

# Perancangan dan Simulasi *Bandpass Filter* untuk Aplikasi IF Radar Coastal pada Frekuensi 500 MHz - 700 MHz

Firda Sahala<sup>1</sup>, Enceng Sulaeman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : firdasahala18@gmail.com

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : enceng.sulaeman@polban.ac.id

## ABSTRAK

Teknologi Radar Coastal dibutuhkan untuk mendeteksi keberadaan objek dan jaraknya, untuk melindungi teritorial suatu negara dari pelanggaran. Radar ini diposisikan di daerah pinggir pantai. Secara umum sistem radar terdiri dari *transmitter* dan *receiver*. Penerima radio yang digunakan pada radar jenis ini adalah penerima *superheterodyne*. Pada penerima ini sinyal frekuensi radio yang diterima dikonversi ke sebuah frekuensi antara. Untuk membatasi derau dan untuk kepentingan selektivitas, maka dibutuhkan *bandpass filter* pada frekuensi antara tersebut. Frekuensi antara yang digunakan pada radar coastal adalah 600 MHz dengan *bandwidth* 200 MHz. Dengan demikian *bandpass filter* frekuensi antara pada sistem penerima radar coastal adalah 500–700 MHz. Pada karya ilmiah ini dirancang dan disimulasikan sebuah *bandpass filter* dengan frekuensi kerja 500–700 MHz dengan metoda *lumped element*, yaitu menggunakan rangkaian resonansi seri dan paralel yang terdiri dari induktor dan kapasitor. Respon filter yang digunakan adalah respons Chebyshev dengan *ripple* 0,1 dB. Simulasi digunakan simulator *Advanced Design System*® 2019. Hasil simulasi diperoleh *return loss passband* 16,31 dB, *insertion loss passband* 0,08525 dB, *shape factor* 2,65, *ripple* 0,1 dB, respons fasa linier pada daerah frekuensi 499 MHz sampai 699 MHz, dan *group delay* konstan pada frekuensi 558-650 MHz.

## Kata Kunci

*Bandpass filter*, Chebyshev, *Insertion Loss*, Radar Coastal, *Return Loss*.

## 1. PENDAHULUAN

Pada daerah teritorial negara sering terjadi pelanggaran masuk-keluarnya kapal asing sehingga peran radar sangat dibutuhkan. Salah satu radar yang digunakan di daerah teritorial negara adalah Radar Coastal [1]. Pada sistem radar coastal terdiri dari sistem pengirim atau *transmitter* dan sistem penerima atau *receiver*. Pada bagian penerima pada radar coastal menggunakan penerima *superheterodyne*. Sinyal yang ditangkap berupa sinyal RF (*Radio Frequency*) yang kemudian dikonversi menjadi sebuah frekuensi antara (*Intermediate Frequency*). Sinyal IF akan dianalisa oleh subsistem bagian penerima untuk mengetahui lokasi dari objek tersebut. Pada subsistem penerima terdiri dari antena sebagai penerima sinyal. Untuk membatasi sinyal yang diterima maka digunakan *bandpass filter*. Luaran dari *bandpass filter* akan menjadi lemah sehingga perlu dikuatkan dengan LNA (*Low to Noise Amplifier*). Sinyal yang dihasilkan dari LNA memasuki proses *mixer* yang dilengkapi LO (*Local Oscillator*). *Mixer* sebagai pengali frekuensi sehingga kualitas sinyal akan meningkat. Untuk membatasi derau dan kepentingan selektivitas, maka dari luaran *mixer* dibutuhkan *bandpass filter* kembali. Setelah melalui *bandpass filter*, sinyal IF akan

dikuatkan kembali dengan penguat IF [2]. Pada karya ilmiah ini akan dirancang dan disimulasikan sebuah subsistem dari penerima radar coastal, yaitu *bandpass filter*.

Pada karya sebelumnya yang ditulis oleh membahas desain rangkaian penapis (*filter*) *bandpass* yang terdiri dari komponen pasif, yaitu induktor dan kapasitor. Respon yang digunakan adalah respon Chebyshev. Respon yang dihasilkan dapat menghasilkan kecuraman tingkat tinggi (mencapai 3 dB) dari *passband* ke *stopband*. Hasil simulasi menggunakan *Advancde Digital System*® desain *bandpass filter* untuk jaringan WiMAX 3.5 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz. Untuk mendapatkan *filter* yang berfungsi secara maksimal menggunakan rangkaian Chebyshev *bandpass filter* orde tiga dengan *ripple* 0.2. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa *filter* dapat melewati frekuensi 3.5 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz, *insertion loss* 0.002 dB, *return loss* 33.798 dB [3].

