

Desain RF Low Noise Band Pass Filter untuk Aplikasi WiMax Menggunakan Kapasitansi Aktif

Toto Supriyanto* dan Teguh Firmansyah

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia

*E-mail: totosupr@yahoo.com

Abstrak

Teknologi *worldwide interoperability for mobile access* (WiMAX) mampu mentransfer data dengan kecepatan tinggi dan cakupan area yang luas. Teknologi WiMAX telah dikembangkan lagi menjadi teknologi untuk komunikasi bergerak yang dinamakan *mobile WiMAX* sesuai standar IEEE 802.16e dengan frekuensi kerja 2,3–2,4 GHz. *Bandpass filter* (BPF) digunakan untuk menyeleksi frekuensi berdasarkan spesifikasi standar WiMax yang telah ditetapkan agar tidak terjadi gangguan dengan *channel* lain saat melakukan komunikasi. Perancangan BPF menggunakan filter aktif mikrostrip Hairpin dengan rangkaian resistansi negatif. Rangkaian resistansi negatif berfungsi untuk mengkompensasi rugi resistansi parasitik yang ditimbulkan dari komponen induktor kapasitor dan menggunakan komponen aktif *bipolar junction transistor* (BJT) BFR-183. Penggunaan filter aktif mikrostrip hairpin mempunyai keuntungan yaitu ukuran menjadi lebih kecil, rugi-rugi yang diakibatkan adanya resistansi parasitik menjadi lebih rendah sehingga faktor Q dapat ditingkatkan dan dapat diterapkan pada frekuensi tinggi. Substrat PCB yang digunakan FR4. Hasil simulasi yang diperlihatkan yaitu jalur frekuensi dioperasikan pada 2,3-2,4 GHz, *return loss*, *insertion loss*, dan VSWR.

Abstract

Design RF Low Noise Band Pass Filter for Mobile Wimax Using Active Capacitance. Worldwide interoperability technology for mobile access (WiMAX) that can transfer data at high speed and wide coverage area. WiMAX technology has developed more into technology for mobile communications, called the mobile WiMAX using IEEE 802.16e standard with the working frequency of 2.3-2.4 GHz. Bandpass filter is used to select the frequency are based on the WiMAX standard specifications which have been determined to avoid interference with other channels for communication. Design of bandpass filter using Hairpin microstrip active filter with negative resistance circuit. Active components used are bipolar junction transistor (BJT) BFR-183, where the negative resistance circuit functions to compensate for losses caused by parasitic resistance and capacitance of the inductor component. Using Hairpin microstrip active filter has the advantage that the size becomes smaller, the losses caused by parasitic resistance becomes lower so that the Q factor can be improved and can be applied at high frequency. Substrate PCB use FR4. The simulation results showed that the frequency channel is operated at 2.3-2.4 GHz, return loss, insertion loss and VSWR.

Keywords: active capacitance, band pass filter, mobile WiMAX., negatif resistance

1. Pendahuluan

Untuk memenuhi kebutuhan komunikasi data yang mendukung layanan multimedia interaktif seperti *teleconference*, *video streaming* dan *wireless internet* telah mendorong lahirnya teknologi *broadband wireless access* (BWA) terbaru, salah satunya adalah *worldwide interoperability for microwave access* (WiMax). Teknologi WiMAX mampu mentransfer data dengan kecepatan tinggi dan cakupan area yang lebih luas. Saat ini teknologi WiMAX telah dikembangkan menjadi teknologi untuk komunikasi bergerak yang dinamakan *mobile WiMAX* (m-WiMAX) [1].

Untuk dapat menghindari adanya gangguan dengan *channel* lain saat melakukan komunikasi, dibutuhkanlah sebuah filter. Filter adalah sebuah rangkaian yang berfungsi untuk melewatkan suatu pita frekuensi tertentu sekaligus memperlemah semua isyarat di luar pita ini. *Bandpass filter* (BPF) adalah rangkaian yang melewatkan frekuensi pada daerah tertentu di antara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua dan meredam frekuensi di luar daerah tersebut [2-6].

