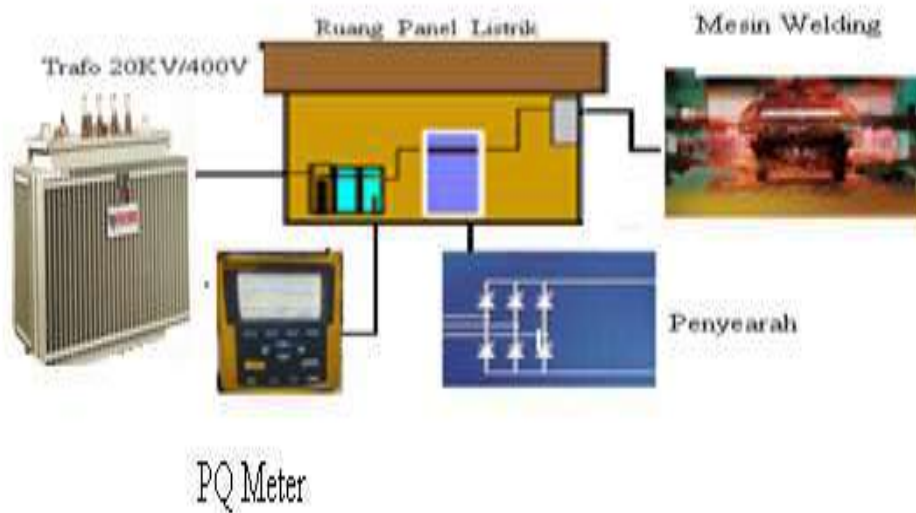
## 2. Metodologi Penelitian

Metode yang di gunakan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada alur penelitian Gambar 1.

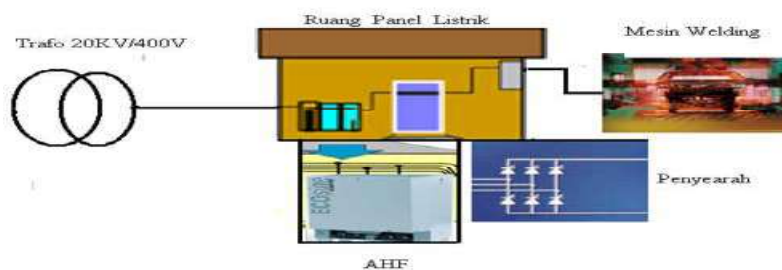
Blok diagram penelitian pada Gambar 2.



Gambar 1. Flowcart penelitian



### Pemasangan Filter Aktif ( AHF)



Gambar 2. Blok diagram penelitian



### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran harmonisa arus ganjil dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Kandungan Harmonisa Arus Ganjil

Phasa	Harmonik ke :	IHD (%)	Arus (A)	Urutan
R,S,T	5	21,41	434,7	NoI
	7	12,46	253,0	Negatif
	11	10,92	221,73	Positif
	13	6,90	140,67	NoI
Netral In = 81,2 A	5	28,4	23,06	NoI
	7	11,3	9,17	Negatif
	11	10,8	8,76	Positif
THD = 28,4%	13	8,7	7,06	NoI

Tabel 2. Data THD% Panel Trafo

Phasa	Harmonik ke :	THD% Tegangan	THD Total%	
			Arus	Tegangan
R,S,T	5	1,75	21,41	47,96% 4,67%
	7	0,76	12,46	
	11	0,99	10,92	
	13	0,76	6,90	

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan harmonisa tegangan dan arus pada Panel LVMDP Trafo Welding fasa R,S dan T adalah sama, menunjukkan nilai THD% tegangan 4,67% dan arus 47,96%. Individual harmonik dominan 5,7, 11, dan 13. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan harmonisa tegangan masih dibawah nilai standar, sedangkan harmonisa arus diatas nilai standard yang direkomendasikan oleh IEEE no 519 Tahun 1992 .

Hasil pengukuran / test Oli Trafo Sebelum *Treatment* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan Tembus Trafo

Transformator	Pengujian Tegangan Tembus
Merk : Unindo	1. Jarak Bola 2,5 m/m=16,20 KV 2. Jarak Bola 2,5 m/m=15,8 KV 3. Jarak Bola 2,5 m/m=25,4 KV 4. Jarak Bola 2,5,m/m=22,4 KV 5. Jarak Bola 2,5,m/m=22,1 KV 6. Jarak Bola 2,5,m/m=27,2 KV
Kapasitas : 1600 KVA	
Tegangan HV : 20.000 V	
Tegangan LV : 400 V	
No Seri : 91655	
Volume Oli : 660kg/1011 Lt	
	Rata-rata 2,5,m/m =21,5 KV
	Rata-rata 1 Cm = 86KV

Hasil analisis Tegangan tembus trafo Welding nilai rata rata 2,5 m/m = 72 KV sedangkan rata rata 1 Cm

= 291,2 KV , hal ini menunjukkan dibawah nilai standard yang direkomendasikan oleh IEC 156/ASTM D877 SPLN-8-1978/SPLN 49-1-1982.

Hasil pengukuran /Test Oli Trafo, Sesudah *Treatment* dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Tegangan Tembus Trafo

Transformator	Pengujian Tegangan Tembus
Merk : Unindo	1. Jarak Bola 2,5 m/m=78,0 KV 2. Jarak Bola 2,5 m/m=73,6 KV 3. Jarak Bola 2,5 m/m=70,0 KV 4. Jarak Bola 2,5,m/m=79,7 KV 5. Jarak Bola 2,5,m/m=67,3 KV 6. Jarak Bola 2,5,m/m=68,2 KV
Kapasitas : 1600 KVA	
Tegangan HV : 20.000 V	
Tegangan LV : 400 V	
No Seri : 77678	
Volume Oli : 860kg/1011 Lt	
	Rata-rata 2,5,m/m =72,8 KV
	Rata-rata 1 Cm = 291,2KV

Hasil analisis Tegangan tembus trafo Welding nilai rata rata 2,5 m/m = 72 KV sedangkan rata rata 1 Cm = 291,4 KV , hal ini menunjukkan diatas nilai standard yang direkomendasikan oleh IEC 156/ASTM D877 SPLN-8-1978/SPLN 49-1-1982.

Sedangkan untuk Perhitungan rugi-rugi beban (PLL) dalam per unit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perhitungan rugi beban (PLL) per unit

Phasa	$\Sigma I_h^2$ (p.u)	$\Sigma I_h^2 \times h^2$ (p.u)	$P_{EC-R}$ (p.u)	$P_{LL}$ (p.u)	Pertambahan $I^2R$ (p.u)	Pertambahan Eddy Current (p.u)
R	1,12	0,041	0,01	1,53	0,12	0,041
S	1,12	0,041	0,01	1,53	0,12	0,041
T	1,12	0,041	0,01	1,53	0,12	0,041

Dari tabel 5 terlihat bahwa semakin tinggi total arus harmonisa pada tiap fasa maka semakin tinggi pula rugi-rugi beban ( $P_{LL}$ ), pertambahan rugi  $I^2R$  dan pertambahan rugi *Eddy Current*.

Rangkuman analisa harmonik pada trafo sebelum dan sesudah pemasangan filter aktif dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Rangkuman harmonik trafo sebelum pemasangan filter aktif (AHF)

No	Parameter	Kesimpulan
1	Voltage Phase to Netral	226,2 V
2	Voltage Phase to Phase	399,8 V
3	Current	2030,55 A
4	Curent to Netral	81,2 A
5	Frequency	49,99 Hz
6	Power Factor ( PF)	0,95
7	% THD V	4,67%
8	% THD I	57,96 %

Tabel 7. Rangkuman harmonik trafo sesudah pemasangan filter aktif (AHF)

No	Parameter	Kesimpulan
1	Voltage Phase to Netral	223,4 V
2	Voltage Phase to Phase	402,2 V
3	Current	1784,6 A
4	Curent to Netral	12,6 A
5	Frequency	50,1 Hz
6	Power Factor ( PF)	0,95
7	% THD V	4,67%
8	% THD I	4,1 %

#### 4. Kesimpulan

1. Pengoperasian penyearah Tiga fasa akan menimbulkan distorsi harmonik yang mengakibatkan terjadinya kerugian yang berupa peningkatan rugi-rugi, penurunan efisiensi dan penurunan kapasitas layanan.
2. Semakin tinggi total arus harmonisa pada tiap fasa maka semakin tinggi pula rugi-rugi beban ( $P_{LL}$ ), pertambahan rugi  $I^2R$  dan pertambahan rugi *Eddy Current*.

3. Komponen harmonik pada Penyearah tiga fasa akan meningkatkan rugi  $I^2R$  Cu sebesar 0,12 pu dan rugi *Eddy Current* sebesar 0,041 p.u yang mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur pada trafo sehingga merusak isolasi dan kebocoran oli oli.
4. Dengan pemasangan Active High Filter ( AHF) pada trafo Penyearah tiga fasa terjadi pengurangan THD% Arus sebesar 43,84 % dari sebelum pemasangan AHF THD% I sebesar 47,96% menjadi 4,12% .
5. Pengurangan THD% Arus dari 47,96 % menjadi 4,12 % akan menurunkan Arus sebesar 385,79A sehingga terjadi penghematan energi sebesar 254,085 KW Pada trafo.
6. Hasil pengujian tegangan tembus oli trafo sebelum treatment rata-rata sebesar 21,5 KV sehingga tidak sesuai dengan nilai standard, sedangkan setelah treatment sebesar 75,2 KV yang menunjukkan sesuai dengan nilai standard yang direkomendasikan oleh IEC 156/ASTM D877 SPLN-8-1978/SPLN 49-1-1982.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] IEEE Std. 519-2014, IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converter. Interne
- [2] M. Rukonuzzaman, E and M. Nakaoka, (2001) "Single Phase Shunt Active Filter With Novel Harmonic Detection", IEEE PEDS Indonesia
- [3] C. Sankaran (2002), *Power Quality*, USA : CRC Press LLC. [33].
- [4] Roger C. Dugan, Mark F Mc.Granaghan, Surya Santoso, 2003 ,*Electrical Power System Quality* Second Edition, Mc Graw Hill
- [5] J. Arrilaga, Jos and Watson,, (2003), *Power System Harmonics*, Chicester, John Walley and Son Neville Bradley D.A, Bodger P, 2003
- [6] De La Rosa, Francisco C. (2006). *Harmonics and Power Systems*. New York: Taylor & Francis, LLC
- [7] H. Akagi, (2006) "Modern active filters and traditional passive filters," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 54, no. 3, pp. 255-269.
- [8.] Tobing, Cristof NFF, ( 2008), *Pengaruh Harmonisa Pada Transformator Distribusi*, Depok, Universitas Indonesia

- [9] Alat Penghemat Daya,2006,Direktoret Jendral Listrik Dan Pemanfaatan Energi
- [10] Muhamad H. Rashid, 2010, Power Electronincs Hand book- Device- Circuit-and, Second Edition, Ebookclub

## **Pengaruh Harmonik Terhadap Kesalahan Pengukuran kWh Meter Analog**

Rusly Abdillah<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Kusnadi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat 16424

### **Abstrak**

kWh meter merupakan alat untuk mengukur energi listrik yang sering digunakan oleh konsumen. Mengukur transaksi energi listrik menggunakan kWh meter sebaiknya kualitas energi listrik memenuhi kriteria gelombang arus dan tegangan berupa sinusoidal agar tidak terjadi kesalahan dalam proses pengukuran. Beban non linear yang banyak digunakan oleh konsumen dapat menimbulkan masalah kualitas energi listrik karena adanya harmonik. Alat ukur kWh meter memiliki piringan yang berputar berdasarkan torsi yang dihasilkan. Torsi ini dipengaruhi oleh harmonik yang ditimbulkan oleh penggunaan beban non linier. Kesalahan pengukuran oleh kWh meter dapat menimbulkan kerugian baik disisi konsumen maupun produsen. Hal ini dapat menggambarkan berapa besar kerugian yang harus dialami, jika terjadi kesalahan pengukuran oleh kWh meter akibat adanya harmonik. Dampak harmonik terhadap kesalahan pengukuran energi listrik pada kWh meter analog satu fasa 4200VA yang terpasang di Gedung DPP AKLI menunjukkan THD% Arus menunjukkan nilai 27,4%, sedangkan nilai THD% rata-rata Tegangan sebesar 2,89% dengan persentase kesalahan pada saat beban penuh 14,2 A menunjukkan nilai 29%.

Kata kunci: kWh meter analog, Harmonik, % kesalahan

### **1. Pendahuluan**

Kemajuan teknologi yang ditandai dengan luasnya penggunaan peralatan yang berbasis elektronik, seperti lampu hemat energi, TV, komputer, Kulkas Pendingin ruangan akan menyimpan masalah harmonik, yang ternyata dapat merugikan terhadap kapasitas layanan dari kWh meter berupa kesalahan pengukuran yang mengakibatkan ada tagihan yang hilang. Gangguan Harmonik akan menghasilkan bentuk gelombang tegangan maupun arus yang non sinusoidal sedangkan kWh meter didesain untuk tegangan maupun arus sinusoidal.

kWh meter merupakan peralatan ukur listrik yang digunakan untuk mengukur dan menghitung daya yang terpakai dengan input berupa arus maupun tegangan dengan bentuk sinusoidal sehingga akan mendapatkan nilai akurasi yang baik. Jika input tidak berbentuk sinusoidal akibat terjadinya distorsi harmonik, maka dipastikan akan terjadi kesalahan pengukuran. Kesalahan pengukuran oleh kWh meter dapat menimbulkan kerugian baik disisi konsumen maupun disisi produsen. Sebagai gambaran banyak pelanggan listrik yang menggunakan kWh meter

sebagai alat pengukuran transaksi daya listrik, berapa besar kerugian yang harus dialami jika terjadi kesalahan pengukuran oleh kWh meter akibat adanya harmonik.

Adapun permasalahan dari penelitian :

1. Mengidentifikasi gangguan harmonik Tegangan maupun arus terhadap kWh meter analog akibat penggunaan beban non linier
2. Mengidentifikasi gangguan harmonik terhadap persentase kesalahan pengukuran dari kWh meter analog
3. Standar Analisa % kesalahan yang mengikuti Standar SPLN atau Standar Metrologi, maka untuk menjadikan kWh meter khususnya 5(20) Ampere, 230 V, dengan Konstanta meter 900 putaran/kWh tersebut kembali sesuai standar harus dilakukan pengaturan pada sisi magnet pada beban 100 % power factor 1,0 juga beban 100% pada power factor 0,5 dan pada beban rendah 5% power factor 1,0.

## 2. Metoda Penelitian

Metode yang di gunakan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan seperti Gambar 1.



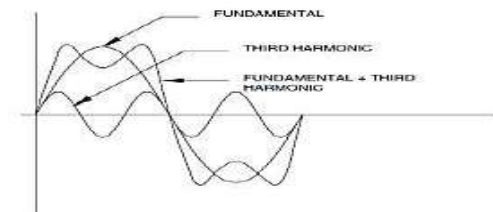
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Proses penelitian dilakukan terhadap kWh analog satu fasa 4.400 VA, yang terpasang di gedung DPP AKLI Tebet, beban berupa Lampu hemat energi (Led), komputer, AC, kulkas, dispenser dan pompa air. Adapun pelaksanaan kegiatan penelitian dengan tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi harmonik dengan cara pengukuran: Arus, tegangan Pf, orde harmonik THD% Tegangan, THD% Arus dengan Harmonik Analyzer GAE EMG 50 yang terpasang di Gedung AKLI Tebet.
2. Analisa % kesalahan yang mengikuti Standar SPLN atau Standar Metrologi, maka untuk menjadikan kWh meter khususnya 5/20 Ampere, 230 V, dengan Konstanta meter 900 putaran/kWh tersebut kembali sesuai standar harus dilakukan pengaturan pada sisi magnet pada beban 100 % power factor 1,0 juga beban 100% pada power factor 0,5 dan pada beban rendah 5% power factor 1,0.
3. Solusi alternative, Tera ulang secara manual atau menggunakan mesin Test Bench. Langkahna berupa pemeriksaan visual pada APP (Alat Pengukur dan Pembetas). Alat pengukurnya adalah kWh meter untuk dapat mengetahui putaran, waktu, daya, arus dan tegangan terukur.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Sistem tenaga listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Akan tetapi dalam kenyataannya terdapat beberapa beban yang menyebabkan munculnya arus dan tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan 50 atau 60 Hz. Beban tersebut dinamakan sebagai beban non linier. Sedangkan frekuensi 50 atau 60 Hz disebut sebagai frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut harmonik. Harmonik adalah distorsi periodik dari gelombang sinus arus, tegangan, atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental yang mana pada sistem suplai dirancang beroperasi pada 50 Hz/60 Hz.



Gambar .2 Bentuk Gelombang Harmonik

### 3.1. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari seluruh komponen harmonik terhadap nilai RMS dari fundamental. THD biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (% THD).

Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonik dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai THD-nya adalah 0%, sedangkan untuk menghitung THD dari arus dan tegangan yang mengalami distorsi adalah dengan menggunakan persamaan:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

$V_n$  = Nilai tegangan harmonisa (V)

$V_1$  = Nilai tegangan fundamental (V)

n = Komponen harmonik maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

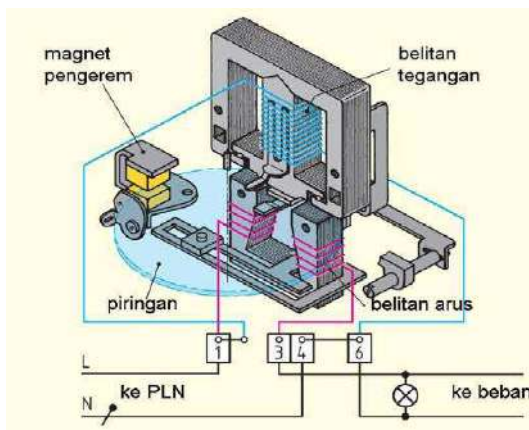
$I_n$  = Nilai arus harmonisa (A)

$I_1$  = Nilai arus fundamental (A)

n = Komponen harmonik maksimum yang diamati

### 3.2. Harmonik Pada kWh Meter

Alat ukur kWh meter yang bekerja dengan metoda induksi medan magnet yang bekerja untuk mengerjakan cakram/piringan yang terbuat dari almunium. Medan magnet timbul karena adanya arus listrik, dan kecepatan putar pringan tergantung pada besarnya arus listrik yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kontruksi kWh Meter

Pada saat arus beban mengalir pada kumparan arus  $I_1$ , arus akan menimbulkan fluks magnet fluks  $\Phi_1$ , sedangkan pada kumparan tegangan terjadi perbedaan fasa antara arus dan tegangan sebesar 90 derajat. Arus yang melauai kumparan tergantung  $I_2$  akan menimbulkan fluks magnet  $\Phi_2$  yang berbeda fas 90 derajat dengan  $\Phi_1$ . Fluksi ini akan memotong piringan, sehingga didalam piringan terinduksi tegangan seperti pers (3) dan (4).

$$E_1 = d/dt (\Phi_1 m \sin \omega t) \quad (3)$$

$$= \omega \Phi_1 m \cos \omega t$$

$$E_2 = d/dt (\Phi_2 m \sin \omega t - \alpha) \quad (4)$$

$$= \omega \Phi_2 m \cos (\omega t - \alpha)$$

Tegangan induksi akan mengalirkan arus induksi dalam piringan seperti persamaan (5) dan (6).

$$I_1 = E_1/R = \omega \Phi_1 m \cos \omega t \quad (5)$$

$$I_2 = E_2/R = \omega \Phi_2 m \cos (\omega t - \alpha) \quad (6)$$

Interaksi antara fluksi  $\Phi_1$  dan arus Induksi  $I_2$  menghasilkan Torsi  $T_1$  dan interksi antara  $\Phi_2$  dan arus induksi  $I_1$  menghasilkan Torsi  $T_2$  seperti persamaan 7 dan 8.

$$T_1 = k \Phi_1 I_2$$

$$= k_1 \omega / R \Phi_1 m \Phi_2 \omega t \cos (\omega t - \alpha) \quad (7)$$

$$T_2 = k_2 \Phi_2 I_1$$

$$= k_2 \omega / R \Phi_1 m \Phi_2 m \sin (\omega t - \alpha) \cos \omega t \quad (8)$$

Torsi Total yang memutar piringan

$$T = k_3 \Phi_1 m \Phi_2 m \sin \quad (9)$$

$$T = k_3 VI \sin (90 - \delta)$$

$$= k_3 VI \cos \delta \text{ Kwh}$$

$$= k_3 P$$

$P = VI \cos \delta = \text{daya pada beban}$

Torsi yang berharmonik:  $T = k_3 \cdot V_h \cdot I_h \times \cos \delta (10)$

$$t = \frac{n \times 3600 \times 1000}{I \times V \times K \times \cos \Phi}$$

Tabel 1. Batas kesalahan yang diizinkan kWh meter

Kelas Akurasi	Batas kesalahan yang diizinkan
0,5	+/- 0,5 %
1,0	+/- 1,0 %
2,0	+/- 2,0 %

Spesifikasi Kwh Meter yang terpasang di Gd. DPP AKLI Tebet

Merk : Sigma Electric

Type : SE 88A1, kWh Meter Satu Fasa 2 kawat, kelas 2

230V, 5 (20), A, 50Hz, 900

Putaran/kWh , 4.400 VA





kWh Meter standard ( Terkalibrasi):  $A=0,5$  A,  $V=230$  V,  $P=103,5$  W,  $N=10$  Putaran(revolusi) dan  $t= 6,46$  detik

Dimana  $C= 900$  Rev/kWh,  $t= 6,46$  detik/60 jam diperoleh energi sebesar  $0,011$  kWh

$N$  sesungguhnya =  $0,011$  kWh x  $900$  REV/kWh =  $10,02$

$\% E = 10,02 - 10 \times 100 \% = 2 \%$  (Sesuai dengan standard Tera PLN)

Data Gedung DPP AKLI : Daya:  $4.400$ VA,  $V=220,2$  V,  $\text{Cos } \Phi = 1$



Gambar 4. Diagram pengukuran

Hidupkan alat ukur Harmonic Analyzer GAE EMG 50, terdapat parameter utama yang berupa: Measure, Meter, Alarm dan Analysis setelah itu terdapat sub parameter Pilih harmonik dan akan keluar spectrum maupun table dari arus maupun tegangan.



Gambar 5. Spektrum harmoni dan bentuk gelombang Arus

Pada keadaan beban puncak di Gedung Akli Tebet (9.00-10.00) spektrum harmonik arus yang dominan meliputi nomor harmonik 3,5,7,9,11,13, dan 15.

Bentuk gelombang arus akan terdistorsi akibat adanya beban non linier dengan spectrum harmonik arus 3,5,7,9,11,13,



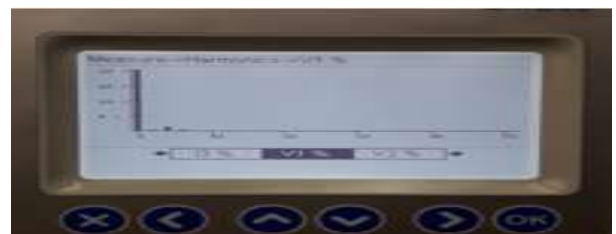
Gambar 6. Data % Spektrum Harmonik Arus Data % nomor harmonik arus menunjukkan nilai arus (A)

Tabel 1. Data Spektrum Harmonik Arus

Nomor Harmonik	Harmonik Arus%	Arus (A)
3	15,07	2,1
5	5,08	0,7
7	3,33	0,47
9	0,84	0,11
11	1.23	0,17
13	2,04	0,28

Dari Persamaan 2 didapatkan THD% Arus =  $27,4\%$

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan harmonisa arus , menunjukkan nilai THD% =  $27\%$ . Hal ini menunjukkan bahwa kandungan harmonisa arus diatas nilai standard yang direkomendasikan oleh IEEE no 519 Tahun 1992 sebesar kurang dari  $5\%$ .



Gambar 6. Spektrum Harmonik dan bentuk gelombang Tegangan

Pada keadaan beban puncak di Gedung AKLI Tebet (9.00-10.00) spektrum harmonik tegangan yang dominan meliputi nomor harmonik 3,5,7,9,11,13.



Gambar 5, Data % Harmonik Tegangan

Tabel 2. Data THD% Tegangan kWh Meter Analog

Nomor Harmonik	Harmonik% Tegangan	Tegangan ( V )
3	0,40	0,9
5	1,89	4,3
7	0,07	0,16
9	0,53	1,2
11	0,34	0,77
13	0,04	0,09

Dari Persamaan 1 didapatkan  $THD\% V = 2,89\%$

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan harmonisa Tegangan , menunjukkan nilai  $THD\% = 3,2$ . Hal ini menunjukkan bahwa kandungan harmonisa tegangan dibawah nilai standard yang direkomendasikan oleh IEEE no 519 Tahun 1992 .

Tabel 3. Analisa Kerugian Daya harmonik

No. Harmonik	Volt (V)	Cos Phi	Ampere (A)	Revolusi (N)	Daya (Watt)
3	0,9	0,96	2,1	10	469
5	4,3	0,96	0,7	10	159
7	0,16	0,96	0,47	10	107
9	1,2	0,96	0,11	10	25
11	0,77	0,96	0,17	10	38,76
13	0,09	0,96	0,28	10	63,84

Sebelum melakukan perhitungan error, terlebih dahulu ditentukan dayanya, selanjutnya dengan persamaan 9 didapatkan  $t = 4,7$  satuan waktu atau  $4,7/60$  jam diperoleh energi sebesar  $0,078$  kWh. Karena  $C = 900$  rev/kWh, maka putaran sesungguhnya adalah revolusi  $= 0,0078$  kWh  $\times$   $900$  rev/kWh atau senilai  $70,2$ . Dengan membandingkan nilai putaran yang terukur sebesar  $10$  0revolusi, maka prosentase *error* di peroleh sebesar  $29\%$ .

#### 4. Kesimpulan

1. Penggunaan beban non linier oleh konsumen akan menimbulkan arus maupun tegangan terdistorsi yang akan mengakibatkan terjadinya kerugian terhadap kapasitas layanan dari kWh meter.
2. Gangguan Harmonik akan menghasilkan bentuk gelombang tegangan maupun arus yang non sinusoida sedangkan kWh meter didesain untuk tegangan maupun arus sinusoida.
3. Kandungan harmonisa Tegangan , menunjukkan nilai  $THD\% = 2,89\%$  .Hal ini menunjukkan bahwa kandungan harmonisa tegangan dibawah nilai standard yang direkomendasikan oleh IEEE no 519 Tahun 1992
4. Kandungan harmonisa arus , menunjukkan nilai  $THD\% = 27,4\%$ .Hal ini menunjukkan bahwa kandungan harmonisa arus diatas nilai standard yang direkomendasikan oleh IEEE no 519 Tahun 1992 sebesar kurang dari  $8\%$ .
5. Harmonik arus akan menimbulkan presentasi kesalahan sebesar  $29\%$  dengan putaran /rev .  $10$  didapatkan waktu  $4,7$  detik .

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Penangsang O., 2002, Faktor Daya dan Harmonisa pada Sistem Kelistrikan yang Mengandung Harmonisa, Tutorial SSTE, ITS Surabaya
- [2] Enokela, J.A. (2007). A comparison of performances of electronic and electromechanical energy meters. *Nigerian Journal of Technology*, 26(2), 56-62.
- [3] Irfan Kurniawan, (2012) ,Analisis Pengaruh Harmonik terhadap penyimpangan Pengukuran Energi Listrik Pada Kwh meter Analog dan Digital, Skripsi UI
- [4] Alauddin, Z. (2015). Perbandingan Keekonomisan Kwh Meter Analog Dan Digital Pada R1 Tahun 2013. <http://begalilmu.blogspot.co.id/2015/06/perbandingan-keekonomisan-kwh-13-meter.html>.
- [5] Bluejay, M. (2016). Saving Electricity.<http://michaelbluejay.com/electricity/>  
Goyal, N. (2014). Energy Meter Working Principle: Electrical Meter Working. <http://electrialstandards.blogspot.co.id/2014/07/energy-meter-working-principle.html>

## ANALISIS HIDROCARBON BERBASIS KONTROL FUZZY PADA AIR CONDITIONER

Muhammad Ihwan Safari<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

*e-mail : ihwansafari@gmail.com*

### Abstrak

Hal – hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan Air Conditioner (AC) adalah mempertahankan suhu ruangan antara 22,8°C sampai 27,1°C, efisiensi energi listrik, ramah lingkungan dan efisiensi kerja dari mesin pendingin. Untuk memperoleh hasil yang diinginkan maka bahan pendingin AC tersebut harus di ganti menggunakan *hidrocarbon* (HC) berbasis kontrol *fuzzy*, sehingga diperoleh hasil yang lebih baik karena terkontrol dan akurat. Diharapkan dengan penelitian ini seluruh AC yang ada sekarang bisa menggunakan *hidrocarbon* berbasis kontrol *fuzzy*. Pada penelitian ini diteliti bagaimana cara mengontrol tekanan, temperature dan arus listrik menggunakan kontrol *Fuzzy*. Untuk itu dibutuhkan perangkat berbasis IoT agar datanya dapat dianalisis secara akurat dan terus menerus. Perangkat ini menggunakan sensor suhu , arus pada *indoor* unit dan tekanan bahan pendingin pada *outdoor* unit. Obyek penelitian ini akan membutuhkan dua buah unit AC yang menggunakan bahan pendingin refrigerant R22 dan *hydrocarbon*. Sehingga hasil kedua data ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk digunakan mengganti bahan pendingin antara *refrigeran* R22 dengan *refrigeran hydrocarbon*).

*Keywords: Air Conditioner , Control, Design, Fuzzy, Hidro Carbon*

### 1. Pendahuluan

Penggunaan Energi di Indonesia berkembang sangat pesat sehingga diperlukan bagaimana cara memperoleh efisiensi energi agar energi tersebut dapat dipergunakan dengan baik, salah satu penggunaan energi yang besar adalah pada mesin pendingin udara (AC) . Hampir seluruh rumah tangga menggunakannya, Beban listrik yang digunakan sangat besar sehingga perlu dilakukan inovasi dan penelitian bagaimana cara mengeffisienkan energi yang digunakan serendah mungkin, sehingga diperoleh manfaat oleh seluruh masyarakat.

Dengan penggunaan energi yang besar pada AC ini maka diperlukan bahan pendingin Hidrocarbon berbasis kontrol fuzzy, sehingga permasalahan penggunaan energi yang besar pada AC dapat teratasi. Alat control fuzzy saat ini belum berkembang sehingga perlu di teliti dan hasilnya dapat diterapkan untuk mengganti sistem pengkondisian udara yang ada saat ini.

Menurut Sri Kusuma Dewi, logika fuzzy merupakan salah satu komponen pembentuk Soft Computing. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Dengan inferensi Fuzzy dapat ditentukan suhu optimal yang akan dikeluarkan oleh pendingin ruangan pada ruang tertutup berdasarkan jumlah orang, besar ruangan (m<sup>2</sup>), jumlah pendingin ruangan, dan spesifikasi besaran daya kompresor AC yang digunakan. Besaran AC yang digunakan adalah dalam satuan PK (Paard Kracht) yang setara dengan 9000 BTU/hr (British Thermal Unit). Suhu yang optimal akan memberi pengaruh positif bagi kesehatan dan penghematan energi dan juga memberikan kenyamanan bagi kita.

#### 1.1. Energi

Untuk menyatakan jumlah energi, ada beberapa satuan yang digunakan, misalnya joule, kWh, BTU dan sebagainya. Satuan joule merupakan satuan standart

internasional (SI) yang biasa digunakan untuk semua bentuk energi. Sedangkan kWh adalah satuan yang biasa digunakan untuk menyatakan energi listrik. Salah satu cara yang paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi melalui bentuk energi listrik. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam dan batubara), hidro, panas bumi dan nuklir diubah menjadi energi listrik.

Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan poros turbin menjadi energi listrik tiga fase. Melalui transformator penaik tegangan (step up transformator), energi listrik ini dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Peningkatan tegangan dimaksud untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir melalui saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan ini berarti mengurangi rugi-rugi panas yang terjadi (heat lost) yaitu sebesar  $I^2R$ . Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah dengan transformator penurun tegangan (step down transformator).

## 1.2. Konservasi Energi

Dikatakan dalam konservasi energi menurut SNI 6390:2011, yaitu Konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung, adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu untuk melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya tanpa mengorbankan tuntutan kenyamanan manusia dan atau menurunkan kinerja alat. Penghematan energi dapat menyebabkan berkurangnya biaya, serta meningkatkan efisiensi dan keuntungan. Masalah yang dibahas di dalam penulisan ini mengenai besar arus pengaman dan penampang Hantaran serta rugi-rugi atau susut tegangan (Drop Voltage).

## 1.3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Listrik Indikator utama penghematan energi di sebuah gedung umumnya menggunakan Intensitas Konsumsi Energi (IKE). IKE menunjukkan besarnya konsumsi energi (kWh) per meter persegi (m<sup>2</sup>) setiap bulan. Angka IKE (kWh/m<sup>2</sup>/bulan) diperoleh dengan membagi jumlah kWh penggunaan listrik selama sebulan dengan luas bangunan yang digunakan. Untuk perhitungan IKE direkomendasikan melalui Permen ESDM No.13 Tahun 2012 akan menentukan apakah sebuah bangunan tergolong sangat efisien, efisien, cukup efisien dan boros Adapun identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penggunaan AC di dalam ruang saat ini belum efektif dan efisien karena besar ruangan, jumlah orang yang ada di ruangan, jumlah AC, dan kapasitas masing-masing AC belum terkontrol dalam penggunaan AC itu sendiri.

2. Karena belum terkontrol sehingga terkadang AC yang dihidupkan di ruangan terlalu dingin. Dampaknya adalah pada pemakaian listrik setiap bulannya yang selalu meningkat

3. Karena suhu di ruangan tidak stabil menyebabkan ketidaknyamanan penghuni yang berada di dalam ruangan yang terkadang suhu teralalu dingin dan panas.

Tujuan penelitian ini adalah membangun suatu sistem dalam pengendalian AC dengan menggunakan bahan pendingin Hidrocarbon berbasis kontrol fuzzy, sehingga diperoleh efisiensi energi yang rendah dan kenyamanan bagi penghuni.

## 2. Metode Penelitian

Metode pelaksanaan penelitian yang penulis lakukan melalui studi literatur, dipelajari teori-teori yang berhubungan dengan logika, dasar matematika, dan khususnya tentang penggunaan metode *fuzzy*, karakteristik bahan pendingin sintesis dan alami. Sumbernya berupa buku, jurnal, paper, maupun situs internet yang berhubungan dengan logika *fuzzy*. pengumpulan data, analisa masalah, pengolahan data menggunakan sistim *fuzzy*, observasi lapangan terhadap bagian-bagian dari sistem control *fuzzy* yang didesain sebagai perhitungan hasil dari efisiensi energi yang di dapatkan.

