

## PERANCANGAN FILTER BANDPASS COMBLINE 3 GHz PADA SISTEM PEMANCAR RADAR GELOMBANG KONTINU

### *DESIGN OF 3 GHz COMBLINE BANDPASS FILTER ON CONTINUOUS WAVE RADAR TRANSMITTER SYSTEM*

Devin Rizky Muhammad<sup>1</sup>, Erfansyah Ali, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Dr. Aloysius Adya Pramudita, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>devinrizkymuhammad@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>erfansyahali@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

*Radio Detection and Ranging* (Radar) merupakan alat yang berfungsi untuk mendeteksi benda-benda yang berada di dalam jangkauan tertentu. Salah satu jenis radar yang diketahui adalah radar gelombang kontinu. Radar gelombang kontinu (*continuous wave radar*) merupakan radar dengan sistem yang menggunakan energi radio dengan frekuensi stabil, yang ditransmisikan dan kemudian diterima kembali dari objek yang dipantulkan. Objek yang terdeteksi adalah benda yang dideteksi menggunakan efek Doppler, menyebabkan sinyal yang diterima memiliki frekuensi yang berbeda dari sinyal transmisi, sehingga memungkinkan untuk dideteksi dengan menyaring frekuensi yang ditransmisikan. Komponen penyusun *transmitter* radar salah satunya yaitu filter. Filter berfungsi untuk menyeleksi frekuensi sinyal tertentu yang ingin dilewatkan atau diredam.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan simulasi perancangan *band-pass Filter* (BPF) dengan metode *comblin*. *Comblin* filter adalah filter yang terdiri dari beberapa saluran transmisi mode *Transverse Electromagnetic* (TEM) yang terhubung pada salah satu ujungnya dan terpasang kapasitor bersama dengan *ground* di bagian ujung. Filter *comblin* disusun dalam bentuk mikrostrip dengan bahan dielektrik FR-4 Epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ ). Filter memiliki 5 saluran resonator utama yang terletak di tengah dan 2 resonator *tapping* di bagian luar. Filter bekerja pada frekuensi S-Band dengan frekuensi tengah 3 GHz dengan *bandwidth* 300 MHz.

Perancangan filter BPF dilakukan dengan menggunakan software berdasarkan spesifikasi filter yang telah ditentukan dan berhasil mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi. Hasil dari tugas akhir ini adalah filter berhasil melewatkan sinyal pada frekuensi yang diinginkan 3 GHz dengan *bandwidth* 300 MHz, *insertion loss* -2.9538 dB, *return loss* -22.7660 dB dan nilai VSWR 1.1569.

**Kata Kunci :** BPF, efek doppler, Comblin, VSWR.

#### Abstract

*Radar is a tool that serves to detect objects that are inside it certain range. One type of radar that known is continuous wave radar. Continuous wave radar (continuous wave radar) is a radar with a system that using continuous wave radio energy with a stable frequency, which is transmitted and then received back from the reflected object. The detected object is an object that is detected using the Doppler effect, causing the received signal to have a different frequency than the transmission signal, it possible to be detected by filtering the transmitted frequency. One of the components that make up a radar transmitter is a filter. Filter functions to select the frequency of certain signals that want to be passed or muted.*

*In this final project, band-pass filter (BPF) simulation was designed using a comblin method. The comblin filter is a filter consisting of several Transverse Electromagnetic (TEM) transmission lines connected at one end and a capacitor attached together with the ground at the end. The comblin filter is arranged in the form of microstrips with dielectric material FR-4 Epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ ). The filter has 5 main resonator channels located in the middle and 2 tapping resonators on the left and right side. The filter works on the S-Band frequency with a center frequency of 3 GHz with a bandwidth of 300 MHz.*

*The design of the BPF filter is carried out using software based on the filter specifications that have been determined and the results are in accordance with the specifications. The result of this final project is that the filter successfully passes the signal at the desired frequency of 3 GHz with a bandwidth of 300 MHz, insertion loss -2.9538 dB, return loss -22.7660 dB and VSWR value 1.1569..*

**Keywords :** BPF, efek doppler, Comblin, VSWR.

#### 1. Pendahuluan

*Radio Detection dan Ranging* (RADAR) adalah sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik dalam menjalankan fungsi mendeteksi, memetakan letak benda dan mengukur jarak benda dalam ruang lingkup tertentu. Sistem kerja dari radar secara garis besar terbagi menjadi 4 bagian yaitu *transmitter*, *receiver*, *switch* dan *recorder* [1]. Radar memiliki banyak jenis, di antaranya adalah radar gelombang kontinu.

