

RANCANG BANGUN PROTOTYPE BPF CHEBYCHEV BERBASIS MIKROSTRIP

Yeni Nur Utami¹, Budi Prasetya², Yuyu Wahyu³

^{1,2}Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom

^{1,2}Jln Telekomunikasi No. 1, Bandung, 40275

^{1,2}Telp : (022) 7564108 ext. 2326, Fax: (022) 7565933

³Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Bandung

³Kompleks LIPI, Jl. Cisitu Bandung. Telp. 022-2504660 Fax. 022-2504659

yeni_nur88@yahoo.com¹, bpy@ittelkom.ac.id², yuyu@ppet.lipi.go.id³

ABSTRACT

Filter merupakan suatu perangkat transmisi yang memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan (*passband*) dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan (*stopband*). Frekuensi yang dilewatkan pada perangkat ini sesuai dengan jenis filter yang digunakan dengan karakteristik yang berbeda.

Pada penelitian ini telah dirancang bangun Band Pass Filter (BPF) pada frekuensi 9360 MHz - 9430 MHz dengan filter Equal Ripple (Chebychev). Jenis saluran transmisi yang digunakan dalam realisasi BPF ini menggunakan saluran mikrostrip, yaitu saluran transmisi yang terdiri dari strip konduktor dan groundplane yang dipisahkan oleh substrat dengan karakteristik bahan tertentu. Untuk jenis substrat yang digunakan adalah Duroid Roger 4003 yang mempunyai spesifikasi : $\epsilon_r = 3.38$, tebal substrat 0.813 mm, tebal lapisan tembaga 0.035 mm, dan loss tangent 0.0027.

Pengukuran filter dilakukan dengan Network Analyzer untuk memperoleh informasi tentang kinerja dan karakteristik prototipe yang dibuat. Parameter yang telah diuji dari prototipe BPF ini antara lain respon frekuensi, Bandwidth, Insertion Loss, Return Loss, Standing Wave Ratio, Impedansi Terminal, dan fasa. Adapun hasil pengukuran dari karakteristik BPF ini adalah : frekuensi tengah 9.4 GHz dengan bandwidth 270 MHz, insertion loss 7.593 dB, return loss 17.559 dB, SWR 1.2728, impedansi terminal 57.926 + j 2.1953 Ω .

Kata Kunci: BPF Chebhychev, Microstrip

PENDAHULUAN

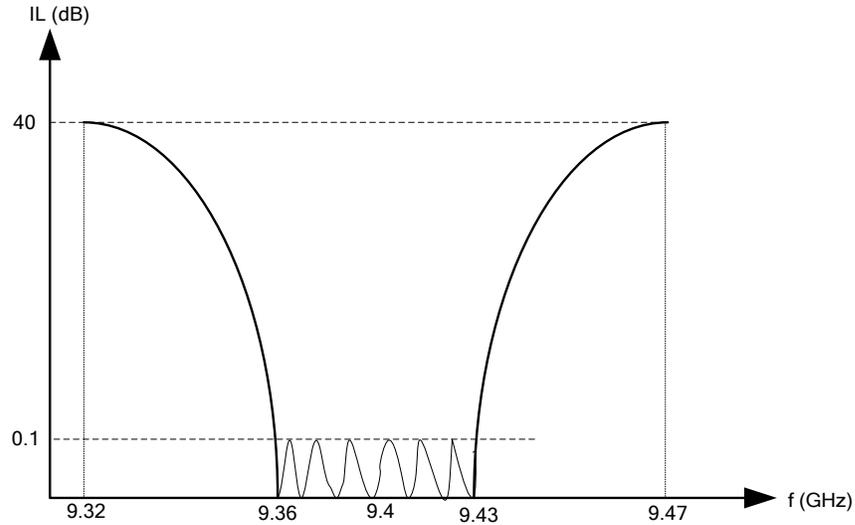
Sistem radar maritim merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mengawasi dan mengamankan wilayah perairan Indonesia, seperti mengawasi pergerakan kapal laut sehingga dapat dicegah tindakan-tindakan yang dapat merugikan Negara Indonesia dan juga tabrakan kapal apabila hendak merapat ke pelabuhan. Sistem Radar terbagi atas dua bagian utama yaitu *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima), dimana pada masing-masing bagian tersebut terdapat suatu filter (*Band Pass Filter*) yang meloloskan frekuensi pada rentang tertentu. Pada filter dibagian transmitter inilah yang akan direalisasikan pada frekuensi 9360 MHz sampai 9430 MHz.

Pada penelitian ini telah dilakukan rancang bangun *Band Pass Filter* (BPF), yaitu filter yang melewatkan sinyal yang memiliki band frekuensi tertentu. Band frekuensi pada filter ini adalah 9360 MHz sampai 9430 MHz dengan respon frekuensinya *Chebyshev* (*equal ripple*), serta digunakan saluran mikrostrip sebagai rangkaian penyepadanannya.