### Efek Refrigasi

$$ER = h1 - h4 \text{ (BTU/lbm)} \quad (1)$$

### Kerja Kompresi

$$w = h2 - h1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2)$$

### Jumlah sirkulasi refrigasi

$$G = \frac{Q}{q_e} \left( \frac{kg}{hr} \right) \quad (3)$$

### Daya Kompresor

$$N = G \cdot W \text{ (kW)} \quad (4)$$

$$N_{adb} = \frac{N}{Eff_{adb}} \left( \frac{kg}{hr} \right)$$

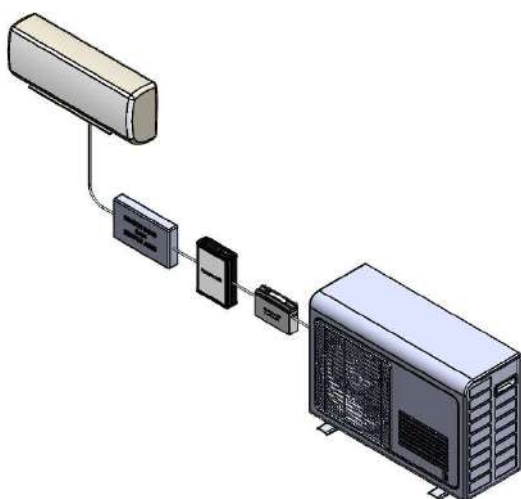
### Koefisiensi Prestasi (COP)

$$COP = \frac{q_e}{w} \text{ (kg/hr)} \quad (5)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

Sensor suhu menggunakan LM35, kerjanya membaca suhu sekitar kemudian mengirimkan tegangan analog ke controller esp32 berbasis IoT untuk diproses menjadi data suhu, sensor arus membaca arus outdoor unit. Perangkat sensor ini akan membaca unit AC R22 dan

Hidrocarbon sehingga akan terlihat perbedaan daya antara kedua jenis unit AC tersebut. Controller merupakan salah satu perangkat IoT yang akan mengirimkan data-data antara kedua unit AC ini untuk dibandingkan. Selain daripada itu kinerja motor compressor dikendalikan menggunakan metode *fuzzy* yang ditanamkan pada inverter 1 phase agar efisiensi daya meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Model 3D AC dengan fuzzy kontroller

Berdasarkan perhitungan dari Pers. (1) didapati efek refrigasi HC sebesar 500 kJ/kg. Kerja kompresi dapat dihitung dari Pers. (2) didapati hasilnya sebesar 88kJ/kg. Perhitungan dari Pers. (3) jumlah sirkulasi refrigasinya menjadi 38 kg/hr. Untuk daya kompresornya menurut Pers. (4) adalah 1,23 HP. Sehingga, COP nya didapati dari Pers. (5) adalah 5,68.

Tabel 1. Komparasi R-22 dengan HC

Perhitungan	R-22	HC
Efek refrigasi (ER)	145,3 kJ/Kg	<b>500 kJ/Kg</b>
Kerja kompresi (w)	38,4 kJ/kg	<b>88 kJ/kg</b>
Jumlah sirkulasi (G)	130,88 kg/hr	<b>38 kg/hr</b>
Daya Kompresor (N)	1,876 HP	<b>1,23 HP</b>
Koefisien prestasi (COP)	3,78	<b>6,7</b>

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil desain dan perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sistem yang dibuat dapat memudahkan dalam menentukan suhu yang efektif dan efisien dalam ruangan, sehingga penggunaan AC tepat.
2. Sistem ini dapat mengontrol penggunaan AC dan lebih menghemat pemakaian listrik sebesar 50 % bisa mencapai lebih atau kurang tergantung suhu di dalam dan luar ruangan.
3. Sistem ini bisa menjaga kestabilan suhu ruangan sehingga memberikan kenyamanan penghuni dalam melakukan aktifitas sehari-hari.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Gusrino Yanto. 2017. Logika *Fuzzy* Untuk Kendali Suhu Ruangan pada pendingin ruangan (AC ) FISITEK: Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi, Vol. 1, No. 2 , 2017
- [2] Tohazen 2019, Tesis “ Kendali Motor kompresor Sistem Pendinginan Untuk Peningkatan Efisiensi Pemakaian Energi Menggunakan Metode Fuzzy-PID. Politeknik Negeri Jakarta.
- [3] Affan Bachri, 2015, “Analisis Efisiensi Pemakaian Daya Listrik” Jurnal Teknik Dosen Teknik Elektro Universitas Islam Lamongan.
- [4] Informasi tentang produk MUSIcool. tanggal 30 Desember 2014 di: <http://www.pertamina.com/produk/musicool/musicool-22>
- [5] M. Parvez, “ Hybrid Fuzzy and PID Controller Based Inverter to Control Speed of AC Induction Motor” no. November, pp. 4-6, 2015
- [6] Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. 2012. [www.energiefficiencyasia.org](http://www.energiefficiencyasia.org).
- [7] M. Ihwan 2011, “Analisa Performance Bahan Pendingin Hidrocarbon (HC) Terhadap R-22 Pada Pengkondisian Udara Ruangan dengan Kapasitas 18.000 BTU/ hr”
- [8] Sri Kusumadewi & Hari Purnomo, 2010, “Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan”, Penerbit GRAHA ILMU

## RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP MATAHARI *PATCH ARRAY* 2X1 UNTUK SISTEM NOTIFIKASI JADWAL MATA KULIAH

Anik Tjandra Setiati<sup>1</sup>, Toto Supriyanto<sup>2</sup>, Trianusa Putra<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI Depok 16424

E-mail: [anik.tjandrasetiati@elektro.pnj.ac.id](mailto:anik.tjandrasetiati@elektro.pnj.ac.id)<sup>1</sup>, [toto.supriyanto@elektro.pnj.ac.id](mailto:toto.supriyanto@elektro.pnj.ac.id)<sup>2</sup>, [trianusaputra@gmail.com](mailto:trianusaputra@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*The teaching and learning process at the Jakarta State Polytechnic has a strict discipline system, if there are students who are late for class will be subject to compensation sanctions. Each change of course students must immediately enter the next class, both theory and practice. Sometimes the lecturer change of lecture hours forgets that the class time is over, or students if they are taking a break forget that the next lesson has begun. It is necessary to create a system that can notify lecturers' schedule, change of lecture hours to lecturers or students. This system requires wifi and access points that will be connected to the cellphones of students and lecturers. At the wifi access point using the default antenna. This antenna is not too far access range. In order to make the distance of the Sun Patch Array 2x1 microstrip antenna even longer as a substitute for the built-in antenna function. The Sun Patch Array 2x1 microstrip antenna works at a frequency of 2.4 GHz. The antenna parameter measurement results obtained return loss value -38.0569 dB, gain 4.669 dB, VSWR 1.025, HPBW 70°, and omnidirectional radiation patterns. Antenna application testing is performed at the PNJ telecommunications laboratory. When using a built-in antenna, packet loss occurs at 5.2%, while using a microstrip sun antenna at 2%. For delays that occur during the process of sending data packets, use a default antenna of 97.3 ms, while using a microstrip antenna of 95.5 ms.*

*Keywords : the sun microstrip antenna, courses, return loss, wifi*

### ABSTRAK

Proses belajar mengajar di Politeknik Negeri Jakarta memiliki sistem disiplin yang ketat, jika ada mahasiswa yang terlambat masuk kelas akan dikenakan sanksi kompensasi. Setiap pergantian matakuliah mahasiswa harus segera masuk kelas berikutnya, baik teori ataupun praktik. Kadang pergantian jam matakuliah dosen lupa kalau jam pelajarannya sudah selesai, atau mahasiswa jika sedang istirahat lupa kalau pelajaran berikutnya sudah dimulai. Perlu dibuat sistem yang dapat memberitahukan tentang jadwal kuliah, pergantian jam matakuliah kepada dosen ataupun mahasiswa. Sistem ini memerlukan wifi dan access point yang akan terhubung ke handphone mahasiswa dan dosen. Pada access point wifi menggunakan antena bawaan. Antena ini tidak terlalu jauh jangkauan aksesnya. Agar jarak jangkauan lebih jauh dibuat antena mikrostrip Matahari Patch Array 2x1 sebagai pengganti fungsi antena bawaan. Antena mikrostrip matahari patch array 2x1 bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Hasil pengukuran parameter antena diperoleh nilai return loss -38,0569 dB, gain 4,669 dB, VSWR 1,025, HPBW 70°, dan pola radiasi omnidirectional. Pengujian aplikasi antena dilakukan pada laboratorium telekomunikasi PNJ. Saat menggunakan antena bawaan, paket loss yang terjadi sebesar 5,2%, sedangkan menggunakan antena mikrostrip matahari sebesar 2%. Untuk delay yang terjadi pada saat proses pengiriman paket data, menggunakan antena bawaan sebesar 97,3 ms, sedangkan menggunakan antena mikrostrip sebesar 95,5 ms.

*Kata kunci : antena mikrostrip matahari, matakuliah, return loss, wifi*

### 1. Pendahuluan

Proses belajar mengajar di Politeknik Negeri Jakarta memiliki sistem disiplin yang ketat, di mana diberlakukan sistem kompensasi. Sistem pendidikan di

Politeknik jika ada mahasiswa yang terlambat masuk kelas akan dikenakan sanksi kompensasi. Untuk pembelajaran matakuliah dibagi dua macam yaitu teori dan praktik. Teori dilakukan di gedung teori dan praktik

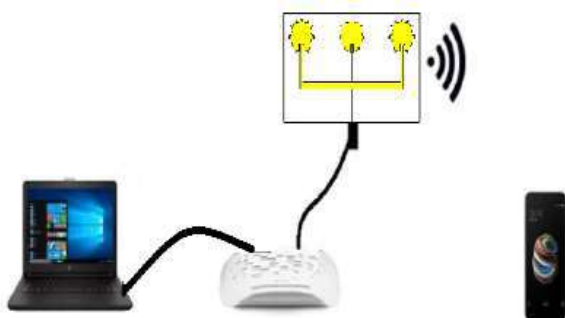


dilakukan di gedung laboratorium. Setiap pergantian jam matakuliah mahasiswa harus segera masuk kelas selanjutnya, baik teori ataupun praktik. Kadang pergantian jam matakuliah selanjutnya dosen lupa kalau jam pelajarannya sudah selesai. Hal ini berakibat dosen matakuliah selanjutnya menunggu dosen sebelumnya keluar kelas. Masalah lain jika perpindahan matakuliah teori ke praktik atau sebaliknya mahasiswa memerlukan waktu untuk perpindahan kelas kuliahnya. Ini mengakibatkan mahasiswa menjadi terlambat masuk kelas berikutnya dan akan dikenakan sanksi kompensasi. Kadang mahasiswa pun jika sedang istirahat lupa kalau pelajaran berikutnya sudah dimulai. Untuk itu perlu dibuat suatu sistem yang dapat memberitahukan tentang jadwal matakuliah, pergantian matakuliah kepada dosen ataupun mahasiswa, dan juga informasi-informasi dosen kepada mahasiswa. Sistem ini memerlukan *wifi* dan *access point* untuk dapat terhubung ke *handphone android* mahasiswa dan dosen. Pada *access point wifi* menggunakan antenna bawaan (*default*) monopole [1],[2],[4]. Antena ini tidak terlalu jauh jangkauan aksesnya. Untuk itu perlu dibuat antenna pengganti agar jarak jangkauan lebih jauh. Pada penelitian ini dibuat sebuah antenna pengganti yaitu antenna mikrostrip Matahari *Patch Array 2x1*[5],[6]. Antena ini akan menggantikan fungsi antenna monopole bawaan pada *access point*. Dengan adanya sistem ini diharapkan proses belajar mengajar akan lebih lancar dan komunikasi antara dosen dan mahasiswa dalam hal pembelajaran dapat lebih baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat desain dan merealisasikan Antena mikrostrip Matahari *patch array 2x1* pada frekuensi 2,4 GHz menggunakan software *CST Studio Suite 2016*, melakukan pengujian antenna pada sistem notifikasi jadwal mata kuliah, dan membuat jaringan yang dapat menghubungkan antara *handphone* dengan *access point* [3].

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat antenna mikrostrip Matahari *Patch Array 2x1* dengan frekuensi kerja 2,4GHz. Antena ini akan ditempatkan pada *access point* jaringan *wifi*. Ilustrasi dari sistem diperlihatkan pada Gambar 1.



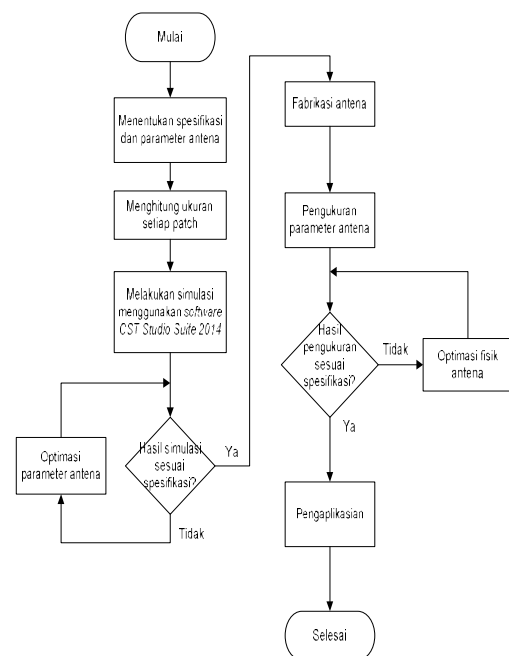
Gambar 1. Sistem Notifikasi Jadwal Matakuliah

Laptop/ PC berfungsi sebagai server. Data yang berasal dari server akan ditransmisikan menggunakan jaringan *wifi*, dimana pada jaringan ini terdapat *access point* yang terhubung dengan antenna mikrostrip Matahari *Patch Array 2x1* sebagai antenna pemancar. Kemudian antenna pemancar akan mengirimkan sinyal secara *point to multipoint* ke *handphone android*.

Metode penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menentukan spesifikasi antenna;
2. Melakukan perancangan antenna;
3. Melakukan simulasi dengan software CST;
4. Fabrikasi antenna;
5. Melakukan pengujian parameter-parameter antenna;
6. Melakukan pengujian antenna untuk aplikasi sistem notifikasi jadwal kuliah;

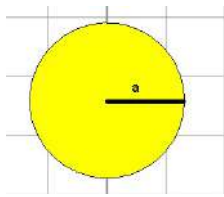
Gambar 2 memperlihatkan diagram alir proses perancangan antenna.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Antena

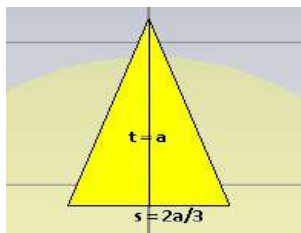
Spesifikasi antenna *matahari patch array 2x1 array* yang dirancang adalah frekuensi kerja 2,4 GHz;  $VSWR < 1,5$ ;  $gain > 2$  dB;  $return loss < 10$  dB; pola radiasi *omnidirectional*; Konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) 4,3; dan impedansi sebesar  $50\Omega$ .

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan dimensi saluran, menentukan jari-jari *patch* antenna yang berbentuk dasar lingkaran (*circular*), menentukan tinggi dan alas *patch* segitiga. Jenis *patch* yang akan digunakan pada antenna mikrostrip ini adalah *patch* yang berbentuk lingkaran (*circular*), diperlihatkan pada Gambar 3.



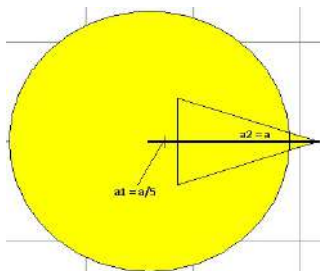
Gambar 3. Jari-jari Lingkaran Patch Antena

Jenis patch tambahan yang akan digunakan pada antena mikrostrip ini adalah sebelas buah patch berbentuk segitiga (*triangular*), diperlihatkan pada Gambar 4.



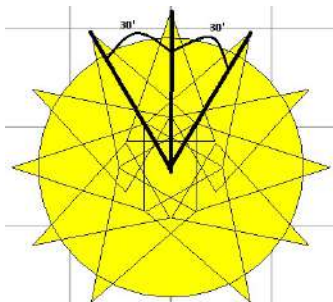
Gambar 4 Perbandingan Tinggi dan Alas Segitiga

Selanjutnya meletakkan patch segitiga tersebut ke dalam lingkaran seperti Gambar 5.



Gambar 5 Perbandingan Letak Segitiga pada Lingkaran

Perbandingan jarak antara pusat lingkaran dengan alas segitiga adalah jarak alas segitiga ( $a_1$ ) sebesar  $1/5$  dari panjang jari-jari lingkaran, dan dilanjutkan dengan tinggi segitiga ( $a_2$ ) sebesar jari-jari lingkaran. Langkah selanjutnya menambahkan model segitiga pada setiap sudut tertentu pada lingkaran. Diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Sudut Tiap Segitiga

Tiap segitiga akan di perbanyak dengan memutar sudut segitiga tersebut sebesar  $30^\circ$  dari titik pusat lingkaran. Pada bagian bawah patch lingkaran tidak diberi model segitiga karena untuk jalur saluran transmisi.

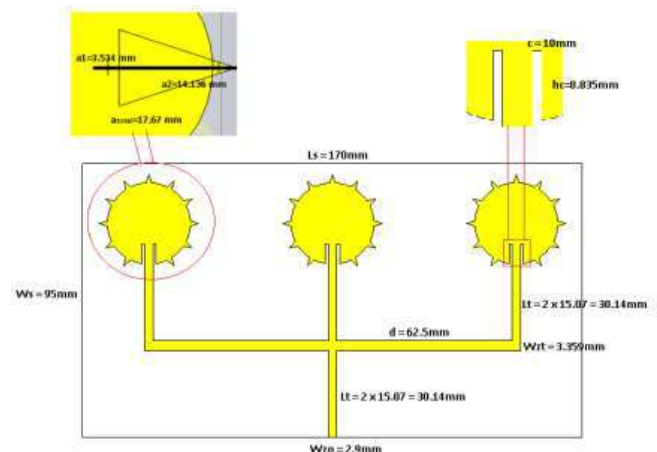
Setelah melakukan perhitungan-perhitungan tersebut, dilakukan simulasi menggunakan software aplikasi antena CST *Studio Suite*. Berdasarkan simulasi ini didapatkan parameter-parameter antena, untuk mengetahui apakah hasil parameter antena sudah sesuai dengan spesifikasi. Selanjutnya dilakukan optimasi pada simulasi CST dengan merubah nilai-nilai hasil perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter antena sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dioptimasi, didapatkan ukuran-ukuran dari perancangan antena mikrostrip matahari seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter Hasil Perhitungan

Parameter	Panjang (mm)
Jari-jari lingkaran (a)	13.134
Tebal patch (t)	0.1
Tebal substrat (h)	1.6
Lebar saluran (Wz0)	2.8
Lebar saluran (Wzt)	5.05
Panjang saluran (Lt)	14.317
Jarak antar elemen (d)	62.5
Lebar substrat (Ws)	90
Panjang substrat (Ls)	170
Lebar inset feed (c)	10
Panjang inset feed (hc)	8.835

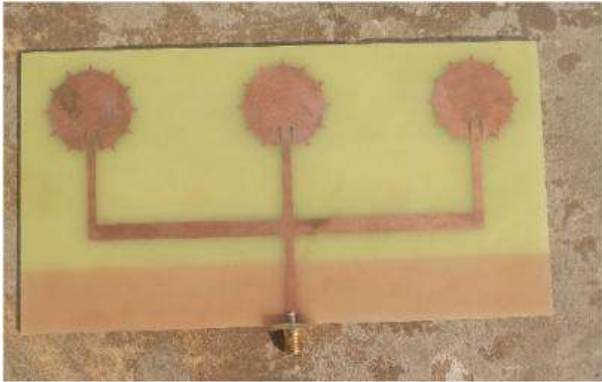
Gambar 7 memperlihatkan bentuk antena hasil perancangan menggunakan software CST.



Gambar 7. Bentuk Antena Mikrostrip Matahari Patch Array 2x1

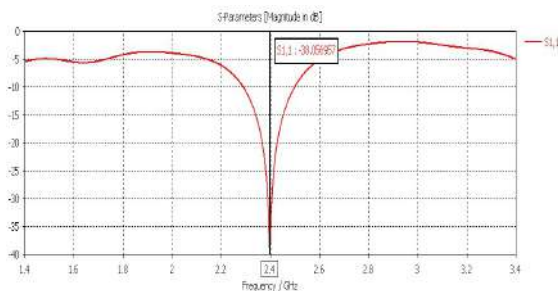
### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi CST yang telah dioptimasi, selanjutnya dilakukan fabrikasi antenna dan diikuti dengan pengujian unjuk kerja antenna. Bentuk antenna yang telah difabrikasi diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk antenna mikrostrip matahari patch array 2x1

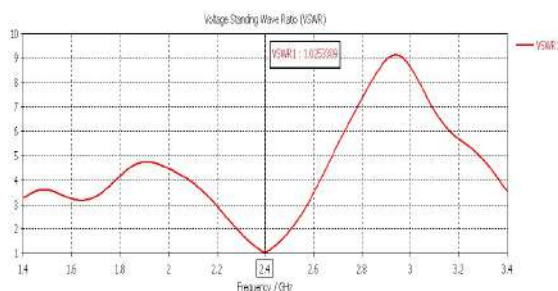
Pengujian unjuk kerja dengan mengukur parameter-parameter antenna apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Gambar 4 memperlihatkan nilai return loss.



Gambar 4. Nilai return loss

Nilai *return loss* antenna pada frekuensi kerja 2,4 GHz didapatkan sebesar -38,0569 dB. Nilai ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu lebih kecil daripada 10 dB.

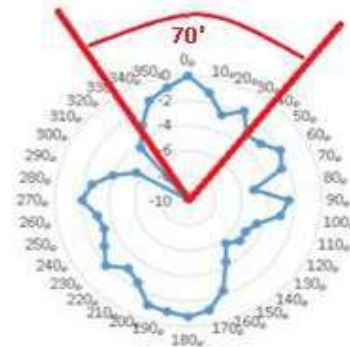
Gambar 5 memperlihatkan nilai VSWR antenna mikrostrip matahari patch array 2x1.



Gambar 5. Nilai VSWR

Nilai VSWR pada frekuensi kerja 2,4 GHz didapatkan sebesar 1,025. Nilai ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu kurang dari 1,5.

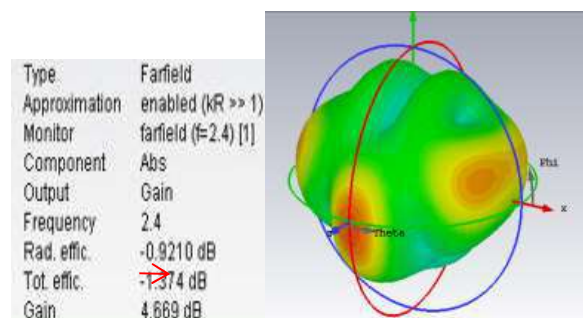
Selanjutnya adalah pengukuran pola radiasi antenna, diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk pola radiasi HPBW

Pola radiasi antenna mikrostrip matahari patch array 2x1 adalah *omnidirectional* dengan level sinyal tertinggi yaitu -30.1 dBm pada sudut 0° dan level sinyal terendah yaitu -39.9 dBm pada sudut 310°. Nilai HPBW sebesar 70°.

Gambar 7 memperlihatkan nilai *gain* antenna.



Gambar 6. Nilai gain antenna

Dari Gambar 7 dapat dilihat nilai gain sebesar 4,669 dB. Nilai gain tersebut memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu lebih besar daripada 2 dB.

Selanjutnya mengetahui nilai *bandwidth* yaitu nilai rentang frekuensi kerja antenna. Besar *bandwidth* diukur berdasarkan nilai VSWR ataupun *return loss*. Berikut nilai *bandwidth* antenna mikrostrip matahari yang dihasilkan berdasarkan hasil pengukuran *return loss*.

$$\text{Frekuensi atas } (f_h) = 2.5 \text{ GHz}$$

$$\text{Frekuensi bawah } (f_l) = 2.2 \text{ GHz}$$

$$BW = f_u - f_l = (2.5 - 2.2) \text{ GHz} = 300 \text{ MHz}$$

Setelah melakukan pengujian parameter antenna, selanjutnya dilakukan pengujian antenna untuk aplikasi sistem notifikasi jadwal matakuliah. Antena dipasangkan pada *access point wifi*, dan pengujian

dilakukan seperti pada Gambar 1. Untuk mengetahui konektivitas antara perangkat laptop, wifi, dan *hadphone* dilakukan tes *ping* terlebih dahulu. Selanjutnya menguji apakah antenna yang telah dihubungkan ke *access point* mampu mentransmisikan paket data dari laptop ke perangkat *handphone* dan mengukur *delay* yang terjadi.

Pengujian aplikasi dilakukan di laboratorium telekomunikasi PNJ, dengan mengirimkan paket data sebesar 64 bytes yaitu berupa jadwal matakuliah dan informasi-informasi seputar proses pembelajaran, dilakukan sebanyak 8 kali, dan selanjutnya diambil nilai rata-rata. Pada saat menggunakan antenna bawaan (*default*), paket *loss* yang terjadi sebesar 5,2%, sedangkan menggunakan antenna mikrostrip matahari sebesar 2%. Untuk *delay* yang terjadi pada saat proses pengiriman paket data, menggunakan antenna *default* *delay* sebesar 97,3 ms, sedangkan menggunakan antenna mikrostrip sebesar 95,5 ms. Hal ini berarti dengan menggunakan antenna mikrostrip matahari lebih baik dalam pengiriman data dan *delay* yang terjadi lebih kecil.

#### 4. Kesimpulan

Hasil perancangan antenna mikrostrip matahari *patch array* 2x1 telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu nilai *return loss* sebesar -38,0569 dB, VSWR 1,025, gain sebesar 4,669 dB, dan pola radiasi *omnidirectional*. Pengujian aplikasi antenna dilakukan pada laboratorium telekomunikasi PNJ. Pada saat menggunakan antenna bawaan (*default*), paket *loss* yang terjadi sebesar 5,2%, sedangkan menggunakan antenna mikrostrip matahari sebesar 2%. Untuk *delay* yang terjadi pada saat proses pengiriman paket data,

menggunakan antenna *default* sebesar 97,3 ms, sedangkan menggunakan antenna mikrostrip sebesar 95,5 ms. Ini berarti dengan menggunakan antenna mikrostrip matahari lebih baik dalam pengiriman data dan *delay* yang terjadi lebih kecil.

#### Daftar Acuan

- [1] Alaydrus, Mudrik, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2011.
- [2] Balanis, Constantine A, *Antena Theory: Analysis and Design, 2nd Edition*. John Wiley and Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2005.
- [3] Mufti, N Ardiansyah, *Sistem Antena dan Pengukuran Antena, Modul 6. Mobile Communication Laboratory STT Telkom*, Bandung, 2004.
- [4] Purbo W. Onno, *Internet Wireless dan Hotspot*, Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta, 2005
- [5] Pratama, Ariestya Yoga, *Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Circular Array*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, 2008.
- [6] Rahmadyanto, Heri, *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Slot Triangular Array 8 Elemen dengan Pencatuan Mikrostrip Feedline Secara Tidak Langsung Untuk Aplikasi Wimax*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2013.

## Implementasi Biotransduser Amperometrik Dengan Metode Teknologi *Screen Printing*

Aminuddin Debatara<sup>1</sup>, Syupriadi Nasution<sup>1</sup>, Zainal Nur Arifin<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy  
Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok 16425

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy  
Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok 16425

email : [adebatara@yahoo.com](mailto:adebatara@yahoo.com)

### Abstrak

Dalam artikel ini dilakukan proses perancangan bentuk tata letak sensor yang akan dibuat, perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam proses perancangan ini menggunakan layout editor. Perancangan desain tata letak elektroda sensor menggunakan konfigurasi tiga elektroda yaitu elektroda kerja (*working*), elektroda referensi (*reference*) dan elektroda bantu (*auxiliary*) berbahan emas serta elektroda referensi berbahan Ag|AgCl melalui proses electroplating. Pengujian kestabilan elektroda referensi dilakukan dengan melakukan pengukuran beda tegangan yang terjadi antara prototip elektroda referensi yang dibuat dengan elektroda referensi acuan (standar) di dalam larutan elektrolit jenuh. Dalam proses ini telah dilakukan pengujian empat buah sample dari elektroda referensi dengan beda potensial yang diperoleh terhadap elektroda referensi acuan pada rentang 97 – 100 mV. Secara umum kinerja elektroda referensi Ag|AgCl dapat dikatakan cukup baik dan dapat digunakan pada divais biosensor *uric acid*. Hasil pengujian tegangan eksternal optimum menunjukkan pemberian tegangan potensial yang berlebih ( $> 0,8V$ ) dapat mengakibatkan terjadinya over-oksidasi pada permukaan elektroda *working*. Hal ini mengakibatkan terjadi degradasi kualitas dari elektroda yaitu terlihat bahwa permukaan emas pada elektroda *working* terjadi pembentukan senyawa sebagai akibat oksidasi-reduksi. Dengan demikian penentuan tegangan eksternal optimum sangat lah penting untuk menjaga kinerja strip biosensor, dari data karakterisasi pada grafik yang ditunjukkan, bahwa bio sensor bekerja pada kisaran 0,4 – 0,7V. Namun over-oksidasi terjadi pada rentang maksimum di atas 0,8 V sehingga dipilih tegangan optimum pada rentang tegangan 0,4 – 0,7 V.

Kata kunci: Disain, Amperometrik, Biosensor, Elektroda.

### 1. Pendahuluan

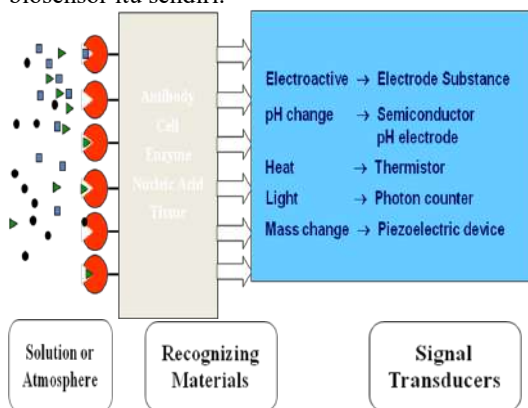
Bio-sensor pertama kali diperkenalkan dan dikomersialisasikan pada tahun 1970 oleh Yellow Springs Instrument Co. Dimana produk yang dihasilkan untuk mengukur kadar glukosa (glukosa) dalam darah, kadar urin dan *bioprocessing*. Biosensor saat ini banyak digunakan untuk berbagai divais termasuk memonitor segala sesuatu yang berhubungan dengan *bio-element*. Menurut IUPAC, bio-sensor dapat didefinisikan sebagai divais analisa yang kompak dimana terdapat *biological sensing element* yang terintegrasi dengan transduser *physicochemical* [1].

Biosensor merupakan metoda analisis yang menggunakan komponen biologi aktif yang diintegrasikan dengan peralatan elektronik untuk menentukan kadar suatu

senyawa [1, 2]. Teknik analisa dengan menggunakan biosensor dalam bidang kesehatan telah banyak digunakan untuk berbagai keperluan diagnosa seperti mengukur kadar karbohidrat (glukosa, galaktosa dan fruktosa), proteins (*cholesterol and creatinine*), amino acids (*glutamate*) and metabolites (lactate and urea), lactic acid, uric acid dalam darah, dsb [3-4]. Teknologi biosensor memberikan beberapa keuntungan dibandingkan teknik analisa konvensional yaitu sederhana dan mudah dalam penggunaan, memiliki tingkat spesifitas yang tinggi, waktu proses untuk memperoleh hasil diagnosa yang cepat, memiliki kemampuan untuk pengukuran yang kontinu dan mampu untuk pengukuran dengan berbagai jenis parameter, dimungkinkan untuk dibuat peralatan yang portabel [5-6].



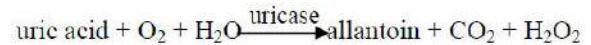
Teknis analisa dengan biosensor adalah mengintegrasikan komponen biologi aktif dengan "transducer" untuk menghasilkan sinyal elektronik yang dapat diukur. Biosensor merupakan sensor kimiawi dimana terdiri dari 3 (tiga) elemen dasar yaitu: reseptor (*biocomponent*), transduser (*physical component*) dan separator (*membrane* atau beberapa jenis *coating*) [2,3]. Reseptor terdiri dari *doped metal oxide* atau *organic polymer* yang dapat berinteraksi dengan "analyte". *Biocomponent* ini dapat berupa enzim, antigen, antibodi, bakteri and *nucleic acids*. Untuk berbagai aplikasi dari biosensor, enzim merupakan senyawa yang paling banyak digunakan sebagai *bioreceptor molecules* atau *biocomponent*. Gambar berikut menjelaskan prinsip biosensor itu sendiri.



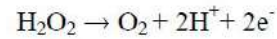
Gambar 1. Prinsip dari Biosensor

Enzim merupakan suatu protein yang dapat mengkatalisis suatu reaksi kimia dalam makhluk hidup. Protein ini memiliki ukuran yang berada pada kisaran 62 residu asam amino hingga lebih dari 2500 residu asam amino. Sama seperti protein, enzim tersusun dari rantai lurus asam amino yang kemudian mengalami proses pelipatan membentuk suatu struktur tiga dimensi. Setiap urutan asam amino yang berbeda akan menghasilkan struktur yang unik dan akan memiliki sifat yang berbeda pula.

Asam urat (*uric acid*) merupakan produk turunan dari purine didalam proses metabolisme tubuh manusia. Sebagai indikator penting secara klinis mengenai kadar asam urat dapat diketahui melalui assay dari uric acid di dalam cairan tubuh seperti serum dan urine. Peningkatan kadar asam urat didalam darah dapat dilihat melalui tanda berupa gout, hyperuricemia ataupun sindrom Lesch-Nyhan [12]. Enzim uricase terkatalis oksidasi in vivo dengan uric acid dan oksigen sebagai oxidizing agent menghasilkan allantoinin dan CO<sub>2</sub> sebagai produk oksidasi terhadap uric acid sedangkan hydrogen peroksida sebagai hasil reduksi dari oksigen seperti yang terlihat pada proses di bawah ini.

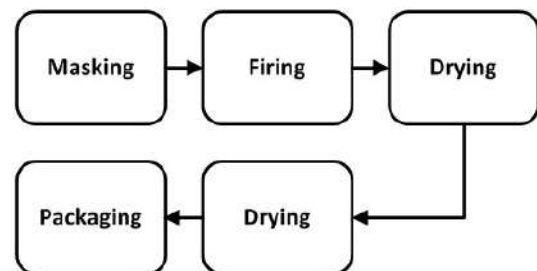


Sedangkan untuk deteksi amperometrik dari uric acid dapat dilakukan melalui proses elektrokimia terhadap hydrogen peroksida yang dihasilkan.



Teknologi Film Tebal merupakan salah satu bagian dari teknologi proses mikroelektronika untuk fabrikasi komponen komponen elektronika secara *screen-printing*. Sejak pertengahan tahun 1960, teknologi proses thick film telah digunakan untuk meminiaturisasi suatu rangkaian elektronika ke dalam sebuah keping substrate, karena kemampuannya menghasilkan jalur konduktor yang sangat kecil (*fine line*).

Proses film tebal (*thick film process*) terdiri dari beberapa tahap yang meliputi pembuatan *screen*, pencetakan, pengeringan (*drying*), pembakaran (*firing*), trimming dan sejumlah proses tambahan lain seperti proses pemasangan kaki (*lead frame*) dan pengemasan (enkapsulasi).