Jika melihat karya sebelumnya, simulasi *bandpass filter* menggunakan simulator *Advanced Design System*®. Komponen yang digunakan berupa kapasitor dan induktor atau disebut *lumped-element* sehingga

memungkinkan dapat diimplementasikan pada perancangan *bandpass filter* dengan frekuensi antara 500-700 MHz dengan *bandwidth* 200 MHz. Sinyal IF yang diterima 600 MHz. Pengujian yang dilakukan berupa *return loss*, *insertion loss*, *bandwidth*, *phase passband*, dan *group delay*.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Bandpass filter

*Bandpass filter* atau BPF merupakan *filter* yang hanya melewatkan sinyal-sinyal yang frekuensinya tercantum dalam pita frekuensi atau *pass band* tertentu [3].

### 2.2 Lowpass Filter (LPF) Prototipe

Dalam perancangan BPF dapat dilakukan dengan rangkaian LPF prototipe. Rangkaian LPF prototipe terdiri dari elemen-elemen induktor (L) dan kapasitor (C) yang disusun membentuk rangkaian LPF sehingga memiliki karakteristik respon yang sama. Maka, prototipe pada rangkaian LPF tidak digunakan nama komponen L dan C, tapi dengan  $g_i$  dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , yang merupakan impedansi sumber. Masing-masing sumber dinyatakan dengan  $g_0$  dan  $g_{n+1}$ . Pada perancangan *filter*, impedansi masukan dan keluaran *filter* pada *passband*, harus sesuai dengan impedansi sumber dan impedansi beban agar menghasilkan *insertion loss* mendekati 0 dB [5].

Dengan menggunakan respon Chebyshev dapat menentukan nilai komponen *lumped-element* yang akan digunakan dengan menyesuaikan frekuensi kerja dan *ripple* [3]. Chebyshev memiliki ciri berupa *ripple* pada bagian *passband*. Untuk mengetahui nilai *ripple*, nilai *return loss* (RL) perlu diketahui terlebih dahulu sesuai yang diinginkan sehingga didapatkan nilai *ripple* menggunakan persamaan (1).

$$r = -10 \log(1 - 10^{-0,1RL}) \text{ dB} \quad (1)$$

Jumlah komponen pembentuk *filter* sebanyak  $n$  disebut sebagai orde *filter* yang dapat diketahui dengan menghitung persamaan (2).

$$n \geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0,1xLs}-1}{10^{0,1xr}-1}}}{\cosh^{-1} \Omega_s} \quad (2)$$

$L_s$  merupakan spesifikasi redaman minimum pada daerah *stopband*. Nilai dari redaman dapat ditentukan sendiri.  $\Omega_s$  merupakan nilai transformasi frekuensi yang didapatkan dari persamaan (5).

#### 2.2.1 Transformasi BPF

Transformasi frekuensi yang dibutuhkan untuk *filter bandpass* adalah dengan menentukan frekuensi tengah

( $f_0$ ) menggunakan persamaan (3). Hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui *fraction bandwidth* (FBW) pada persamaan (4) sehingga dapat diketahui nilai transformasi frekuensi untuk mengubah LPF prototipe menjadi BPF yang dituliskan pada persamaan (5). Nilai transformasi  $\Omega = \Omega_s$  dimana  $\Omega_s > 1$ .  $f_2$  untuk frekuensi *cutoff* lebih tinggi dan  $f_1$  untuk frekuensi *cutoff* lebih rendah.

$$\omega\omega = \sqrt{\omega_1\omega_2}$$

$$2\pi f_0 = \sqrt{(2\pi f_1)(2\pi f_2)} \quad (3)$$

$$FBW = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (4)$$

$$\Omega = \frac{1}{FBW} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (5)$$

$\omega$  sebagai rentang frekuensi yang akan diuji pada simulasi sehingga frekuensi yang digunakan harus melebihi respon frekuensi.