Pada riset ini di usulkan perancangan *bandpass filter* aktif dengan menggunakan mikrostrip hairpin yang bekerja pada frekuensi m-WiMax 2,3-2,4 GHz,

bandwidth 100 MHz [7]. Filter mikrostrip hairpin dipilih karena mempunyai ukuran yang relatif lebih kecil dibandingkan memakai komponen *lumped*, ataupun mikrostrip lainnya seperti *end-coupled microstrip*, *parallel coupled* dan *interdigital* [8]. Selain itu jika memakai komponen *lumped* lebih sulit untuk mendapatkan komponen di pasaran dengan nilai yang sesuai dengan hasil perancangan. Oleh karena itu dengan menggunakan mikrostrip hairpin selain ukuran lebih ringkas, bobot lebih ringan dan biaya juga lebih murah. Filter aktif diperoleh dari rangkaian kapasitansi aktif yang akan menghasilkan resistansi negatif dan menggunakan transistor BJT BFR183 [9]. Pemilihan transistor ini karena memiliki spesifikasi *low noise* dan juga dapat bekerja pada frekuensi sampai 8 GHz. Konfigurasi rangkaian kapasitansi aktif dipilih *common base*, karena pada konfigurasi ini nilai resistansi negatif yang diperoleh lebih baik atau lebih negatif dibanding *common emitter*.

Tujuan dari pemakaian rangkaian resistansi negatif adalah untuk mengurangi *noise* yang ditimbulkan dari filter. Pada filter pasif mikrostrip akan timbul suatu resistansi parasitik yaitu resistansi yang tidak diinginkan. Dengan penambahan rangkaian resistansi negatif, maka akan mengkompensasi atau menghilangkan nilai resistansi parasitik tersebut. Oleh karena itu filter aktif ini akan membuat unjuk kerja BPF menjadi *low noise* dan faktor kualitas (Q) akan ditingkatkan. Ini adalah salah satu kelebihan menggunakan filter aktif mikrostrip.

2. Metode Penelitian

Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewati suatu pita frekuensi tertentu sekaligus memperlemah semua isyarat di luar pita ini. Teknik-teknik menyeleksi frekuensi dilakukan sesuai dengan kondisi dan tujuan dari sistem yang akan dibangun. Impedansi *input/output*, frekuensi *cut off*, kecuraman, lebar pita dan *ripple*.

Tahapan utama pada perancangan filter ini yaitu terdiri atas desain rangkaian resistansi negatif dan desain hairpin filter. Sementara itu, spesifikasi BPF yang akan dirancang sesuai standard WiMax seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Filter

Spesifikasi	Nilai
Frekuensi	2,3–2,4 GHz
Bandwidth -3dB	100 MHz
Frekuensi tengah	2,35 GHz
Insertion loss	<1 dB
Return loss	<-10 dB
VSWR	1–2
Z _{OUT}	50 Ω

Perancangan BPF dilakukan menggunakan software *advanced design system* (ADS). BPF yang diusulkan adalah filter aktif mikrostrip hairpin orde 3 dengan respon Chebyshev yang terdiri dari BPF mikrostrip hairpin orde 3 dan 2 buah rangkaian resistansi negatif dengan konfigurasi *common base*. Rangkaian resistansi negatif memakai komponen aktif BJT BFR183.

Desain rangkaian kapasitansi aktif. Banyak dari topologi resistansi negatif disusun dari struktur umpan balik *common emitter* atau *common base* menggunakan BJT. Struktur umpan balik tersebut biasanya digunakan untuk pendisainan osilator, dan memperbaiki unjuk kerja *noise* dari keseluruhan rangkaian. Gambar 1 memperlihatkan struktur dan rangkaian ekivalen dari topologi *common emitter*.