Gambar 2. Tahapan Fabrikasi Teknologi Film Tebal

Dalam urain teori proses teknologi biosensor di atas, permasalahan di Indonesia saat ini adalah bagaimana mengurangi pruduk biosensor luar yang masuk ke Indonesia. Untuk menjawab persoalan ini kami dari tim peneliti biosensor telah melakukan beberapa penelitian aplikasi biosensor untuk kesehatan, pertanian presisi. Dalam penelitian ini difokuskan kepada permasalahan disain dan fabrikasi elektroda serta karakteristiknya dengan teknologi thich film.

## 2. Metoda Penelitian

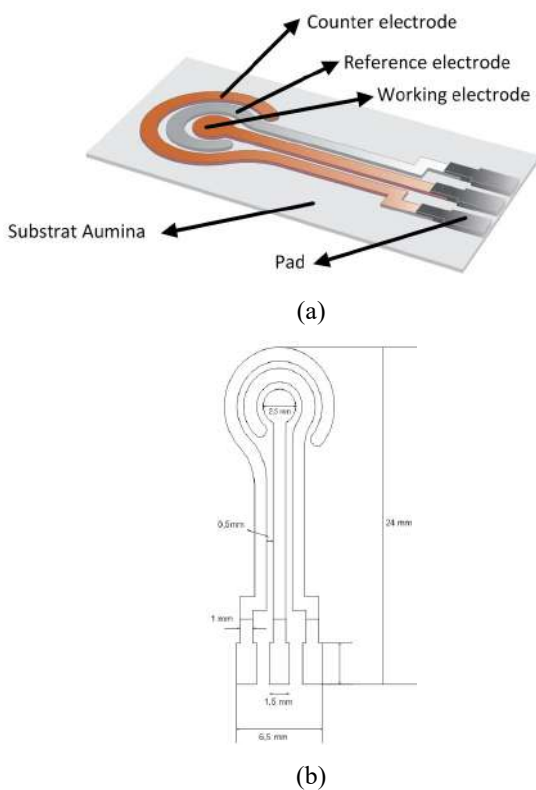
### 2.1 Perancangan Tata Letak Elektroda

Dalam kegiatan ini dilakukan proses perancangan bentuk tata letak sensor yang akan dibuat. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam proses perancangan ini menggunakan layout editor. Perancangan desain tata letak elektroda sensor didasari oleh spesifikasi rancangan sensor yang akan dibuat yaitu konfigurasi elektroda yang akan

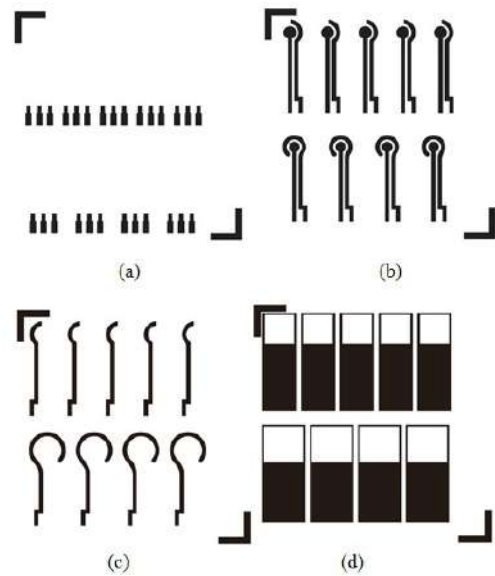


dibuat menggunakan konfigurasi tiga elektroda yaitu elektroda kerja (*working*), elektroda referensi (*reference*) dan elektroda bantu (*auxiliary*).

Oleh sebab itu proses fabrikasi ini diawali dengan proses perancangan tata letak (*layout*) dari elektroda sensor ion nitrat ini menggunakan *software layout editor*. Hasil keluaran dari kegiatan diharapkan telah diperoleh desain tata letak yang akan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan film dalam proses pembentukan masker pada *screen frame*. Dimensi dari elektroda disesuaikan dengan kemampuan maksimal dari peralatan fotolitografi dan *screen printer* yang dimiliki dalam proses teknologi film tebal itu sendiri. Berikut ini adalah hasil perancangan tata letak dari elektroda sensor.



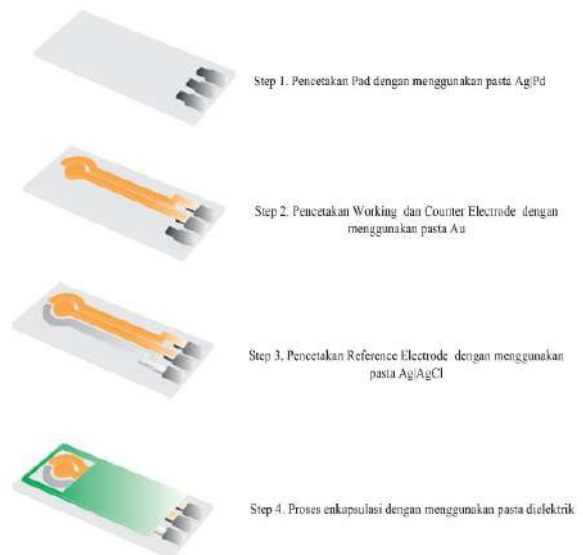
Gambar 3. (a);(b) Tata letak dan dimensi elektroda bosensor.



Gambar 4. Tata letak masker (a) biosensor pad; (b) working & counter electrode; (c) reference electrode; (d) encapsulation.

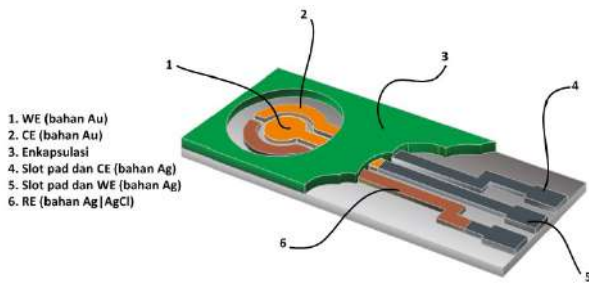
## 2.2 Fabrikasi elektroda biosensor.

Proses fabrikasi elektroda biosensor mengikuti step proses teknologi film tebal, sedangkan tahapan pencetakan elektroda disesuaikan dengan bahan yang digunakan bagi tiap-tiap elektroda. Berikut ini tahapan proses pencetakan dari elektroda biosensor.



Gambar 5. Tahapan fabrikasi elektroda biosensor.

Komposisi lapisan yang difabrikasi terdiri dari beberapa lapisan hasil pembentukan pasta dengan proses fabrikasi film tebal (*thick film*).



Gambar 6. Komposisi lapisan elektroda biosensor.

### 2.3 Pengujian Kestabilan Elektroda Referensi.

Pengujian kestabilan elektroda referensi dilakukan dengan melakukan pengukuran beda tegangan yang terjadi antara prototip elektroda referensi yang dibuat dengan elektroda referensi acuan (standar) di dalam larutan elektrolit jenuh. Jenis elektroda referensi acuan yang digunakan adalah *reference electrode double junction* dari Accumet.

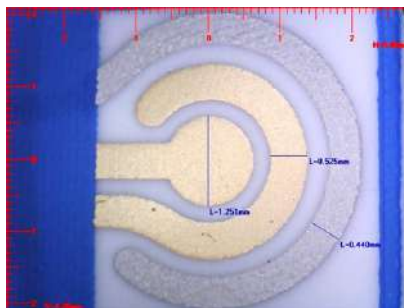
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Fabrikasi Elektroda Biosensor

Hasil proses fabrikasi elektroda biosensor dengan menggunakan teknologi film tebal gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. (a);(b) Hasil fabrikasi elektroda.

### 3.2 Hasil Pengujian dan Karakterisasi

#### 3.2.1 Pengujian Kinerja Elektroda Referensi

Pengujian kinerja elektroda referensi Ag|AgCl ini bertujuan untuk memantau kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh elektroda tersebut. Faktor kestabilan sangatlah memegang peranan penting dalam pengujian dengan menggunakan teknik amperometrik konfigurasi tiga elektroda. Pengujian dilakukan dengan membandingkan tegangan yang dihasilkan melalui proses potensiometri dengan elektroda referensi Ag|AgCl komersial yang diperoleh dari Accumet terhadap larutan elektrolit KCL dengan konsentrasi 0,1 M.

Dalam proses ini telah dilakukan pengujian empat buah sample dari elektroda referensi dengan beda potensial yang diperoleh terhadap elektroda referensi acuan pada rentang 97 – 100 mV. Sedangkan rentang waktu pengujian dilakukan selama 5 – 10 menit. Berikut grafik respon uji kestabilan dari elektroda referensi biosensor uric acid.



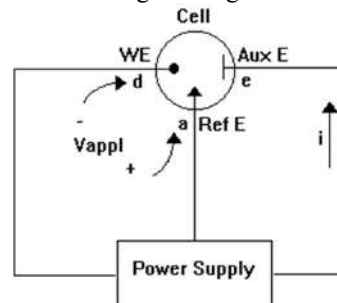
Gambar 8. Hasil pengujian kinerja elektroda referensi.

Secara umum kinerja elektroda referensi Ag|AgCl dapat dikatakan cukup baik dan dapat digunakan pada divais biosensor *uric acid*.

#### 3.2.2 Pengujian Tegangan Eksternal

##### Optimum

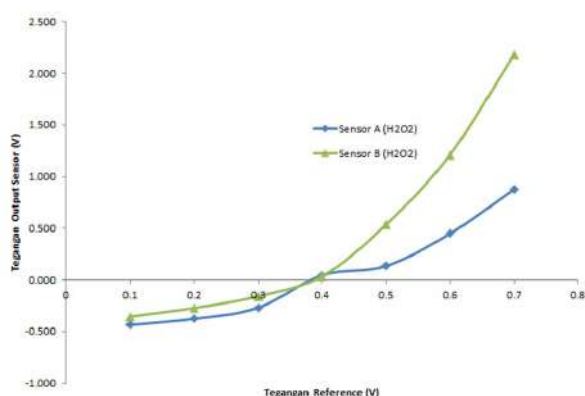
Prinsip kerja pengukuran biosensor *uric acid* ini berdasarkan pada pengukuran arus sebagai akibat reaksi enzimatik antara elektroda *working* dan *reference* dengan menggunakan skema rangkaian tiga elektroda.



Gambar 9. Skema rangkaian tiga elektroda.

Seperti yang diperlihatkan pada gambar 9, tegangan potensial eksternal diberikan pada elektroda referensi sedangkan arus mengalir sebagai akibat reaksi enzimatik diukur dari elektroda *working* dengan *auxiliary*, oleh karena itu perlu dilakukan pengujian besar tegangan eksternal optimum yang dapat *drive* sensor bekerja se-optimum mungkin. Pemberian tegangan eksternal yang berlebih juga dapat menyebabkan elektroda mengalami degradasi kinerja karena terjadi over-oksidasi.

Untuk menentukan besar tegangan eksternal yang akan digunakan, maka dilakukan penapisan beberapa besar tegangan (0.00 volt, 0.10 volt, 0.20 volt, 0.30 volt, 0.40 volt, 0.50 volt, 0.60 volt, 0.70 volt, 0.80 volt) pada *working* elektroda (tanpa enzim) untuk substrat  $H_2O_2$  0.1 mM. Kuat arus yang terbaca kemudian dibandingkan untuk setiap besar tegangan yang digunakan. Percobaan dilakukan selama 90 detik pada tiap tegangan. Semakin tinggi tegangan maka kuat arus yang dihasilkan semakin meningkat pada substrat  $H_2O_2$  0.1 mM.



Gambar 10. Grafik perbandingan tegangan eksternal terhadap kuat arus untuk elektroda kerja.

Dari gambar grafik di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pemberian tegangan potensial yang berlebih ( $> 0,8V$ ) dapat mengakibatkan terjadinya over-oksidasi pada permukaan elektroda *working*. Hal ini mengakibatkan terjadi degradasi kualitas dari elektroda yaitu terlihat bahwa permukaan emas pada elektroda *working* terjadi pembentukan senyawa sebagai akibat oksidasi-reduksi.

Dengan demikian penentuan tegangan eksternal optimum sangat lah penting untuk menjaga kinerja strip biosensor, dari data karakterisasi pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 10, bahwa bio sensor bekerja pada kisaran 0,4 – 0,7V. Namun over-oksidasi terjadi pada rentang maksimum di atas 0,8 V sehingga dipilih tegangan optimum pada rentang tegangan 0,4 – 0,7 V.

#### 4. Kesimpulan

Pembuatan elektroda biosensor dan hasil uji kinerja kestabilan dari elektroda referensi memperlihatkan bahwa elektroda referensi yang telah dibuat memiliki tingkat kestabilan yang cukup baik. Sedangkan untuk pengujian tegangan eksternal optimum yang diberikan pada elektroda biosensor memperlihatkan bahwa biosensor bekerja pada kisaran 0,4 – 0,7V. Namun over-oksidasi terjadi pada rentang maksimum di atas 0,8 V sehingga dipilih tegangan optimum pada rentang tegangan 0,4 – 0,7 V.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M-DIKTI Program Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2012 yang telah mendukung melalui anggaran penelitian sehingga kegiatan penelitian ini dapat dilakukan.

#### Daftar Acuan

- [1] Daniel R.T., Klara T., Richard A.D., George S.W., (1999), "Elektrokimia Biosensors: Recommended Definitions and Classification", *Pure Appl. Chem.*, Vol.71, No.12, pp. 2333-2348.
- [2] Brian R. Eggins, (2002), "Chemical sensors and biosensors", New York :John Wiley.
- [3] Donald L. Wise, (1991), "Bioinstrumentation and Biosensors", Marcel Dekker, Inc.
- [4] Miloslav Pravda, (1998), Part 2 : Biosensor, Thesis, [Vrije Universiteit Brussel](#) (Belgium).
- [5] Andreas H., Oliver B., Christoph H., Henry B., (2003), "Microfabrication Techniques for Chemical/Biosensors", *Proceeding of The IEEE*, Vol. 91, No. 6, June 2003. pp. 839-863.
- [6] C. C. Liu, P. J. Hesketh, and G. W. Hunter, (2004), "Chemical Microsensors", *The Electrochemical Society Interface* • Summer 2004, pp. 22-27.
- [7] A. Manz, E. Verpoorte, D. E. Raymond, C. S. Efenhauser, N. Burggraf, and H. M. Widmer, "m-TAS: Miniaturized Total Chemical Analysis Systems," presented at Micro Total Analysis Systems, MESA Research Institute, University of Twente, The Netherlands, 1994.
- [8] Solanki, P.R., Arya, S.K., Nishimura, Y., Iwamoto, M., Malhotra, B.D., (2008), Application of self-Assembled Monolayer of 10-Carbonil-1-Decanthiol for Cholesterol Biosensor, *J. Biomed. & Pharm. Engineering*, 2(1) : 7-3.
- [9] Yildirimoglu, F., Arslan, F., Cete, S., Yasar, A., (2009), Preparation of a polypyrrole-polyvinylsulphonate composite film biosensor for determination of colesteroL based on entrapment of colesteroL oxidase, *Sensor*, 9 : 6435-6445

- [10] Cabrita, J.F., Abrantes, L.M., Vianna, A.S., (2005), N-hydroxysuccinimide-terminated SAMs on gold for biomolecules immobilization, **Electrochimica Acta**, **50** : 2117-2124
- [11] Arya, S.K., Prusty, A.K., Singh, S.P., Solanki, P.R., Pandey, M.K., Datta, M., Malhotra, B.D., (2007), Cholesterol biosensor based on N-(2-amino ethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane self-assembled monolayer, **Anal. Biochem.**, **363** : 210-218.
- [12] Raab, L.S.; Decker, G.L.; Jonas, A. J.; Kaetzel, M.A.; Dedman, J.R. Glucocorticoid regulation of rat liver urate oxidase. *J. Cell. Biochem.* **1991**, *47*, 18-30

## Perancangan Logbook Digital Untuk Memonitor Parameter Kelistrikan Generator Set

Fariz Muhtadi<sup>1</sup>, Febtian Adi Sanjaya<sup>2</sup>, Khoirul Anam<sup>3</sup> dan Bagja Gumilar<sup>4</sup>

Program Studi Teknik Listrik Bandara, Jurusan Teknik Penerbangan, Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia, Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kec. Legok, Kabupaten Tangerang, 15820, Indonesia

E-mail: [farizmuhtadi7@gmail.com](mailto:farizmuhtadi7@gmail.com), [adislanjaya@gmail.com](mailto:adislanjaya@gmail.com), [anamdeltras@gmail.com](mailto:anamdeltras@gmail.com), [bagja.gum@gmail.com](mailto:bagja.gum@gmail.com),

### Abstrak

Genset pada laboratorium AGL belum mempunyai *logbook* yang mencatat dan menyimpan data parameter kelistrikan ketika beroperasi. *Logbook* ini sangat berguna untuk analisa jika terjadi kegagalan operasi maupun untuk perawatan secara rutin. Untuk mendapatkan data yang *real time* dan akurat dibutuhkan sistem pencatatan (*logbook*) secara digital, dengan *logbook* digital data parameter yang diukur juga tersimpan dengan baik dan rapi. Rancangan ini memonitor dan mencatat tegangan, arus, temperatur, kapasitas *fuel*, tegangan baterai, dan jam operasional genset secara otomatis menggunakan sensor-sensor yang terhubung pada genset. Data dari sensor diolah oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan dihubungkan ke Komputer menggunakan komunikasi RS 485. Hasil pengukuran dari setiap parameter ditampilkan pada komputer menggunakan aplikasi Visual Studio. Data tersimpan dalam *database* serta dapat dicetak apabila diperlukan. Hasil pembacaan rancangan dibandingkan dengan pengukuran pada display panel genset tidak berbeda jauh dengan margin *error* 0 - 5 %.

Keywords: arduino, genset, logbook digital

### Abstract

*Generator in the AGL laboratory do not yet have a logbook that records and stores electrical parameter data when operating. This logbook is very useful for analysis in case of operation failure or for routine maintenance. To get real time and accurate data a digital logbook system is needed, with the digital logbook the measured parameter data is also stored properly and neatly. This design monitors and records voltage, current, temperature, fuel capacity, battery voltage, and operating hours of the generator automatically using sensors connected to the generator. Data from the sensor is processed by the Arduino Mega 2560 microcontroller and connected to a computer using RS 485 communication. The measurement results of each parameter are displayed on a computer using the Visual Studio application. Data is stored in a database and can be printed if needed. The results of the reading of the design compared with measurements on the genset panel display did not differ greatly with a margin of error of 0 - 5%.*

Keywords: arduino, genset, digital logbook

### 1. Pendahuluan

Prodi Teknik Listrik Bandara mempunyai beberapa lab. Contohnya, laboratorium *Airfield Ground Lighting* atau yang disebut lab AGL sebagai tempat untuk kegiatan pembelajaran praktikum. Agar tidak terjadi gangguan dalam pembelajaran maka lab AGL memiliki Generator Set atau yang biasa disebut genset dengan kapasitas 80 KVA yaitu sebagai cadu daya cadangan.

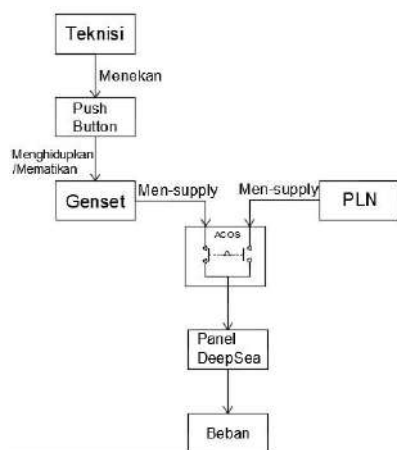
Untuk mengoptimalkan genset, dibutuhkan perawatan yang baik. Suatu perawatan dengan cara mengetahui bagaimana genset itu bekerja apakah komponen-komponen tersebut harus waktunya diganti atau tidak. Karena dengan mengetahui baik buruknya sistem dan komponen-komponen pada genset, akan lebih mudah mengambil tindakan apakah genset tersebut bekerja secara baik.

Saat ini genset di lab AGL belum mempunyai sistem perawatan. Dalam hal ini *logbook* yang mencatat semua

perawatan dan pemeliharaan. Tentu ini menimbulkan resiko yaitu teknisi tidak mengetahui keadaan genset dan apabila terjadi kegagalan pada genset teknisi harus mengecek setiap komponen yang ada. Seharusnya data *ter-record* karena data ini sangat penting bagi manajemen sebagai data pendukung untuk evaluasi kinerja catudaya listrik.

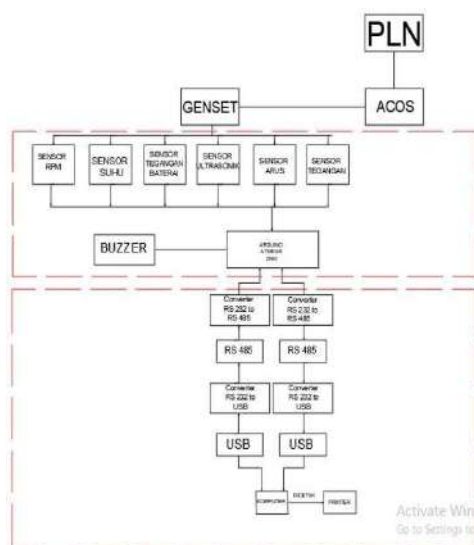
## 2. Metodologi Penelitian

Saat ini belum ada pencatatan dan *monitoring* kinerja genset berupa *logbook* yang tentunya akan menimbulkan resiko yaitu tidak dapat terkontrolnya kinerja genset secara berkala dan apabila terjadi kegagalan atau gangguan pada genset maka tidak ada data yang *ter-record* secara *real time* dan akurat. Karena data kinerja genset akan menjadi bahan evaluasi terhadap kinerja dan gangguan pada genset tersebut. [1]



Gambar 1. Blok Diagram Kondisi Saat Ini

Melihat kondisi yang sekarang, penulis memiliki ide untuk membuat rancangan pencatat otomatis kondisi operasional generator set menggunakan mikrokontroler dan aplikasi Visual Studio di gedung *Airfield Ground Lighting* Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia. Fokus utama dalam rancangan ini mencatat dan menyimpan data operasional genset secara otomatis dengan hasil pembacaan yang lebih akurat dan tepat waktu ke *logbook*. Data yang ada dapat dicetak apabila diperlukan.



Gambar 2. Blok Diagram Kondisi Yang Diinginkan

Rancangan ini melakukan pencatatan data menggunakan transduser yang terhubung pada genset. Transduser bekerja sesuai dengan karakternya masing-masing dan memberikan input ke mikrokontroler. Data yang akan terbaca oleh sensor berupa data analog dan digital, dimana data sensor membaca tegangan, arus L1, L2, L3, tegangan pada baterai, jam kerja (*operating hours*), *temperature*, kapasitas fuel, frekuensi secara otomatis. Selanjutnya data yang telah terbaca oleh sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler. Kemudian data yang diterima oleh mikrokontroler akan dikirim melalui Converter RS 485 to RS 232 dan USB ke *Personal Computer* (PC), kemudian ditampilkan oleh aplikasi Visual Studio 2017. Data yang telah diterima oleh komputer akan tercatat dan disimpan dalam database serta dapat dicetak.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Instalasi Perangkat Keras

Menentukan alat dan bahan berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan.

#### a. Komputer

- Prosesor minimum 1.8 GHz
- Komputer mempunyai minimum RAM 2 GB
- Ruang hard disk disarankan terdapat 20-50 GB ruang kosong
- *Video card* yang mendukung resolusi tampilan minimum 720p (1280 x 720)

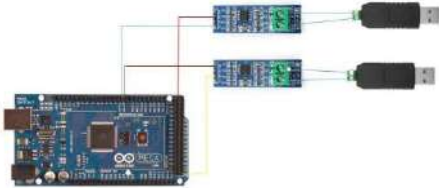
#### b. Catu Daya

Rangkaian catu daya sangat dibutuhkan untuk catu daya mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan yang satu lagi untuk catu daya sensor yang digunakan. Karena pada rangkaian minimum sistem tegangan yang digunakan



adalah 9-12 Vdc, dan setiap sensor membutuhkan tegangan 5Vdc.

**c. Komunikasi Arduino Mega 2560 dengan Komputer**  
Data yang diterima oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 dari setiap sensor adalah analog dan digital [2]. Agar data tersebut dapat terkirim oleh Arduino Mega 2560 ke PC (*Personal Computer*) [3]. Penulis menggunakan 2 rangkaian converter RS 485. Berikut adalah gambar rangkainnya :



Gambar 3. Rangkaian Komunikasi Arduino Mega dengan Komputer

**Pemrograman Perangkat Lunak (Software)**

Menentukan aplikasi yang dibutuhkan sesuai dengan spesifikasinya.

Aplikasi Visual Studio 2017

- Minimum Windows 7 SP1
- Visual Studio tersedia dalam bahasa Inggris, Mandarin (Sederhana) dan lain-lain

Aplikasi MySQL sebagai Database

Kebutuhan memory spek minimum 2GB. MySQL adalah sebuah database relasional. Database yang memiliki struktur relasional terdapat tabel-tabel untuk menyimpan data. [4]

Menentukan setiap sub-sub program



Gambar 4. Sub-sub Program

**Form Tampilan Utama**

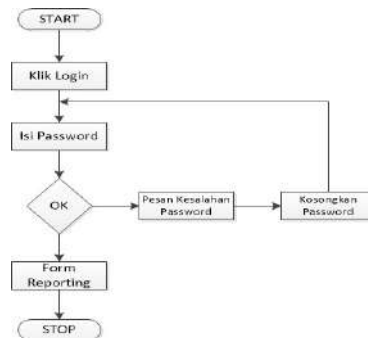
Berfungsi untuk menampilkan halaman depan saat membuka aplikasi.



Gambar 5. Form Tampilan Utama

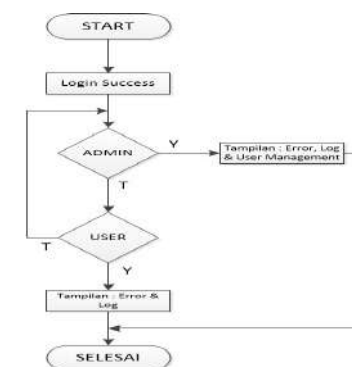
**Form Login**

Berfungsi untuk tindakan keamanan untuk melakukan reporting pada rancangan monitoring generator set.



Gambar 6. Form Login

**Form Main Menu**



Gambar 7. Form Main Menu

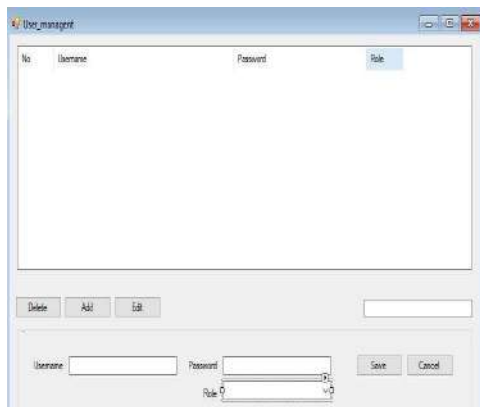
Program setelah akses login diterima untuk menambahkan admin dan user. Pada main menu tersebut juga terdapat dua sistem reporting yaitu reporting data berupa angka dan reporting apabila terjadi kegagalan pada rancangan tersebut. Berikut adalah form main menu pada rancangan :



Gambar 8. Form Main Menu Rancangan

**Form User Management**

Berfungsi untuk menambahkan user maupun admin yang dapat mengakses sistem monitoring genset tersebut.



Gambar 9. Form User Management

**Form Error Report**

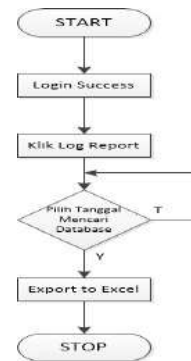
Error Report adalah sistem database yang menampilkan kegagalan-kegagalan yang terjadi pada generator set.



Gambar 10. Form Error Report

**Form Log Report**

Log Report adalah sistem database yang menampilkan data-data mentah yang berupa nilai (angka) dari setiap sensor yang dipasang.



Gambar 11. Form Log Report

**Form Record Database**

Data Base merupakan form data aplikasi yang digunakan untuk menghubungkan pengolahan data dari form utama disimpan dalam satu atau beberapa tabel.

**Uji Coba**

Tabel 1. Tegangan Per Phase

NO	Pengukuran Avometer	Pengukuran Sensor		
		R-S	S-T	R-T
1	380 V	377	380	377
2	380 V	377	380	394
3	380 V	380	382	380
4	380 V	380,6	382,33	382,33
5	380 V	380,6	382,33	358,11

Tabel 2. Tegangan pada Baterai

NO.	Pengukuran Panel (v)	Pengukuran Avometer (v)	Pengukuran Sensor (v)
1	12,80	14,1	14,11
2	12,80	14,1	14,11
3	12,80	14,1	14,15
4	12,80	14,13	14,15
5	12,80	14,13	14,15

Tabel 3. Frekuensi

NO.	Pengukuran Panel Frekuensi	Pengukuran Frekuensi
1.	52	48.33
2	52	51.33
3.	52	52.46
4.	52	53
5.	52	53.53

Tabel 4. RPM

NO.	Pengukuran Panel (RPM)	Pengukuran Sensor (RPM)
1.	1551	1569
2.	1551	1551
3.	1551	1552
4.	1551	1551
5.	1551	1553

Tabel 5. Kapasitas Fuel

NO	Tinggi (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Volume	
				Perhitungan Rumus	Pengukuran Sensor
1	21	68	40	57,12 L	57 L
2	23	68	40	62,56 L	62 L
3	25	68	40	68 L	68 L
4	27	68	40	73,44 L	73 L
5	29	68	40	78,88 L	79 L

Tabel 6. Suhu

NO.	Pengukuran Panel (° C)	Pengukuran Sensor (° C)
1.	77	76.94
2.	77	77
3.	78	77.12
4.	78	77.94
5.	78	77.94



Gambar 13. Install Rancangan



Gambar 14. Install Rancangan Secara Umum



Gambar 12. Tampilan Monitoring

### 3.2 Diskusi

Hasil pengujian alat yang dilakukan dinyatakan sesuai dengan peluang hasil pengujian alat monitoring genset sebagai *logbook* digital, akan tetapi ada beberapa kondisi yang perlu diperhatikan kembali, sebagai berikut :

#### a. Peletakan box Arduino Mega dan Laptop

Peletakan diharapkan tidak bersebelahan langsung dengan genset karena akan timbul radiasi oleh genset sehingga data dari sensor tidak dapat terkirim ke mikrokontroler maupun laptop.

#### b. Data yang di peroleh sensor RPM

Adanya range terhadap hasil pengambilan data oleh alat monitoring genset sebagai *logbook* digital disebabkan oleh tempat peletakan sensor rpm berada di bagian dalam engine pada genset. Ketika genset di-*running* maka akan menimbulkan getaran yang akan mempengaruhi data yang terambil oleh sensor rpm.

**c. Data tegangan dan arus tidak stabil**

Dikarenakan *output* pada sensor adalah analog sehingga selalu berubah-ubah dan membutuhkan *converter* ADC untuk mendapatkan data tegangan dan arus tersebut.

**d. Peletakan sensor Ultrasonik pada Tangki**

Agar diperhatikan untuk peletakkan sensor ultrasonik berada tepat di atas *fuel* di dalam tangki.

**e. Dapat digunakan pada beberapa jenis Genset**

Agar dapat digunakan pada beberapa jenis genset, maka harus dilihat dari kapasitas genset itu sendiri. Contohnya, sensor arus yang digunakan mempunyai beban maksimum 100 A dan apabila melebihi dari 100 A maka dapat digunakan trafo CT untuk menurunkan arusnya agar tidak mencapai 100A.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dan dituangkan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Rancangan ini dapat digunakan sebagai *logbook* digital di Gedung *Airfield Ground Lighting* Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia.
- Rancangan ini dapat digunakan untuk memudahkan teknisi dalam melakukan perawatan
- Rancangan ini akan menampilkan hasil kinerja genset di komputer yang akan tercatat dan tersimpan di database, serta data dapat dicetak apabila diperlukan.

#### 5. Daftar Acuan

- [1] V.L. Maleev, Diesel Engine Operation and Maintenance. .
- [2] U. Asynchronous and R. Transmitter, "Konsep komunikasi serial 3.1," *Communication*, vol. 1, pp. 1–17.
- [3] E. Maulana, "Teknik Antarmuka Komputer," *Teknik*, vol. 38, no. 2, pp. 81–91, 2017.
- [4] W. Komputer, *Panduan Belajar MySQL Database Server*. Jakarta: mediakita, 2010.

## Sistem Identifikasi dengan *Quick Response Code* untuk Merekam Pengguna Komputer

Muhammad Ilyas Ahibma<sup>1</sup>, Raihan Fauzan<sup>2</sup>, \*B. S. Rahayu Purwanti<sup>3</sup>, Nuralam<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro, /Program Studi Elektronika Industri, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 1425

\*Email korespondens: [rahayu.purwanti@elektro.pnj.ac.id](mailto:rahayu.purwanti@elektro.pnj.ac.id).

### Abstrak

Perencanaan *smart learning system* memerlukan beberapa sub-sistem yang saling terintegrasi. Salah satu sub-sistem tersebut adalah identifikasi sebagai pengguna komputer di laboratorium, untuk pengamanan data. Saat ini *user name* dan *password* untuk akses *Personal Computer* (PC) telah ditiadakan dengan pertimbangan kemudahan diakses oleh mahasiswa. Idealnya membuka PC dengan meng-*input* data identitas, bahkan telah dikenal pengamanan data berlapis. User name dan pass word bagi mahasiswa peserta kuliah praktik dapat diintegrasikan ke sistem lainnya, misal presensi, penilaian registrasi, dan lain-lain. Saat ini pengamanan PC belum terintegrasi dengan presensi kehadiran perkuliahan. Oleh karena peluang ini penting untuk disambut, dengan merancang bangun system identifikasi berbasis *Quick Response* (QR) Code. Cara kerja alat dengan scanning pola QR Code pada Kartu Tanda Mahasiswa (KTM). Identifikasi dengan *scanning* QR Code pada webcam yang terkoneksi ke database pada PC. Tujuan penelitian adalah merancang bangun system identifikasi dengan QR Code pada satu mata kuliah praktik. Scanning QR Code melalui webcam dan terverifikasi pada database mahasiswa di web browser. Hasil penelitian; system identifikasi QR Code 98 % dapat dikenali oleh alat dan waktu pemakaiannya ter-*record* secara *realtime*. Persentase QR Code yang tidak teridentifikasi dikarenakan jarak pindai < 5 cm atau > 35 cm.

Kata Kunci: *database*, identifikasi, QR-Code, *password*, *user*.

### Abstract

*Smart learning system's planning required some sub system that integrated with one another. One of which is to identify someone as a computer user in a lab for data security. Right now, username and password for PC access have been removed due to the accessibility by the students as part of the consideration. The ideal way to access the pc is with personal's data input, there's even a multiple layers of security Username and password for student in practical learning subject can be integrated to another system, for example student's attendance, registration assessment, and etc. Currently the PC's security hasn't integrated yet with the student's attendance. That's why we have to greet this important opportunity by designing an identification system based on QR code. The way this device works is by scanning QR code's pattern on student's identification card. The QR code scanned by a webcam that connected to the PC's database. The purpose of this research is to design an identification system with QR code on a specific practical learning subject. QR Code scanning through webcam and verified on student's database in a web browser. The results, QR code identification system can be identified by the device with the accuracy of 98% and the time usage is recorded in real time. The reason on unidentified QR code is because the scan distance is either less than 5cm or more than 35 cm.*

Keywords: *keywords*: database, identification, QR-Code, *password*, *user*.