Adapun spesifikasi dari BPF ini adalah:

- Frekuensi kerja 9360 MHz – 9430 MHz
- *Ripple* 0.1 dB
- *Insertion loss* ≤ 40 dB

- Impedansi terminal 50 Ω unbalance



Gambar 1. Grafik Insertion Loss BPF pada 9,36GHz – 9,43 GHz

Filter *Chebyshev*

Pendekatan *Chebyshev* menghasilkan filter dengan *insertion loss* yang berosilasi antara 1 dan $1 + a_m^2$ pada daerah antara $\omega = 0$ sampai $\omega = \omega_c$ (atau yang disebut dengan *ripple*), dan akan secara monoton meningkat pada frekuensi di atas *cut-off* (*stop band* $\omega' > 1$).

Secara matematis pendekatan *insertion loss* respon *chebyshev* dapat dituliskan dalam persamaan :

$$IL = 1 + a_m^2 T_n^2(\omega') \text{ dengan } \omega' = \omega / \omega_c \quad (1)$$

dimana a_m adalah faktor *ripple*, n adalah orde filter dan T_n^2 merupakan derajat polinomial *chebyshev* yang diperoleh melalui :

$$T_n(x) = 2xT_{n-1}(x) - T_{n-2}(x) = \begin{cases} \cos(n \cos^{-1} x) & \text{untuk } x \leq 1 \\ \cosh(n \cosh^{-1} x) & \text{untuk } x > 1 \end{cases} \quad (2)$$

dimana $x = \omega'$. Respon filter akan mempunyai *ripple* pada daerah *pass band*. Dalam orde filter yang sama, kemiringan *slope* filter pada respon *Chebyshev* lebih tajam jika dibanding dengan respon *Butterworth*.

Harga-harga prototipe elemen filter *Chebyshev* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$g_0 = 1 \quad ; \quad g_1 = \frac{2p}{\sinh(\beta/2n)} \quad (3)$$

$$g_k = \frac{4p_{k-1} \cdot p_k}{q_{k-1} \cdot g_{k-1}} \quad ; \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$

dimana :
$$p_k = \sin\left[\frac{(2k-1)\pi}{2n}\right]$$

$$q_k = \sinh^2\left(\frac{\beta}{2n}\right) + \sin^2\left(\frac{k\pi}{n}\right) ; \quad \beta = \ln\left(\frac{\coth A_m}{17,37}\right)$$

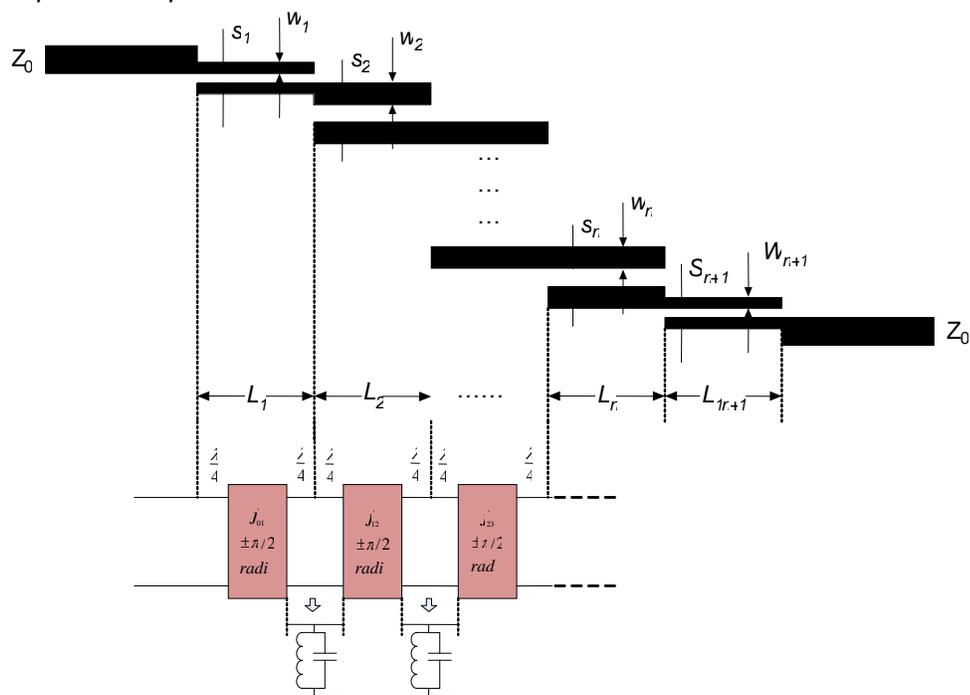
$$k = 1, 2, 3, \dots, n$$
(4)

dengan $A_m = a_m^2$ adalah level *ripple*. Harga-harga dari g_k biasanya sudah ditabelkan untuk besar *ripple* tertentu.

Band Pass Filter Gelombang Mikro

Filter gelombang mikro dapat direalisasikan dalam beberapa macam bentuk, diantaranya dengan resonator saluran *coaxial*, *waveguid*, resonator *stripline* dan *mikrostrip*. Resonator *mikrostrip* bisa diwujudkan dengan berbagai metoda, seperti *end coupled*, *interdigital line filter*, *cavity filter*, *parallel side coupled*, *stub $\lambda/4$* dan sebagainya.

Band Pass Filter yang direalisasikan dengan metode *parallel coupled* mempunyai kopling maksimum pada daerah resonator. Setiap resonator mempunyai panjang ℓ dan mempunyai jarak kopling S antara resonator, dimana untuk masing-masing resonator mempunyai panjang $\lambda/2$. Gambar dibawah ini menggambarkan struktur umum BPF dengan metode *parallel coupled*.