Dengan topologi ini, unjuk kerja *noise* dapat ditingkatkan. Kapasitansi aktif dibuat dari BJT yang akan menghadirkan sifat resistansi negatif, sama baiknya dengan kapasitif. Topologi ini akan menghadirkan sifat resistansi negatif dan dapat dengan baik dipakai untuk pendisainan filter jalur sempit. Semetara itu, untuk analisa pada frekuensi tinggi, maka rangkaian ekivalennya terlihat pada Gambar 2.

Impedansi input dari rangkaian di atas dapat dinyatakan sebagai [3]:

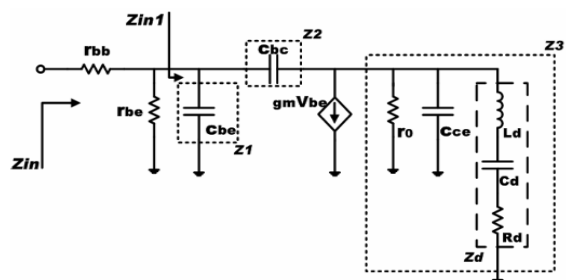
$$Z_{in} = r_{bb} + r_{be} // Z_{in1} \tag{1}$$

dengan nilai Z_{IN} diberikan oleh,

$$Z_{IN} = \frac{Z_1(Z_2 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_d + g_m(Z_1 + Z_3)} \tag{2}$$



Gambar 1. (a) Rangkaian Resistansi Aktif, (b) Rangkaian Ekivalen



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen Sinyal Kecil untuk Frekuensi Tinggi

dengan nilai,

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_{be}};$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C_{bc}};$$

$$Z_3 = \frac{1}{j\omega C_{ce} + \frac{1}{z_d} + \frac{1}{r_o}}$$

$$Z_d = R_d + j(\omega R_d - \frac{1}{\omega C_d});$$

Sementara itu, nilai r_{bb} , c_{ce} dan r_o bukan elemen yang dominan untuk menghasilkan nilai resistansi negatif dan ekuivalen kapasitansi. Admitansi input dapat dituliskan dalam R_{neg} , C_{neg} sebagai:

$$Y_{IN} = \frac{1}{Z_{IN}} = \frac{1}{R_{neg}} + j\omega C_{neg} \quad (3)$$

Dalam bagian *real* dari (3) dapat ditentukan nilai ekuivalen dari resistansi negatif sebagai berikut:

$$\frac{1}{R_{neg}} = \text{Re}(Y_{IN}) = g_m + \frac{1}{r_{be}}$$

$$+ \frac{C_d(-(C_{bc} + C_d)g_m + C_{bc}C_d(g_m L_d + C_{bc}R_d)\omega^2}{T} \quad (4)$$

Nilai ekuivalen kapasitansi dalam bagian imajiner:

$$C_{neg} = I_m(Y_{IN})$$

$$= \omega[C_{bc} + \frac{C_{bc}C_d(C_{bc} + C_d)}{T} + \frac{C_{bc}C_d(C_d g_m R_d - C_b)}{T}] \quad (5)$$

dengan nilai T diberikan oleh Pers.:

$$T = (C_{bc} + C_d)^2$$

$$+ C_{bc}C_d(-2(C_{bc} + C_d)L_d + C_{bc}C_dR_d^2)\omega^2 + C_{bc}^2C_d^2L_d^2\omega \quad (6)$$

Pada Gambar 3 menunjukkan nilai resistansi ekuivalen untuk sebuah resistansi negatif. Nilai itu diperoleh dari Pers. (4) dengan mengintegrasinya terhadap perubahan frekuensi. Dari Pers. (4), *range* frekuensi dalam rangkaian yang mempunyai resistansi negatif dapat ditentukan sebagai:

$$\omega_{BAWAH}^{ATAS} = \left(\frac{g_m}{g_m L_d + C_{bc} R_d} \left(\frac{1}{C_{bc}} + \frac{1}{C_d} \right) \right)$$

$$\pm \left(\frac{\sqrt{(C_{bc}^2 + C_d^2)R_d^2(C_{bc}^2 + C_d g_m^2 L_d + C_{bc}(C_d + C_d g_m R_d))}}{C_{bc}C_d L_d (g_m L_d + C_{bc} R_d)} \right) \quad (7)$$

Sehingga dapat ditentukan nilai resistansi negatif terhadap frekuensi batas.