### 1. Pendahuluan

Pelaksanaan pembelajaran tatap di dalam kelas belum sepenuhnya mendukung Visi PNJ; "Menjadi Politeknik Unggul Bertaraf Internasional untuk Mendukung Daya Saing Bangsa". Makna unggul memiliki kelebihan dibanding dengan yang lain (KBBI). Pembelajaran tatap

muka sudah saatnya menggunakan metode *online* sesuai dengan target capaian Visi PNJ. Kuliah tatap muka juga dapat dilakukan dari jarak jauh secara *online* walaupun dosen tidak hadir di dalam kelas. Konsep tatap muka jarak jauh mengadopsi kegiatan seminar internasional dengan *teleconferance*. Sistem tatap muka jarak jauh dapat mewujudkan sebagian Visi PNJ, yaitu bertaraf



internasional dan mendukung daya saing bangsa. Sementara itu, penggunaan *Personal Computer* (PC) di Laboratorium Komputer (Labkom) tanpa *user name* dan *password*. Penggunaan *user name* dengan NIM dan *password* telah ditentukan oleh pengelola Pusdatin. User (mahasiswa, tenaga kependidikan, dan dosen) dapat mengganti *user name* dan *password* sesuai ketentuan format. Saat ini *username* dan *password* hanya digunakan untuk mengerjakan tugas *online* oleh beberapa dosen. Kuliah praktik di Laboratorium Komputer (Labkom), pengguna bebas membuka PC tanpa *username* dan *password*. Besar kemungkinan mahasiswa menyalahgunakan dan tanpa sengaja merusak sistem. Sehingga pelakunya tidak teridentifikasi, karena kebebasan akses penggunaan komputer di Labkom. Sementara itu dukungan terhadap daya saing bangsa perlu sarana yang memadai. Salah satu dukungan dimaksud, materi pembelajaran dapat diakses oleh semua mahasiswa secara *online* di PNJ dan tempat lain tanpa batas jarak. Materi mata kuliah praktik belum dapat diakses dengan optimal oleh mahasiswa. Hal tersebut dikarenakan seluruh materi mata kuliah praktik belum di-*upload* secara *online*. Realisasi system perkuliahan *online* perlu persiapan berbagai hal, diantaranya materi kuliah, kehadiran, tugas, ujian, penilaian, komunikasi, dan lain-lain. Agar pelaksanaan perkuliahan terintegrasi dengan kehadiran mahasiswa [1], perlu dibuat sistem identifikasi untuk mengakses materi matakuliah *online*. Hal tersebut penting agar data dan system aman dari pembobolan akibat iseng/ sengaja dan pelaku adalah oknum yang tidak bertanggungjawab.

*Quick Response Code* (QR-Code) dapat merespon cepat sesuai identitas di database, dikembangkan oleh Denso Corporation (Jepang) bidang otomotif. Awalnya *QR-Code* dipublikasi untuk melacak kendaraan di bagian manufaktur [2]. Kode batang dua dimensi pada *QR-Code* dikembangkan dari barcode yang terlihat horizontal saja. Sedangkan *QR-Code* identifikasi data menggunakan gambar deteksi berbentuk kotak pada sisi ujung kanan/kiri [3].

Identifikasi pengguna komputer, internet, *handphone* dengan *password* telah berkembang dengan *code*. *Barcode* [4] suatu kumpulan data optik yang dibaca mesin. Kode batang ini mengumpulkan data dalam lebar garis dan jarak garis paralel. *QR code* [5] dicetak pada kartu pengenalan sesuai pemiliknya. Berbeda dengan *barcode* yang hanya menyimpan informasi secara vertikal, *QR code* mampu menyimpan informasi secara horizontal. Oleh karena itu *QR code* dapat menampung informasi jauh lebih banyak dibandingkan *barcode*. Kartu pengenalan dapat diidentifikasi oleh *webcam*. Informasi dari *QR code* di olah menggunakan Raspberry Pi sebagai mikrokontroler. Mikrokontroler menghasilkan data paralel untuk diteruskan ke relay melalui indikator HMI yang berfungsi untuk memastikan apabila komputer hidup. Kemudian relay akan meneruskan data yang

digunakan untuk menghidupkan atau mematikan komputer [6] dan [7].

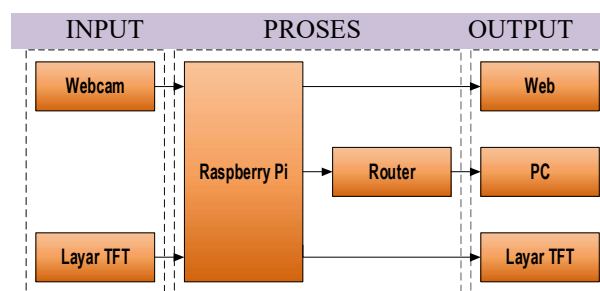
Sistem identifikasi dengan *QR code* untuk mengantisipasi penyalahgunaan PC di Laboratorium Komputer (Labkom). Metode pencegahan dengan pembatasan akses pada pengguna PC saat memulai pembelajaran. Pengguna PC di Labkom, telah didaftarkan identitas beberapa sampel mahasiswa dan disimpan di database. Pengembangan system identifikasi ini menuju system integrasi presensi kehadiran sebagai pengguna PC. Verifikasi pengguna PC aplikasi. *QR code* dengan mengacu pada database mahasiswa Akses pembelajaran praktik secara *online* juga sangat memungkinkan terintegrasi dengan system identifikasi ini.

Casing alat identifikasi dari bahan akrilik tebal 2 mm, dibuatnya maket (p x l x t = 19 x 19 x 7). *Webcam* digunakan untuk meng-*input* data dengan mendeteksi bentuk *QR code* pada tanda pengenalan. Mahasiswa yang teridentifikasi dapat memilih komputer lewat tampilan pada layar TFT. Tegangan *output raspberry-pi* mengaktifkan komputer dengan menginstruksi lewat *mac address*. Metode identitas mahasiswa dengan *QR code* dirancang untuk mengakses perkuliahan *online* melalui PC di Labkom.

## 2. Metode Penelitian

### Pncangan Alat dan Sistem

Realisasi keseluruhan sistem sesuai dengan diagram blok (Gambar 1) dan mengacu pada *flowchart* (Gambar 2) kerja alat.



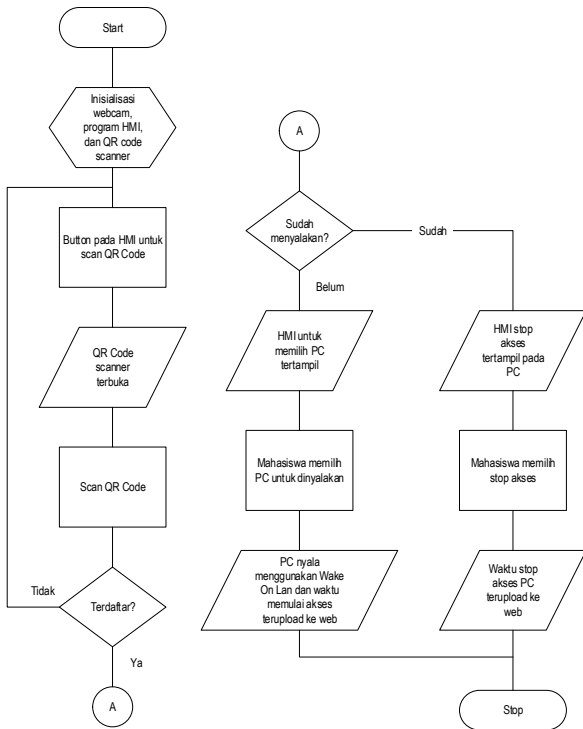
Gambar 1 Diagram Blok Alat

Keterangan Gambar 1:

- Webcam* mengidentifikasi *QR code* mahasiswa peserta mata kuliah praktik
- Nikrokontyolrt Raspberry Pi yang terhubung dengan *webcam* mendeteksi pixel pada *QR code* yang di terjemahkan menjadi identitas.
- Identitas yang telah di terjemahkan sekaligus untuk login pada *E-Learning*
- Layar TFT (HMI) Menampilkan informasi PC LabKom yang masih tersedia



- e. Router Sebagai penerima informasi dari raspberry pi untuk mengaktifkan PC LabKom melalui kabel LAN
- f. Website: Website menampilkan identitas mahasiswa peserta mata kuliah yang mengakses.
- g. Mahasiswa dapat mengakses materi mata kuliah jika berhasil teridentifikasi oleh webcam.



Gambar 2 Flowchart Cara Kerja Alat

### Realisasi Alat

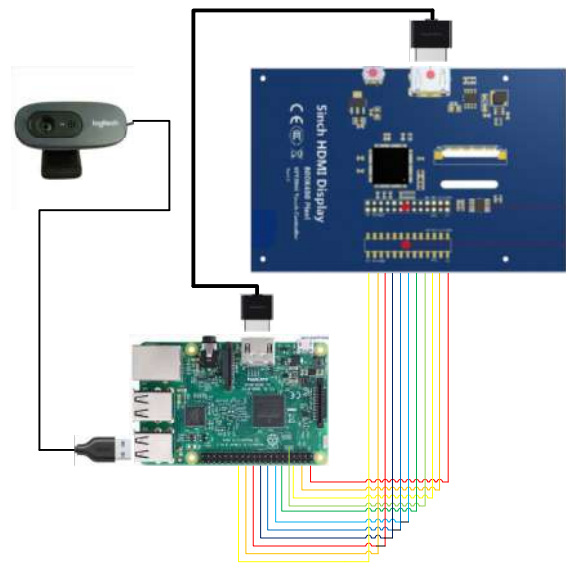
QR code diimplementasikan sebagai identifikasi peserta mata kuliah untuk menyakakan PC di Labkom. Identitas mahasiswa berbentuk NIM, password *e-learning* yang dikodekan menjadi QR code dengan memanfaatkan generator pada web <https://www.the-qr-code-generator.com/>. Identitas mahasiswa sebelumnya sudah terdaftar pada *database* sebagai sumber verifikasi pada saat QR code teridentifikasi pada sistem. *Database* terdapat pada *web browser*, terdiri dari nama, NIM, password, dan kelas. *Database* masih memungkinkan untuk dilengkapi dengan memperluas *field* sesuai dengan kebutuhan system.

Bitmap pada QR code akan teridentifikasi oleh *webcam*. Setelah teridentifikasi identitas mahasiswa dicocokkan oleh *database*. Jika cocok dengan *database* mahasiswa dapat menyalakan komputer pada tampilan yang berada pada layar TFT. Raspberry akan menginstruksi *macaddress* lewat jaringan *Local Area Network (LAN)* untuk menyalakan PC menggunakan software *WakeOnLan*. Aktualisasi sistem terdiri dari *webcam* sebagai *input*, *raspberry pi* sebagai pemroses data dan mengirim serta menerima informasi dari *webcam* maupun layar TFT. Router berfungsi untuk

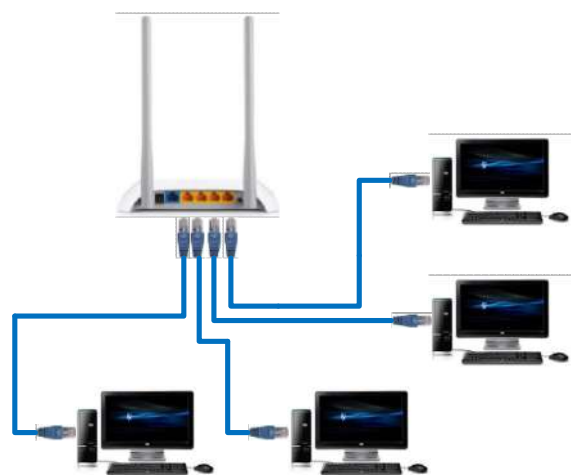
mengkoneksikan *raspberry* dan PC LabKom dalam satu jaringan lokal. PC LabKom sebagai *output* yang berfungsi untuk dinyalakan oleh mahasiswa peserta mata kuliah praktik.

### Wiring Diagram Alat Identifikasi

Dua konfigurasi modul-modul yang diperlukan dalam rancangbangun alat adalah koneksi antar modul-modul. Mikrokontroler *raspberry phi* (Gambar 3) dan sistem koneksi router ke PC. Sistem didesain untuk pemilihan PC sebagai media praktik di Labkom. Kedua koneksi modul-modul teralisasi sesuai dengan tujuan desain alat yaitu terkomunikasi melalui router.



Gambar 3 Koneksi Raspberry Pi dengan Webcam dan Layar TFT



Gambar 4 Koneksi Router dengan PC Labkom

### Desain Alat

Gambar 5, desain Alat Identifikasi Peserta Matkul (tampak depan). Dimensi alat; (p: 1: t= 19: 19: 7) cm

berbahan akrilik, berat 1 kg. Alat pemindai cukup diletakkan disamping computer sebagai sarana praktik mahasiswa. Performa alat diuji dengan variabel jarak pindai untuk memastikan keberhasilan system identifikasi.



Gambar 5 Tampak Depan Alat Identifikasi Peserta Mata Kuliah

#### Instalasi dan Koneksi Modul

Instalasi Router dengan PC Labkom (Gambar 4) Router mendapat supply melalui adapter 24V DC. Senebtara PC LabKom dihubungkan dengan jaringan yang sama dengan router menggunakan kabel RJ45 pada port LAN di CPU.

#### Instalasi webcam, layar TFT dan raspberry:

- USB *input* pada *webcam* dihubungkan dengan port USB pada *raspberry*
- Layar TFT pin 1–26 dihubungkan dengan *raspberry* port GPIO 1–26.
- Port tersebut terdiri dari: DC power 5v, DC power 3,3v, I2C, Tx, Rx, SPI\_MOSI, SPI\_MISO, SPI\_CLK, SPI\_CE, Ground.
- Raspberr*y mendapatkan supply 5V DC melalui port micro USB

Tabel 1 menunjukkan daftar alat dan modul- modul lengkap dengan sesuai penggunaan pin dan fungsinya. Instalasi dan konfigurasi pin I/O mikrokontroler dengan

modul-modul lain telah diukur dan dipastikan sesuai dengan spesifikasi masing-masing.

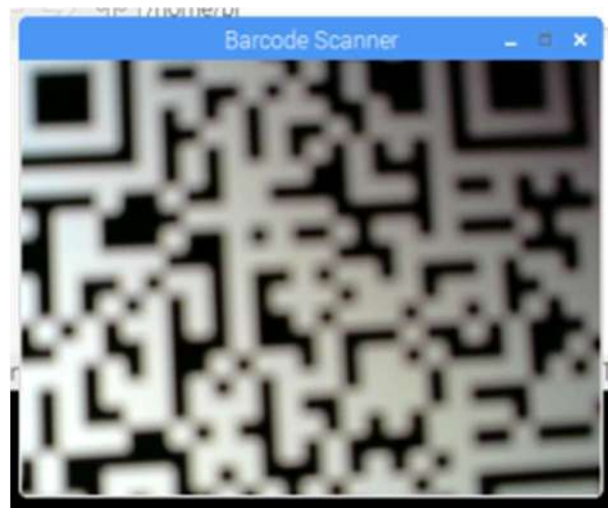
Tabel 1 Daftar Pin I/O pada Alat Pendeteksi QR Code

No	Nama Alat	Pin Modul	Pin Mikokontroler
1.	Webcam Logitech C270	USB	Port USB
2.	HDMI LCD Display touchscreen 800480	HDMI	Pin 1-Pin 26
3.	TP-LINK TL WR840N	Port LAN	-

### 3. Eksperimental

Eksperimen jarak pindai *webcam* terhadap QR *code* untuk menguji performa *webcame*, (Gambar 7) menunjukkan bahwa QR *code* berhasil terpindai. Ciri-ciri QR *code* yang terpindai adalah dikelilingi oleh bingkai. Sebaliknya, QR *code* tidak berhasil terpindai (Gambar 6), gagal pemindaian akibat gambar tampilan terpotong.

Keutuhan bingkai pada QR *code* menunjukkan jaminan keberhasilan pemindaian berkaitan dengan identifikasi penggunaanya oleh *webcam*



Gambar 6 Tampilan pada Layar TFT

Keberhasilan pemindaian pada QR *Code* menunjukkan sistem identifikasi merespon data pengguna PC. Secara otomatis sistem memverifikasi kesesuaian identitas ke database. Jika pemilik QR *Code* terverifikasi oleh sistem sesuai dengan database, dapat memilih PC yang akan digunakan untuk praktikum. Desain sistem ini sebagai bagian dari perancangan sub-sistem identifikasi peserta mata kuliah praktik *online*.



Gambar 7 Tampilan pada Layar TFT

Media uji pada penelitian ini menggunakan variabel jarak (5-45 cm, pertambahan jarak per 5 cm untuk 5 variasi *QR Code*. Salah satu hasil lengkap eksperimen untuk satu *QR Code* (Tabel 1) dengan variabel atau perubahan jarak 5 cm per perubahan pengukuran.

Tabel 1 Perbedaan Jarak Pindai dan QR Code

Jarak (cm)	Posisi pindai (QR Code ke PC)	Tampilan pada Monitor
5		 Hasil pemindaian <i>QR code</i> tidak dikelilingi oleh garis pembatas
10		 Hasil pemindaian <i>QR code</i> tidak dikelilingi oleh garis pembatas



35



Hasil pemindaian *QR code* dikelilingi oleh garis pembatas

40



Hasil pemindaian *QR code* tidak dikelilingi oleh garis pembatas

45



Hasil pemindaian *QR code* tidak dikelilingi oleh garis pembatas

ke PC melalui port USB. Rencana sebelumnya kamera terhubung ke PC melalui port parallel. Sebuah webcam yang sederhana terdiri dari: sebuah lensa standar, dipasang di sebuah papan sirkuit untuk menangkap sinyal gambar, casing (cover), termasuk casing depan dan casing samping untuk menutupi lensa standar dan memiliki sebuah lubang lensa di casing depan yang berguna untuk memasukkan gambar, kabel support yang dibuat dari bahan yang fleksibel, salah satu ujungnya dihubungkan dengan papan sirkuit dan ujung satu lagi memiliki connector, kabel ini dikontrol untuk menyesuaikan ketinggian, arah dan sudut pandang kamera web.

Sesuai hasil eksperimen untuk memindai 9 perbedaan jarak untuk satu sampel *QR code* yang dirangkum (Tabel 2). identitas mahasiswa dalam bentuk *QR code* berhasil terpindai. *QR code* yang terpindai berada pada posisi 2 hingga 7, yaitu 10 cm sampai dengan 35 cm. Sedangkan pada posisi 5 cm, 40 cm. Sementara itu desain data hasil (Gambar 8) ditampilkan, dan 45 cm *QR code* tidak terpindai oleh *webcam*. Hal tersebut diakibatkan range sinyal tidak memenuhi ketentuan pada *QR Code*.

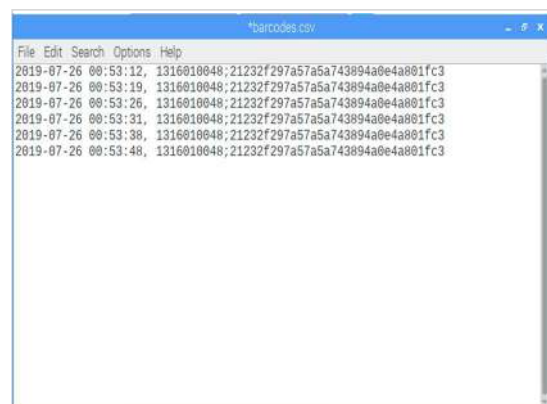
Tabel 2 Hasil Pengujian *QR Code* dengan Variabel Jarak

Jarak Pindai (cm)	Garis Bingkai	Hasil Pindai
5	Tidak ada	Gagal
10	ada	Berhasil
15	ada	Berhasil
20	ada	Berhasil
25	ada	Berhasil
30	ada	Berhasil
35	ada	Berhasil
40	Tidak ada	Gagal
45	Tidak ada	Gagal

Hasil eksperimen dengan jarak 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, dan 45 cm yang dihimpun (Tabel 1), terlihat bahwa *webcam* gagal pindai pada jarak 5 cm (paling dekat), dan jarak (> 40 cm) paling jauh.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Kamera video konferensi yang dikenal sebagai web camera (webcam) dengan berbagai fitur berbeda, penggunaannya pada *world wide web*. Alasan pilihan penggunaan kamera web Xcam2 [8], ukurannya kecil dan bentuknya minimalis. Performa kamera video fleksibel penempatannya. Remakaman video berwarna dapat ditransmisikan ke TV, VCR atau pada PC (*Personal Computer*). Hal ini telah sesuai dengan hasil rancangbangun webcam dengan kamera digital dan terkoneksi ke PC. Webcam telah berhasil diintegrasikan

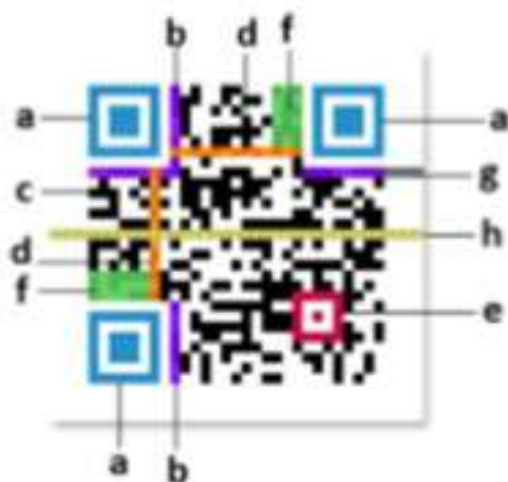


Gambar 8 Tampilan pada File.csv



Perkembangan dari *barcode* yang dapat menyimpan [9] informasi lebih banyak. *Barcode* hanya menyimpan informasi secara horizontal, sedangkan *QR code* menyimpan informasi berbentuk dua dimensi. Anatomi *QR code* (Gambar 2.1) menurut [9] antara lain:

- a. *Finder Pattern* mengidentifikasi letak *QR Code*.
- b. *Format Information* menginformasikan *error correction level* dan *mask pattern*.
- c. Data untuk menyimpan identitas yang dikodekan.
- d. *Timing pattern* merupakan pola identitas koordinat pusat *QR Code*, berbentuk kotak hitam putih.
- e. *Alignment pattern* di distorsi non linier merupakan pola untuk memperbaiki penyimpangan *QR Code*.
- f. *Version information* *QR Code* pembeda identitas.
- g. *Quiet zone* merupakan daerah kosong di bagian terluar *QR Code* mengenali identitas *QR* oleh sensor CCD.
- h. *QR Code version* jenis dari *QR Code*.



Gambar 10 Anatomi QR Code

Data sampel eksperimen telah terekam di dalam file *esv*, waktu, tanggal, nomor kode sesuai pola *QR code* yang terdeteksi oleh sistem identifikasi. Penambahan *field* pada draft database ini tergantung pada kebutuhan data yang ingin direkam. Rekayasa sistem integrasi dengan *QR code* ini telah sesuai dengan penelitian yang dikemukakan oleh dua peneliti berikut:

*QR code* diisi dengan nama, NIM dan email [8] pada Kartu Tanda Mahasiswa (KTM) yang tercetak *QR code*. Metode ini telah direalisasikan pada alat pengidentifikasi peserta kuliah praktikum yang menggunakan PC di Labkom. Peserta mata kuliah praktik dapat terintegrasi ke sistem penggunaan PC sesuai pilihan, dengan cepat dan praktis. Pemilihan PC berkaitan dengan *scanning* oleh *webcam* yang terhubung melalui *port* USB berfungsi sebagai pemindai *QR code*. Aplikasi Zbar yang di install pada *raspberrypi* sebagai *QR code* reader dan pengolahan data telah sesuai

dengan desain [7], [8]. Uji komunikasi sistem identifikasi dan sistem informasi menggunakan jaringan internet [10], LAN [11], memastikan hasil kedua sistem telah berhasil transmisi data.

## 5. Kesimpulan

Penggunaan *webcam* sebagai sumber data gambar dan perekam suara memerlukan *setting format* untuk penghematan memori. Komposisi sound card dan VGA card dari PC mempengaruhi kualitas gambar dan suara. Komunikasi COM dan USB yang digunakan dalam laptop mengantisipasi *crash program*. Panjang kabel RS232 to USB dan kabel USB *webcam* yang terbatas mengakibatkan jarak perangkat elektronik pengatur kurang fleksibel. Berdasarkan hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa untuk memindai *QR code* 10 cm < jarak < 35 cm. Sistem pengidentifikasi pengguna komputer dengan *QR code* telah berhasil direalisasikan menggunakan *webcam* Logitech C270.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan untuk P3M PNJ yang telah mendanai sehingga penelitian ini terealisasi sesuai target dan tujuan.

## Daftar Acuan

- [1] Irawan Bei H, Riady Sasmitoh R dan Sofi, Khalis Penerapan Absensi Kuliah Berbasis QR Code dengan Modul Raspberry Pi3 Menggunakan Metode Arsitektur Zachman Framework. *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, vol. 1, n. 1, hh. 718-730, ISSN: 2654-3168
- [2] M. Pasca Nugraha dan Rinaldi Munir, 2011. Pengembangan Aplikasi *QR Code* Generator dan *QR Code* Reader dari Data Berbentuk Image, *Konferensi Nasional Informatika-KNIF 2011*, 23 November 2011. ISSN: 2087-3328.
- [3] Qurotul Aini, Untung Rahardja, Anoesyirwan Moeins, Ayu Martha Wardani. 2018. Penerapan *Data Market Query* (DMQ) pada Sistem Penilaian Berbasis YII Framework. *Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan (InfoTekJar)*, vol 3, n.1, pp.26-31. e-ISSN : 2540-7600 September 2018 p-ISSN : 2540-7597
- [4] Helma Widya, Syafrawali, Rizka Salsabila. 2019. Aplikasi Barcode Scanner Food Halal Pada Produk Makanan Impor Berbasis Android. *Journal of Electrical Technology*, vol. 4, n.1, pp.14-17. Februari 2019. ISSN : 2598 – 1099 (Online) ISSN : 2502 – 3624 (Cetak)
- [5] Qashlim Akhmad dan Hasruddin. 2016. Implementasi Teknologi *QR-Code* untuk Kartu

- Identitas. *Jurnal Ilmu Komputer*, vol 1, n. 2, pp. 1-6, ISSN: 2442 – 4512.
- [6] Evan Taruna Setiawan. 2015. *Jurnal TI-Atma STMIK Atma Luhur Pangkalpinang. Pengendalian Lampu Rumah Berbasis Mikrontroler Arduino Menggunakan Smartphone Android*, vol 1, n.2, pp.1-8
- [7] Sugiantoro Bambang dan Hasan Fuad. *Pengembangan QR Code Scanner Berbasis Android untuk Sistem Informasi Museum Sonobudoyo Yogyakarta. Telematika*, vol. 12, n. 2, hh. 135-145, ISSN: 1829-667X
- [8] Debby.W, Agus. B, Nurcahyani Dewi. R. 2013. *Sistem Aplikasi Monitoring Berbasis Ruangan. Compiler*. vol 1, n. 2, pp.51-62.
- [9] Rizal Dismantoro, Ari Kusyanti, Mahendra Data. 2018. Implementasi Algoritme Lizard untuk Pengamanan Protokol MQTT pada Perangkat NodeMCU. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputere* vol. 2, n. 12, hh.6447-6456. Desember 2018.
- [10] Ardiansyah Rizqi A. *Perancangan Sistem Pengendali Robot melalui Internet Menggunakan Raspberry Pi. Jurnal Otomasi Kontrol Industri*, vol. 8, n. 1, hh.79-92, ISSN: 2085-2517
- [11] Rahadjeng Indra R dan Ritapuspitasari. *Analisis Jaringan Local Area Network (LAN) pada PT. Mustika Ratu Tbk Jakarta Timur. Jurnal Prosisko*, vol. 5, n. 1, hh. 53-60, ISSN: 2597-9922



## Pemodelan Kendali Frekuensi Beban Pada Pembangkit Tenaga Listrik Surya *On Grid*

Andi Iswahyudi<sup>1</sup>, A.Tossin Alamsyah<sup>2</sup>

Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G.A. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia

E-mail: [andiiswahyudi92@gmail.com](mailto:andiiswahyudi92@gmail.com)

### Abstrak

Perubahan daya pada beban sering kali mengakibatkan frekuensi tidak seimbang. Frekuensi yang tidak seimbang mengakibatkan peralatan elektronik dapat mengalami kerusakan dan penurunan umur pakai. Dalam penelitian ini, kendali frekuensi beban dilakukan pendekatan dengan menempatkan secara terpisah kendali PI dan PID pada pembangkit tenaga listrik PLN yang terkoneksi dengan pembangkit tenaga listrik surya atap. Pemodelan dilakukan dan disimulasikan menggunakan software MATLAB SIMULINK. Hasil yang didapatkan respon dari kendali PI memiliki *overshoot* yang minim dibanding kendali PID dan *settling time* yang lebih baik dari kendali PID.

Kata kunci: *frekuensi, MATLAB SIMULINK, PI, PID, overshoot, settling time*

### 1. Pendahuluan

Penggunaan energi baru terbarukan saat ini sedang meningkat dikarenakan tidak adanya emisi dan dampak terhadap lingkungan. Seiring dengan berlakunya peraturan dan regulasi pembangkit listrik tenaga surya rooftop, diharapkan pelanggan rumah tangga dan pemerintah dapat menggunakannya sebagai solusi penghematan maupun sebagai cadangan ketika jaringan listrik PLN mati. Sistem pembangkit listrik tenaga surya sangat bergantung pada cuaca, sehingga output daya keluarannya yang fluktuatif dapat menyebabkan masalah seperti tegangan yang fluktuatif dan frekuensi deviasi yang signifikan pada jaringan tenaga listrik [1]. Untuk menjaga frekuensi pada sistem jaringan tenaga listrik yang interkoneksi dengan pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan controller yang cepat dan benar di setiap area. Tujuannya adalah untuk menjaga stabilitas untuk menjaga status operasional normal. Status operasional normal terdiri dari tiga bagian. Pertama kompensasi dari perubahan beban mendadak. Kedua memenuhi keseimbangan daya aktif-reaktif. Ketiga stabilisasi frekuensi [2].

Beberapa penelitian telah membahas pengendalian frekuensi beban antara pembangkit listrik tenaga surya dengan pembangkit listrik tenaga diesel. Dalam penelitian ini akan membahas pengendalian beban frekuensi dari penetrasi pembangkit listrik tenaga surya dengan jaringan listrik PLN yang berasal dari

pembangkit listrik tenaga uap oleh pelanggan yang memasang pembangkit listrik tenaga surya di rumah atau gedung.

### 2. Metode Penelitian

#### 2.1 Model Sistem PLTS On-Grid

PLTS On-Grid adalah pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan, dalam hal ini jaringan listrik milik PLN. Sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung terdiri dari modul panel surya, inverter, baterai (opsional) dan kWh meter ekspor impor. Keluaran dari sistem PLTS sangat bergantung dengan radiasi matahari dan suhu. Sehingga dapat direpresentasikan dalam persamaan fungsi transfer sebagai berikut [3]:

$$G_{pv}(s) = \frac{K_{pv}}{1 + T_{pv}s} \quad (1)$$

Dimana  $K_{pv}$  adalah gain dan  $T_{pv}$  merupakan konstanta waktu dari sistem PLTS. Sedangkan pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari governor, dan turbin. Dimana  $T_g$  adalah konstanta kecepatan governor dan  $T_t$  adalah konstanta waktu turbin. Persamaan fungsi transfer untuk governor dan turbin adalah sebagai berikut [2]:

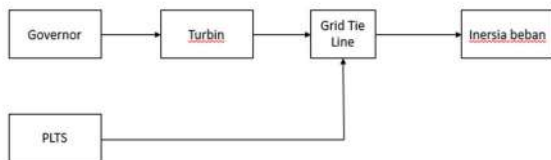
$$G_g(s) = \frac{1}{1 + T_g s} \quad (2)$$

$$G_l(s) = \frac{1}{1 + T_l s} \quad (3)$$

Kemudian, dalam jaringan listrik terdapat inersia beban yang bekerja pada saat perubahan beban yang dapat menyebabkan perubahan frekuensi jaringan yang fluktuatif. Persamaan transfer fungsi inersia beban adalah sebagai berikut :

$$G_L(s) = \frac{1}{1 + Ms} \quad (4)$$

Dimana M merupakan konstanta inersia beban. Sistem PLTS On-Grid pada makalah ini telah diasumsikan bahwa jaringan listrik PLN berasal dari pembangkit listrik tenaga uap. Sehingga diharapkan dengan masuknya PLTS ke jaringan PLN dapat mengurangi deviasi frekuensi jaringan. Setelah mendapatkan persamaan transfer fungsi, dapat dimodelkan diagram blok dari sistem PLTS On-Grid menggunakan Matlab Simulink. Diagram blok sistem ditunjukkan sebagai berikut :



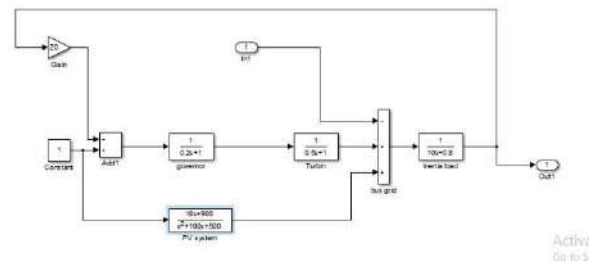
Gambar 1. Diagram blok sistem PLTS On-Grid

Adapun parameter dari sistem PLTS On-Grid adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter sistem PLTS On-Grid

Parameter	Nilai
$K_{pv}$	900
$T_{pv}$	500
$T_g$	0.2
$T_t$	0.5
M	10

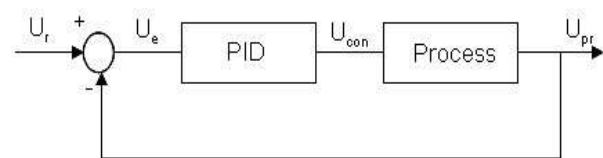
Sehingga bila dimasukkan kedalam diagram blok modelling Matlab Simulink akan menjadi seperti berikut :



Gambar 2. Diagram blok PLTS On-Grid pada Matlab Simulink

## 2.2 Kendali PID

Kendali PID dalam penelitian ini digunakan pada dua sisi yaitu PLTS dan jaringan PLN atau PLTU. Kendali PID memiliki tiga parameter yang terdiri dari proporsional, integral dan derivative. Kendali PID menghitung nilai error ( $U_e$ ) yang terjadi antara nilai setpoint ( $U_r$ ) yang diharapkan dengan nilai output dari sistem/proses ( $U_{pr}$ ).