Radar gelombang kontinu (*continuous wave radar*) adalah radar yang sering digunakan dalam mendeteksi fenomena/kejadian berupa gerakan dan juga getaran dari jarak dekat, kemudian dapat nilai terukur [2]. Salah satu

komponen penyusun dari radar adalah filter. Filter berfungsi untuk meloloskan sinyal pada frekuensi yang dibutuhkan dan menahan sinyal pada frekuensi yang tidak dibutuhkan. Filter dibutuhkan agar radar dapat mendeteksi maksimal target yang telah ditentukan tanpa adanya suatu interferensi [3]. Jenis filter yang digunakan dalam radar berdasarkan frekuensi yang dilewatkan yaitu berjenis *bandpass filter*.

Dalam tugas akhir ini penulis mencoba mengembangkan dan merancang *bandpass filter* combine S-Band dengan frekuensi kerja 3 GHz dengan metode *Comblin* menggunakan bahan FR-04 pada aplikasi Ansys HFSS 15 3D Electromagnetic (EM). Parameter yang ingin diketahui pada perancangan filter yaitu kualitas filter, nilai *return loss*, *insertion loss* dengan metode yang telah di tentukan oleh penulis. Filter yang dirancang akan diterapkan pada sistem *transmitter* radar *Continuous Wave* (CW).

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Radar

*Radio Detection dan Ranging* (RADAR) menjalankan fungsi mendeteksi, memetakan letak benda dan mengukur jarak benda dengan cara memantulkan gelombang elektromagnetik yang diarahkan kepada target[1].

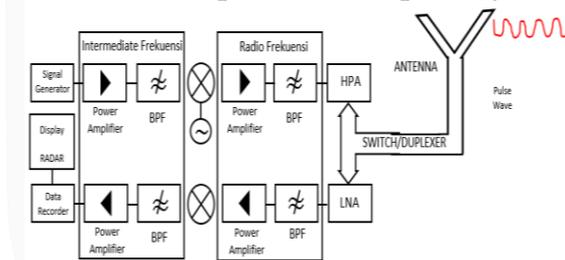
Prinsip kerja radar pada dasarnya adalah dengan mentransmisikan gelombang energi frekuensi radio (RF), kemudian energi itu dipantulkan oleh benda-benda yang berada di jalur yang terdapat gelombang pulsa yang ditransmisikan. Jika sistem radar dikonfigurasi untuk mengukur frekuensi sinyal elektromagnetik yang dipantulkan, kecepatan objek tersebut dapat dihitung dari pergeseran frekuensi dari sinyal yang ditransmisikan ke sinyal yang diterima. Kekuatan sinyal yang dipantulkan memberikan informasi tentang ukuran, geometri dan komposisi objek. Keuntungan utama dari radio dan sistem radar gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dalam rentang frekuensi ini dapat menembus awan, kabut, dan debu, memungkinkan pendeteksian objek yang tidak terlihat[8].

Untuk mengetahui daya terima yang dimiliki radar dapat menggunakan rumus di bawah ini.

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \times \frac{\sigma}{4\pi R^2} \times A_e \quad (2.1)$$

Dari rumus di atas, terlihat penyusun utama dari menghitung kekuatan daya terima dari radar adalah daya transmisi yang digambarkan dengan  $P_t$  (Watt), kemudian diperkuat dengan *gain* pada saat transmisi yang digambarkan dengan  $G_t$  (dB). Kemudian dibagi dengan  $4\pi$  dikalikan dengan kuadrat jarak yang digambarkan dengan  $R$  (meter). Setelah itu dikalikan luas penampang antenna yang digambarkan dengan  $\sigma$  ( $m^2$ ) dibagi dengan  $4\pi R^2$ . Setelah itu dikalikan dengan *aperature effective* dari antenna radar yang di gambarkan dengan  $A_e$ [8].

Apabila radar diilustrasikan dalam blok diagram berikut dengan komponen lengkap yaitu seperti Gambar 2.1.