Desain Hairpin Filter. *Hairpin-line BPFs* adalah filter yang mempunyai struktur tersusun rapi. Filter tersebut mempunyai konsep yang didapat dengan lipatan resonator dari *parallel-coupled, half-wavelength resonator filters*, mempunyai bentuk “U”. Konsekuensinya, persamaan untuk desainnya sama dengan untuk *parallel-coupled, half-wavelength resonator*. Berikut ini adalah Gambar 4 konfigurasi BPF Hairpin [8-10].

Perancangan diawali dengan BPF mikrostrip hairpin pasif, rangkaian komponen aktif resistansi negatif dan selanjutnya penggabungan dua rangkaian tersebut untuk mendapatkan BPF aktif. Filter menggunakan orde 3 dengan respon filter Chebyshev. Desain filter dimulai dengan menentukan nilai prototipe filter *lowpass* berdasarkan tabel Chebyshev. Untuk orde 3 dengan *ripple* 0,5 dB memiliki parameter sebagai berikut:

$$g_1 = 1,5963, g_2 = 1,0967, g_3 = 1,5963, g_4 = 1$$

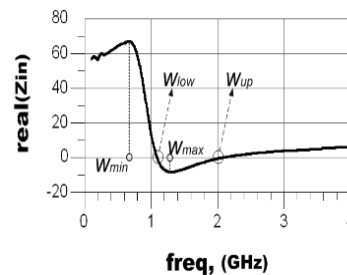
Berdasarkan nilai parameter di atas, koefisien kopleng antara resonator dapat ditentukan menggunakan Pers.:

$$k_n = \frac{BW}{f_o \sqrt{g_n g_{n+1}}}$$

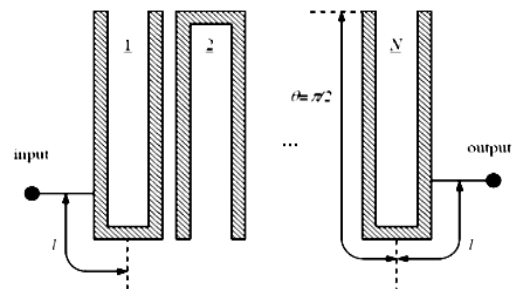
$$k_{12} = \frac{100 \cdot 10^6}{2,35 \cdot 10^9 \sqrt{1,5963 \cdot 1,0967}} = 0,032161$$

$$k_{23} = \frac{100 \cdot 10^6}{2,35 \cdot 10^9 \sqrt{1,0967 \cdot 1,5963}} = 0,032161$$

$$k_{34} = \frac{100 \cdot 10^6}{2,35 \cdot 10^9 \sqrt{1,5963 \cdot 1}} = 0,033683$$



Gambar 3. Grafik Nilai Resistansi Ekuivalen untuk Sebuah Resistansi Negatif



Gambar 4. Konfigurasi Bandpass Filter Hairpin

Pada frekuensi kerja 2,3-2,4 GHz, bandwidth 100 MHz dan frekuensi tengah f_c 2,35GHz, didapat faktor Q:

$$Q_1 = \frac{2,35 \cdot 10^9}{100 \cdot 10^6} \cdot 1,5963 = 37,51305$$

$$Q_2 = \frac{2,35 \cdot 10^9}{100 \cdot 10^6} \cdot 1,5963 = 37,51305$$

berdasarkan Pers.:

$$l = \frac{2L}{\pi} \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{Z_0/Z_r}{Q_\epsilon}} \right) \quad (8)$$

Nilai Z_r dapat dihitung dengan menggunakan Pers.:

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_\epsilon}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) & (W/h \leq 1) \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_\epsilon} \left[\frac{W}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{W}{h} + 1,444 \right) \right]} & (W/h \geq 1) \end{cases}$$

dengan:

$$\epsilon_\epsilon = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}}$$

Material yang dipakai adalah substrat FR4, dengan parameter:

$$\epsilon_r = 4,3 \quad , \quad h = 1,6\text{mm}$$

Dengan menggunakan $W = 1\text{mm}$ dan $h = 1,6\text{mm}$, maka Z_r dapat dihitung dengan rumus di atas. Untuk mencari lebar lengan dan juga panjang kopling dapat dihitung dengan Pers.:

$$\begin{aligned} A &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right)} \\ &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{4,3 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,3} \right)} \\ &= 1,515704 \\ \frac{W}{d} &= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} = \frac{8e^{1,515704}}{e^{2(1,515704)} - 2} \\ &= 1,9449 \quad \text{dengan kata lain; } \frac{W}{d} < 2 \end{aligned}$$

Dengan tebal substrat sebesar 1,6mm:

$$\text{Nilai } W = (1,9449)(1,6 \text{ mm}) = 3,11184 \text{ mm}$$

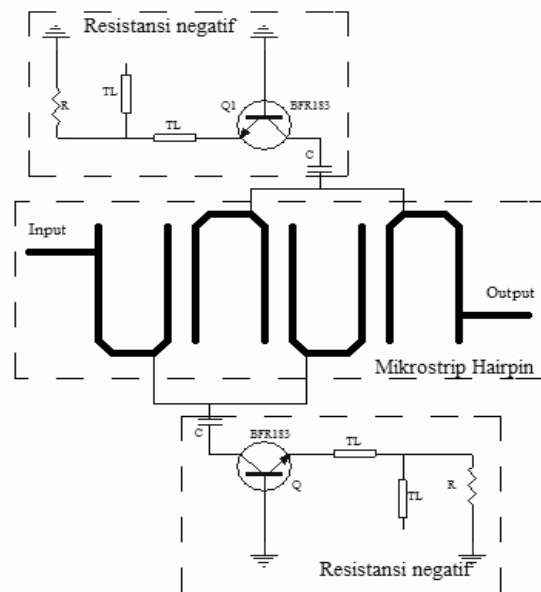
Nilai ini adalah lebar dari saluran *coupled input* dan *output* (lengan) yaitu 3,11184 mm. Panjang mikrostrip untuk setiap panjang *transmission line* mengikuti Pers.:

$$\begin{aligned} L &= \frac{(\pi/180^\circ)}{\sqrt{\epsilon_\epsilon k_0}} \theta^\circ \text{ m} \\ &= \frac{(\pi/180^\circ)}{\sqrt{3,2662}(49,2183)} 90^\circ \text{ m} \\ &= (1,96214)(10^{-4})90^\circ \text{ m} \\ &= 17,65923 \text{ mm} \end{aligned}$$

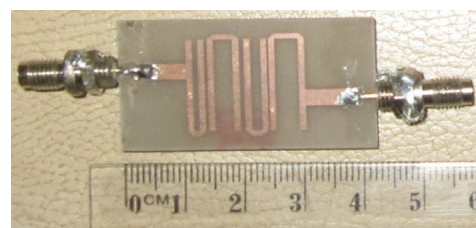
Jadi panjang dari setiap saluran transmisi sebesar 17,65923 mm. Rangkaian lengkap dari perancangan BPF yang diusulkan yaitu rangkaian BPF aktif mikrostrip hairpin dengan menggunakan rangkaian resistansi negatif diperlihatkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 menggunakan saluran kopling dan juga penambahan saluran *coupled* pada *input* dan *output* yang dinamakan lengan. Pendesainan filter hairpin menggunakan teknik kopling. Dengan nilai yang disebutkan sebelumnya.