Gambar 3. Diagram blok kendali PID

Sehingga dapat direpresentasikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_e = U_r - U_{pr} \quad (5)$$

Sedangkan parameter proporsional, integral dan derivative dapat di representasikan dengan persamaan pada gambar berikut :

$$U(t) = U_p(t) + U_i(t) + U_d(t)$$

$$U(t) = K_p U_e(t) + K_i \int_0^t U_e(t) dt + K_d (dU_e(t) / dt) \quad (6)$$

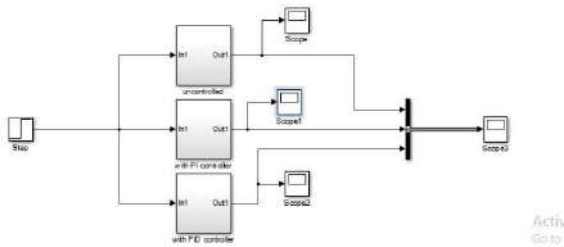
## 3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan software Matlab Simulink. Dengan memanfaatkan tool yang terdapat pada Simulink library sehingga memudahkan dalam simulasi. persamaan transfer fungsi dan parameter sistem telah didapat selanjutnya menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Metode yang digunakan untuk menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  menggunakan metode trial dan error. Hasilnya didapat parameter kendali PID sebagai berikut :

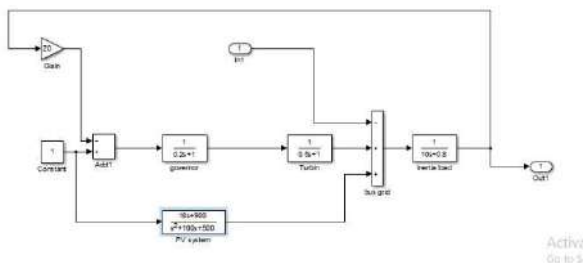
Tabel 2. Parameter kendali PID

Parameter	Nilai
$K_p$	5
$K_i$	3
$K_d$	8

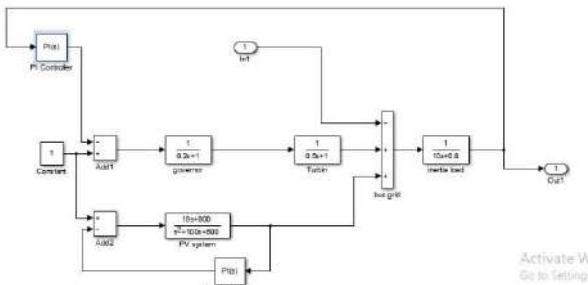
Kemudian modeling sistem PLTS On-Grid dibagi menjadi 3, yaitu tanpa kendali, dengan kendali PI, dan dengan kendali PID. Tujuannya adalah untuk melihat performansi dari metode kendali yang digunakan dalam penelitian ini. Diagram blok Matlab Simulink dari ketiga modelling sistem PLTS On-grid dapat dilihat pada gambar berikut :



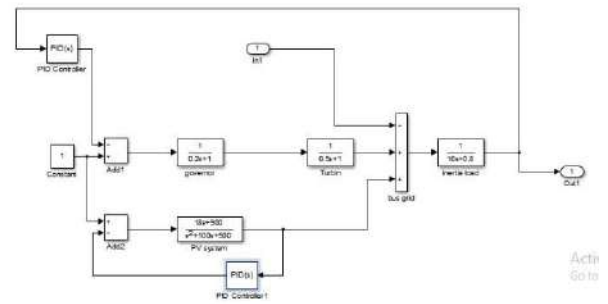
Gambar 4. Diagram blok simulasi sistem PLTS *On Grid*



Gambar 5. Diagram blok sistem tanpa kendali PID



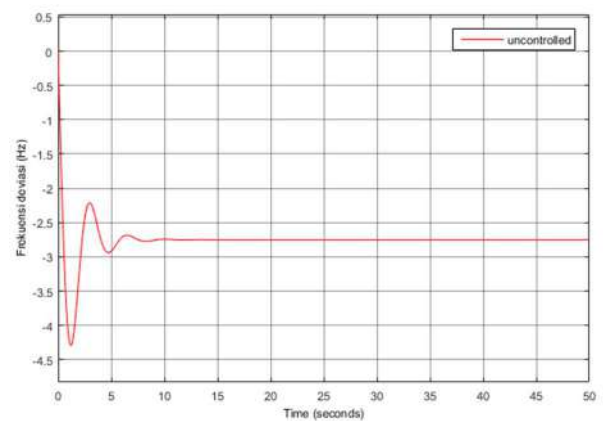
Gambar 6. Diagram blok sistem dengan kendali PI



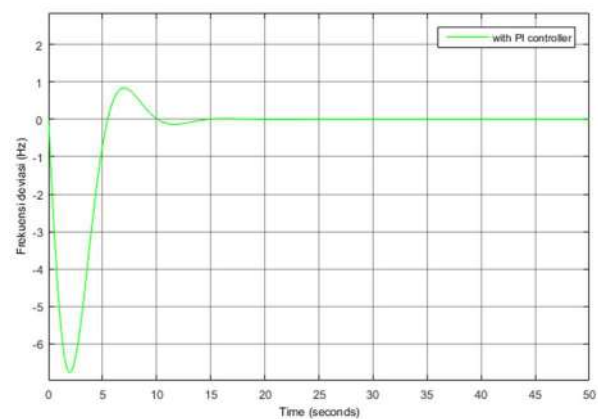
Gambar 7. Diagram blok sistem dengan kendali PID

### 3.1 Respon Sistem

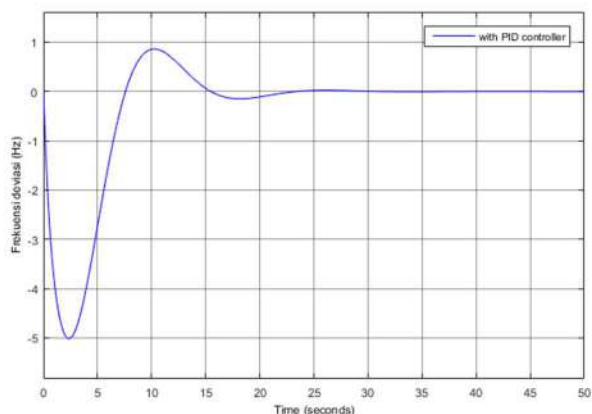
Hasil simulasi dari pemodelan sistem PLTS On-Grid dengan atau tanpa kendali PID telah dilakukan menggunakan Matlab Simulink. Didapatkan bahwa sistem PLTS On-Grid setelah menggunakan kendali PI dan PID pada masing-masing area yaitu pada sisi jaringan PLN atau PLTU dan pada sisi PLTS sebagai berikut :



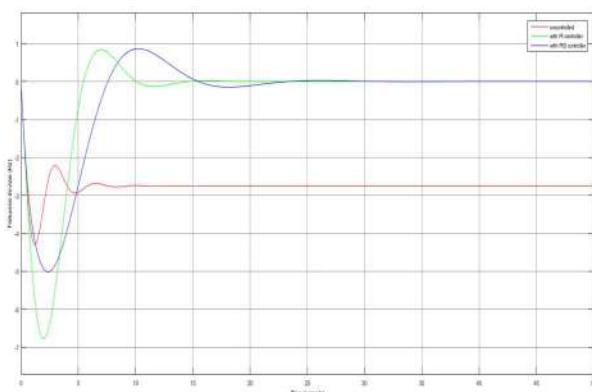
Gambar 8. Deviasi frekuensi pada sistem tanpa kendali



Gambar 9. Deviasi frekuensi pada sistem dengan kendali PI



Gambar 10. Deviasi frekuensi pada sistem dengan kendali PID



Gambar 11. Grafik performas sistem keseluruhan

Respon pada sistem PLTS *On-Grid* setelah menggunakan kendali PI maupun PID pada masing-masing jaringan menunjukkan respon yang cepat dan stabil. Performa pada simulasi ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3. Performa sistem PLTS *On-Grid*

	Tanpa kendali	PI	PID
Overshoot	1.97%	13.07%	17.06%
Rise time	896.861 ms	2.309s	3.532s
Settling time	7.735s	14.332s	22.953s

Hasil simulasi menunjukkan pada sistem tanpa kendali PI maupun PID memiliki respon yang cepat dan stabil namun sistem underdamp. Setelah menggunakan kendali PI dan PID respon sistem lebih cepat dan stabil saat menggunakan kendali PI. Simulasi dilakukan dengan asumsi pada saat radiasi matahari stabil.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa pemodelan PLTS *On-Grid* menggunakan software Matlab Simulink telah dilakukan. Hasil respon sistem terbaik didapat pada saat menggunakan kendali PI, dimana didapatkan overshoot 13.07%, rise time 2.309%, dan settling time 14.332s.

#### 5. Saran

Dalam penelitian ini masih menggunakan metode konvensional, saat yang sama telah banyak penelitian serupa yang telah mengaplikasikan metode pengendalian terbaru yakni penggunaan. Diharapkan pada penelitian selanjutnya sudah menggunakan metode pengendalian yang lebih baru seperti jaringan syaraf tiruan dan deep learning serta prediksi pada saat terjadi perubahan cuaca dan perilaku peralihan singkat dari jaringan PLN ke PLTS maupun sebaliknya. Sehingga menghasilkan performansi sistem yang handal dan stabil. Kemudian diimplementasikan dilapangan.

#### Daftar Acuan

- [1] Injeti, Satish Kumar, *Optimal tuning of PID controller for LFC of two area power system(PV-diesel) using bio-inspired optimization algorithms*, *World Journal of Modelling and Simulation*, vol. 12 no. 2, 2012, pp. 112 – 124.
- [2] Civelek. Zafer, Gorel. Goksu, Luy. Murat, Barisci. Necaatin, Cam. Ertugrul, *Effects on Load-Frequency Control of Solar Power System with Two-Area Interconnected Thermal Power Plant and its Control with a New BFA Algorithm*, *Elektronika IR Elektrotehnika*, vol. 24 no.6, 2018, ISSN 1392-1215, <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eie.24.6.22281>.
- [3] A. Hasib Chowghury, Md. Asaduz Zaman, *load frequency control of Multi-Microgrid using Energy Storage System*, *8<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2014, p. 548-551.
- [4] Koley. Indrajit, Bhowmik. Partha Sarathee, Datta. Asim, *Load Frequency Control in a Hybrid Thermal-Wind-Photovoltaic Power Generation System*, *4<sup>th</sup> International Conference on Power, Control & Embedded Systems*, 2017, ISBN: 978-1-5090-4426-9, DOI: [10.1109/ICPCES.2017.8117656](https://doi.org/10.1109/ICPCES.2017.8117656).
- [5] Tavakoli. Mehdi, Adabi. Jafar, Zabihi. Sasan, *Improving Load Frequency Control through PV contribution in a Hybrid Generation Grid*, *Smart Grid Conference, 2015*, ISBN: 978-1-5090-0369-3, DOI: [10.1109/SGC.2015.7857383](https://doi.org/10.1109/SGC.2015.7857383).

- [6] Nurrohmah. Hidayatul, Ali. Machrus, Djalal. Muhammad Ruswandi, Budiman, *Desain Frekuensi Kontrol pada Hibrid Wind-Diesel dengan PID-Imperialist Competitive Algorithm (ICA)*, *Jurnal INTAKE*, vol. 6 no. 2, 2015, ISSN 2087-4286.
- [7] Cam, Ertugrul, Kocaarslan. Ilhan, *A Fuzzy Gain Scheduling PI Controller Application for an Interconnected Electrical Power System*, *Electric Power System Research*, vol 73 issue 3, 2005, pp.267-274.

## Pemanfaatan Sumur Resapan untuk Mempertahankan Nilai Tahanan *Grounding*

Herman<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Soewarto<sup>3</sup>

Magister Terapan, Teknik Eletro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia  
Asosiasi Kontraktor Listrik dan Mekanikal Indonesia, Jl. K.H Abdullah Syafi'i, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

E-mail: herman160814@gmail.com

### Abstrak

Dalam aktifitas gedung perkantoran listrik merupakan salah satu tombak utama suatu pekerjaan dan juga memiliki resiko yang besar membahayakan pemakainya apabila salah dalam penanganan dan penggunaannya sehingga akan berakibat merenggut nyawa manusia. Salah satu permasalahannya adalah instalasi yang tidak memenuhi standar, *grounding* yang kurang baik, yang menyebabkan terdapat daya listrik pada perangkat yang mengandung besi, seperti besi printer, komputer dan alat-alat elektronik lainnya yang terhubung dengan listrik. Masalah yang paling sering adalah *grounding* yang selama beberapa tahun mengalami penurunan kualitasnya dikarenakan umur kabel, baut yang kendor dan kualitas tanah yang menurun ketika dimusim kemarau. Yang menjadi perhatian peneliti adalah bagaimana mengetahui kualitas *grounding* secara *realtime* selama satu tahun dimana terdapat dua musim di Indonesia yaitu musim hujan dan musim kemarau, kedua musim ini akan mempengaruhi sifat tanah dan secara otomatis akan mengurangi kualitas *grounding*. Untuk itu perlu diteliti sifat tanah secara *realtime* menggunakan perangkat berbasis industri 4.0 sebagai pencatat data-data yang diperlukan. Selain daripada itu ditambahkan suatu aktuator untuk memperbaiki sifat tanah agar menjadi lebih basah yang menyebabkan nilai resistansinya menjadi lebih kecil. Metode yang digunakan peneliti adalah pemanfaat sumur resapan agar sifat tanah diharapkan lebih basah dibandingkan tidak menggunakan sumur resapan, air yang biasanya dari puncak gedung disalurkan ke pipa menuju selokan akan dirubah oleh peneliti disalurkan ke lubang sumur resapan dimana areanya dekat dengan *grounding* sehingga tanah disekitarnya akan menjadi lebih lembab, dibandingkan jika air hujan dibuang langsung ke parit.

*Keywords: grounding, horizontal drainage, infiltration wells, smart grounding, saving rain water*

### 1. Pendahuluan

Permasalahan umum kelistrikan adalah instalasi yang kurang baik, tidak adanya monitor kualitas listrik secara *realtime* serta *grounding* yang terkadang kurang diperhatikan. Salah satu akibat dari *grounding* yang kurang baik berdasarkan waktu atau sifat tanah yang berubah, akan menyebabkan adanya arus yang mengalir pada kabel arde. Hal ini menyebabkan perangkat elektronik bagian besinya teraliri listrik dan bila dipegang oleh manusia akan terasa nilai kelistrikannya, tergantung dari besarnya daya dan kualitas arde yang menurun, selain daripada itu pada sebuah gedung akan menyebabkan pembayaran listrik terhadap arde tersebut serta adanya denda dikarenakan ada arus listrik di kabel arde. Selain daripada *grounding* yang kurang baik, akan menyebabkan umur peralatan elektronik semakin

menurun. Pada bangunan gedung untuk menghindari dari bahaya sambaran petir dibutuhkan nilai resistansi *grounding*  $< 5\Omega$ , sedangkan untuk *grounding* peralatan elektronik dibutuhkan nilai tahanan  $< 3\Omega$ , bahkan beberapa perangkat membutuhkan nilai  $< 1\Omega$ [1].

Untuk itulah diteliti bagaimana kualitas tanah sebelum dan setelah dialiri air dari sumur resapan. Diharapkan akan menambah kualitas resistansi *grounding* menjadi lebih baik. Metode yang digunakan untuk pengambilan data menggunakan salah satu teknik industri 4.0 dimana secara otomatis data akan dikirim oleh perangkat ke IoT. Sehingga memudahkan peneliti dalam hal analisis data secara *realtime*. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui nilai *resistansi grounding* digedung secara *realtime*, dapat memberikan informasi resistansi *grounding* dan kolerasi dengan kelembaban tanah sebagai nilai pembanding besar kecilnya nilai





secara otomatis nilai *grounding* dapat dilihat secara terus menerus tanpa harus melepas hubungan dengan jaringan instalasi industri PT . Guna Swastika Dinamika..



Gambar 3. Pemasangan Grounding dengan sumur resapan

*Terap.*, vol. 3, no. 3, 2015.

[2] J. Uddin and S. Sumarno, “Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan,” *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 29, 2017.

[3] Z. Abidin and A. Ghufroon, “Analisa perbaikan sitem pentanahan instalasi listrik di tanah kapur dan padas menggunakan metode Sigarang (sistem grounding arang dan garam),” *J. Tek. Elektro*, pp. 1–5.

Tabel 1. Perbandingan *grounding* kering dan basah

No	Hari Ke	Sensor		Aktuator
		Grounding Kering	Grounding Basah	Volume Air M(cubic)
1	1	50 ohm	25 ohm	0,1
2	2	50 ohm	25 ohm	0,1
3	3	50 ohm	25 ohm	0,1
4	4	50 ohm	25 ohm	0,1
5	5	50 ohm	25 ohm	0,1
6	6	50 ohm	25 ohm	0,1
7	7	50 ohm	25 ohm	0,1

#### 4. Kesimpulan

Dengan memberikan lapisan tanah dengan air hujan, maka nilai kelembaban tanah akan semakin terjaga setiap tahunnya. Pembacaan nilai resistansi *grounding* secara *realtime* akan sangat membantu ketika bila ada suatu masalah sehingga dapat ditangani secara cepat dan tepat sebelum ada kejadian sambaran petir atau perangkat elektronik yang rusak.

#### Daftar Acuan

[1] Riza Ariesta, Dikpride Despa, Herri Gusmedi, and Lukmanul Hakim, “Studi Analisis Sistem Pentanahan Eksternal pada Gedung Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Lampung,” *J. Inform. dan Tek. Elektro*

## Memperbaiki Nilai Tahanan Grounding Menggunakan Pompa Air sebagai Aktuator

Ayodhia Fitriaji<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup> dan Soewarto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

E-mail: ayodhia\_fitriaji@yahoo.com

### Abstrak

Salah satu hal permasalahan utama sistem grounding adalah tidak termonitor secara realtime, dikarenakan suatu saat ada kemungkinan terjadi nilai resistansinya membesar. Faktor penyebab bisa dari berbagai kemungkinan, bisa baut yang mulai karat atau kendur, atau juga nilai resistansi pentanahannya membesar akibat musim kemarau. Hal ini dapat menyebabkan terdapatnya arus listrik pada Grounding sistem. Hal ini dapat menyebabkan perangkat-perangkat elektronik menjadi rusak. Pada pemasangan awal terdapat uji dan inspeksi nilai grounding agar sesuai standar, tetapi tidak diketahui berapa nilai grounding secara realtime. Paper ini adalah tahapan pra desain dari sebuah sistem pentanahan menggunakan metode untuk mempertahankan nilai resistansi tanah dimusim hujan maupun musim kemarau agar nilainya mendekati sama. Untuk itu diperlukan monitoring resistansi pada kabel grounding secara realtime, sensor kelembaban tanah serta aktuator motor pompa untuk mengaliri air kedalam tanah disekitar kabel grounding. Hasil akhir yang ingin didapat adalah korelasi dari sensor arus pada kabel grounding, sensor kelembaban tanah serta nilai aktuator motor pompa, diharapkan akan membuat resistansi pentanahan menjadi stabil.

*Keywords: building, control, electrical, smart grounding system, grounding actuator.*

### 1. Pendahuluan

Keamanan dan kehandalan merupakan suatu hal yang wajib diperlukan dalam melakukan rancang bangun instalasi sistem tenaga listrik [1]. Sistem pentanahan adalah faktor terpenting dalam meningkatkan bahaya kerusakan peralatan-peralatan rumah tangga, perkantoran bahkan gedung, nilai resistansi pentanahan sangat dipengaruhi oleh kondisi dan lingkungan sekitar tanah[2]. Kondisi ini bisa disebabkan air tanah yang menurun setiap tahunnya, dikarenakan air hujan tidak lagi masuk kedalam tanah melainkan dibuang ke sungai. Kekurangan air tanah ini bisa menyebabkan dimasa depan sifat pentanahan semakin memburuk, sehingga terjadi arus yang mengalir pada kabel arde/grounding. Hal ini menyebabkan perangkat elektronik bisa mengalami kerusakan, dan bila terjadi digedung dengan daya besar akan menyebabkan pembebanan biaya denda karena nilai pentanahan dibawah standar. Pada bangunan gedung untuk menghindari dari bahaya sambaran petir dibutuhkan nilai resistansi grounding  $< 5\Omega$ , sedangkan untuk grounding peralatan elektronik dibutuhkan nilai tahanan  $< 3\Omega$ , bahkan beberapa perangkat membutuhkan nilai  $< 1\Omega$ [3].

Dalam waktu tertentu nilai grounding bisa berubah maka perlunya pemantauan secara realtime serta sistem aktuator untuk menangani nilai grounding yang memburuk. Menurut Zainal salah satu faktor pembumian yang kecil adalah elctrode, dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa nilai tahanan tanah pembumian sangat diperlukan kondisi tanah. Pemberian air dan garam memberikan dampak terbaik dalam menurunkan tahanan pentanahan sampai pada nilai 1,52  $\Omega$ .

Untuk itulah peneliti tertarik untuk memperbaiki kualitas tanah dengan memberikan air menggunakan pompa sebagai aktuator[4]. Diharapkan akan menambah kualitas resistansi grounding menjadi lebih baik. Untuk memenuhi hal tersebut dibutuhkan sebuah perangkat yang dapat membaca nilai resistansi pentanahan yang terpasang dengan jaringan listrik serta controller yang dapat menggerakkan pompa air disaat dibutuhkan. Sebagai alat bantu analisa nilai kelembaban tanah, nilai resistansi pentanahan akan tercatat di cloud IoT dalam format .csv sebagai pembuktian sistem yang dibuat apakah menghasilkan perbaikan atau tidak.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Workshop PT Guna Swastika Dinamika. Metode yang dilakukan memakai konsep eksperimen dengan cara membuat saluran air kedalam sistem grounding menggunakan pompa. Untuk lebih jelasnya diilustrasikan pada gambar 1.



**Gambar 1. Sistem Perbaikan Resistansi Grounding dengan pompa sebagai aktuator**

Keterbaruan dari desain ini adalah pompa sebagai aktuator yang memberikan kelembaban tanah disaat musim kemarau, sehingga menyebabkan kelembaban tanah terjaga. Sensor kelembaban tanah berfungsi sebagai bahan analisa dari nilai kelembaban tanah yang dihasilkan.

Tahapan analisa dengan menguji nilai resistansi grounding dua buah titik yang berbeda, tahapan pengujiannya sebagai berikut:

- Pengujian sensor kelembaban tanah.
- Pengujian sensor resistansi realtime.
- Pengambilan data sensor kelembaban dan resistansi.
- Hitung jumlah air yang dimaksudkan
- Uji sistem secara keseluruhan.

Pengujian ini dilakukan terhadap titik grounding yang dialiri air dari pompa dan titik grounding standar yang terpasang. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan apakah nilai resistansinya memiliki perubahan serta melihat kelembaban tanah yang terjadi.



**Gambar 2. Pompa air sebagai aktuator**

## 3. Hasil dan Pembahasan

Sebuah system instalasi proteksi petir yang baik, dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap dampak bahaya dari sambaran petir. Berikut adalah cara penentuan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir menggunakan standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), National Fire Protection Association (NFPA) 780 dan International Electrotechnical Commission (IEC)1024-1-1.

Besarnya kebutuhan ditentukan dari penjumlahan indeks-indeks berikut yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi dan dituliskan seperti :

$$R = A + B + C + D + E \quad (1)$$

dimana :

R = Perkiraan Bahaya Petir

A = Penggunaan dan Isi Bangunan

B = Konstruksi Bangunan

C = Tinggi Bangunan

D = Situasi Bangunan

E = Pengaruh Kilat.

**Tabel 6. Indeks R Perkiraan Bahaya Sambaran Petir Berdasarkan PUIPP**

R = A + B + C + D + E	Perkiraan Bahaya (Resiko)	Pengamanan
< 11	Diabaikan	Tidak perlu
= 11	Kecil	Tidak perlu
12	Tidak begitu kecil	Agak dianjurkan
13	Agak besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat dianjurkan
> 14	Sangat besar	Sangat perlu

Sumber : PUIPP (1983)

Pemilihan tingkat proteksi untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekwensi sambaran petir langsung setempat (Nd) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekwensi sambaran petir tahunan setempat (Nc) yang diizinkan. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tertentu dinyatakan sebagai :

$$Ng = 0,04 \cdot Td^{1,25} / km^2 / tahun \quad (2)$$

Dimana:

Ng = kerapatan sambaran petir ke tanah

Td = jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari data yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG). Frekuensi rata-rata tahunan sambaran petir langsung (Nd) ke bangunan dapat di hitung :

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} / tahun \quad (3)$$

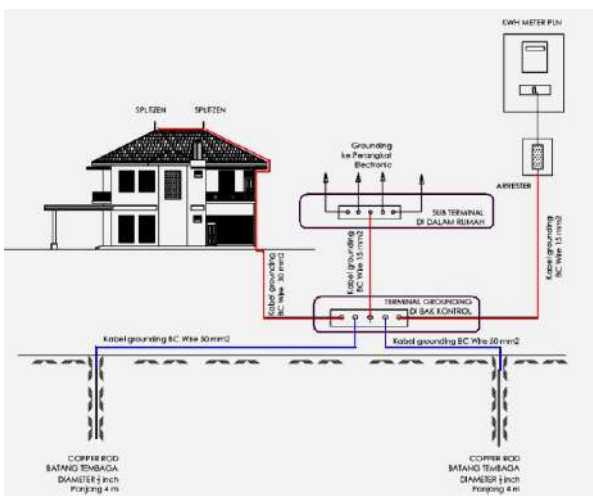
Dimana:

$A_e$  = area cakupan ekivalen dari bangunan (m<sup>2</sup>) yaitu daerah permukaan tanah yang di anggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Sedangkan, nilai area cakupan ekivalen ( $A_e$ ) tersebut dapat di hitung berdasarkan persamaan di bawah ini :

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (4)$$

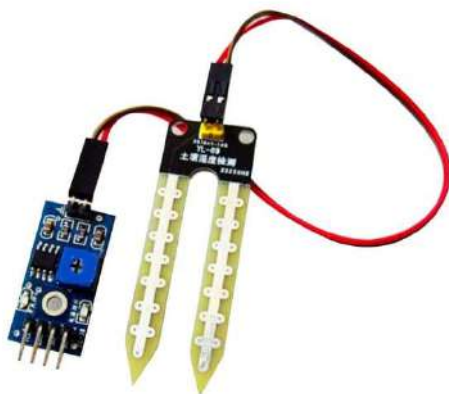
Dimana :

- a : panjang dari bangunan (m)
- b : lebar dari bangunan (m)
- h : tinggi bangunan yang di proteksi (m)



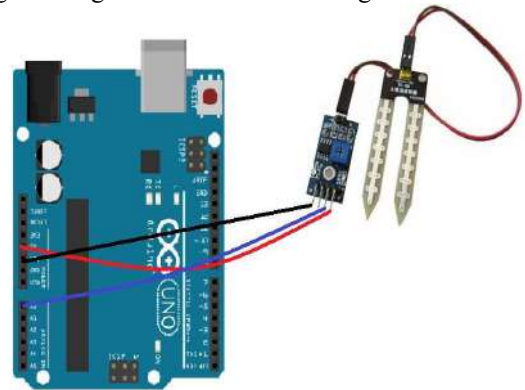
Gambar 3. Sistem penangkal petir pada bangunan gedung

Sensor Resistansi, Sensor kelembaban mengirimkan nilai nya ke controller tipe AK22 untuk direkam, ketika terjadi resistansiya yang membesar dan kelembaban tanahnya berkurang maka secara otomatis pompa dinyalakan oleh controller untuk memberikan air ke area grounding, selain daripada itu data-data sensor tersebut akan dikirirkan ke cloud IoT untuk dianalisa lebih lanjut dikemudian hari. Pembacaan sensor resistansi grounding hanya bisa di angka 0,01Ω – 200Ω, sedangkan nilai yang terbaca seharusnya < dari 9 Ω.



Gambar 4. Sensor kelembaban tanah

Adapun sensor kelembaban tanah ioni setelah di hubungkan dengan controller adalah sebgai berikut :



Gambar 5. Sensor kelembaban tanah dan controller arduino uno

Tabel dibawah ini nantinya akan menampung hasil dari data yang didapat ketika pompa air memberikan kelembaban ke tanah disekitar grounding, serta dibandingkan dengan area grounding tanpa dialiri air.

Tabel 1. Nilai resistansi dan kelembaban serta volume air yang dikeluarkan

No	Tanggal	Waktu	Sensor	Aktuator	Resistansi			
			Grounding	Kelembaban	Volume Air	Daya Pompa	Kwh Pompa	Grounding 2
			Ω		m <sup>3</sup>	Watt	Kwh	Ω
1	12/12/2019	06:00						
2	12/12/2019	06:10						
3	01/03/2019	00:00						

Kemudian data-data dari mikrokontroler dikirirkan melalui IoT dengan arsitektur sebgai berikut.



Gambar 5. Sensor kelembaban tanah dan controller arduino uno

#### 4. Kesimpulan

Pada tahap pra desain ini telah dihasilkan sebuah sistem arsitektur dari sistem pentanahan. Sistem pentanahan yang dimaksud adalah sistem pentanahan yang secara otomatis dapat memberikan nilai pentanahan yang standar yaitu dengan cara memberikan air dengan waktu tertentu yang telah di control melalui sebuah pompa air ke tanah yang ada system pentanahannya. Kemudian data-data dimonitor dan dikirimkan melalui IoT, sehingga dapat mempermudah dalam perawatan system pentanahan yang telah terpasang.

#### Daftar Acuan

- [1] J. Uddin and S. Sumarno, "Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan," *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 29, 2017.
- [2] Riza Ariesta, Dikpride Despa, Herri Gusmedi, and Lukmanul Hakim, "Studi Analisis Sistem Pentanahan Eksternal pada Gedung Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Lampung," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 3, no. 3, 2015.
- [3] Z. Abidin and A. Ghufron, "Analisa perbaikan sitem pentanahan instalasi listrik di tanah kapur dan padas menggunakan metode Sigarang (sistem grounding arang dan garam)," *J. Tek. Elektro*, pp. 1-5.
- [4] F. M. S. S, F. A. Q. P, H. P. G. C and S. N. Q. N, "Soil Treatment to Reduce Grounding Resistance by Applying Low-Resistivity Material (LRM) and Chemical Ground Electrode in Different Grounding Systems Configurations," *2018 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, Ixtapa, Mexico, 2018, pp. 1-6.
- [5] IEEE Draft Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding," in *IEEE P837/D12, July 2013*, vol., no., pp.1-50, 21 Dec. 2013
- [6] K. Tang, J. Ruan, D. Huang, Q. Zhan, W. Xiao and H. Li, "Application study of flexible graphite grounding electrode in typical tower grounding grid," *2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, Chengdu, 2016, pp. 1-4.
- [7] L. Zhou, J. He, H. Xu, P. Wang, Y. Chen and S. Chen, "Simulation of impact of vertical grounding electrode on impulse grounding resistance of substation grounding network," *2017 2nd IEEE International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM)*, Nanjing, 2017, pp. 18-22.
- [8] L. Zhizhong, W. Sen, X. Jun, N. Bo, J. Hongliang and X. Hua, "Performance testing and comprehensive evaluation on large grounding connection," *2011 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning*, Chengdu, 2011, pp. 983-989.



## Optimalisasi Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya *OFF-GRID 2000Wp*

Soewarto<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup>, Andy Budiman W<sup>3</sup>

Magister Terapan, Teknik Eletro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia  
Asosiasi Kontraktor Listrik dan Mekanikal Indonesia, Jl. K.H Abdullah Syafi'i, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

E-mail: soewarto.be@gmail.com

### Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi alternatif yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber penghasil listrik. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan pemakaian beban yang optimal agar kebutuhan beban utama tercapai selama 24 jam, dengan mengatur skenario pemakaian beban yang lebih diutamakan (*load shedding load sharing*). Didalam penelitian ini, digunakan 20 panel surya 100Wp dengan keluaran tegangan 350Vdc selanjutnya oleh inverter tegangan diubah dan diturunkan menjadi 220Vac, selanjutnya aliran daya ini dikirimkan ke beban serta mengisi baterai melalui charger controller 48vdc. *Controller* memantau kapasitas daya yang dikeluarkan oleh plts serta kapasitas baterai sebagai acuan skenario pembebanan yang di atur. Dengan pengaturan skenario pembebanan ini maka pemakaian beban yang diprioritaskan akan terjaga selama 24 jam. Perancangan PLTS ini dapat berfungsi sebagai sumber daya listrik utama atau sebagai cadangan energi bagi rumah tangga yang sudah memiliki energi dari PLN terutama ketika energi dari PLN mengalami gangguan dan beban puncak. Dengan mengatur beban dari analisa teknis yang tepat, maka energi yang dihasilkan menjadi aman handal dan efisien.

*Keywords: off grid-plts, load shedding, load sharing, renewable energy plts, optimal load plts*

### 1. Pendahuluan

Listrik bagi kehidupan manusia mempunyai peran yang sangat penting. Dikarenakan listrik yang dibutuhkan oleh manusia sangatlah besar, baik itu untuk dikonsumsi secara pribadi atau pun untuk dikomersilkan. Sampai saat ini, listrik yang digunakan sangatlah bergantung pada PLN (Perusahaan Listrik Negara)[1]. Hal ini menyebabkan bahan bakar digunakan PLN adalah batu bara yang semakin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satu upaya yang dilakukan dengan menggunakan energi alternatif yaitu dengan memanfaatkan panas matahari[2]. Panas matahari yang mudah diperoleh dan juga ramah lingkungan. Energi dari panas matahari dapat diubah menjadi listrik yang sangat mudah penggunaannya. Untuk pengembangan tenaga surya sangat perlu dilakukan, baik untuk meningkatkan efisiensi atau bahkan pengembangan dalam penggunaannya. Pada umumnya inverter panel surya memiliki efisiensi yang sangat rendah dikarenakan tegangannya yang terlalu kecil untuk

men suply jaringan listrik PLN 220VAC[3], untuk itulah dilakukan perancangan dan evaluasi dari sistem yang dibuat dimana kinerjanya sumber tegangan panel surya lebih tinggi dari pada listrik PLN 220VAC, yaitu kisaran 400 – 550Vdc. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan plts dengan tegangan yang lebih rendah dari sumber PLN 220Vac[4].

Dalam perancangan panel surya dibutuhkan 4 komponen utama yaitu daya dan waktu beban selama menyala, daya *inverter*, daya panel surya dan daya baterai[5]. Korelasi dari keempat komponen ini sangat penting untuk mendapatkan nilai yang efektif dan efisien. Pengukuran yang berkala dan kontinyu sangat dibutuhkan, untuk itu ditambahkan perangkat monitoring daya mulai dari panel surya, *inverter* serta beban yang digunakan. Perangkat monitoring ini akan merekam datanya pada PC sehingga analisa yang tepat dapat dilakukan. Saat ini masih ada beberapa daerah yang belum memiliki jalur PLN, sistem ini akan membantu sebagai penerangan utama disetiap rumah atau perkantoran dimana disaat siang hari panel

surya membagi dua dayanya untuk kebutuhan listrik siang hari dan selain itu juga bisa dimanfaatkan sebagai cadangan listrik bila pln mati, beban puncak dan alat-alat rumah tangga penting bagi konsumen yang sudah berlangganan pln.