Gambar 2. Geometri *Parallel Coupled Filter* Dan Rangkaian Ekuivalennya [3]

Berikut merupakan persamaan untuk desain untuk orde n *parallel coupled filter*. Persamaan dibawah ini menggunakan nilai elemen induktif dan kapasitif ternormalisasi,

$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ dari prototipe filter *LPF*. [1]

Pada bagian kopling pertama diberikan persamaan :

$$J'_{01} = \frac{J_{01}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi F}{2 g_0 g_1}} \quad (5)$$

Pada bagian kopling tengah :

$$J'_{k,k+1} = \frac{J_{k,k+1}}{Y_0} = \frac{\pi F}{2 \sqrt{g_k g_{k+1}}} \quad ; \quad k=1, 2, \dots, (n-1) \quad (6)$$

Pada bagian kopling terakhir :

$$J'_{k,k+1} = \frac{J_{k,k+1}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi F}{2 g_k g_{k+1}}} \quad ; \quad k = n \quad (7)$$

Dimana:

$F = (f_H - f_L)/f_0$, adalah harga *fractional bandwidth*

f_H adalah batas frekuensi atas, f_L adalah batas frekuensi bawah,

dan $f_0 = \sqrt{f_H f_L}$ adalah frekuensi tengah dari filter.

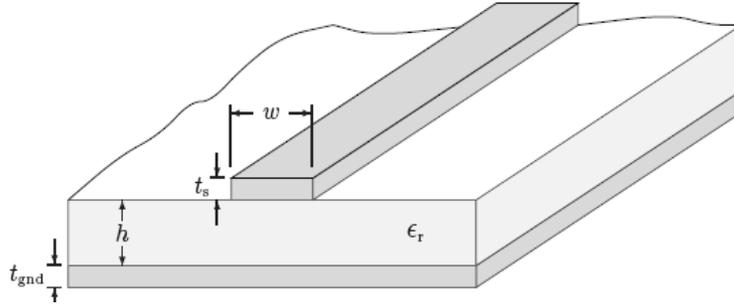
Pada filter mikrostrip, ukuran dimensi ditentukan dari besar impedansi ganjil genap dari saluran kopling, Z_{0e} & Z_{0o} yang diperoleh dari *inverter* admitansi J , seperti pada persamaan :

$$\begin{aligned} (Z_{0e})_{k,k+1} &= Z_0 \left(1 + J_{k,k+1} Z_0 + J_{k,k+1}^2 Z_0^2 \right) \\ (Z_{0o})_{k,k+1} &= Z_0 \left(1 - J_{k,k+1} Z_0 + J_{k,k+1}^2 Z_0^2 \right) \end{aligned} \quad (8)$$

dimana Z_0 impedansi karakteristik saluran *input* dan *output* filter.

Saluran Mikrostrip [5]

Saluran mikrostrip merupakan satu dari beberapa (koaksial dan waveguide) yang paling sering digunakan, di antaranya karena dapat dengan mudah dibuat, murah dan mudah diintegrasikan dengan perangkat gelombang mikro yang lainnya, baik itu perangkat aktif maupun pasif. Saluran mikrostrip terdiri dari satu substrat dielektrik tunggal dengan bidang dasar (*ground plane*) pada suatu sisi dan suatu bidang jalur (*strip*) dengan lebar w pada sisi lainnya. Substrat dielektrik mempengaruhi besarnya konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) dan $\tan \delta$ (juga disebut *loss tan* atau *tan delta*), sedangkan untuk menentukan lebar w yang berhubungan dengan impedansi karakteristik (Z_0) tertentu maka ditentukan oleh besarnya ϵ_r .



Gambar 3. Bentuk Saluran Mikrostrip Dengan Lebar Strip W , Konstanta Dielektrik ϵ_r Dengan Tinggi h , Tinggi Strip t_s , Dan Tinggi ground Plane t_{gnd}

Konstanta Efektif Dielektrik

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff}) pada saluran mikrostrip dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right]; W/h \leq 1 \quad (9)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2}; W/h \gg 1 \quad (10)$$

di mana ϵ_r merupakan konstanta dielektrik bahan.

Impedansi Karakteristik dan Perbandingan W/h Saluran

Impedansi karakteristik adalah fungsi dari lebar strip penghantar, tebal bahan dielektrik dari permukaan sampai bidang tanah (ground plane) dan homogenitas bahan dielektrik (dinyatakan ϵ_{eff}). Untuk menentukan impedansi karakteristik saluran, dapat digunakan persamaan berikut :

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right] \text{ohm, untuk } W/h \leq 1 \quad (11)$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W}{h} + 1.4 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right) \right]} \text{ohm, untuk } W/h > 1$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{h}{W} \text{ohm, untuk } W/h \gg 1$$

Apabila Z_0 dan konstanta dielektrik ϵ_r diketahui, maka rasio W/h dapat ditentukan dengan :
(Untuk region impedansi tinggi)

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}, \text{ untuk } W/h < 2 \quad (12)$$

(Untuk region impedansi rendah)

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right], \text{ untuk } W/h > 2 \quad (13)$$

dimana
$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

Panjang Gelombang

Panjang gelombang dalam saluran mikrostrip tergantung pada konstanta dielektrik efektif yaitu :

$$c = f_c \lambda_c \sqrt{\epsilon_r} \tag{14}$$

dimana panjang masing-masing mikrostrip $\lambda_c/4$
 dengan λ_c = panjang gelombang dalam ruang bebas
 $c = 3.10^8$ m/s