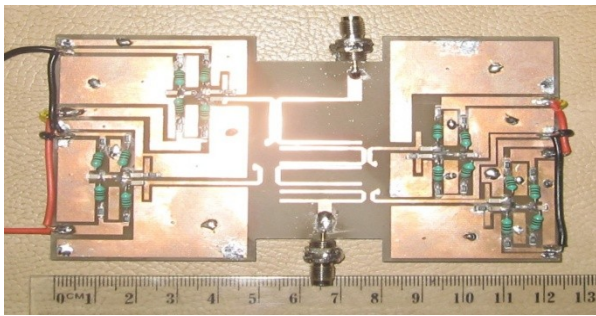
Pada Gambar 6 memperlihatkan desain BPF tanpa menggunakan kapasitansi aktif, sementara itu Gambar 7 memperlihatkan desain BPF menggunakan resistansi negatif.



Gambar 5. Diagram Blok BPF Aktif Mikrostrip Hairpin



Gambar 6. BPF Tanpa Menggunakan Resistansi Negatif



Gambar 7. BPF Menggunakan Resistansi Negatif

Setelah proses realisasi dari perancangan dilakukan, selanjutnya adalah pengukuran hasil realisasi. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui apakah hasil realisasi sesuai dengan perancangan atau tidak. Peralatan yang diperlukan diantaranya *network analyzer*, *power supply regulated*, multimeter dan kabel-kabel penghubung.

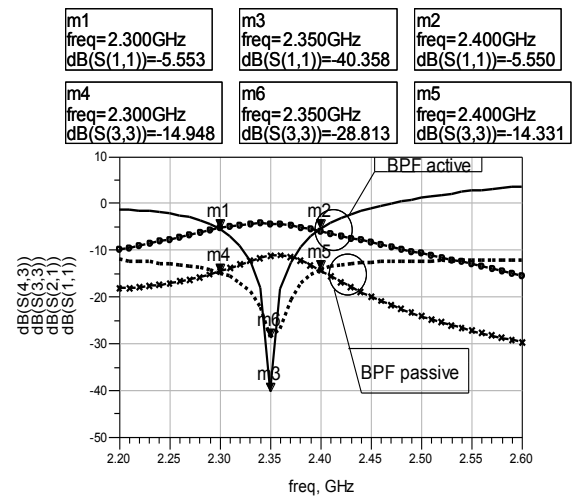
3. Hasil dan Pembahasan

Nilai *insertion loss* pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing -5,553 dB dan -5,550 dB. Nilai *return loss* didapat -40,358 dB pada frekuensi 2,35 GHz. Ini sesuai dengan standar m-WiMax nilai *return loss* di atas -10dB. Sebagai perbandingan, nilai parameter S ke dua BPF tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

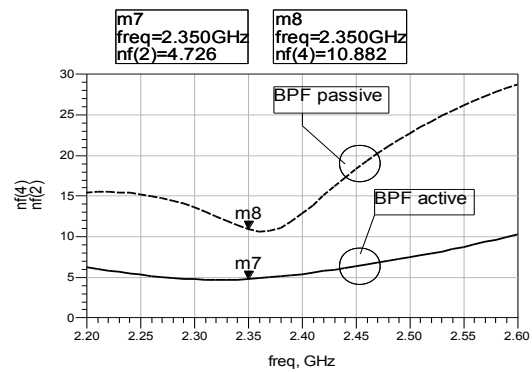
Dari Gambar 8 dapat dilihat perbandingan nilai parameter S ke dua filter tersebut. m1, m2 adalah nilai *insertion loss* dan m3 nilai *return loss* BPF aktif. m4, m5 nilai *insertion loss* dan m6 nilai *return loss* BPF pasif. Nilai *insertion loss* pada BPF dengan penambahan rangkaian resistansi negatif (BPF aktif) mempunyai nilai yang lebih baik dibanding BPF tanpa menggunakan rangkaian resistansi negatif (BPF pasif), lebih mendekati -3 dB. Ini artinya daya yang hilang sepanjang saluran dari sumber ke beban pada BPF aktif lebih kecil dibanding pada BPF pasif.