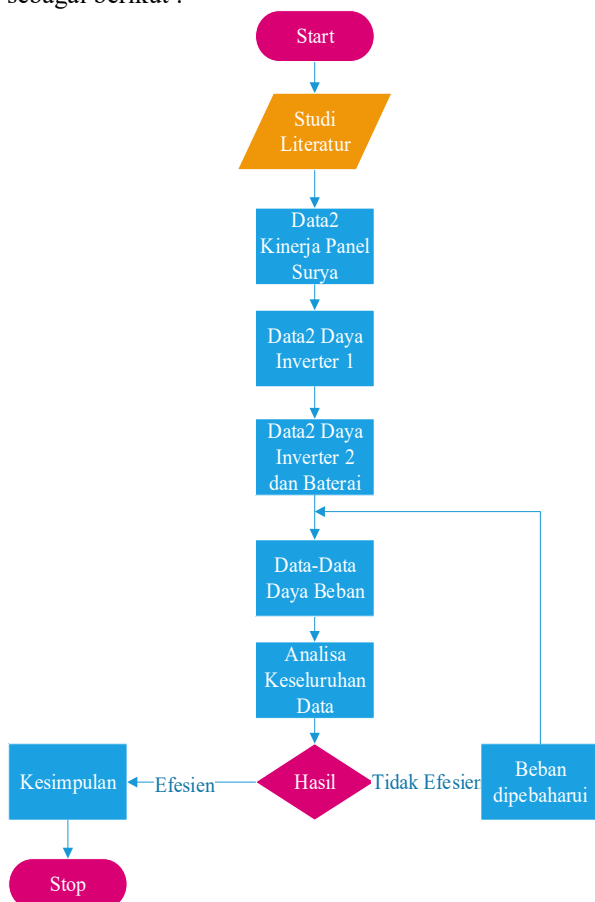
Sistem ini didesain agar menjadi acuan standar instalasi pemasangan PLTS dan sebagai sarana sertifikasi kelistrikan di PT APEI.

Perangkat terdiri dari panel surya 10 diseri (2000Wp)[6], *junction box*, *combiner box*, panel *dc control*, panel *ac Control*, *inverter*, baterai dan beban.

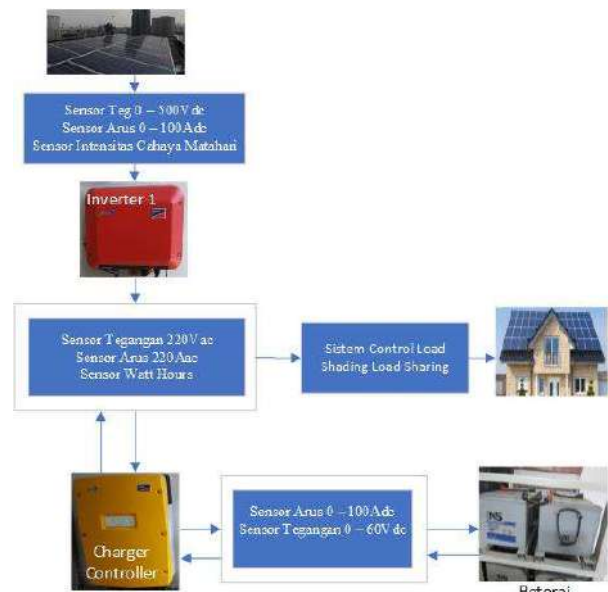
Panel surya terdapat MCB sebagai sarana pengamanan modul-modul panel surya dari gangguan petir dan hubung singkat.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian yang diterapkan menggunakan beberapa tahapan dengan melibatkan pengembangan dan evaluasi, dengan menggunakan kajian literatur, pengumpulan data dan pengukuran dilapangan terhadap data-data dibutuhkan. Alur flowchart penelitian yang dilakukan sebagai berikut :



Gambar 1. Flowchart tahap-tahap penelitian



Gambar 1. Blok Diagram Sistem PLTS OFF-GRID

Untuk melakukan penelitian ini dibutuhkan sensor-sensor sebagai sumber data untuk dianalisa dengan mengirimkan secara *realtime*[7], agar lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:

Pada gambar 1 terlihat konsep blok diagram komponen-komponen plts. Terlihat bahwa dari panel surya dihubungkan ke *junction box* agar mudah didalam hal penambahan atau perawatan panel surya, pada panel ini terdapat tegangan panel surya sekitar 550vdc dan terdapat sensor arus dan tegangan serta sensor kuat sinar matahari (lux meter), ketiga sensor ini akan menjadi analisa dari kinerja dari panel surya dari pagi sampai sore, dari *junction box* dihubungkan ke *inverter* 1 agar tegangan 550Vdc dapat di regulasi menjadi 48Vdc untuk dihubungkan ke *inverter* ke 2 melalui panel control, pada panel control terdapat sensor arus dan tegangan dc serta sensor arus dan tegangan ac 220V, pada panel ini terdapat monitoring charging baterai, daya beban dan daya baterai ketika dipakai sebagai sumber energi didalam hari, *inverter* ke 2 akan memberikan daya ke beban serta *charging* baterai bertegangan 48vdc, *inverter* inilah yang mengatur pemberian beban dan charging baterai serta bila pada malam hari baterai akan memberikan tegangan ke *inverter* ke 2 untuk dirubah menjadi 220Vac ke beban. Untuk mendapatkan hasil sistem plts yang dirancang beberapa data yang akan dijadikan analisa data sebagai berikut :

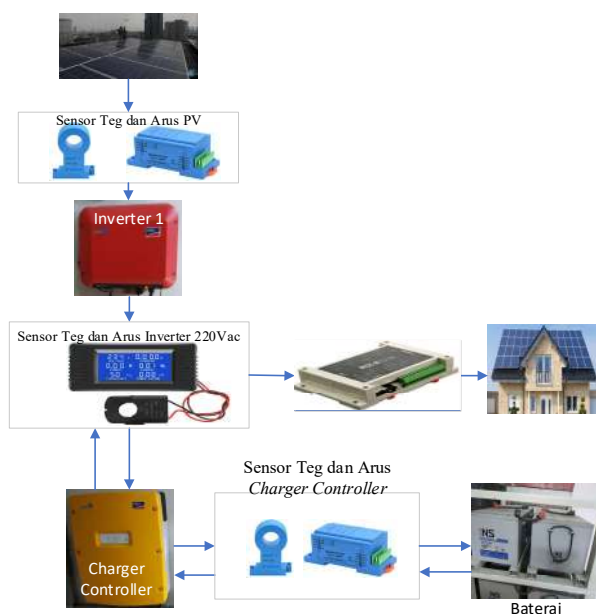
Tabel 1. Data analisa sistem plts

No	Waktu	Panel Surya				Inverter					Beban	
		Kuat Sinar Matahari (Lux)	Teg Volt	Arus Amperce	Daya Watt	Teg DC Volt	Arus DC Amperce	Daya DC Watt	Teg AC Volt	Arus AC Amperce		Daya AC Watt
1	10:00	48.500	435	1,02	443,7	53	2	106	231,8	0,5	115,9	120
2	11:00	49.000	435	1,02	443,7	52,9	2	105,8	231,7	0,5	115,85	120
3	12:00	47.800	434	1,01	438,34	52,9	2	105,8	231,8	0,5	115,9	120
4	13:00	43.400	405	1	405	52,8	2	105,6	231,8	0,5	115,9	120
5	14:00	32.000	403	1	403	52,8	1,98	104,544	231,8	0,5	115,9	120
6	15:00	32.400	403	1	403	52,8	1,98	104,544	231,7	0,5	115,85	120
7	16:00	19.400	395	0,9	355,5	52,7	0,7	36,89	231,7	0,5	115,85	120
8	17:00	10.500	385	0,9	346,5	52,7	0,8	42,16	231,7	0,5	115,85	120

Data-Data ini menjadi dasar analisa untuk menentukan skala prioritas beban yang dipikul / dibebankan kepada plts sehingga akan didapat pembebanan yang optimal untuk jangka waktu 24 jam. Saat ini kondisi plts masih memadai dikarenakan bebannya masih terlalu rendah dibandingkan dengan daya yang dihasilkan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian perangkat masing-masing modul dilakukan untuk memperkecil kesalahan pembuatan sistem, agar menghasilkan hasil yang baik. 10 panel surya mempunyai karakteristik yang tidak melebihi kemampuan dari *inverter* nya sehingga *inverter* akan bekerja dengan baik dan memiliki umur yang panjang. Sensor-sensor diletakkan pada masing-masing panel untuk memudahkan pemeriksaan serta perawatan. Output beban dimulai dengan yang paling kecil sehingga tidak langsung membebani *inverter* serta panel surya. Langkah-langkah pemasangan harus berurutan agar tidak terjadi kerusakan pada *inverter*. Agar lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian secara keseluruhan

### 4. Kesimpulan

Dengan skenario pembebanan maka hasil sumber energi dapat melayani beban secara optimal selama 24 jam.

### Daftar Acuan

- [1] E. Engineering, "Voltaic System," 2015.
- [2] G. Udupa, J. Freeman, V. Nimbewal, R. K. Choudhary, S. Sasikumar, and S. V Nair, "Amrita Surya Vahini A Solar Auto Rickshaw," pp. 1–6, 2016.
- [3] M. F. Hakim, "Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal," *J. Din. DotCom*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2017.

8, no. 1, pp. 1–11, 2017.

[4] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Ris. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 10, pp. 169–180, 2012.

[5] A. Rajeev and K. S. Sundar, "Design of an off-grid PV system for the rural community," *Proc. - 2013 Int. Conf. Emerg. Trends Commun. Control. Signal Process. Comput. Appl. IEEE-C2SPCA 2013*, no. December, 2013.

[6] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. A. F., and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emitor*, vol. 18, no. 1, pp. 10–42, 2017.

[7] J. Sanjaya, M. A. Dhaneswara, D. Van Hauten, and H. Santoso, "Implementation of solar tracking system to maximize energy absorption in wireless sensor network," *Proc. 2018 10th Int. Conf. Inf. Technol. Electr. Eng. Smart Technol. Better Soc. ICITEE 2018*, pp. 577–580, 2018.

## Meningkatkan Keandalan PJU Tenaga Surya Dengan *Monitoring* Baterai dan *Control Charger*

Andy Budiman Wibowo<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup>, Soewarto<sup>3</sup>

Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia  
Asosiasi Kontraktor Listrik dan Mekanikal Indonesia, Jl. K.H Abdullah Syafi'i, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

E-mail: deva992k3@yahoo.com

### Abstrak

Penerangan PJU merupakan kebutuhan penerangan di malam hari, terutama di jalan tol, penerangan ini menjadi kebutuhan utama dikarenakan keselamatan dan keamanan, sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan. Kendala yang dialami adalah rusaknya yang tidak dapat di prediksi serta lokasi yang jauh menyebabkan bila ada kerusakan tidak dapat langsung ditangani, terutama kerusakan baterai dan *control charger*. Untuk itu dibutuhkan pju dengan tingkat kerusakan yang minim/ sedikit. Informasi kinerja pju secara berkala sangat dibutuhkan sebagai sarana perawatan dan mengambil tindakan yang cepat ketika PJU mengalami kerusakan. Penelitian ini dilakukan untuk menjaga agar lampu PJU di jalan selalu menyala atau cepat mengambil tindakan ketika terjadinya kerusakan. Untuk itu dibutuhkan modifikasi dari PJU konvensional dengan sebuah sistem *monitoring* yang akan menginformasikan kerusakan perangkat terutama komponen baterai dan *control charger*. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka dibutuhkan sensor ketika perangkat charger gagal atau rusak, selain itu juga sensor kondisi baterai apakah masih dapat dipakai atau sudah mulai rusak. Kinerja sensor *Charger Fail* adalah membaca tegangan keluaran modul *charger*, apakah masih memenuhi syarat sebagai alat pengisi baterai atau tidak, bila terjadi tegangan *charging* bermasalah maka secara otomatis akan memberikan informasi kegagalan *charger*. Kinerja baterai dideteksi oleh sensor *battery fail* ketika formula pengisian baterai tidak sesuai maka baterai dinyatakan rusak, sehingga informasi bahwa baterai bermasalah akan dikirimkan oleh media IoT. Sebagai kebutuhan data analisis kinerja dari pengisian baterai baik arus maupun tegangannya terekam secara kontinyu baik dari cahaya matahari sampai tegangan dan arus pengisian baterai.

*Keywords: battery pju, charger controller, low watt energy pju, led pju, maintenance pju, monitoring pju*

### 1. Pendahuluan

Penerangan jalan umum atau penerangan lampu jalan merupakan salah satu sistem penerangan yang berada diluar gedung. Sistem lampu jalan yang baik merupakan bagian dari tata pencahayaan yang berguna menunjang keselamatan bagi pengguna trotoar jalan maupun pengemudi kendaraan[1].

Lampu jalan atau dikenal juga sebagai Penerangan Jalan Umum (PJU) adalah lampu yang digunakan untuk penerangan jalan di malam hari sehingga mempermudah pejalan kaki, pesepeda dan pengendara kendaraan dapat melihat dengan lebih jelas jalan/medan yang akan dilalui pada malam hari, sehingga dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas dan keamanan dari para pengguna jalan dari kegiatan/aksi kriminal[2]. Menurut Clarke penerangan yang lebih baik akan menghalangi penyerang yang mengambil manfaat dari kegelapan malam[3].

Penerangan jalan di kawasan perkotaan mempunyai fungsi antara lain, menghasilkan kontras antara obyek dan permukaan jalan, sebagai alat bantu navigasi

pengguna jalan, meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari, mendukung keamanan lingkungan, memberikan keindahan lingkungan jalan[4].

Hal ini diperlukan pemantauan data-data kinerja baterai PJU secara *realtime* untuk mendapatkan data kerusakan secara dini. Perangkat untuk mendapatkan hal tersebut dibutuhkan metode IoT sebagai sarana pengiriman data secara *realtime* dan kontinyu. Selain daripada itu tuntutan ke arah industri 4.0 kedepannya sangatlah dibutuhkan. Hal ini diharapkan agar PJU dapat beroperasi terus menerus tanpa harus menunggu rusak yang menyebabkan padamnya suatu wilayah. Selain daripada itu akan memudahkan pekerja dalam hal perawatan PJU di jalan raya ataupun di jalan tol yang sangat banyak .

### 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di daerah Tebet Jakarta Selatan tepatnya di gedung AKLI, dimana banyak pejalan kaki

menuju stasiun kereta tebet sehingga bermanfaat bagi masyarakat .

Metode penelitian ini menerapkan metode *waterfall*[2] dimana tahapannya sebagai berikut :

Penambahan modul-modul terhadap lampu PJU , yaitu Panel surya, baterai lithium ion, modul pendeteksi *charging fail* dan *battery fail*, menambahkan informasi secara realtime bila terjadi kesalahan, serta monitoring dilakukan secara terpusat pada server atau menggunakan *gadget* bagian operator perawatan PJU.

Diagram blok perancangan sistem dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

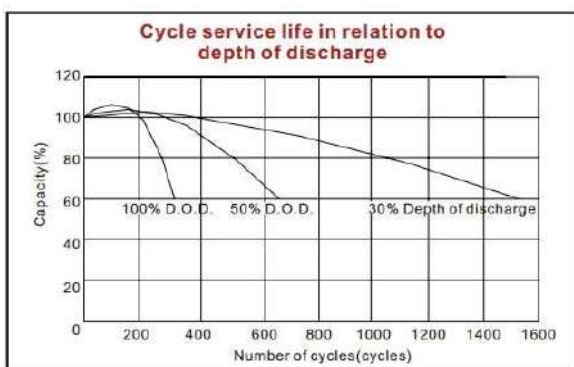


Gambar 1. Blok Diagram Kinerja PJU terhadap *Charging Fail* dan *Battery Fail*

Sensor Charging Fail mendeteksi tegangan keluaran controller panel surya bila tidak ada atau dibawah standar charging battery maka secara otomatis sistem akan mengirimkan informasi bahwa terdapat kegagalan perangkat charger, selain daripada itu sensor *batteray fail* memantau kinerja baterai yang di *charge* bila tidak memenuhi standar maka dapat dinyatakan bahwa baterai gagal di *charge/* di isi, sehingga sistem akan mengirimkan informasi bahwa terdapat kegagalan baterai atau baterai dianggap rusak.

Perlunya untuk diketahui spesifikasi baterai yang akan digunakan, sebagai berikut :

Tabel 1. Korelasi Dod terhadap Cycle kerja baterai



Agar umur baterai bertahan cukup lama maka DoD (Depth of Discharge) selama mungkin, rumusnya sebagai berikut :

DoD = Energi beban : Kapasitas energi baterai

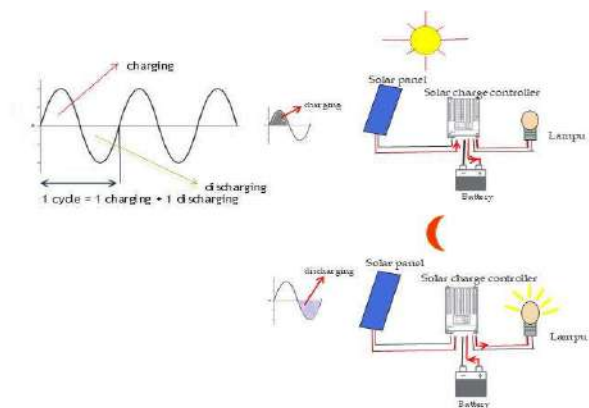
Misal PJU 30Wp dinyalakan selama 12 jam

Baterai 12V 100ah, maka :

Dod = 360Wh : 1200Wh

Dod = 30%

Bentuk kerja PJU selama 24 jam dapat diilustrasikan sebagai berikut :

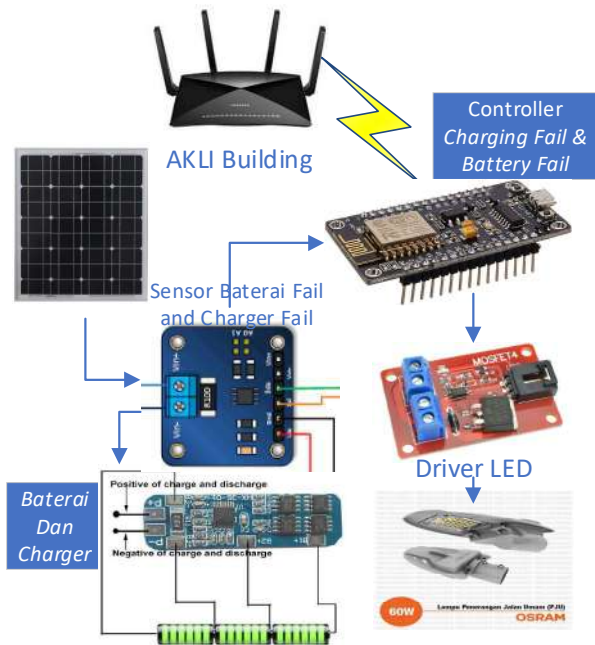


Gambar 2. Siklus kerja baterai PJU

Kinerja baterai PJU disiang hari adalah *charging* dan dimalam hari *discharging* artinya 1 cycles, untuk memperlama umur baterai maka presentase DoD dibuat kecil sehingga *cycles* nya lebih lama seperti pada tabel 1.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Panel surya mengeluarkan tegangan DC 12V sampai dengan 19V disiang hari sebagai sumber *charging* baterai, sensor *charging fail* akan mendeteksi bila terdapat nilai tegangan dibawah nilai *charging* baterai maka akan mengirimkan informasi bahwa *charging fail*, selain daripada itu *controller/* Perangkat monitoring juga mengisi nilai baterai yang sedang di *charging* bila kapasitasnya tidak bertambah maka sensor *baterai fail* akan mengirimkan informassi bahwa *baterai fail*. Ilustrasi rangkaian lengkap dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Blok Sistem PJU

Sensor *Baterai Fail* dan *Charger Fail* membaca daya dari panel surya datanya dikirimkan ke *controller* untuk diproses dan dipantau kinerja charging baterai, pada saat charging tegangannya jatuh (mendekati 0V) maka akan memberikan informasi *charger fail* melalui media internet ke pihak pemeliharaan PJU, kapasitas baterai dibaca oleh kontroller selama pengisian bila dalam waktu 8 jam masih kosong maka akan mengirimkan informasi *baterai fail*, hal ini terjadi bila arus *charger* mendekati 0ampere yang seharusnya lebih besar dari 1 ampere ketika ada beban. Pengujian secara manual dilakukan dengan melepas kabel dari panel surya ke sensor untuk mengetahui bahwa rangkaian charger fail berfungsi, untuk menguji baterai fail dengan melepas kabel baterai. Datanya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 : Kondisi Normal ketika proses *charging*

No	Waktu	Panel Surya		Baterai
		Tegangan	Arus	Tegangan
		Volt	Ampere	Volt
1	10:00	15,9	1,9	13,8
2	11:00	16,3	1,8	13,5
3	12:00	15,8	1,5	13,2
4	13:00	15,5	1,2	12,8
5	14:00	15,1	1	12,5
6	15:00	12,5	0,8	12,3
7	16:00	12,3	0,7	12,3
8	17:00	11,3	0,5	12,3

Tabel 2: Kondisi Normal saat lampu PJU menyala

No	Waktu	Baterai		Lampu
		Tegangan	Arus	Tegangan
		Volt	Ampere	
1	18:00	12,3	2,5	ON
2	19:00	12,3	2,4	ON
3	20:00	12,1	2,4	ON
4	21:00	12,1	2,4	ON
5	22:00	15,1	2,4	ON
6	23:00	12,5	2,4	ON
7	00:00	12,3	2,3	ON
8	01:00	11,9	2,3	ON
9	02:00	11,8	2,3	ON
10	03:00	11,7	2,3	ON
11	04:00	11,5	2,3	ON
12	05:00	11,1	2,3	ON
13	06:00	11,1	2,3	ON

#### 4. Kesimpulan

*charger fail* mengirimkan sinyal informasi kerusakan ketika tegangan modul charger baterai < tegangan panel surya dan *battery fail* bekerja ketika arus baterai mendekati 0 ketika lampu dinyalakan. Kedua hal diatas telah memberikan notifikasi ke android kepada pihak perawatan PJU sehingga dapat diambil tindakan lebih lanjut untuk perbaikan PJU.

#### Daftar Acuan

- [1] T. K. Tran, H. Yahoui, N. Siauve, N. Nguyen-Quang, and D. Genon-Catalot, "Construct and control a PV-based independent public LED street lighting system with an efficient battery management system based on the power line communication," *2017 IEEE 2nd Int. Conf. Direct Curr. Microgrids, ICDCM 2017*, pp. 497–501, 2017.
- [2] M. R. Hikmawan *et al.*, "Politeknik Negeri Sriwijaya Menggunakan," *Child Dev.*, vol. 7, no. 1, pp. 33–52, 2016.
- [3] R. Clarke, *Improving street lighting to reduce crime in residential areas*, no. 8. 2008.
- [4] A. F. Irawan, Moch. Dhofir, and S. Hadi, "Analisis peningkatan efisiensi penerangan jalan umum (pju) di kabupaten jember," *J. Mhs. Teub, Vol 2 No. 1*, pp. 1–7, 2014.
- [5] Sustainable Energy Authority of Ireland, "Energy Audit Handbook," 2016.
- [6] A. Malik, "Audit Energi Pada Gedung IV



Kantor PT PLN ( PERSERO ) Wilayah Kalimantan Barat,” *Elkha*, vol. 5, no. 2, pp. 36–41, 2013.

[7] SNI 7391:200: Spesifikasi Penerangan Jalan Di Kawasan Perkotaan, Badan Standardisasi Nasional, ICS

[8] [www.energiterbarukanindonesia.com](http://www.energiterbarukanindonesia.com)

[9] D.Petruzella, Frank, 2001. ”Elektronik Industri”, Andi, Yogyakarta

## Memperpanjang Masa Pakai LED Penerangan Jalan Dengan Metode *Sun Tracking*

Gopnar Sambudjo<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup>, Soewarto<sup>3</sup>

Magister Terapan, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia  
Asosiasi Kontraktor Listrik dan Mekanikal Indonesia, Jl. K.H Abdullah Syafi'i, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

E-mail: [gopnar.sambudjo@gmail.com](mailto:gopnar.sambudjo@gmail.com)

### Abstrak

Penerangan jalan umum merupakan lampu yang dipasang untuk kepentingan masyarakat umum agar memudahkan pengguna jalan melaksanakan aktifitas dengan aman dan nyaman. Pada zaman sekarang ini banyak dikembangkan teknologi lampu untuk pju menggunakan jenis LED. Hal ini diharapkan daya yang kecil dapat menerangkan jalan dengan maksimal. Sistem yang banyak digunakan adalah otomatis menyala dan padam menggunakan sensor cahaya, dimana sering terjadi permasalahan di kondisi cuaca mendung lampu pju akan menyala, hal ini dapat mengurangi kinerja umur lampu led pada sebuah pju terpasang. Dikarenakan pergantian kerusakan lampu pju akan memakan waktu selain daripada itu akan terjadi kondisi gelap disebuah area bila pju itu rusak, maka dibutuhkan kinerja umur pju yang cukup panjang. Hal ini membuat peneliti tertarik untuk dibuatkan suatu sistem yang dapat mengontrol nyala padamnya led pju, serta menggunakan waktu *on-off led* pju yang dapat di atur dari jarak jauh. Sehingga sistem ini dapat menambal kelemahan pju yang menggunakan sensor cahaya sebagai sarana kinerja *on-off* lampunya. Metode yang digunakan dengan memanfaatkan perangkat IoT berbasis 4.0 sehingga memudahkan dalam hal pemantauan jarak jauh. Selain daripada itu umur led yang berkurang dapat tercatat pada data sehingga dapat diprediksi berapa lama lagi led pju harus diganti. Hal ini memudahkan perawatan dan menjaga agar pju selalu tersedia dikarenakan terdapat peringatan dini ketika umur led mendekati habis.

*Keywords: constant current driver, eficient pju system, industri 4.0 with blynk, led pju, low energy pju*

### 1. Pendahuluan

Banyaknya lampu penerangan jalan umum sehingga perlu perawatan yang berkala dimana terkendala dengan jumlah pju yang cukup banyak dan jarak yang cukup jauh. Selain daripada itu didalam hal instalasi PJU baru menggunakan kabel didalam tanah membutuhkan biaya serta akan mengganggu pengguna jalan yang menyebabkan kemacetan, belum lagi penggalian yang merusak jaringan kabel bawah tanah lainnya, seperti galian kabel telkom, pipa gas dll. Biaya yang dikeluarkan juga tidak sedikit. Sistem pju saat ini banyak menggunakan sensor cahaya untuk mengontrol *on-off* lampu, sistem ini mempunyai kelemahan dimana ketika mendung disore ataupun pagi hari akan membuat lampu menyala, hal ini akan mengurangi kinerja umur pju dikarenakan jam hidup per harinya menjadi lebih banyak. Selain daripada itu pemantauan PJU rusak tidaknya hanya dapat diketahui dilapangan sehingga bila ada kerusakan maka terdapat dimalam harinya gelap terlebih dahulu sampai PJU dibetulkan kembali. Saat ini sudah mulai banyak PJU yang menggunakan energi terbarukan,

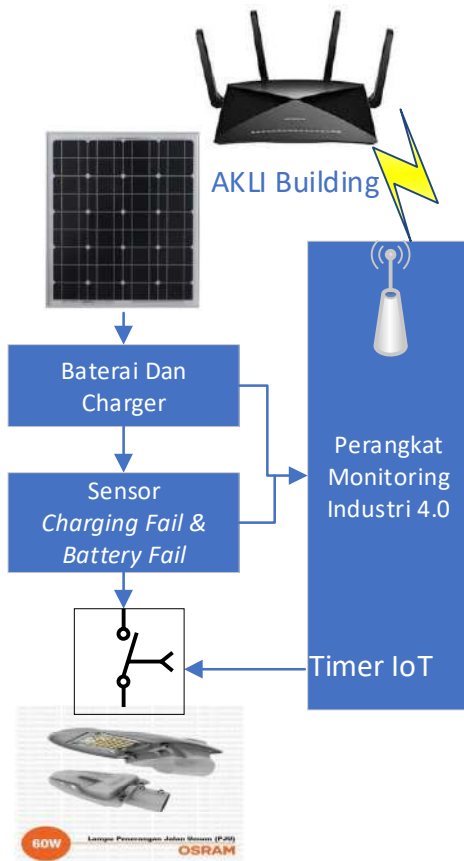
dimana didalamnya sudah terdapat baterai sehingga akan memudahkan dalam hal instalasi [1]. Menurut Becherif M, pembuktian sistem PJU menggunakan matlab sehingga ketersediaan radiasi matahari dapat disimulasikan menggunakan software matlabs [1]. Didalam implementasi penelitian ini, sensor cahaya digantikan dengan chip berbasis IoT, hal ini dilakukan untuk memanfaatkan beberapa *feature* IoT terutama timer, fungsinya untuk menyalakan dan mematikan lampu pada waktu tertentu. Sehingga waktu atau umur menyala led lebih dapat di prediksi jam kerjanya. Tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk membuat, menguji waktu nyala led setiap harinya untuk diprediksi umur led sisa berapa lagi, agar dapat diketahui kapan sekiranya penggantian led PJU sebelum umur lednya habis. Hal ini diharapkan agar PJU dapat beroperasi terus menerus tanpa harus menunggu rusak yang menyebabkan padamnya suatu wilayah. Selain daripada itu akan memudahkan pekerja dalam hal perawatan PJU dijalan raya ataupun dijalan tol yang sangat banyak[4].

## 2. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dikedung AKLI Tebet Jakarta Selatan, dimana banyak pejalan kaki menuju stasiun kereta tebet sehingga bermanfaat bagi masyarakat .

Metode penelitian ini menerapkan metode SDLC disebut juga metode waterfall. Model ini merupakan model klasik yang sangat cocok untuk penelitian PJU ini [2]. Dimulai dengan perancangan sistem, analisa sistem, desain sistem, pembuatan permodul, uji coba permodul, setelah berhasil dengan baik baru dilakukan implementasi sistem secara keseluruhan, yang terakhir perawatan prototyping yang dibuat.

Blok diagram perancangan sistem dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Blok Diagram Sistem PLTS OFF-GRID

Perancangan sistem yang dibuat adalah dengan menggantikan driver lampu PJU LED standar 220 Vac serta menambahkan charger dan baterai lithium yang dicontrol oleh chip berbasis IoT sehingga kebutuhan panel surya dan baterai menjadi lebih sedikit bila dibandingkan tetap menggunakan driver led 220 Vac. Selanjutnya analisa dilakukan dengan melihat data led menyala pada microsoft excel untuk di formulakan dengan umur led. Hal ini dapat dilakukan menggunakan fasilitas perangkat IoT. Pengujian dilakukan dengan

memasukkan umur LED pada datasheet sebagai acuan sisa umur led ketika PJU menyala. Sebelum memasang prototipe ke PJU di jalan raya perlu dilakukan uji keakurasian timer dalam waktu per 5 menit , 10 menit , 15 menit bila tidak terjadi pergeseran waktu yang signifikan maka prototipe siap dipasang. Program pewaktuan led menyala dimulai pukul 18:00 dan led dimatikan pukul 05:30 , dan sistem ini sewaktu-waktu bisa dirubah pewaktuannya menyesuaikan kondisi terang dan gelapnya pada suatu daerah tanpa harus menurunkan PJU.

Agar didapatkan analisa yang tepat maka dibutuhkan data-data Tabel 1.

Tabel 1. Data analisa sistem plts

No	Tanggal	Waktu		LED PJU Standar		Waktu / Jam		LED PJU Prototype	
		24		24		24		24	
		ON / Jam	OFF/Jam	Waktu ON	Jam	ON	OFF	Waktu ON	Jam
1	01/01/2020	18	6	12		18,43	5,19		10,76
2	02/01/2020	18	6	12		18,43	5,19		10,76
3	03/01/2020	18	6	12		18,44	5,20		10,76
4	04/01/2020	18	6	12		18,44	5,20		10,76
5	05/01/2020	18	6	12		18,45	5,21		10,76
6	06/01/2020	18	6	12		18,45	5,21		10,76
7	07/01/2020	18	6	12		18,45	5,22		10,77
8	08/01/2020	18	6	12		18,46	5,22		10,76
9	09/01/2020	18	6	12		18,46	5,23		10,77
10	10/01/2020	18	6	12		18,46	5,24		10,78
11	11/01/2020	18	6	12		18,47	5,24		10,77
12	12/01/2020	18	6	12		18,47	5,25		10,78
13	13/01/2020	18	6	12		18,47	5,25		10,78
14	14/01/2020	18	6	12		18,48	5,26		10,78
15	15/01/2020	18	6	12		18,48	5,27		10,79
16	16/01/2020	18	6	12		18,48	5,27		10,79
17	17/01/2020	18	6	12		18,48	5,28		10,80
18	18/01/2020	18	6	12		18,49	5,28		10,79
19	19/01/2020	18	6	12		18,49	5,29		10,80
20	20/01/2020	18	6	12		18,49	5,29		10,80
21	21/01/2020	18	6	12		18,49	5,30		10,81
22	22/01/2020	18	6	12		18,49	5,30		10,81
23	23/01/2020	18	6	12		18,49	5,31		10,82
24	24/01/2020	18	6	12		18,50	5,31		10,81
25	25/01/2020	18	6	12		18,50	5,32		10,82
26	26/01/2020	18	6	12		18,50	5,32		10,82
27	27/01/2020	18	6	12		18,50	5,33		10,83
28	28/01/2020	18	6	12		18,50	5,33		10,83
29	29/01/2020	18	6	12		18,50	5,34		10,84
30	30/01/2020	18	6	12		18,50	5,34		10,84
31	31/01/2020	18	6	12		18,50	5,35		10,85
Total Waktu ON				372 Jam				334,60 Jam	
Selisih Waktu ON di bulan Januari				37,40 Jam					

Umur LED PJU yang dipakai sekitar 50.000 jam, data dibandingkan dengan PJU konvensional dengan waktu menyala 12 jam dengan LED PJU yang diteliti dengan metode *sun tracking* ( waktu matahari dipagi hari dan sore ). Pada tabel diatas dapat dilihat selisih waktu on LED PJU sebesar 37 jam 40 menit dalam sebulan, hal ini dapat diartikan dalam 1 bulan umur pakai LED PJU bertambah umurnya 1,5 hari. Maka efisiensi yang di dapat dengan mengacu pada rumus sebesar[6] :

$$\text{Presentase Efisien} = \frac{P1-P2}{P1}$$

$$\text{Presentase Efisien} = \frac{372-334,60}{372}$$

$$\text{Presentase Efisien} = 10 \%$$

Kedua data diatas akan dianalisa secara bersamaan sehingga keakuratan perbandingan sistem PJU standar dengan sistem PJU yang sudah dimodifikasi akan mudah terlihat. Diharapkan hasil akhir penelitian ini akan menghasilkan umur kinerja PJU akan menjadi lebih lama. Dan mendapatkan nilai presentasi berapa panjang umur PJU yang dirancang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Perangkat yang dihasilkan bekerja pada tegangan input dari panel surya sebesar 6 – 24Vdc, dimana outputnya bekerja men *charge* baterai sampai penuh, bersamaan dengan itu *timer* bekerja memantau waktu *on-off* yang sudah terprogram, ketika waktu *on* tiba maka secara otomatis LED akan menyala dan ketika waktu *off* tiba maka LED akan padam. Bersamaan dengan itu data waktu *on* led tercatat pada IoT dan dapat diambil sewaktu-waktu dibutuhkan dalam format .csv sehingga akan memudahkan analisa menggunakan *microsoft excel*, ataupun program analisa lainnya seperti *matlabs*, *labview*. Dengan bantuan perangkat IoT perawatan PJU menjadi lebih efisien dan tepat guna dimana ketika umur LED mendekati masanya akan diberitahukan melalu notifikasi berbasis android.