LANGKAH-LANGKAH PERANCANGAN

Berdasarkan spesifikasi filter diatas, dapat dilakukan perancangan *Band Pass Filter* dengan metode *insertion loss*, sebagai berikut:

- a. Menentukan frekuensi ternormalisasi dan orde filter

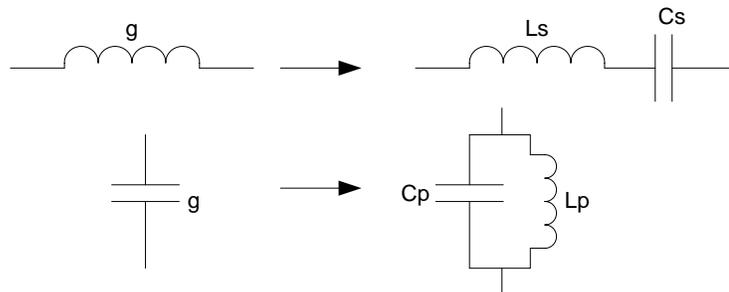
Dengan menggunakan persamaan $\omega'_x = \frac{\omega_0}{\omega_H - \omega_L} \left(\frac{\omega_x}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_x} \right)$, diperoleh

frekuensi ternormalisasi 1.992608302. Kemudian diperoleh orde filter $5.20086917 \approx 6$ elemen.

- b. Menentukan nilai-nilai komponen ternormalisasi

Dengan menggunakan harga elemen prototype LPF, maka diperoleh nilai komponen ternormalisasi.

- c. Transformasi prototype LPF menjadi prototype BPF



Gambar 4. Transformasi Prototype LPF ke BPF

- d. Transformasi harga elemen prototipe filter ke parameter *normalized admittance inverter*
- Perancangan BPF dengan menggunakan metode *parallel coupled*, terlebih dahulu dilakukan konfigurasi dengan *inverter admintansi J*, yang didasarkan pada nilai elemen induktif dan kapasitif ternormalisasi ($g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$) dari *prototype LPF*. Pada bagian kopling pertama digunakan persamaan 2.9, sebagai berikut :

$$J'_{01} = \frac{J_{01}}{Y_0} = 0,100097414$$

Pada bagian kopling tengah digunakan persamaan sebagai berikut :

$$J'_{12} = \frac{I_{12}}{Y_0} = 9,139399098 \times 10^{-3}$$

$$J'_{45} = \frac{I_{45}}{Y_0} = 6,888504841 \times 10^{-3}$$

$$J'_{23} = \frac{I_{23}}{Y_0} = 6,888504985 \times 10^{-3}$$

$$J'_{56} = \frac{I_{56}}{Y_0} = 9,139333252 \times 10^{-3}$$

$$J'_{34} = \frac{I_{34}}{Y_0} = 6,626745222 \times 10^{-3}$$

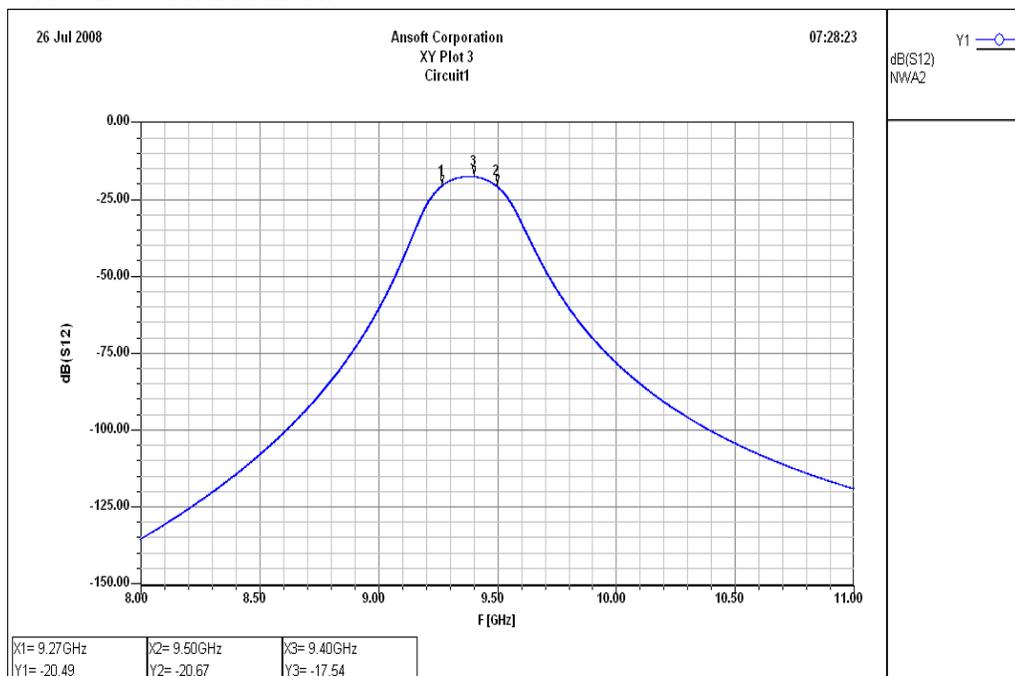
Pada bagian kopling terakhir digunakan sebagai berikut :

$$J'_{67} = \frac{I_{67}}{Y_0} = 0.100098111$$

- e. Menentukan impedansi ganjil (Z_{oo}) dan impedansi genap (Z_{oe})
 Nilai impedansi ganjil dan impedansi genap dari saluran kopling, Z_{oo} dan Z_{oe} yang diperoleh dari *inverter admittance J*.
- f. Menentukan dimensi mikrostrip
 Sebelum menentukan dimensi mikrostrip, ditentukan dahulu impedansi karakteristik untuk masing-masing resonator.