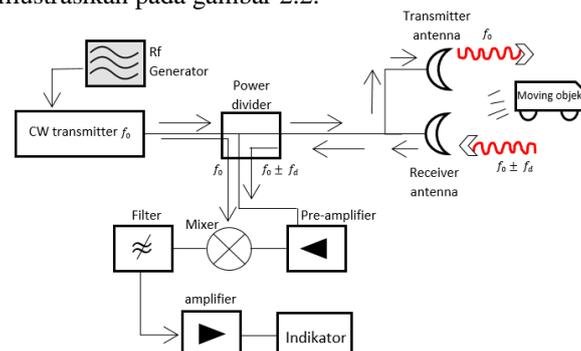


Gambar 2.1 Blok diagram sistem penyusun radar

### 2.2 Continuous Wave Radar

*Continuous wave radar* atau dikenal dengan CW radar merupakan radar yang memiliki cara kerja dimana transmitter dan receiver bekerja di waktu yang bersamaan. Target yang biasa dideteksi oleh CW radar merupakan target yang bergerak (*Moving target*), maka dari itu dibutuhkan efek doppler dalam penggunaan. Transmitter memancarkan gelombang kontinu berbentuk sinusoidal pada frekuensi  $f_0$  melalui antenna. Ketika dipantulkan oleh target yang bergerak, sinyal yang ditransmisikan sebelumnya tergeser oleh efek Doppler dengan jumlah  $f_d$ . sistem radar juga memungkinkan untuk mengukur rentang menggunakan sistem radar CW dengan modulasi frekuensi, atau teknik modulasi digital seperti phase shift keying (PSK)[8].

Blok diagram dari CW radar diilustrasikan pada gambar 2.2.

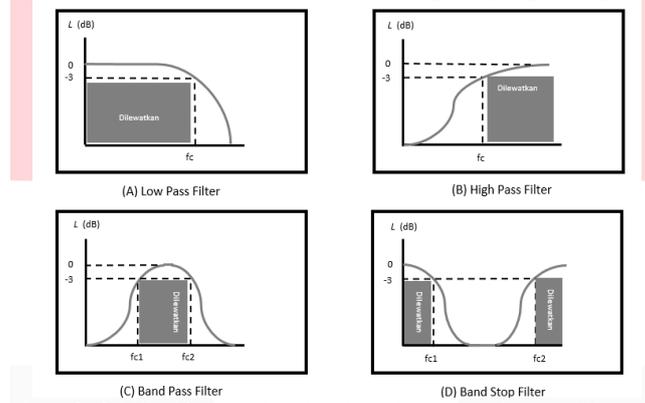


Gambar 2.2 Blok diagram radar CW

**2.3 Filter**

Filter merupakan alat yang dibutuhkan dalam rangkaian pengirim dan penerima pada sistem komunikasi. Filter digunakan dalam menentukan sinyal pada frekuensi tertentu yang ingin dilewatkan atau diredam[9]. sehingga filter terbagi menjadi beberapa jenis bila dilihat dari hal fungsi komponen penyusun dan bila dilihat dari respon frekuensi terhadap *gain*.

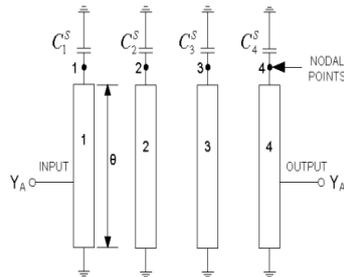
Filter dibagi menjadi 4 jenis bila dilihat dari daerah frekuensi yang dilewatkan, yaitu *Low Pass Filter (A)* merupakan filter yang melewatkan frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* dan meredam frekuensi di atas frekuensi *cut-off*, *High Pass Filter (B)* Filter yang meredam frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* dan melewatkan frekuensi diatas frekuensi *cut-off*, *Band Pass Filter (C)* Filter yang melewatkan frekuensi yang berada diantara 2 frekuensi *cut-off* dan meredam frekuensi selainnya, dan *Band Stop Filter (D)* Filter yang meredam frekuensi yang berada di antara 2 frekuensi *cut-off* dan melewatkan frekuensi selainnya. seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3:



**Gambar 2.3** Klasifikasi filter berdasarkan sinyal yang dilewatkan

**2.4 Filter Bandpass Comblin**

Filter *Bandpass Comblin* adalah filter berbentuk batang silinder namun ada juga yang berbentuk lempeng datar (*microstrip*). Resonator filter ini terdiri dari beberapa saluran transmisi mode *Transverse Electromagnetic (TEM)* yang terhubung pada salah satu ujungnya dan terpasang kapasitor bersama dengan *ground* di bagian ujung [11]. Gambar 2.4 menunjukkan contoh filter *bandpass comblin* berbentuk batang silinder.