### 4. Kesimpulan

Dengan Lampu LED PJU prototipe akan memiliki masa pakai yang lebih panjang dibandingkan dengan lampu LED PJU standar yaitu dengan memakai sensor cahaya, dan ditambahkan konsep IoT untuk mendapatkan catatan data jumlah jam waktu menyala maka bisa diketahui berapa lama lagi lampu LED PJU akan habis atau mati, selain itu mempermudah dalam pemeliharaan karena dapat mengetahui sisa umur lampu sehingga dapat menyiapkan LED PJU tersebut.

### Daftar Acuan

- [1] M. Becherif, M. Y. Ayad, A. Henni, and A. Aboubou, "Hybridization of solar panel and batteries for street lighting by passivity based control," *2010 IEEE Int. Energy Conf. Exhib. EnergyCon 2010*, pp. 664–669, 2010.
- [2] S. Ri *et al.*, "\$Ssoldwlrq Ri \$Xwrpdwhg 3Krwryrowldf Dqg /Ljkwlj ,Qiudvwuxfwxudo 6\Whp \$3Kr/6 (Qhuj\ 3Rlqwv," vol. 6.
- [3] A. Kama, M. Diallo, M. S. Drame, M. L. Ndiaye, A. Ndiaye, and P. A. Ndiaye, "Monitoring the Performance of Solar Street Lights in Sahelian Environment: Case Study of Senegal," *Proc. - Int. Conf. Dev. eSystems Eng. DeSE*, pp. 56–61, 2018.
- [4] Sustainable Energy Authority of Ireland, "Energy Audit Handbook," 2016.
- [5] A. Malik, "Audit Energi Pada Gedung IV Kantor PT PLN ( PERSERO ) Wilayah Kalimantan

Barat," *Elkha*, vol. 5, no. 2, pp. 36–41, 2013.

[6] Mario Roal, "Peningkatan Efisiensi Energi Menggunakan Baterai Dengan Kendali Otomatis Penerangan Ruang Kelas Berbasis PLTS," *J. Elkha*, vol. 7, no. Jurnal ELKHA Vol.7, No 2, Oktober 2015, pp. 12–19, 2015.

[6] sky-energy, [www.ptbpt.com](http://www.ptbpt.com) atau [www.sky-energy.co.id](http://www.sky-energy.co.id)

## Optimasi PLTS Terhadap Listrik Penerangan Menggunakan Beban DC

Sumarjo<sup>1</sup>, Tossin Alamsyah<sup>2</sup>, Soewarto<sup>3</sup>

Magister Terapan, Teknik Eletro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. Siwabessy, Depok, 16424, Indonesia  
Asosiasi Kontraktor Listrik dan Mekanikal Indonesia, Jl. K.H Abdullah Syafi'i, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

E-mail: [sumarjo29@yahoo.com](mailto:sumarjo29@yahoo.com)

### Abstrak

Sistem PLTS OFF-GRID pada umumnya menggunakan *inverter* untuk mengubah tegangan DC PLTS menjadi tegangan yang setara PLN 220 agar peralatan elektronik dapat dinyalakan. Kendala yang dialami adalah daya yang terbuang disaat *inverter* bekerja dari DC 12 - 48Volt menuju 220VAC. Penelitian yang dikembangkan adalah untuk mengurangi daya yang terbuang pada *inverter* yang disebabkan perubahan tegangan DC ke AC 220VAC. Metode penelitian yang dilakukan adalah menggantikan sistem instalasi penerangan di gedung APEI yang pada umumnya berinstalasi 220Vac dirubah dengan sistem DC 12-24V terutama pada beban penerangan, hal ini diharapkan akan mengurangi pemborosan penggunaan *inverter*. Dengan metode ini maka dibutuhkan lebih sedikit panel surya dan baterai dibandingkan dengan produk PLTS menggunakan *inverter* yang menyebabkan biaya perancangan dan biaya perawatan menjadi lebih sedikit. Manfaat dari penelitian ini akan mengurangi jumlah panel surya dan baterai dibandingkan sistem plts yang menggunakan *inverter* bertegangan 220vac.

*Keywords: efficiency system of PLTS, inverter, led constant current, plts off-grid*

### 1. Pendahuluan

Sinar matahari saat ini banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam bentuk pembangkit listrik tenaga surya. Dengan meningkatnya biaya pemakaian energi membuat pihak industri maupun rumah tangga membangun instalasi panel surya sebagai energi alternatif[1]. Agar Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat digunakan pada malam hari, diperlukan baterai sebagai penyimpanan energi dengan menggunakan *inverter* dan *charge controller solar*. Hasil pengujian sistem modul panel surya mencapai daya 38,24 watt dan arus sebesar 2,49A, hal ini dikarenakan panel surya mengikuti pergerakan matahari[2] sehingga akan tetap didapatkan sinar matahari secara maksimal[3]. Penggunaan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan, kondisi tersebut menimbulkan masalah jika dalam penyediaan energi listrik lebih kecil dari kapasitas yang dibutuhkan. Kebijakan yang diambil PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang memiliki tanggung jawab dalam hal menyediakan energi dimana harga per kWhnya terus meningkat. Saat ini biaya komponen plts dinilai mahal dalam arti bahwa biaya listrik per kWh yang dihasilkan plts masih lebih tinggi dari biaya tagihan listrik dari utilitas/PLN. Peneliti lain merancang sistem plts dengan pengelolaan jumlah beban untuk memaksimalkan efisiensi pemanfaatan daya panel surya yang tersedia, hal ini diharapkan dapat memberikan daya sepanjang malam dibandingkan dengan sistem konvensional[4].

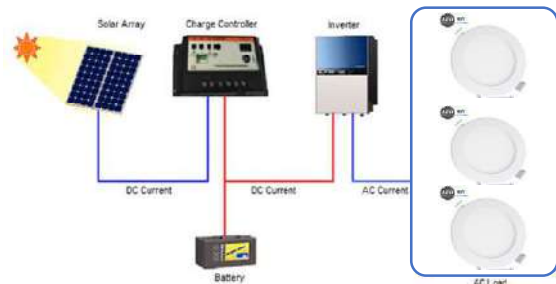
Hal ini membuat peneliti tertarik untuk melakukan analisa kinerja panel surya pada beban tertentu terutama beban dc untuk lampu penerangan agar mendapatkan optimalisasi plts[5] untuk menekan biaya per kWh yang dikeluarkan plts. Sebagai tambahan untuk memantau dan menganalisa sistem plts dibutuhkan perangkat *controlling* dan *monitoring* untuk mendapatkan data yang *realtime*[6].

### 2. Metode Penelitian

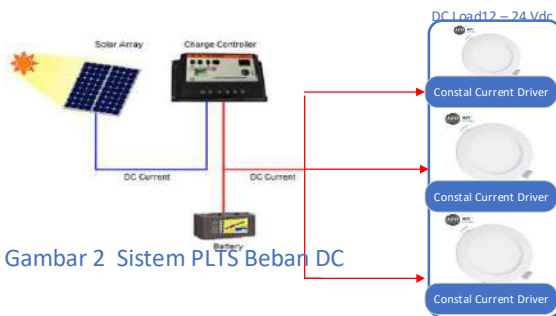
Kegiatan penelitian dilakukan di gedung APEI matraman Jakarta Timur. Metode penelitian yang diterapkan menggunakan beberapa tahapan, yaitu perancangan sistem, modifikasi lampu led 9W menjadi DC, instalasi listrik khusus jalur DC, pengujian alat dan pemasangan perangkat *monitoring* berbasis IoT untuk menganalisa perbandingan beban lampu LED 9Watt 3 buah dengan lampu LED 9Watt DC 3 buah. Analisa dilakukan dengan beban yang sama agar diperoleh hasil seberapa optimal plts dengan menggunakan beban DC dibandingkan dengan beban 220Vac.

Hasil akhir dari penelitian ini akan di perlihatkan bagaimana instalasi DC membuat pemakaian panel surya dan baterai menjadi lebih optimal dibandingkan beban AC.

Sistem yang dirancang menghadirkan beban lampu penerangan 220VAC sebesar 3 buah lampu 9Watt LED dan 3 buah lampu DC 9Watt LED. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1 Sistem PLTS pada standar/ pada umumnya



Gambar 2 Sistem PLTS Beban DC

Gambar 1 dan 2. Blok Diagram Sistem PLTS OFF-GRID dengan beban 220Vac dan beban DC

Pada metode gambar 1 pemborosan terjadi pada *inverter* dimana perubahan dari DC ke AC 220Vac akan memakan daya yang cukup besar walaupun beban tidak ada. Pada metode gambar 2 dikarenakan beban berupa DC sehingga dari panel surya tidak perlu di ubah menjadi 220Vac hal ini menyebabkan efisiensi serta penghematan yang cukup signifikan. Keterbaruan dari penelitian ini adalah system instalasi listrik 2 sumber dengan cara menggantikan driver LED input 220Vac dengan driver LED input 12-24Vdc, sehingga instalasi penerangan tegangan DC dapat dilakukan. Untuk mengetahui seberapa besar penghematan yang terjadi peneliti menambahkan perangkat membaca data arus dan tegangan pada model 1 (instalasi AC/standar) dan model 2 (instalasi DC) dimana perangkatnya terhubung dengan jaringan internet [7] digedung [8] APEI matraman Jakarta Timur.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Perencanaan analisis membandingkan dua buah beban PLTS yang dirancang, system yang pertama perangkat *monitoring* membaca daya PLTS serta keluaran dari *inverter* ke beban (instalasi 220Vac), sedangkan system yang kedua juga membaca keluaran dari beban DC (instalasi jaringan listrik DC). Sehingga kedua data beban tersebut dapat dilihat perbedaan beban yang terjadi. Ilustrasi pengambilan data dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Kinerja PLTS Instalasi listrik 220Vac

No	Jam	Lux	PLTS 1 (INVERTER)								
			Meter			Daya Panel Surya			Daya Beban		
			Tegangan Volt	Arus Ampere	Daya Watt	Tegangan Volt	Arus Ampere	Daya Watt	Tegangan Volt	Arus Ampere	Daya Watt
1	10:00	48.500	435	0,98	426	53,0	2	127	231	0,56	129
2	11:00	49.000	435	1	435	53,1	2	127	231	0,57	132
3	12:00	47.000	434	0,95	412	52,9	2	127	230,8	0,52	120
4	13:00	43.400	405	0,9	365	52,8	2	127	230,8	0,52	120
5	14:00	32.000	403	0,9	363	52,5	1,98	125	230,5	0,51	118
6	15:00	32.400	403	0,9	363	52,5	1,98	125	230,5	0,51	118
7	16:00	19.400	395	0,8	316	52,3	0,7	43,9	230,5	0,56	129
8	17:00	10.500	385	0,8	308	52,3	0,8	50,2	230,2	0,56	129

Pada tabel 1 Daya panel surya, daya baterai serta daya beban akan terlihat seberapa besar daya beban akan mengambil arus pada sumber baterai dan panel surya. Dan lihat perbedaannya dengan Tabel 2 seberapa besar beban mengambil arus sumber.

Tabel 2. Data Kinerja PLTS Instalasi listrik DC 24V

PLTS 2 (Beban Lampu LED DC)								
Daya Panel Surya			Daya Beban					
Tegangan Volt	Arus Ampere	Daya Watt	Baterai			INVERTER 220 Vac		
			Tegangan Volt	Arus Ampere	Daya Watt	Tegangan Volt	Arus Ampere	Daya Watt
435	0,98	426	53,0	2	127,2	12	2,25	27
435	1	435	53,1	2	127,44	12	2,25	27
434	0,95	412	52,9	2	126,96	12	2,25	27
405	0,9	365	52,8	2	126,72	12	2,25	27
403	0,9	363	52,5	1,98	124,74	12	2,25	27
403	0,9	363	52,5	1,98	124,74	12	2,25	27
395	0,8	316	52,3	0,7	43,932	12	2,25	27
385	0,8	308	52,3	0,8	50,208	12	2,25	27

Pada tabel 2 akan terlihat seberapa besar arus sumber yang akan terpakai sehingga dapat dibandingkan dengan pemakaian arus sumber pada tabel 1. Sehingga dapat dilihat berapa besar peran *inverter* mengambil arus sumber (plts dan baterai). Beban pengujian yang dilakukan memakai Lampu LED yang sama antara beban AC dan DC perbedaannya *driver* dari lampunya yang diubah menjadi DC hal ini dilakukan agar analisis terhadap perbedaan daya menjadi lebih akurat.

### 4. Kesimpulan

PLTS dengan instalasi dc ini membuat pemakaian panel surya dan baterai menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan sistem ac 220V. Kedepannya diharapkan beban-beban peralatan listrik rumah tangga dan kantor menjadi DC sehingga pemanfaatan energi terbarukan bisa lebih efisien. Dengan bantuan perangkat *monitoring* dapat membuat pemahaman terhadap pemakaian energi listrik menjadi lebih jelas dan dapat diketahui seberapa besar energi yang kita gunakan setiap harinya. Selain daripada itu pemanfaatan perangkat monitoring salah satu pencegahan bahaya kebakaran dimana bila jam kantor sudah selesai maka secara otomatis sumber utama dimatikan sehingga tidak ada listrik yang mengalir didalam ruang gedung perkantoran.



## Daftar Acuan

- [1] S. S. Mohammad Hafidz ;, “Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta,” *Jur. Tek. Elektro, Sekol. Tinggi Tek. PLN*, vol. 7, no. JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 7 NO. 1, JANUARI-MEI 2015, p. 49, 2015.
- [2] N. S. Deshmukh and D. L. Bhuyar, “A Smart Solar Photovoltaic Remote Monitoring and Controlling,” *Proc. 2nd Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICICCS 2018*, no. Iciccs, pp. 67–71, 2019.
- [3] P. Jawab *et al.*, “Penerbit LP3M UMY Penerbit LP3M UMY,” *Tek. 37 (2)*, 2016, 59-63, vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2016.
- [4] J. A. Azzolini and M. Tao, “Simulation of a Load-Managing Photovoltaic System,” *2018 IEEE 7th World Conf. Photovolt. Energy Conversion, WCPEC 2018 - A Jt. Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC 34th EU PVSEC*, pp. 1158–1162, 2018.
- [5] N. M. Kumar, K. Atluri, and S. Palaparthi, “Internet of Things (IoT) in Photovoltaic Systems,” *2018 Natl. Power Eng. Conf. NPEC 2018*, pp. 1–4, 2018.
- [6] M. Novak, P. Belany, A. Bolf, M. Roch, and P. Bracinik, “Off-grid model of photovoltaic system with real time monitoring function,” *2018 IEEE Int. Energy Conf. ENERGYCON 2018*, pp. 1–5, 2018.
- [7] C. Zedak, A. Lekbich, A. Belfqih, J. Boukherouaa, T. Haidi, and F. El Mariami, “A proposed secure remote data acquisition architecture of photovoltaic systems based on the Internet of Things,” *Int. Conf. Multimed. Comput. Syst. -Proceedings*, vol. 2018-May, pp. 1–5, 2018.
- [8] M. Naim, “Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Mahalona Kecamatan Towuti,” *Din. – J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 27–32, 2017.
- [9] J. Kilat, “PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK FOTOVOLTAIK,” vol. 7, no. 2, 2018.

## Optimasi Nilai *Losses* Untuk Mendapatkan Biaya Investasi dan Operasi yang Optimum Pada Transformator Tenaga

Mujab, A. Tossin Alamsyah

Program Studi Teknik Elektro Program Magister Terapan, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425, Indonesia

[mr.mujab@gmail.com](mailto:mr.mujab@gmail.com), [alamsyah.pnj@gmail.com](mailto:alamsyah.pnj@gmail.com)

### Abstrak

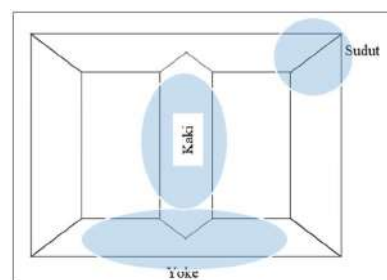
Transformator tenaga adalah salah satu peralatan yang sangat penting dan mempunyai nilai investasi yang tinggi dalam sistem tenaga listrik. Saat ini, calon pengguna transformator tenaga belum mempertimbangkan pengaruh nilai *losses* (rugi – rugi tanpa beban dan rugi – rugi berbeban) terhadap keseluruhan biaya yaitu biaya investasi dan operasi selama masa hidup transformator. Pada penelitian ini, kami akan membahas bagaimana menentukan nilai *losses* untuk mencapai biaya investasi dan operasi yang optimum, dengan cara melakukan studi, meninjau kembali desain dan struktur biaya pada proses produksi yang selama ini diterapkan. Dari hasil penelitian ini, akan dapat dijadikan acuan oleh calon pengguna dalam penentuan spesifikasi nilai *losses* yang optimum untuk mendukung proses pembelian transformator tenaga, sehingga dalam proses pembelian tersebut tidak hanya mempertimbangkan harga yang murah atau mensyaratkan nilai *losses* yang sangat rendah saja, akan tetapi mempertimbangkan keseluruhan aspek sehingga mendapatkan transformator tenaga yang ekonomis dan handal. Dari hasil optimasi akan menghasilkan keseimbangan antara biaya material dan nilai rugi – rugi untuk mencapai biaya investasi dan operasi yang optimum. Optimasi nilai *losses* dan desain dapat membantu calon pengguna mendapatkan transformator tenaga yang optimum dari segi biaya maupun kehandalan.

*Keywords: losses optimization, power transformer*

### 1. Pendahuluan

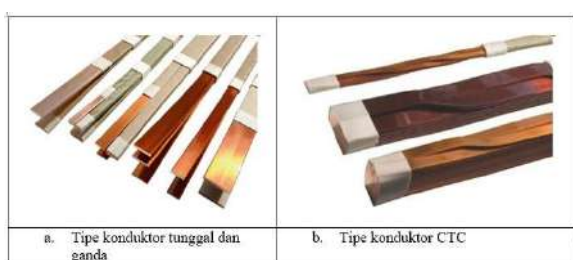
Transformator tenaga berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan untuk penyaluran tenaga listrik ke pelanggan, sehingga kegagalan fungsi transformator tenaga akan memberikan dampak yang sangat berarti pada kehandalan sistem tenaga listrik [1]. Transformator tenaga merupakan peralatan listrik yang krusial dan mempunyai nilai investasi yang tinggi dan kualitas dan keandalannya sangat dibutuhkan karena berpengaruh langsung terhadap sistem kelistrikan secara keseluruhan. Umumnya transformator tenaga merupakan rangkaian gandeng elektromagnetik, dimana tidak terjadi kontak elektrik secara langsung. Konstruksi dasar transformator tenaga terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang dililitkan pada inti besi yang satu sama lainnya terhubung secara elektromagnetis [2]. Konstruksi utama transformator tenaga terdiri dari Inti besi dan belitan. Bahan utama dari inti besi adalah baja silikon canai dingin (*cold rolled grain oriented* atau *CRGO*). *CRGO* sendiri banyak digunakan sebagai inti besi pada transformator tenaga yaitu rangkaian magnetik dengan bahan ferromagnetik. Keunggulan *CRGO* adalah

memiliki permeabilitas yang tinggi dan rugi inti rendah, sehingga daya yang dihasilkan oleh transformator menjadi lebih maksimal [3]. Parameter penting dari inti besi adalah kerapatan fluksi dalam Tesla, ketebalan lapisan, luas penampang inti, jenis material dan tinggi jendela (*window height*). Tinggi jendela ini merupakan tempat penempatan belitan. Parameter tersebut akan mempengaruhi berat inti dan rugi-rugi tanpa beban. Konstruksi inti ditunjukkan pada Gambar 1., dimana ada 3 (tiga) bagian utama inti, yaitu bagian sudut, yoke dan kaki.



Gambar 1. Konstruksi Inti Besi

Konduktor belitan transformator tenaga menggunakan tembaga, karena arusnya besar biasanya menggunakan ukuran konduktor yang besar, konduktor bisa dalam bentuk lembaran, lingkaran atau persegi. Konduktor ini dilapisi insulasi berupa kertas atau enamel (sejenis isolasi resin) agar antar konduktor terisolasi satu sama lainnya [4]. Penggunaan konduktor dan tipe belitan tergantung tegangan, besarnya arus, kerapatan arus konduktor, kenaikan suhu, rugi-rugi berbeban dan batasan dimensi. Belitan juga dirancang agar dapat menahan efek mekanis dan suhu pada saat terjadi hubung singkat [1]. Contoh jenis - jenis konduktor belitan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tipe Konduktor Belitan Transformator Tenaga

Saat ini, calon pengguna transformator tenaga masih menjadikan harga awal yang rendah atau spesifikasi yang tinggi yaitu nilai *losses* yang rendah sebagai pertimbangan utama dalam proses pembelian, sehingga belum mendapatkan nilai optimum dari segi teknis, biaya investasi dan biaya operasionalnya [5]. Penentuan nilai *losses* yang rendah memang mempunyai keunggulan pada biaya operasi karena biaya kapitalisasi *losses* (*rugi - rugi*) yang harus ditanggung oleh pengguna selama masa hidup transformator tenaga menjadi kecil, akan tetapi disisi lain mempunyai kekukurangan yaitu biaya investasi yang tinggi karena harga awal akan menjadi mahal. Dalam tulisan ini akan dibahas beberapa permasalahan seperti dibawah: (1) apakah nilai *losses* (*rugi - rugi* berbeban dan *rugi - rugi* tanpa beban) yang rendah benar - benar dibutuhkan dalam penentuan spesifikasi transformator tenaga? (2) berapakan nilai *losses* yang optimum pada transformator tenaga? (3) dalam proses pembelian apakah calon pengguna sudah mempertimbangkan aspek teknis dan biaya yang timbul (biaya investasi dan biaya operasinya)?

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi untuk melakukan optimasi nilai *losses* pada transformator tenaga untuk mendapatkan biaya investasi dan operasi yang paling optimum, sedangkan manfaat penelitian adalah memberikan panduan bagi calon pengguna transformator tenaga dalam penentuan spesifikasi *losses* dan optimasi proses pembelian dengan pertimbangan biaya investasi dan operasi transformator tenaga.

*Losses* pada transformator tenaga, adalah rugi-rugi tanpa beban (*No Load Losses*), rugi-rugi berbeban (*Load*

*Losses*) dan rugi-rugi tambahan lainnya (*Auxiliary Losses*). Pada evaluasi *losses*, tiap rugi-rugi dihitung berdasarkan komponen biaya/permintaan dan komponen energi (Rp/kWh) [6]. Komponen biaya/permintaan pemasangan sistem untuk melayani daya yang dipakai oleh rugi-rugi tersebut dan komponen energi adalah nilai kini (*Net Present Value*) dari energi yang digunakan setiap kW rugi-rugi selama umur operasi transformator tenaga. Kedua komponen tersebut dijumlahkan secara annuitas dan memberikan total rugi-rugi transformator tenaga sepanjang umur transformator [6].

Bagi calon pengguna transformator tenaga, biaya investasi dan operasi merupakan salah satu parameter pengambilan keputusan dalam pembelian transformator tenaga, sehingga perlu untuk dirumuskan metode yang tepat dalam proses pembelian ini. Studi awal menunjukkan bahwa spesifikasi transformator tenaga dari calon pengguna masih minim dan kurang detail, spesifikasi hanya memberikan informasi umum saja dan tidak memberikan kepastian material dan garansi teknis, hal ini disebabkan pengetahuan pemilik transformator tenaga masih minim dan hanya berpikir jangka pendek, yaitu mendapatkan harga beli yang paling rendah dan kurang mempertimbangkan biaya operasi selama masa hidup transformator tenaga.

## 2. Metode Penelitian

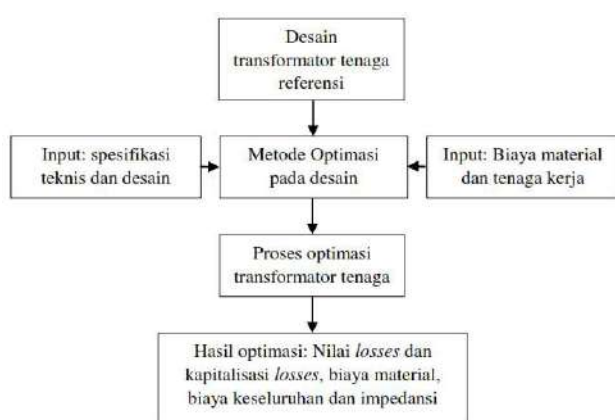
Penelitian ini menggunakan metode studi kasus terhadap transformator tenaga yang paling banyak digunakan pada sistem kelistrikan transmisi di Indonesia yaitu 60 MVA 150/20 kV. Studi dilakukan dengan melakukan optimasi nilai *losses* dan perhitungan kapitalisasi rugi - rugi yang belaku di Perusahaan Listrik Negara. Studi literature dilakukan untuk menentukan nilai *losses* dan total biaya yang optimum. Data - data yang dipergunakan yaitu data teknis, harga material dan harga kapitalisasi rugi - rugi diambil dari desain transformator tenaga yang sudah diproduksi dan sudah dikirim ke pelanggan.

Tabel 1. Spesifikasi transformator tenaga yang digunakan sebagai referensi

Spesifikasi	Keterangan
Kapasitas	60 MVA
Tegangan HV	150 kV
Tegangan LV	20 kV
Rugi - rugi tanpa beban (Po)	27 kW
Rugi - rugi berbeban (Pcu)	112 kW
Biaya kapitalisasi rugi - rugi tanpa beban per kW	KIDR 86.064
Biaya kapitalisasi rugi - rugi berbeban per kW	KIDR 55.081

Beberapa input diberikan untuk optimisasi, secara umum, input tersebut adalah sistem tegangan dan sistem pendingin yang meliputi, tegangan kerja, kenaikan

temperature minyak isolasi maksimum, kenaikan temperature winding maksimum, hotspot, jenis radiator dan berat keseluruhan, adapun untuk input dari faktor biaya antara lain, harga material inti besi, kawat tembaga, minyak isolasi, tanki dan harga tenaga kerja. Optimasi dimulai dari desain yang sudah ada sebagai referensi lengkap dengan spesifikasi konfigurasi belitan yang tetap, rating tegangan dan impedansi yang sama. Pada saat proses optimasi beberapa parameter yang diperhitungkan adalah rugi - rugi tanpa beban, rugi - rugi berbeban dan sistem pendingin. Selanjutnya, sebagai pendukung, parameter teknisnya adalah diameter inti besi, kerapatan fluksi, desain belitan, kerapatan arus dan jumlah pendingin. Diagram proses optimasi transformator tenaga ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram proses optimasi desain transformator tenaga

Pada dasarnya, optimasi desain adalah mempertimbangkan beberapa variabel untuk menghasilkan alternatif desain yang paling optimum, dengan batasan-batasan yang sudah ditentukan sesuai spesifikasi yang sudah disyaratkan dan standard yang berlaku. Proses optimasi dilakukan dengan alat bantu perangkat lunak dengan variabel pembatas adalah :

- Kapasitas (*rated power*), tegangan tinggi kerja primer & sekunder, frekuensi dan koneksinya.
- Batasan nilai rugi - rugi tanpa beban, rugi - rugi berbeban dan impedansi
- Jenis inti dan belitan
- Kerapatan fluks maksimum.
- Harga material

Struktur prosentase biaya transformator tenaga 60 MVA adalah seperti Tabel 2.

Tabel 2. Struktur dan komposisi biaya pembuatan transformator

No	Deskripsi	Biaya pembuatan (%)
1	Inti besi	26
2	Belitan	28
3	Active part	14
4	Tanki	9
5	Material lain - lain	9
6	Minyak Isolasi	5
7	Sistem pendingin	6
8	Biaya tenaga kerja	3
Total		100

Skenario untuk mendapatkan data yang optimum adalah sebagai berikut:

- Skenario 1 : Optimasi dengan desain nilai rugi - rugi tanpa beban dan rugi - rugi berbeban lebih rendah dari nilai referensi
- Skenario 2 : Optimasi dengan desain nilai rugi - rugi tanpa beban lebih rendah dari nilai referensi dan rugi - rugi berbeban dari nilai referensi
- Skenario 3: Optimasi desain rugi - rugi tanpa beban dan rugi - rugi berbeban lebih tinggi dari nilai referensi

Semua skenario akan mempertimbangkan biaya kapitalisasi rugi - rugi yang berlaku di Indonesia khususnya Perusahaan Listrik Negara dengan nilai setaip komponen rugi - rugi seperti tabel 1 karena biaya kapitalisasi rugi - rugi akan menjadi biaya operasi yang harus ditanggung oleh pengguna transformator tenaga selama mas hidup transformator tenaga tersebut. Biaya kapitalisasi rugi - rugi dihitung dengan persamaan: Biaya kapitalisasi rugi - rugi =  $A \times \text{rugi - rugi tanpa beban} + B \times \text{rugi - rugi berbeban}$  dimana  $A = \text{KIDR } 86.064$  dan  $B = \text{KIDR } 55.081$

### 3. Hasil dan Pembahasan

Desain referensi transformator tenaga dipergunakan sebagai basis awal perhitungan untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi dalam proses optimasi desain dengan skenario yang ditentukan. Hal ini perlu untuk diketahui agar calon pengguna bisa menentukan spesifikasi yang paling dibutuhkan dan harga paling optimal.

Dengan melakukan skenario optimasi yang telah ditentukan sebelumnya, didapatkan perbandingan hasil optimasi transformator tenaga pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan hasil optimasi transformator tenaga 60 MVA

Spesifikasi/ Parameter	Unit	Desain Referensi	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Rugi - rugi tanpa beban	kW	27	25	20	31
Rugi - rugi berbeban	kW	112	110	253	124
Total rugi – rugi	kW	139	135	273	155
Impedansi	%	12.57	12.5	12.5	13
Berat Inti	%	100	103	63	96
Berat Belitan	%	100	113	44	72
Berat Minyak	%	100	105	67	89
Berat Tanki	%	100	104	67	91
Berat Radiator	%	100	95	256	116
Berat Total	%	100	106	64	88
Biaya Material	%	100	119	57	77
Kapitalisasi rugi - rugi	KIDR	8,492,766	8,210,477	15,656,708	9,497,990
Biaya <i>losses</i>	%	100%	97%	184%	112%
Biaya Total	%	100%	106%	130%	97%

Nilai yang ditampilkan pada tabel adalah perbandingan antara desain referensi dan optimasi, biaya material adalah biaya pembelian total termasuk dengan biaya tenaga kerja dan biaya total merupakan penjumlahan biaya material dan biaya kapitalisasi rugi – rugi.

Dari hasil optimasi, biaya untuk material yang terbesar adalah pada transformator tenaga dengan rugi-rugi berbeban paling rendah, sebaliknya yang memiliki biaya pembelian material paling kecil adalah transformator tenaga dengan rugi-rugi berbeban paling besar. Jadi semakin besar rugi-rugi berbeban, semakin besar biaya material. Sedangkan biaya kapitalisasi rugi-rugi semakin besar jika total rugi-rugi semakin besar. Hasil yang optimum didapatkan pada skenario 3, dimana biaya total yaitu biaya material dan biaya kapitalisasi rugi-rugi paling rendah dibandingkan biaya transformator tenaga referensi dan skenario optimasi yang lainnya. Mengacu pada hasil optimasi pengoptimalan material dan biayanya harus diikuti dengan pengoptimalan biaya kapitalisasi rugi-rugi, jadi pada suatu titik rugi-rugi tidak bisa diturunkan lagi, karena akan menyebabkan biaya kapitalisasi rugi-rugi akan naik.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan perhitungan optimasi desain dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Optimasi biaya pada desain transformator tenaga harus memerhitungkan dua hal, yaitu biaya material termasuk tenaga kerja dan biaya kapitalisasi rugi – rugi karena biaya kapitalisasi adalah biaya operasional yang harus ditanggung oleh pengguna selama masa hidup transformator tenaga.
- Optimasi akan menghasilkan keseimbangan antara biaya material dan biaya kapitalisasi rugi-rugi untuk mencapai biaya total paling optimum.
- Total biaya yang paling optimum terjadi pada skenario 3, dengan nilai rugi – rugi tanpa beban 31 kW dan rugi – rugi berbeban 124 kW dimana ada penurunan total biaya sebesar 3%.

- Optimasi nilai *losses* dan desain membantu calon pengguna mendapatkan transformator tenaga yang optimum baik dari segi biaya investasi dan operasional.

#### Daftar Acuan

- [1] James H. Harlow, Power transformer engineering / editor, -- 2nd ed. p. cm, ISBN-13: 978-0-8493-9186-6
- [2] Chapman, S., Electric machinery fundamentals. 2005: Tata McGraw-Hill Education.
- [3] Ganguli, T., et al., Transformers, 2nd edn. Bharat Heavy Electricals Limited. 2003, Tata McGraw-Hill Education.
- [4] Pavlos S. Georgilakis, Spotlight on Modern Transformer Design, Springer Dordrecht Heidelberg 2009, ISBN 978-1-84882-666-3. DOI 10.1007/978-1-84882-667-0
- [5] A Return on Investment as a Metric for Evaluating Information Systems: Taxonomy and Application, Alexei Botchkarev, Peter Andru, Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management Volume 6, 2011
- [6] IEEE Loss Evaluation Guide for Power Transformers and Reactors, IEEE Standard C57.120.1991, Aug. 12, 1991.

# RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP PATCH SWASTIKA UNTUK PENGUAT SINYAL 4G INDOOR PADA FREKUENSI 1,8 GHZ

Wisnu Arif Kridawan<sup>1</sup>, Rahmat<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jalan prof.Dr.GA Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

e-mail: wsarfk@gmail.com<sup>1</sup>

## Abstrak

Sistem komunikasi seluler terus berkembang pada tiap bagiannya. Salah satu perangkat telekomunikasi yang mengalami perkembangan signifikan adalah repeater yang menguatkan sinyal 4G LTE. Salah satu frekuensi yang digunakan untuk 4G LTE di Indonesia adalah 1,8 GHz. Teknologi 4G LTE di Indonesia masih dalam tahap perkembangan, oleh karena itu sinyal yang diterima belum maksimal di semua wilayah. Hal itu disebabkan beberapa faktor antara lain: Base Transceiver Station (BTS) yang kurang optimal menyediakan jaringan 4G LTE, hal itu menyebabkan buruknya level sinyal 4G (RSRP). Penerimaan sinyal menggunakan antena default pada perangkat repeater dirasa kurang optimal. Untuk memperbaiki kondisi tersebut diperlukan sebuah antena yang menguatkan sinyal 4G. Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang rancang bangun antena mikrostrip sebagai penguat sinyal 4G pada frekuensi 1,8 GHz. Pada antena tersebut menggunakan patch rectangular yang dipotong oleh empat buah slits dan membentuk lambang Swastika. Antena Mikrostrip Patch Swastika (Antena MPS) dirancang menggunakan substrat FR-4 Epoxy dengan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4,4; ketebalan substrat ( $h$ ) = 1,6 mm dan patch-nya berbahan tembaga. Dimensi antena didapatkan dari hasil perhitungan yang selanjutnya disimulasikan menggunakan CST Microwave Studio 2018. Setelah antena difabrikasi dan diuji, didapatkan hasil return loss sebesar  $-24,75$  dB, VSWR sebesar 1,12, gain sebesar 1,4 dB, dan memiliki pola radiasi unidireksional. Pengujian aplikasi antena dilakukan pada dua lokasi dengan ketinggian dan jarak yang berbeda. Hasil tertinggi yang terjadi pada salah satu lokasi adalah RSRP sebesar  $-82,6$  dBm, ping sebesar 17 ms, kecepatan download sebesar 42,6 Mbps dan kecepatan upload sebesar 32,2 Mbps.