Dengan menggunakan design filter diatas, maka didapatkan hasil simulasi dengan Ansoft Designer sebagai berikut :

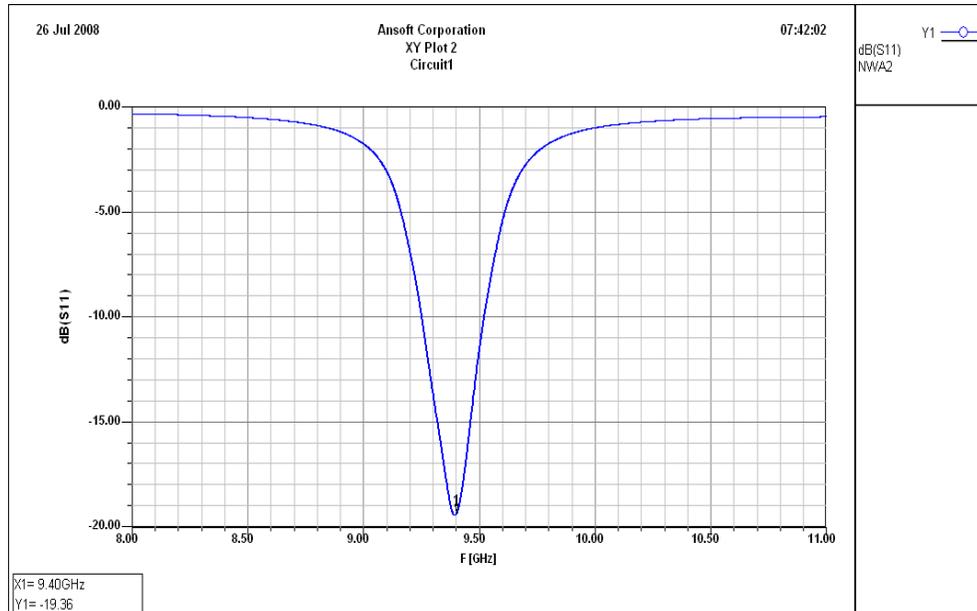
- a. Insertion Loss dan Bandwidth



Gambar 5. Hasil Simulasi Respon Frekuensi Dan Insertion Loss

Hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa frekuensi tengah nya 9.4 GHz dengan insertion loss 17.54 dB, sedangkan bandwidth yang dihasilkan sebesar 230 MHz. Hasil ini belum sesuai dengan spesifikasi awal, yaitu bandwidth 70 MHz dan insertion loss ≤ 0.2 dB, tetapi untuk frekuensi tengah sudah sesuai dengan spesifikasi.

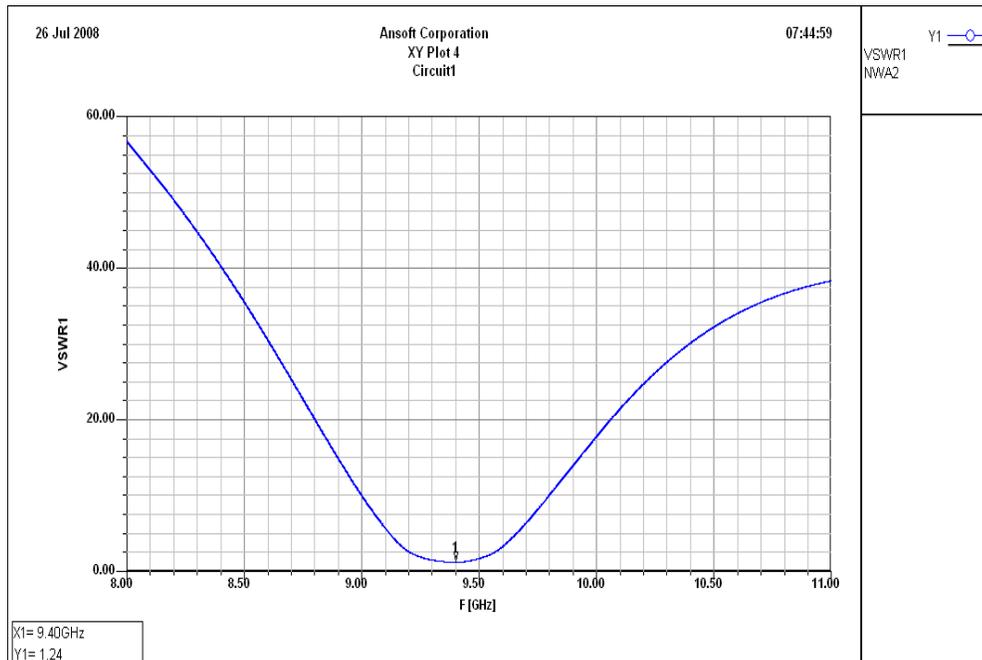
b. Return Loss



Gambar 6. Hasil Simulasi Return Loss

Hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa return loss yang dihasilkan adalah 19.36 dB pada frekuensi 9.4 GHz, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil ini sesuai dengan spesifikasi, yaitu return loss ≥ 14 dB pada frekuensi tengah.