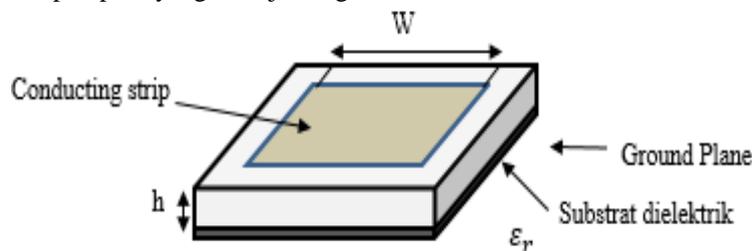


**Gambar 2.4** Filter *comblin slabline* (batang silinder) [11]

**2.5 Microstrip Line**

*Microstrip line* merupakan media transmisi yang digunakan dalam rangkaian Radio Frekuensi (RF) dan *microwave*[15]. Mikrostrip merupakan media transmisi yang dikenal secara umum dan sering digunakan. Saluran mikrostrip dapat dengan mudah dibuat, dan juga mudah diintegrasikan dengan perangkat *microwave* lain baik pasif maupun aktif. Dalam proses pembuatan, mikrostrip tidak memerlukan biaya yang besar.

Contoh saluran mikrostrip Seperti yang ditunjukkan gambar 2.5.



**Gambar 2.5** *Microstrip line*

Konstanta  $\epsilon_{eff}$  dinyatakan sebagai konstanta dielektrik efektif. Sebagai konstanta kecepatan cahaya di udara. Substrat mikrostrip lebih tipis bila dibandingkan dengan panjang gelombang sinyal yang beroperasi.

Lebar dan ketebalan ( $\frac{W}{h}$ ) dari substrat memiliki hubungan dengan konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ) dan nilai karakteristik impedansi ( $Z_0$ ). Dari hubungan tersebut, didapat persamaan berikut.

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2xA} - 2} \tag{2.2}$$

Dimana nilai dari konstanta A didapat dari persamaan (2.3).

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{\epsilon_{r+1}}} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.3)$$

Dimana nilai konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ) didapat dari persamaan berikut.

Untuk  $\frac{W}{h} \geq 1$  menggunakan persamaan (2.4):

$$\epsilon_{ff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left( \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \sqrt{\frac{1}{1 + 12 \left( \frac{h}{W} \right)}} \quad (2.4)$$

Untuk  $\frac{W}{h} \leq 1$  menggunakan persamaan (2.5):

$$\epsilon_{ff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left\{ \sqrt{\frac{1}{1 + 12 \left( \frac{h}{W} \right)}} + 0.04 \left( 1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right\} \quad (2.5)$$

## 2.6 Faktor Kualitas dan Koefisien Kopleng

Filter combine memiliki cara kerja dengan meresonansi gelombang dari satu resonator ke resonator lain dengan merubah medan listrik menjadi medan magnet dan sebaliknya. Jarak dan ukuran resonator dapat menentukan kualitas dari resonator itu sendiri dan kualitas kopleng dari kedua resonator yang saling berdekatan. Kualitas dari suatu filter dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.6) dan (2.7) sebagai berikut.

$$Q_{e1} = \frac{g_0 g_1}{FBW}, Q_{en} = \frac{g_n g_{n+1}}{FBW} \quad (2.6)$$

$$M_{i,i+1} = \frac{FBW}{\sqrt{g_{i,i+1}}}, \text{ untuk } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.7)$$

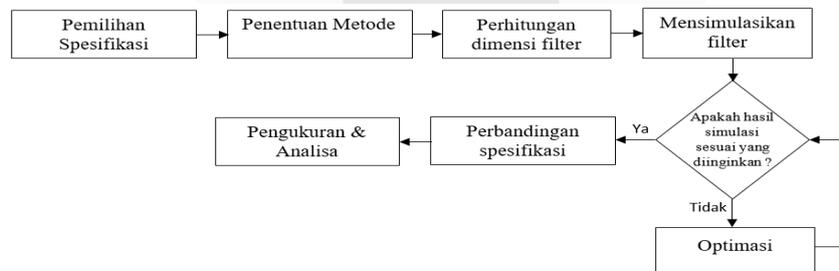
Dimana  $Q_e$  merupakan faktor kualitas eksternal resonator baik pada bagian input dan output. Sedangkan untuk  $M_{i,i+1}$  merupakan koefisien kopleng untuk kedua resonator yang saling berdekatan.