**Kata Kunci:** Antena Mikrostrip, Long Term Evolution (LTE), Patch Swastika, Peripheral Slits, Repeater, Unidireksional

## 1. Pendahuluan

Teknologi 4G di Indonesia masih dalam tahap perkembangan, sehingga belum semua wilayah di Indonesia bisa merasakan teknologi 4G secara baik seperti keterbatasan sinyal. Repeater adalah perangkat yang pada saat ini sudah mendukung jaringan 4G LTE. Penerimaan kuat sinyal 4G dengan hanya menggunakan antena internal repeater dirasa kurang optimal di sebagian wilayah, oleh karena itu diperlukan antena eksternal untuk mengoptimalkan daya sinyal yang diterima repeater. Berbagai macam desain antena dapat difungsikan untuk menguatkan sinyal 4G, salah satunya yaitu antena mikrostrip yang dapat digunakan untuk antena eksternal perangkat repeater. Antena mikrostrip merupakan antena yang tersusun dari substrat, patch dan groundplane. Antena mikrostrip memiliki pola radiasi unidireksional yang artinya arah pancar sinyal dari antena mengarah ke satu arah saja.

Antena mikrostrip dipilih karena memiliki bentuk fisik yang lebih ringan. Pada aplikasi ini dilakukan perancangan dan pabrikan antena mikrostrip patch swastika yang bekerja pada frekuensi 1.8 GHz dengan harapan dapat memiliki gain yang lebih besar dari 1 dB sehingga didapatkan level sinyal 4G LTE yang lebih baik dibanding hanya menggunakan antena internal pada repeater.

Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan bagaimana cara merancang, memfabrikasi, serta menguji aplikasi pada antena mikrostrip patch swastika 1,8 GHz.

## 2. Metode Penelitian

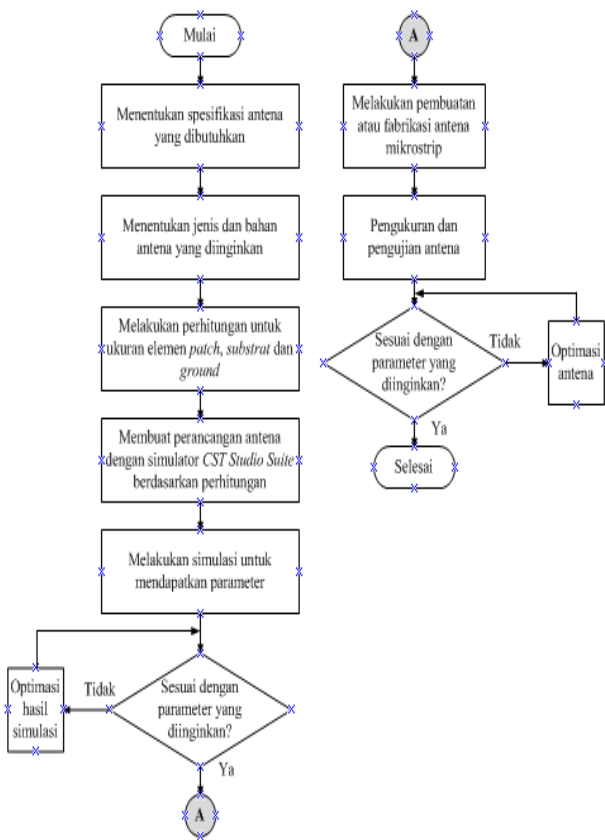
Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk memperoleh desain antena mikrostrip Patch Swastika. Tahap pertama dengan menghitung lebar dan panjang patch, serta lebar saluran transmisi. Setelah



melakukan perhitungan, tahap selanjutnya ialah dengan membuat desain antenna pada *software* CST 2018. Kemudian membuat simulasi dan optimasi pada desain antenna mikrostrip *Patch* Swastikadengan mengganti nilai konstanta dielektrik, kemudian memperbesar ukuran *patch* dan memanjangkan saluran transmisi. Setelah itu, langkah selanjutnya adalah hasil rancangan tersebut fabrikasi. Tahap berikutnya yaitu melakukan uji antenna untuk menguji apakah antenna yang dirancang telah sesuai dengan spesifikasi. Terakhir yaitu melakukan pengujian fungsi antenna dan mengambil data-data yang diperlukan.

### 2.1 Diagram Alir

Gambar 1 berikut ini adalah diagram alir dari perancangan antenna mikrostrip *patch* swastika 1,8 GHz:



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Antena

### 2.2 Perancangan Antena

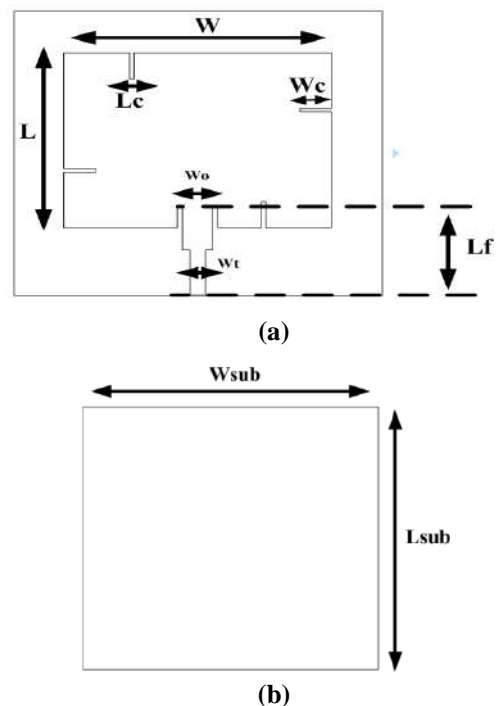
Pada bagian ini akan menjelaskan desain, perhitungan dan daftar dimensi pada antenna mikrostrip *patch* swastika 1,8 GHz yang akan dimasukkan ke dalam *parameter list* pada *software* simulasi antenna CST 2016.

Tabel 1 adalah dimensi rancangan antenna mikrostrip *patch* swastika 1,8 GHz.

Tabel 1 Dimensi Perancangan Antena Mikrostrip *Patch* Swastika

Nama Parameter	Lambang	Nilai
Frekuensi Kerja	$f_r$	1,8 GHz
Panjang Gelombang	$\lambda_o$	166,7 mm
Lebar <i>Patch</i>	$W$	51,19 mm
Panjang <i>Patch</i>	$L$	39,81 mm
Panjang Celah	$L_c$	7,67 mm
Lebar Celah	$W_c$	0,78 mm
Panjang <i>Inserted Feed</i>	$F_i$	13 mm
Lebar <i>Inserted Feed</i>	$G_{pf}$	1 mm
Panjang Saluran Pencatu	$L_f$	20 mm
Lebar Saluran Pencatu 50 $\Omega$	$W_o$	5,75 mm
Lebar Saluran Pencatu 75 $\Omega$	$W_t$	3,83 mm
Lebar Substrat	$W_{Sub}$	70,39 mm
Panjang Substrat	$L_{Sub}$	64,7 mm

Pada Gambar 3 (a) dan (b) adalah desain perancangan antenna mikrostrip *patch* swastika 1,8 GHz berdasarkan ukuran rancangan pada Tabel 1.



Gambar 3. Desain *Patch* (a) dan Desain *Groundplane* (b)

Persamaan (1) sampai dengan (7) berikut ini adalah perhitungan matematis dimensi antenna mikrostrip *patch* swastika 1,8 GHz.

1. Menghitung panjang gelombang menggunakan persamaan berikut [5]:

$$\begin{aligned}\lambda_o &= \frac{c}{fr} \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,8 \times 10^9 \text{ Hz}} \\ &= 166,7 \text{ mm} \\ \lambda d &= \frac{166,7}{\sqrt{4,3}} \\ &= 80,373 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Menghitung lebar *patch* menggunakan persamaan berikut[1]:

$$\begin{aligned}W &= \frac{c}{2 \times fr \times \left( \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} \right)} \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 1,8 \times 10^9 \text{ Hz} \times \sqrt{\frac{4,3 + 1}{2}}} \\ &= 51,191 \text{ mm}\end{aligned}$$

3. Menghitung konstanta dielektrik efektif dan panjang *patch* tambahan menggunakan persamaan berikut[1]:

$$\begin{aligned}\epsilon_{r\text{eff}} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \left( \frac{h}{w} \right) \right]^{-0,5} \\ &= \frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{2} \left[ 1 + 12 \left( \frac{1,6 \text{ mm}}{51,191 \text{ mm}} \right) \right]^{-0,5} \\ &= 4,05709 \\ \Delta L &= 0,412 \times h \times \left\{ \frac{(\epsilon_{r\text{eff}} + 0,3) \times \left( \frac{w}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{r\text{eff}} - 0,258) \times \left( \frac{w}{h} + 0,8 \right)} \right\} \\ &= 0,781 \text{ mm}\end{aligned}$$

4. Menghitung panjang *patch* menggunakan persamaan berikut[1]:

$$\begin{aligned}L &= L_{\text{eff}} - 2\Delta L \\ &= \frac{c}{2 \times fr \times \sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} - 2\Delta L \\ &= 39,811 \text{ mm}\end{aligned}$$

5. Menghitung panjang *peripheral slits* untuk membuat bentuk swastika menggunakan persamaan berikut[2]:

$$\begin{aligned}L_s &= 0,15 \times L \\ &= 0,15 \times 39,811 \text{ mm} \\ &= 5,971 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. Menghitung lebar saluran transmisi dua tingkat, dalam hal ini menggunakan saluran transmisi 50  $\Omega$  dan 75  $\Omega$ [2].

Untuk saluran transmisi 50  $\Omega$ :

$$\begin{aligned}W_{50\Omega} &= \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \left( \frac{h}{ZL} \right) \\ &= \frac{377}{\sqrt{4,3}} \times \left( \frac{1,6 \text{ mm}}{50 \Omega} \right)\end{aligned}$$

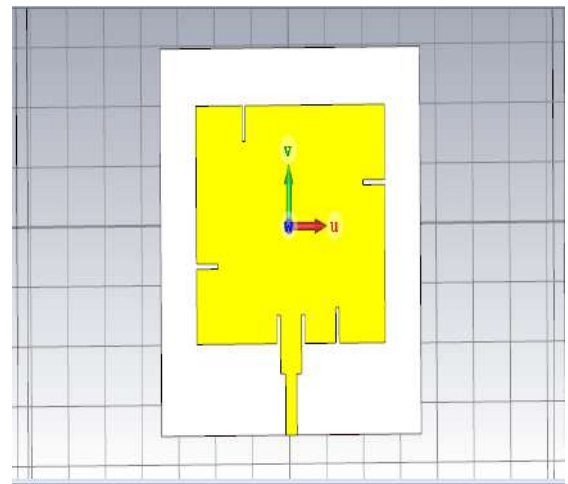
$$= 5,75 \text{ mm}$$

Untuk saluran transmisi 75  $\Omega$ :

$$\begin{aligned}W_{75\Omega} &= \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \left( \frac{h}{ZT} \right) \\ &= \frac{377}{\sqrt{4,3}} \times \left( \frac{1,6 \text{ mm}}{75 \Omega} \right) \\ &= 3,83 \text{ mm}\end{aligned}$$

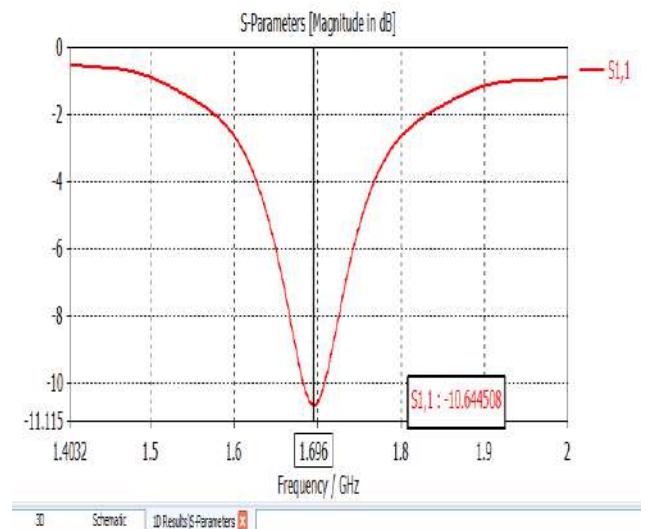
### 2.3 Simulasi Antena

Setelah mendesain dan menghitung dimensi antena, langkah selanjutnya adalah simulasi desain antena pada CST 2018. Gambar 4 adalah tampilan simulasi antena.



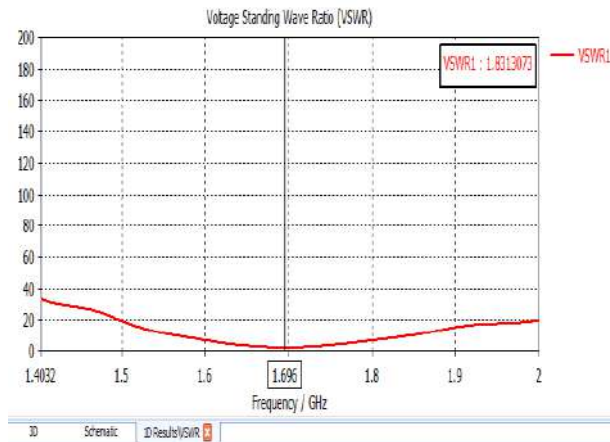
Gambar 4. Tampilan Desain Antena pada CST 2018

Dari hasil simulasi antena, didapatkan *return loss* sebesar -10,644508 dB pada frekuensi kerja 1696 MHz. Gambar 5 adalah *return loss* sebelum optimasi.



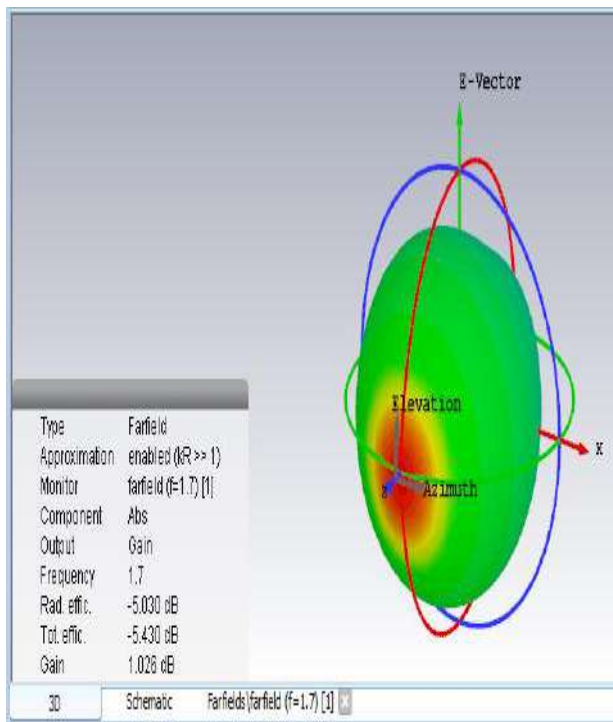
Gambar 5. Return Loss Sebelum Optimasi

Dari hasil simulasi antenna, didapatkan VSWR= 1,8313073 pada frekuensi kerja 1696 MHz. Gambar 6 adalah VSWR sebelum optimasi.



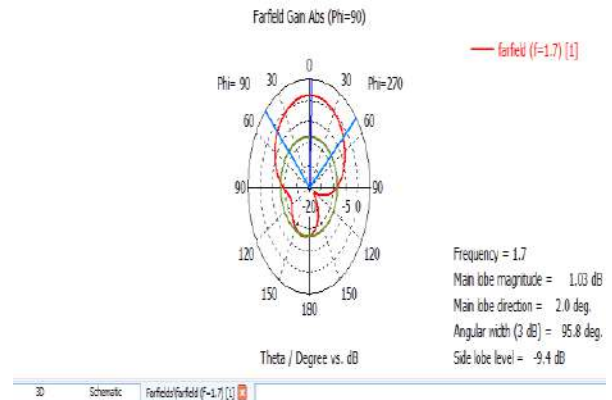
Gambar 6. VSWR Sebelum Optimasi

Selanjutnya didapatkan hasil gain pada simulasi awal seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Gain Sebelum Optimasi

Selanjutnya didapatkan pola radiasi pada simulasi awal seperti pada Gambar 8.



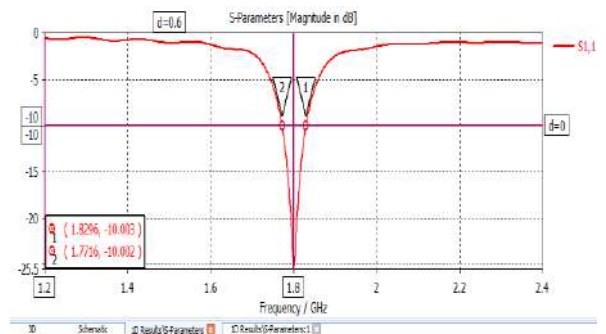
Gambar 8. Pola Radiasi Sebelum Optimasi

Pada simulasi awal sudah mendapatkan *return loss* yang diinginkan yaitu  $\leq -10$  dB, namun frekuensi kerjanya belum jatuh pada nilai 1,8 GHz, sehingga perlu dilakukan optimasi. Optimasi yang dilakukan adalah mengubah nilai konstanta dielektrik menjadi 4,4 pada menu “Materials” di CST 2018, kemudian memperkecil ukuran *patch* dan memperpanjang saluran transmisi. Perubahan ukuran dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Parameter yang Dioptimasi

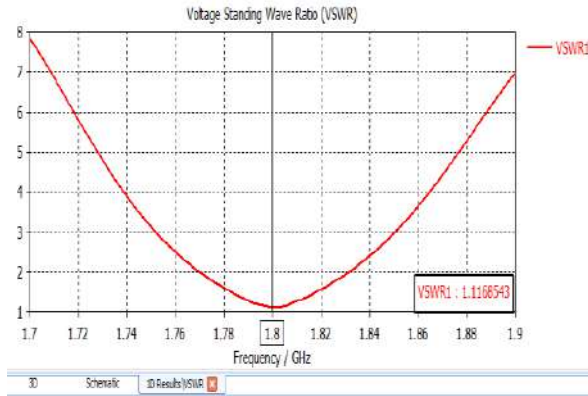
No	Nama	Nilai Awal	Nilai yang Diubah
1	Lebar Patch (W)	51,19 mm	50,7 mm
2	Panjang Patch (L)	39,81 mm	37,5 mm
3	Panjang Celah (Wc)	7,67 mm	5,625 mm
4	Panjang Saluran Transmisi	20 mm (0,25λd)	40 mm (0,5λd)
5	Panjang <i>Inserted Feed</i>	4,8 mm	13 mm
6	Lebar Saluran 75Ω (Wt)	3,83 mm	3 mm

Dari hasil optimasi antenna, didapatkan *return loss* sebesar -25,160947 dB. Nilai tersebut lebih baik karena menjauhi ambang batas *return loss* yaitu -10 dB dan frekuensinya tepat 1,8 GHz. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 9.



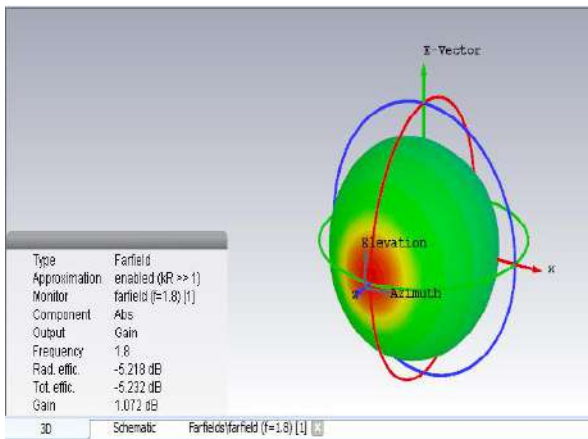
Gambar 9. Return Loss Setelah Optimasi

Dari hasil optimasi antenna, didapatkan *return loss* sebesar  $-25,160947$  dB. Nilai tersebut lebih baik karena menjauhi ambang batas VSWR yaitu 2 dan frekuensinya tepat 1,8 GHz. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 10.



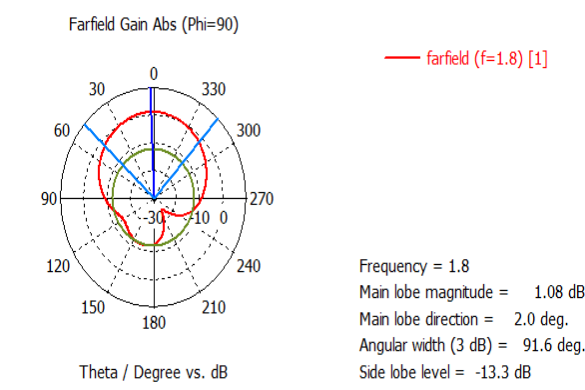
Gambar 10. VSWR Setelah Optimasi

Selanjutnya didapatkan hasil *gain* setelah optimasi seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Gain Setelah Optimasi

Selanjutnya didapatkan pola radiasi setelah optimasi seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Pola Radiasi Setelah Optimasi

Setelah dioptimasi dan didapatkan hasil sesuai spesifikasi yang diinginkan, langkah selanjutnya adalah fabrikasi antenna. Antena difabrikasi dengan cara mencetak pola *patch* dan *groundplane* pada *cutting sticker* kemudian ditempel pada PCB FR-4 dan *etching* sesuai dengan pola tersebut. Terakhir menyambungkan konektor SMA *female* pada saluran transmisi antenna paling bawah. Gambar 13 berikut adalah antenna yang telah difabrikasi.



Gambar 13. Patch (kiri) dan Groundplane (kanan)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil dan Pembahasan dari Pengukuran Parameter Antena

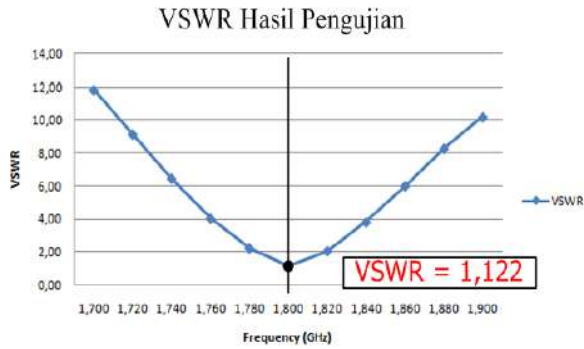
Setelah antenna difabrikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran parameter medan dekat (*return loss* dan VSWR) dan medan jauh (*gain* dan pola radiasi). Pengujian dilakukan di PPET LIPI Gedung 20 Lantai 4. Gambar 14 adalah *return loss* hasil pengujian.



Gambar 14. Return Loss Pengujian

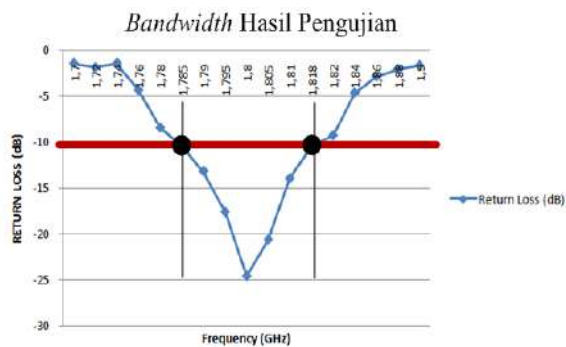
Selanjutnya pada Gambar 15 adalah VSWR hasil pengujian.





Gambar 15. VSWR Hasil Pengujian

Gambar 16 adalah *bandwidth* dari hasil pengujian.



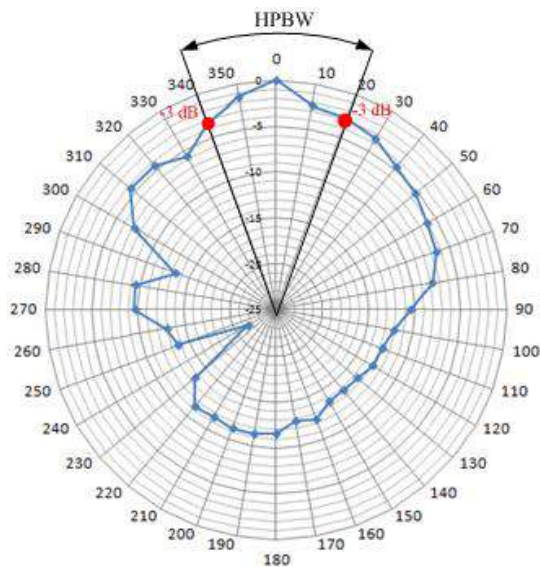
Gambar 16. Bandwidth Hasil Pengujian

*Bandwidth* hasil pengujian mempunyai nilai sebagai berikut[3]:

$$\begin{aligned} BW &= f_{upper} - f_{lower} \\ &= 1818 \text{ MHz} - 1785 \text{ MHz} \\ &= 33 \text{ MHz} \end{aligned}$$

Sedangkan *bandwidth* hasil simulasi setelah optimasi (Gambar 9) sebesar 58 MHz.

Pola radiasi pengujian adalah unidireksional dan HPBW nya adalah 40° seperti yang diperlihatkan pada Gambar 17.



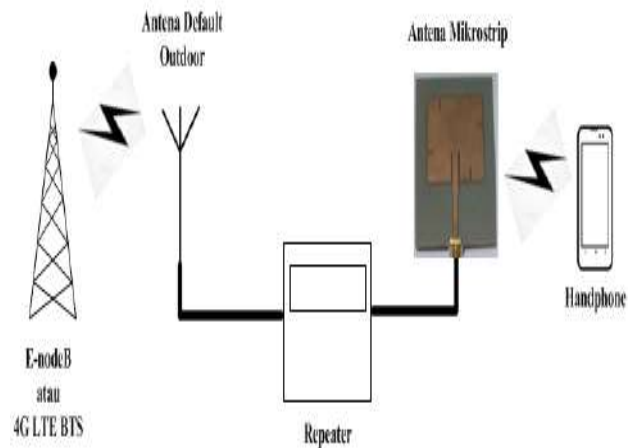
Gambar 17. Pola Radiasi Pengujian Antena

Berdasarkan pengukuran tersebut, terjadi perbedaan hasil yang ada antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Hal tersebut dapat disebabkan akibat pengukuran yang tidak dilakukan di tempat yang dapat meredam gelombang pantul sehingga benda-benda yang berada disekeliling antena mempengaruhi hasil pengukuran. Selain itu perbedaan hasil juga dapat disebabkan karna kesalahan saat fabrikasi antena, seperti ketidaksesuaian dalam menempel *cutting sticker* antara bagian *patch* dan *ground*, dan kesalahan saat melakukan penyolderan konektor ke antena.

### 3.2 Hasil dan Pembahasan dari Pengujian Antena Sebagai Penguat Sinyal

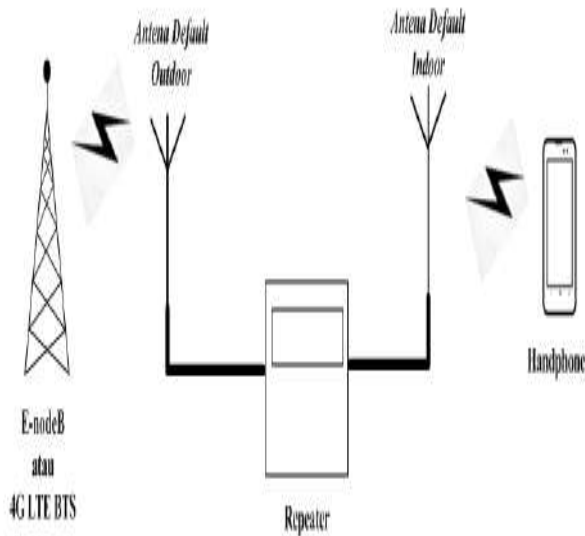
Setelah pengujian medan dekat dan medan jauh, selanjutnya adalah pengujian fungsi antena. Antena mikrostrip *patch* swastika (MPS) dipasang pada sisi *indoor* perangkat *repeater*. Pengujian dilakukan pada kondisi yang berbeda-beda antara lain: tinggi antena 1; 1,5; dan 2 meter, jarak antena *indoor* 1 dan 5 meter, dan lokasi di Kec. Rawalumbu, Kota Bekasi dan di area belakang Gedung G PNJ (Lab Telkom) yang berdekatan dengan ruangan WS Telkom. Adapun variabel yang digunakan adalah kuat sinyal 4G LTE (RSRP), *ping*, kecepatan *upload* dan *download* dari jaringan 4G LTE.

Gambar 18 adalah kondisi pengujian menggunakan antena MPS.



Gambar 18. Pengujian dengan Antena MPS

Gambar 19 adalah kondisi pengujian menggunakan antena default.



Gambar 19. Pengujian dengan Antena Default

Adapun hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian fungsi antena di daerah Kecamatan Rawalumbu, Kota Bekasi. Tabel 3 adalah hasil pengujian jarak 1 meter.

Tabel 3. Hasil Pengujian di Rawalumbu dengan Jarak 1 Meter

Pengujian	Tinggi Antena (meter)					
	1		1,5		2	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼
<i>Speed Test</i> , meliputi:						
Ping (ms)	18	29	19	19	17	20
Download (Mbps)	18,2	18,8	23,6	18,8	18,5	16,4
Upload (Mbps)	4,2	12	5,36	10,5	4,86	11,8
RSRP (dBm)	-95	-95	-94	-95	-94	-95
	-94	-96	-93	-95	-96	-96
	-95	-98	-92	-99	-97	-98
	-95	-97	-92	-94	-95	-96
	-94	-95	-96	-98	-98	-97
	-94	-95	-96	-98	-98	-97
RSRP Rata-Rata (dBm)	-94,6	-96,2	-93,4	-96,2	-96	-96,4

Keterangan:

▲ = Data pengujian aplikasi menggunakan antena MPS

▼ = Data pengujian aplikasi menggunakan antena default

Tabel 4 adalah hasil pengujian pada jarak 5 meter.

Tabel 4. Hasil Pengujian di Rawalumbu dengan Jarak 5 Meter

Pengujian	Tinggi Antena (meter)					
	1		1,5		2	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼
<i>Speed Test</i> , meliputi:						
Ping (ms)	17	19	22	20	19	18
Download (Mbps)	21,5	18,9	8,06	15	13,3	13,5
Upload (Mbps)	1,27	1,01	5,26	2,51	4,2	3,92
RSRP (dBm)	-97	-100	-94	-101	-98	-100
	-96	-98	-94	-99	-97	-98
	-100	-97	-94	-96	-94	-95
	-97	-100	-95	-98	-95	-99
	-98	-98	-96	-99	-96	-99
	-98	-98	-96	-99	-96	-99
RSRP Rata-Rata (dBm)	-97,6	-98,6	-94,6	-98,6	-96,0	-98,2

2. Pengujian fungsi antena di Lab Telkom Politeknik Negeri Jakarta. Tabel 5 adalah data pengujian di lab Telkom pada jarak 1 meter:

Tabel 5. Hasil Pengujian di Lab Telkom dengan Jarak 1 Meter

Pengujian	Tinggi Antena (meter)					
	1		1,5		2	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼
<i>Speed Test</i> , meliputi:						
Ping (ms)	24	23	31	34	18	19
Download (Mbps)	20,0	19,5	22,2	20,8	26,6	27
Upload (Mbps)	32,2	28,5	31,9	25,4	31,1	29,2
RSRP (dBm)	-84	-86	-82	-83	-80	-82
	-85	-86	-81	-84	-88	-89
	-85	-87	-81	-85	-85	-88
	-86	-88	-82	-80	-84	-87
	-87	-88	-81	-81	-83	-86
	-87	-88	-81	-81	-83	-86
RSRP Rata-Rata (dBm)	-85,4	-87	-82,4	-82,6	-84	-86,4

Keterangan:

▲ = Data pengujian aplikasi menggunakan antena MPS

▼ = Data pengujian aplikasi menggunakan antena default



**Tabel 6.** Hasil Pengujian di Lab Telkom dengan Jarak 5 Meter

Pengujian	Tinggi Antena (meter)					
	1		1,5		2	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼
<i>Speed Test</i> , meliputi:						
<i>Ping</i> (ms)	28	27	32	33	17	20
<i>Download</i> (Mbps)	33,7	28,9	42,6	35,9	19	19,8
<i>Upload</i> (Mbps)	24,6	22,0	20,5	21,4	22,1	18,9
RSRP (dBm)	-82	-83	-90	-89	-82	-83
	-84	-85	-92	-92	-84	-85
	-85	-85	-95	-94	-83	-87
	-85	-87	-95	-96	-87	-88
	-86	-88	-94	-90	-88	-89
RSRP Rata-Rata (dBm)	-84,4	-85,6	-93,2	-92,2	-84,8	-86,4

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Setelah dilakukan optimasi dan fabrikasi, antena MPS mempunyai frekuensi kerja pada 1,8 GHz, *return loss* -24,758 dB, VSWR sebesar 1,122, *gain* sebesar 1,4 dB dan pola radiasi unidirectional dengan HPBW 50° dari hasil pengujian medan dekat dan medan jauh antena di PPET LIPI. Hal itu sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.
- Berdasarkan data dan analisa hasil pengujian RSRP, antena MPS dapat memperkuat sinyal 4G pada frekuensi 1,8 GHz pada jarak 1 meter dan ketinggian 1,5 meter dengan RSRP rata-rata terbaik sebesar -82,6 dBm.
- Pada pengujian *speedtest*, menggunakan antena MPS lebih baik dibandingkan dengan antena *default* pada *repeater*. Hal ini disebabkan karena antena MPS mempunyai *ping* yang rendah yaitu 17 ms serta kecepatan *download* dan *upload* yang tinggi dibandingkan dengan antena *default*. Kecepatan *download* yaitu 42,6 Mbps dan kecepatan *upload* yaitu 32,2 Mbps.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada:

- Para dosen dan staf prodi Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.
- Pihak PPET LIPI Gedung 20 Lantai 4 umumnya dan Bapak Tofik Teguh Estu khususnya yang telah membantu dan membimbing dalam pengambilan data.

#### 6. Daftar Pustaka

- Abdurrahman, Fiqqi. (2018). Desain Antena Microstrip Rectangular untuk WIFI pada Frekuensi 2,462 GHz dan 5,52 GHz. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Alam, S., Surjati, I., Yogi, W. (2017). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Peripheral Slits Linear Array untuk Aplikasi Wi-Fi. Jurnal Rekayasa Elekrika Vol. 13, No.1 Universitas Trisakti.
- Balanis, Constantine A., (2005). Antenna Theory Analysis and Design (edisi ketiga). New York: John Willey Interscience
- Kashyap, S. S., Raithatha, U., Shivakrishna, D. (2015). Swastika Shaped Microstrip Patch Antenna for ISM Band Applications. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol 02, 516-518.
- Surjati, Indra. (2010). Antena Mikrostrip: Prinsip dan Aplikasinya. Jakarta: Universitas Trisakti.



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
KAMPUS UI DEPOK  
TLP/FAX : (021) 7863531  
E-mail : [snte@elektro.pnj.ac.id](mailto:snte@elektro.pnj.ac.id)**

**Google Scholar**

disponsori oleh