Jika transformasi frekuensi yang digunakan untuk menentukan elemen reaktif dari *filter*, maka akan didapatkan elemen induktor seri menjadi rangkaian resonansi seri, sedangkan elemen kapasitor paralel menjadi rangkaian resonansi paralel. Harga-harga elemen untuk komponen seri ditentukan dengan persamaan (6) untuk induktor seri ( $L_s$ ) dan persamaan (7) untuk kapasitor seri ( $C_s$ ).  $R_0$  merupakan nilai impedansi masukan atau luaran  $g$ .

$$L_s = \frac{R_0 g}{FBW \omega_0} \quad (6)$$

$$C_s = \frac{FBW}{R_0 \omega_0 g} \quad (7)$$

Untuk harga-harga elemen komponen paralel menggunakan persamaan (8) dan persamaan (9).

$$L_p = \frac{R_0 FBW}{\omega_0 g} \quad (8)$$

$$C_p = \frac{g}{FBW \omega_0 R_0} \quad (9)$$

## 2.3 Parameter Pengukuran

### 2.3.1 Return Loss

*Return loss* atau RL merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang dan daya yang kembali sebagai pantulan [5].

### 2.3.2 Insertion Loss

*Insertion loss* atau IL adalah rugi sisipan yang dapat menunjukkan ukuran keefektifan sebuah *filter*. Makin kecil nilai IL makin baik efisiensi sebuah *filter* [6].

### 2.3.3 Bandwidth

Lebar pita frekuensi yang dibatasi frekuensi *cutoff* dikenal dengan *bandwidth*. Untuk mengetahui *bandwidth* dapat menggunakan persamaan (10).

$$BW = f_2 - f_1 \quad (10)$$

### 2.3.4 Phase Passband

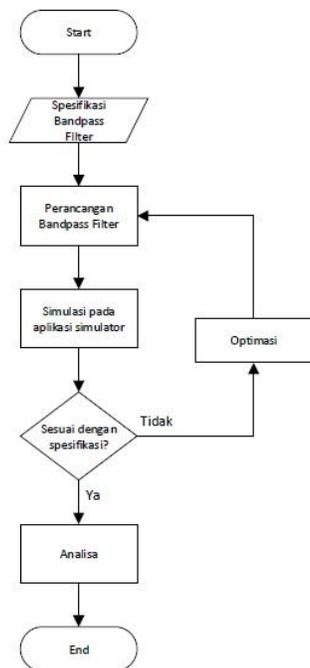
Perbedaan fasa terjadi pada saat sinyal ditransmisikan melalui *filter* dimana sinyal mengalami *delay* terhadap frekuensi. Maka diharapkan fasa tidak terjadi *delay* atau disebut linear terhadap frekuensi [7].

### 2.3.5 Group Delay

*Group delay* merupakan *delay* pada beda fasa dengan satuan waktu ( $\tau$ ). *Group delay* mengukur linearitas pada respon fasa pada saat pengiriman sinyal terhadap waktu. Maka yang diharapkan dari *group delay* adalah konstan [5].

## 3. METODOLOGI

### 3.1 Algoritma yang Digunakan



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan dan Simulasi *Bandpass filter*

Pada Gambar 1. menunjukkan diagram alir perancangan dan simulasi *bandpass filter*. Dimulai dengan menentukan spesifikasi *filter* yang diinginkan. Dalam perancangan *filter* dilakukan pemilihan metode untuk menyusun rangkaian. Metode yang digunakan berupa *lumped-element*, dimana perancangan filter terdiri dari komponen kapasitor dan induktor. Untuk menentukan masing-masing nilai komponen,

dilakukan perhitungan yang tertulis pada bagian 2. Setelah itu, dilanjutkan proses simulasi menggunakan aplikasi simulator. Aplikasi yang digunakan berupa *Advanced Design System*® 2019. Hasil simulasi tersebut harus sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Bila hasilnya kurang sesuai, maka dilakukan optimasi dengan cara *tuning* atau menaikkan nilai induktor dan kapasitor sampai hasil simulasi sesuai.

### 3.2 Spesifikasi BPF

Tabel 1. Spesifikasi BPF yang Dirancang

Spesifikasi	Karakteristik
Respon Frekuensi (MHz)	500-700
Bandwidth (MHz)	600
Return loss (dB)	$\geq 16$
Insertion loss (dB)	$\leq 2$
Phasa Passband	Linear
Group delay	Konstan

### 3.3 Perhitungan

Nilai dari parameter yang ada pada Tabel 2 digunakan sebagai perhitungan untuk mendapatkan nilai masing-masing komponen L dan C menggunakan persamaan yang tertulis pada dasar teori.