c. SWR



Gambar 7. Hasil Simulasi SWR

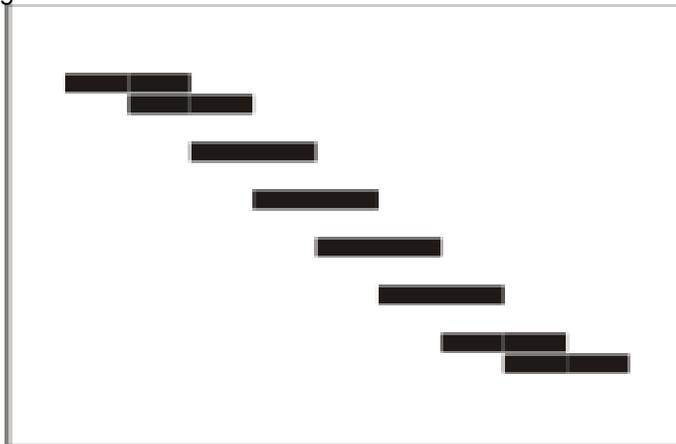
Hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa SWR yang dihasilkan adalah 1.24 pada frekuensi tengah nya, yaitu 9.4 GHz. Sehingga dapat dapat dikatakan bahwa hasil ini sesuai dengan spesifikasi, yaitu $SWR \leq 1.5$ pada frekuensi tengah.

Berikut ini merupakan dimensi yang akan direalisasikan berdasarkan hasil simulasi diatas :

Tabel 1. Dimensi BPF Berdasarkan Simulasi

Z0	W (mm)	S (mm)	L (mm)
50	1.8822	-	4.3399
49.6959	1.9006	0.24	4.3399
49.9978	1.8823	2.9	4.3399
49.9987	1.8823	2.9	4.3399
49.9988	1.8823	2.9	4.3399
49.9987	1.8823	2.9	4.3399
49.9978	1.9006	2.9	4.3399
49.6959	1.8822	2.9	4.3399

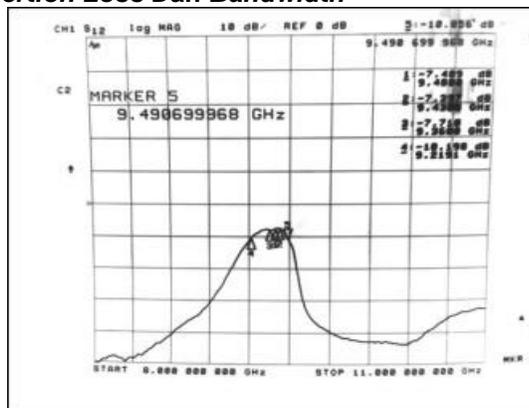
Setelah didapatkan dimensi dari *BPF*-nya maka langkah selanjutnya adalah menggambar konstruksi *BPF* dengan menggunakan *CorelDraw*. Gambar konstruksi *BPF* dapt dilihat pada gambar dibawah ini :



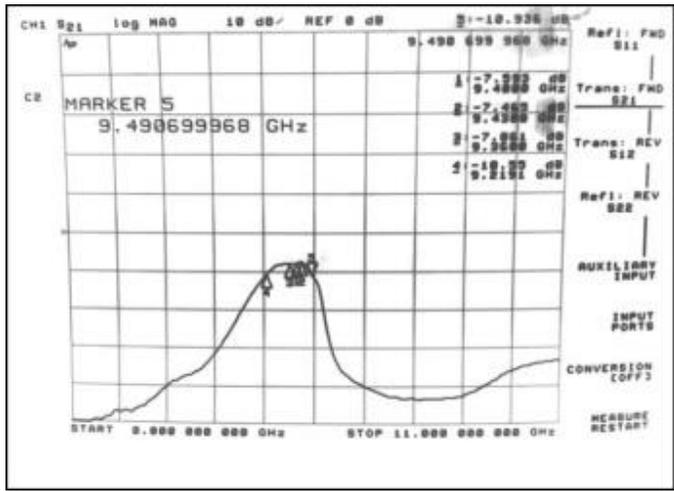
Gambar 8. Konstruksi BPF dengan Menggunakan CorelDraw

HASIL DAN PEMBAHASAN

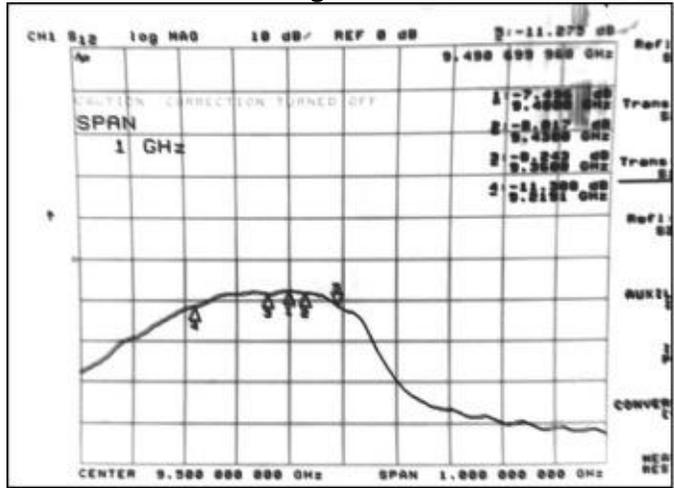
Hasil Pengukuran *Insertion Loss* Dan *Bandwidth*