Gambar 9 memperlihatkan garis solid m7 adalah *noise figure* BPF aktif dan garis putus-putus m8 adalah nilai *noise figure* BPF pasif. Nilai *noise figure* didapat sebesar 4,726 dB. Nilai ini jauh lebih baik dibandingkan jika tanpa menggunakan rangkaian resistansi negatif yaitu 10,882 dB. Berarti rangkaian resistansi negatif ini berhasil mengurangi *noise* yang timbul pada rangkaian. Nilai resistansi negatif sebesar -9,266Ω akan mengkompensasi nilai resistansi parasitik yang timbul pada saluran. Tabel 2 memperlihatkan perbandingan parameter BPF pasif dan BPF aktif.

Dari Tabel 2 dapat dilihat pada BPF aktif dengan penambahan resistansi negatif mempunyai nilai



Gambar 8. Perbandingan Nilai Parameter S BPF Aktif dan Pasif



Gambar 9. Perbandingan Nilai Noise Figure BPF Aktif dan Pasif

Tabel 2. Perbandingan Parameter BPF Pasif dan BPF Aktif

	IL (dB)	RL (dB)	VSWR	NF (dB)
BPF Pasif	-14,948 (2,3 GHz) -14,331 (2,4 GHz)	-28,813	1,075	10,882
BPF Aktif	-5,553 (2,3 GHz) -5,550 (2,4 GHz)	-40,358	1,019	4,726

parameter *insertion loss*, *return loss*, VSWR dan *noise figure* yang lebih baik dibanding BPF pasif.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis kinerja BPF maka dapat diambil simpulan: 1) Telah dirancang duah buah BPF yaitu yang menggunakan BPF pasif dan BPF

active, (a) hasil perancangan dan simulasi BPF pasif diantaranya memiliki *insertion loss* nilai *insertion loss* pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing -14,9 dB dan -14,3 dB. Nilai *return loss* didapat -27,358 dB pada frekuensi 2,35 GHz dengan *noise figure* sebesar 10 dB; (b) hasil perancangan dan simulasi BPF aktif diantaranya memiliki *insertion loss* nilai *insertion loss* pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing -5,553 dB dan -5,550 dB. Nilai *return loss* didapat -40,358 dB pada frekuensi 2,35 GHz dengan *noise figure* sebesar 4,72 dB. 2) Dari hasil perancangan terlihat bahwa BPF aktif memiliki nilai *noise figure* lebih rendah dengan penurunan lebih dari 5 dB. Disamping itu memiliki nilai *insertion loss* lebih baik dari BPF pasif.

Daftar Acuan

- [1] Dirjen Postel, Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi Base Station Broadband Wireless Access (BWA) Nomadic pada Pita Frekuensi 2,3 GHz, 13 Mei 2010.
- [2] C.-Y. Hoon, IEEE Trans. Microwave Theory Technique 53 (2005) 687.
- [3] I.-S. Kim, Y.-H. Chun, S.-W. Yun, IEEE MTT-S Int. Dig. 3 (2003) 2207.
- [4] M.-S. Chung, I.S. Kim, S.-W. Yun, IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett. 17/3 (2007) 196.
- [5] A.A. Sulaiman, M.H. Mokhtar, M.H. Jusoh, N.H. Baba, R.A. Awang, M.F. Ain, European J. Sci. Res. 42/4 (2010) 590.
- [6] D.M. Pozar, Microwave Engineering, 2nd eds., Wiley and Sons, New York, 1998, p.548.
- [7] G. Gonzalez, Foundations of Oscillator Circuit Design, Artech House Inc., Boston, 2007, p.422.
- [8] J.-S. Hong, In: M.J. Lancaster (Ed.), Microstrip Filters For RF/Microwave Applications, Wiley and Sons, New York, 2001, p.656.
- [9] R. Boylestad, In: L. Nashelsky (Ed.), Electronic Devices and Circuit Theory". Tenth eds., Prentice Hall, New Jersey Inc., 2009, p.894.
- [10] N. Kinayman, In: M.I. Aksun (Ed.), Modern Microwave Circuit, Artech House, Inc., Boston, 2005, p.604.