Tabel 2. Parameter Perhitungan BPF

Parameter	Nilai
$f_1$	500MHz
$f_2$	700MHz
Impedansi ( $Z_0$ )	50 $\Omega$
$L_s$	50 dB
$R_L$	16 dB
$\omega$	1000 MHz

Perancangan BPF menggunakan rangkaian LPF prototipe dimana rangkaian ini tersusun dari komponen L dan C yang ditransformasikan menjadi nilai  $g$ . Maka perlu diketahui nilai frekuensi tengah ( $\omega_0$ ) dengan menggunakan persamaan (3). melalui persamaan (4). Nilai dari FBW bertujuan untuk mengetahui hasil dari transformasi frekuensi LPF prototipe menjadi rangkaian *BPF*. Hasil dari transformasi tersebut digunakan untuk mendapatkan jumlah ( $n$ ) dari pasangan LC pada persamaan (2). Hasil dari perhitungan tersebut dituliskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Perancangan BPF

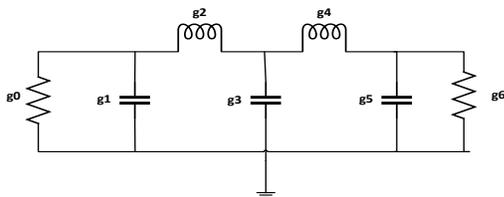
Parameter	Nilai
$\omega_0$	600 MHz
FBW	1/3
$\Omega$	3.2
$r$	0,1 dB
$n$	5

*Ripple* yang didapatkan adalah 0,1 dB dan orde ( $n$ ) yang dihasilkan sebanyak lima sehingga dapat

diketahui nilai  $g$  yang tertulis pada Tabel 4. Susunan rangkaian LC dibebaskan antara seri atau paralel terlebih dahulu sebab akan menghasilkan respon yang sama. Skema rangkaian dengan nilai  $g$  ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk  $g_0$  dan  $g_6$  merupakan impedansi masukan dan keluaran dengan nilai 1 sehingga tidak dituliskan pada tabel.

Tabel 4. Harga elemen-elemen  $g_i$  filter LPF prototipe Chebyshev ( $g_0 = 1, \omega_c = 1$ ) untuk  $n = 5$ , nilai ripple 0,1 dB

n	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$
5	0,7563	1,3049	1,5773	1,3049	0,7563



Gambar 2. Skema Rangkaian LPF Prototipe

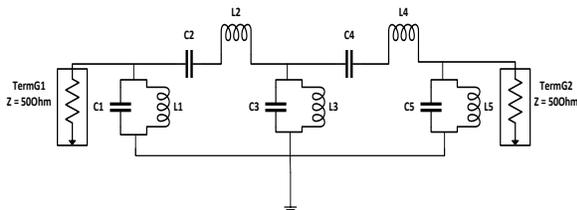
Untuk nilai L dan C dengan  $g_1, g_3,$  dan  $g_5$  menggunakan persamaan (8) dan persamaan (9), sedangkan nilai L dan C dengan  $g_2$  dan  $g_4$  menggunakan persamaan (6) dan persamaan (7). Hasil nilai masing-masing L dan C dituliskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Komponen L dan C

Induktor (L)		Kapasitor (C)	
$L_1$	3.86 nH	$C_1$	18.25 pF
$L_2$	54.58 nH	$C_2$	1.29 pF
$L_3$	2.24 nH	$C_3$	31.45 pF
$L_4$	54.58 nH	$C_4$	1.29 pF
$L_5$	3.86 nH	$C_5$	18.25 pF

### 3.4 Skema Rangkaian

Hasil transformasi LPF prototipe menjadi rangkaian BPF ditunjukkan pada Gambar 3. Pada skema rangkaian,  $g_0$  dan  $g_6$  digambarkan dengan komponen TermG sebagai impedansi masukan dan luaran.