Gambar 9. Hasil Pengukuran Insertion Loss S_{12}

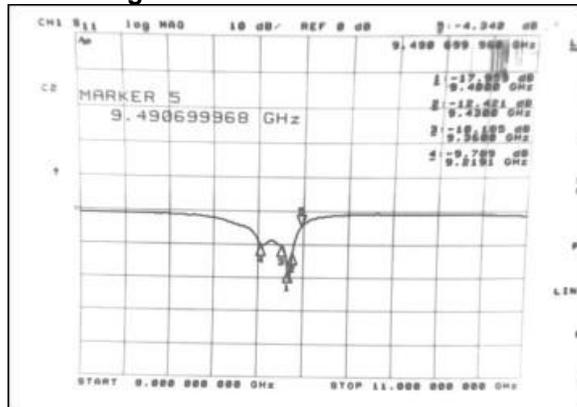


Gambar 10 Hasil Pengukuran Insertion Loss S₂₁

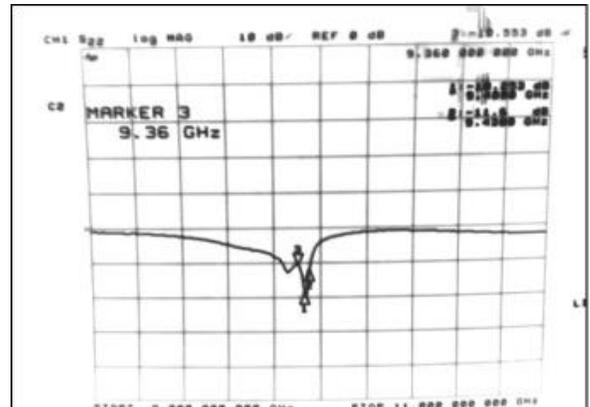


Gambar 11. Hasil Pengukuran Bandwidth

Hasil Pengukuran Return Loss

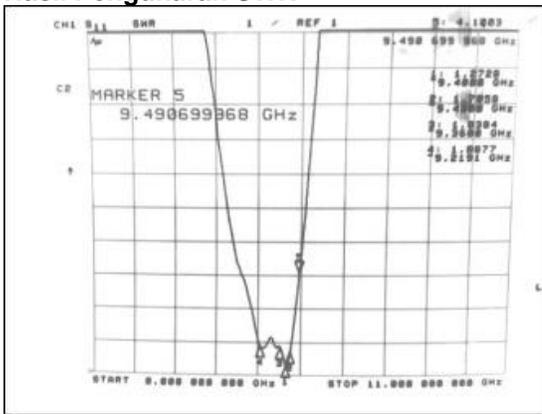


Gambar 12. Hasil Pengukuran Return Loss S₁₁

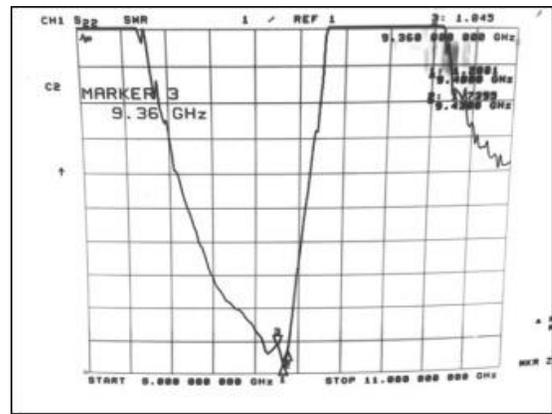


Gambar 13 Hasil Pengukuran Return Loss S₂₂

Hasil Pengukuran SWR

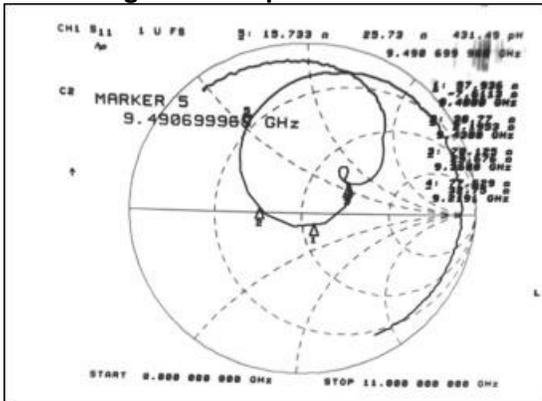


Gambar 14. Hasil Pengukuran SWR S_{11}

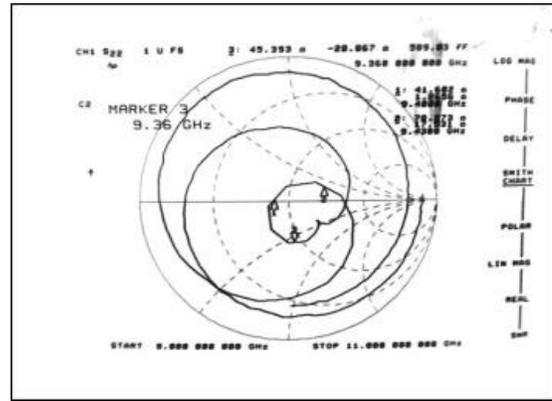


Gambar 15. Hasil Pengukuran SWR S_{22}

Hasil Pengukuran Impedansi Terminal



Gambar 16. Hasil Pengukuran Impedansi Terminal S_{11}



Gambar 17. Hasil Pengukuran Impedansi Terminal S_{22}

Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Simulasi

Setelah dilakukan pengukuran filter, maka dapat dibandingkan hasil pengukuran dengan hasil simulasi. Perbandingan tersebut mencakup perbandingan respon frekuensi, bandwidth, insertion loss, return loss, serta SWR. Adapun perbandingan tersebut antara lain :

a. Perbandingan Respon Frekuensi dan Bandwidth

Respon frekuensi yang dihasilkan dengan respon frekuensi pada simulasi hampir sama, karena frekuensi tengah berada pada frekuensi 9.4 GHz. Sedangkan untuk bandwidth yang dihasilkan lebih lebar dari pada hasil simulasi, dimana pada hasil simulasi dihasilkan 230 MHz dan hasil pengukuran bandwidth yang dihasilkan sebesar 270.9 MHz. Jadi pelebaran bandwidth nya sebesar 40.9 MHz.

b. Perbandingan Insertion Loss

Insertion loss yang dihasilkan lebih bagus dari pada hasil simulasi, yaitu pada frekuensi tengah dihasilkan insertion loss 7.593 dB, sedangkan pada hasil simulasi dihasilkan insertion loss pada frekuensi tengah sebesar 17.54 dB. Jadi selisih insertion loss dari hasil simulasi dengan hasil pengukuran adalah 9.947dB.

c. Perbandingan Return Loss

Return loss yang dihasilkan pada pengukuran adalah 17.559 dB, sedangkan pada hasil simulasi dihasilkan return loss sebesar 19.36 dB. Jadi dapat dikatakan bahwa hasil pengukuran return loss ini hampir mendekati hasil simulasi dengan selisih 1.801 dB.

d. Perbandingan SWR