Gambar 3. Skema Rangkaian BPF

## 4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 4.1 Simulasi

Simulasi yang dilakukan menggunakan nilai pada Tabel 5 dengan skema rangkaian sesuai dengan Gambar 3. Pengujian simulasi berupa *return loss*, *insertion loss*, *bandwidth*, *phase passband*, dan *group delay*. Kemudian dilakukan optimasi dengan *tunning* pada komponen L dan C. Dari hasil optimasi tersebut sangat berpengaruh pada hasil setiap parameter yang diuji. Hasil simulasi sebelum dan setelah *tunning* dibandingkan kemudian dianalisis.

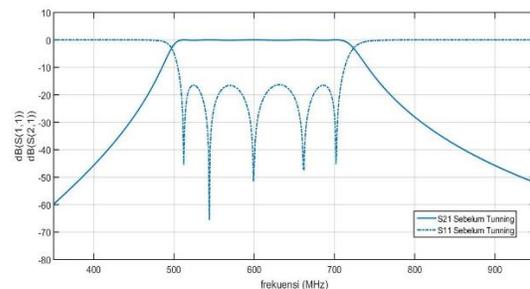
#### 4.1.1 Simulasi sebelum *Tunning*

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi nilai *return loss* ( $S_{11}$ ) yang nilainya dituliskan pada Tabel 6. Nilai *return loss* yang dihasilkan  $\geq 16$  dB dimana simulasi telah memenuhi spesifikasi.

Tabel 6. Return loss Hasil Simulasi Sebelum *Tunning*

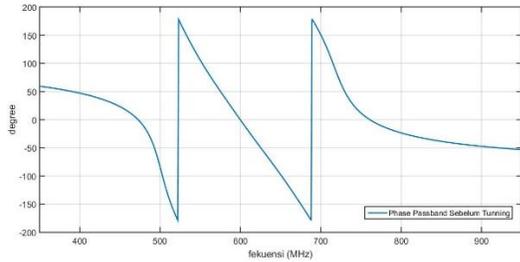
Frekuensi (MHz)	Return loss (dB)
524	16.45
570	16.57
630	16.32
686	16.47

Gambar 4 menunjukkan parameter *insertion loss* ( $S_{21}$ ) sebesar 0 dB yang artinya  $\leq 2$  dB. Dari hasil simulasi  $S_{21}$  dapat dilihat *bandwidth* dari frekuensi 508 MHz sampai 708 MHz. Dengan menggunakan persamaan (10), nilai *bandwidth* yang dihasilkan adalah 200 MHz. Dapat dikatakan parameter *bandwidth* telah memenuhi spesifikasi. Nilai *ripple* dapat diketahui dengan mengambil beberapa titik frekuensi pada bagian *passband* yang mendekati 0 dB, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Hasil dari rata-rata tersebut adalah 0,0476 dB.



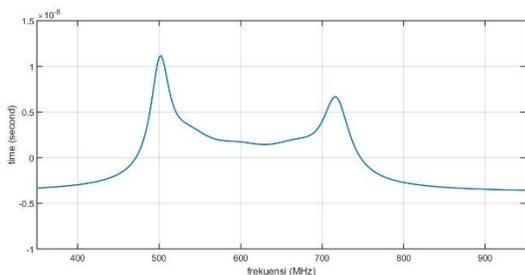
Gambar 4. Hasil Simulasi Return Loss dan Insertion Loss Sebelum *Tunning*

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi respon fasa yang dihasilkan linear pada frekuensi 500 MHz sampai dengan 715 MHz.



Gambar 5. Hasil Simulasi Phase Passband Sebelum Tuning

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi *group delay* dengan daerah konstan dari 563 MHz sampai 678 MHz.



Gambar 6. Hasil Simulasi Group delay Sebelum Tuning

#### 4.1.2 Simulasi setelah Tuning

Simulasi setelah tuning menghasilkan nilai L dan C yang berbeda. Nilai tersebut dituliskan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Komponen L dan C Hasil Tuning

Induktor (L)		Kapasitor (C)	
$L_1$	3.9 nH	$C_1$	18.5 pF
$L_2$	56 nH	$C_2$	1.29 pF
$L_3$	2.2 nH	$C_3$	32.85 pF
$L_4$	56 nH	$C_4$	1.29 pF
$L_5$	3.9 nH	$C_5$	18.5 pF

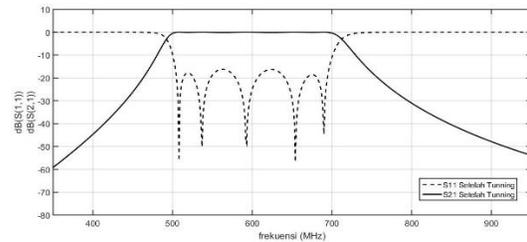
Gambar 7 merupakan hasil simulasi *return loss* ( $S_{11}$ ) yang dituliskan pada Tabel 8.

Tabel 8. Return loss Hasil Simulasi Setelah Tuning

Frekuensi (MHz)	Return loss (dB)
520	17.82
562	16.22
624	16.31
675	18.6

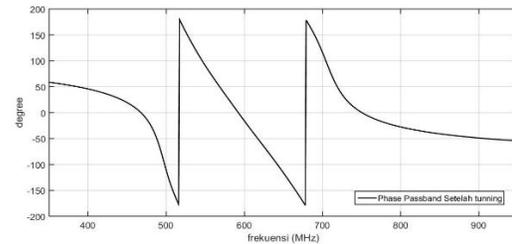
Berdasarkan pada Tabel 8, *return loss* hasil tuning  $\geq 16$  dB atau telah memenuhi spesifikasi perancangan. Pada hasil simulasi parameter *insertion loss* ( $S_{21}$ ) yang dihasilkan 0 dB dan telah memenuhi spesifikasi yaitu  $\leq 2$  dB. *Bandwidth* yang didapat dari hasil simulasi setelah tuning adalah dari Respon frekuensi yang dihasilkan adalah 503-696MHz sehingga nilai

*bandwidth* yang dihasilkan 193 MHz. Hasil rata-rata pada beberapa titik frekuensi yang mendekati 0 dB adalah 0,0316 dB.



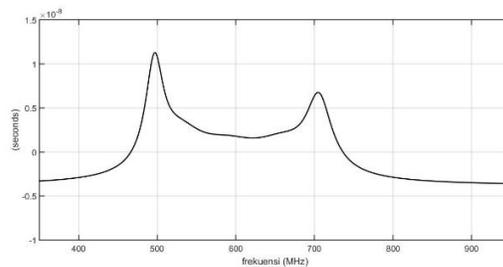
Gambar 7. Hasil Simulasi Return Loss dan Insertion Loss Setelah Tuning

Hasil simulasi setelah tuning yang ditunjukkan pada Gambar 8 menghasilkan *phase passband* linear. Daerah linear terdapat pada frekuensi 499 MHz sampai dengan 699 MHz.



Gambar 8. Hasil Simulasi Phase Passband Setelah Tuning

Pada Gambar 9 terlihat daerah konstan pada frekuensi 558 MHz sampai 650 MHz.



Gambar 9. Hasil Simulasi Group delay Sebelum Tuning

#### 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi

Perbandingan dari hasil simulasi sebelum tuning dan setelah tuning di tuliskan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Perancangan dan Simulasi

Sebelum Tuning		Setelah Tuning	
<b>Return Loss (dB)</b>			
Frekuensi (MHz)		Frekuensi (MHz)	
524	16.45	520	17.82
570	16.57	562	16.22
630	16.32	624	16.31
686	16.47	675	18.6
<b>Ripple (dB)</b>			
0,0476		0,0316	
<b>Insertion Loss (dB)</b>			
0		0	
<b>Respon Frekuensi (MHz)</b>			
508-708		503-696	
<b>Bandwidth (MHz)</b>			
200		193	
<b>Phase Passband Linear (MHz)</b>			
520-687		516-679	
<b>Group Delay Konstan (MHz)</b>			
563-678		558-650	

Dilihat pada Tabel 10, perubahan nilai parameter *return loss* disebabkan oleh proses *tuning* yang menaik-turunkan nilai komponen kapasitor dan induktor. Selain itu, hasil *tuning* terhadap L dan C menyebabkan lebar pita frekuensi berkurang sebab pada persamaan menghitung nilai L dan C menggunakan nilai FBW dimana berhubungan dengan *bandwidth*. Nilai *ripple* kurang dari nilai 0,1 dB sebab dilihat dari *insertion loss* yang mendekati 0 dB berpengaruh pada nilai *ripple*. Kedua parameter ini dilihat pada bagian *passband* hasil simulasi  $S_{21}$ . Hasil *phase passband* pada kedua simulasi adalah linear yang menandakan tidak terjadi *delay* antara fasa dan waktu saat transmisi sinyal pada rentang frekuensi tertentu. *Group delay* yang dihasilkan tidak terlalu konstan akibat *ripple* yang dihasilkan respon Chebyshev.