SWR yang dihasilkan pada waktu pengukuran dengan SWR yang dihasilkan pada simulasi hampir sama, dimana SWR pada pengukuran didapat 1.2728 dan hasil simulasi didapatkan 1.24. Selisih dari SWR pengukuran dengan hasil simulasi adalah 0.0328.

KESIMPULAN

Dari keseluruhan proses perancangan, pembuatan dan pengukuran BPF *Chebyshev*, dapat disimpulkan dalam beberapa hal berikut ini :

1. Respon frekuensi dari hasil realisasi filter adalah frekuensi tengah (f_c) = 9.4 GHz, frekuensi *passband low* (f_L) = 9.2191 GHz, frekuensi *passband high* (f_H) = 9.490 GHz.
2. *Bandwidth* filter yang direalisasikan tidak sesuai dengan spesifikasi awal, dimana hasil pengukuran didapat 270.9 MHz, sedangkan spesifikasi awalnya 70 MHz.
3. *Insertion loss* yang dihasilkan pada realisasi filter ini, masih kurang baik atau tidak sesuai dengan spesifikasi, dimana IL hasil realisasi sebesar 7.593 dB, sedangkan spesifikasi awal $IL \leq 0.2$ dB.
4. *Return loss* yang dihasilkan dari hasil realisasi sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, dimana *return loss* hasil realisasi sebesar 17.559 dB, sedangkan spesifikasi awal $RL \geq 14$ dB.
5. Nilai *SWR* pada hasil realisasi sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, dimana *SWR* hasil realisasi dihasilkan 1.2728, sedangkan spesifikasi awalnya $SWR \leq 1.5$.
6. Impedansi terminal yang dihasilkan pada hasil realisasi hampir mendekati nilai standard impedansi terminal 50 Ω . Pada hasil realisasi didapat impedansi terminal $57.926 + j 2.1953 \Omega$.

DAFTAR PUSTAKA

1. E. M. T. Jones, G. Matthaei, L Young, Artech House, Inc., *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, And Coupling Structures*, United States, 1985.
2. Das, Annapurna., dan Sisir K Das. 2001. *Microwave Engineering (International Edition)*. McGraw-Hill.
3. Fooks, E H., dan R A Zakarevicius. 1990. *Microwave Engineering Using Microstrip Circuit*. Prentice Hall, Inc.
4. Frey, Jeffrey dan Kul Bhasin.1992.*Microwave Integrated Circuit*. Washington DC : Artech House, INC
5. Pozar, David M., *Microwave And RF Design of Wireless Systems*, John Wiley and Sons, Inc., United States of America, 2001.
6. Enceng Sulaeman, Diktat Kuliah Elektronika Telekomunikasi, ITTELKOM, Bandung, 2008.
7. Riyanti, Rahma Fajar. *Rancang Bangun BPF Duplexer Mikrostrip 2,4-2,484 GHz*. STT Telkom. Bandung.2006.