## 5. KESIMPULAN

Dari proses perancangan dan simulasi *bandpass filter* dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil simulasi *bandpass filter* dengan nilai komponen sesuai hasil perhitungan atau sebelum proses *tuning* memiliki *return loss*, *insertion loss*, *bandwidth*, *ripple*, *phase passband* sesuai dengan spesifikasi. Namun, respon frekuensi yang dihasilkan bergeser dimana seharusnya 500MHz-700MHz menjadi 508MHz-708MHz. Kemungkinan pergeseran terjadi akibat dari simulator ADS. Sebab telah dibuktikan melalui

perhitungan, hasilnya akurat dan tidak terjadi kesalahan.

2. Hasil simulasi *bandpass filter* setelah proses *tuning* memiliki nilai *return loss*, *insertion loss*, *ripple*, dan *phase passband* telah memenuhi spesifikasi. Respon frekuensi yang dihasilkan 503-696MHz sehingga dapat dikatakan mendekati spesifikasi. Pada nilai *bandwidth* mendekati spesifikasi, yaitu 193 MHz. Jika dibandingkan dengan proses simulasi sesuai perhitungan, nilainya berkurang akibat dari proses *tuning*.
3. Untuk *group delay* pada bagian *passband* mendekati konstan sebab dampak dari respon Chebyshev yang memiliki *ripple* pada bagian *passband*.
4. Hasil simulasi sebelum *tuning* lebih baik daripada setelah *tuning* sebab nilai yang digunakan murni dari hasil perhitungan. Namun, *tuning* ini dilakukan jikalau dilakukan realisasi *bandpass filter* tidak kesulitan dalam mendapatkan komponen.

Adapun saran dari penelitian ini adalah:

1. Dalam melakukan simulasi pada proses *tuning* harus menaik-turunkan nilai kapasitor dan induktor tidak terlalu jauh dari hasil sesuai perhitungan yang didapatkan sehingga hasilnya akan maksimal.
2. Jika ingin melakukan simulasi tentang filter, selain simulator ADS dapat menggunakan simulator AWR.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. W. Y. Samirahayu, SE. MT, D. P. Adhi, Y. Radiansah, ST, L. and D. M. , "Pemanfaatan dan Pemasangan Radar Pengawas Pantai (Surveillance Radar)," PPET LIPI, Bandung, 2012.
- [2] O. Nur Shabrina, "Aplikasi Teknik Radio Pada Pengaman Kendaraan Bermotor (Receiver)," eprints, Palembang, 2014.
- [3] E. Safrianti, L. Oktaviana Sari and N. Valentino, "Design Band Pass Filter Untuk Mengatasi Interferensi," in Jurnal Sainstek STT Pekanbaru, Pekanbaru, 2016.
- [4] L. Miller, Compliments of Qorvo: RF Filters For Dummies, Special ed., E. Kuball, K. Mohr and R. Mengle, Eds., Hoboken: John Willey & Sons, Inc., 2015, pp. 4-10.
- [5] I. E. Sulaeman, M.T., "Filter Gelombang Mikro," in Teknik Frekuensi Tinggi dan Gelombang Mikro, Bandung, Politeknik Negeri Bandung, 2007, pp. 1-19.
- [6] Triprijoetomo and T. Supriyanto, "Perancangan Wideband Band Pass Filter (BPF) dengan metamaterial Mikrostrip Frekuensi 1,78GHz –

- 3,38GHz," SETRUM, vol. 4, no. 1, pp. 18-23, Juni 2015.
- [7] T. Akbar, M. Ramdhani and E. Kurniawan, "Implementasi dan Analisis Insertion Loss Filter Berbasis Electromagnetic Compability (EMC) Pada Light Emitting Diode (LED)," e-Proceeding of Engineering, vol. 4, no. 3, pp. 3255-3262, Desember 2017.
- [8] Alnilam, "Coursehero," 2016. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Basic-Linear-Design/Chapter8.pdf>. [Accessed 27 July 2020].