## 3. Model dan Perancangan BPF Combine

### 3.1 Blok Diagram Penelitian

Berdasarkan filter yang telah dirancang menggunakan metode combine dengan kuningan sebagai bahan perambatan. Tahap perancangan filter berdasarkan persamaan perancangan dari G.L Matthei [16] dan eksperimen SFCW M. Jankiraman [17] dilanjutkan dengan optimasi filter.

Tahap selanjutnya yaitu uji kelayakan bandpass filter sebelum diterapkan ke *continuous wave* (CW) radar. Pengukuran menggunakan *network analyzer* (NA). Hasil berupa data pengukuran kemudian digunakan dalam melakukan perbandingan dengan spesifikasi awal perancangan. Bila digambarkan dalam diagram blok dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Blok diagram filter bandpass combine

### 3.2 Penentuan Spesifikasi

Spesifikasi meliputi jenis filter, frekuensi yang ingin digunakan, lebar pita (*bandwidth*), VSWR, respon frekuensi dan impedansi. Berikut spesifikasi yang ditentukan untuk dirancang :

- |                                  |                           |                                   |                 |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| • Frekuensi kerja                | : 3 GHz                   | • Lebar pita (Bandwidth)          | : 300 MHz       |
| • <i>Insertion loss</i>          | : $\leq 3$ dB             | • <i>Return loss</i>              | : $\leq -10$ dB |
| • Impedansi                      | : 50 $\Omega$             | • VSWR                            | : $\leq 2$      |
| • Bandwidth Stopband             | : 600 MHz                 | • Stopband Bawah ( $L_A = 30$ dB) | : 2700          |
| • Stopband Atas ( $L_A = 30$ dB) | : 3300                    |                                   |                 |
| • Respon frekuensi               | : Chebyshev 0.1 dB Ripple |                                   |                 |

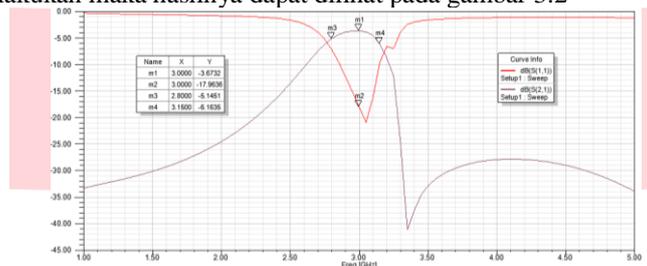
### 3.3 Hasil Perhitungan Dimensi Filter dan Hasil Simulasi

Hasil dari penghitungan dimensi filter bisa menjadi acuan dalam proses selanjutnya yaitu mensimulasikan filter *combine*. Simulasi filter akan menggunakan Ansys HFSS 15 3D Electromagnetic (EM). Hasil penghitungan dimensi dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Hasil Penghitungan Dimensi Filter

| Resonator | Panjang Resonator ( $L_r$ ) | Lebar Resonator ( $W_r$ ) | Catu Daya | Panjang Catu Daya ( $L_c$ ) | Lebar Catu Daya ( $W_c$ ) | Jarak Resonator (S) |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1         | 14.09 mm                    | 1.431 mm                  | 1         | 8 mm                        | 3.059 mm                  | 0.33 mm             |
| 2         | 14.09 mm                    | 1.431 mm                  |           |                             |                           | 0.33 mm             |
| 3         | 14.09 mm                    | 1.431 mm                  |           |                             |                           | 0.34 mm             |
| 4         | 14.09 mm                    | 1.431 mm                  | 2         | 8 mm                        | 3.059 mm                  | 0.34 mm             |
| 5         | 14.09 mm                    | 1.431 mm                  |           |                             |                           | 0.33 mm             |

Setelah perancangan dilakukan maka hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3. 2 Respon frekuensi setelah run simulasi

**3.4 Hasil Perhitungan Dimensi Filter dan Hasil Simulasi**

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa spesifikasi filter combline yang diinginkan masih belum sesuai. Bandwidth senilai 350 MHz, *Insertion loss* 3.6732, dan *return loss* 17.9636. maka dari itu dibutuhkan optimasi agar bekerja lebih maksimal.

**3.4.1 Optimasi Panjang Resonator**

Berdasarkan hasil optimasi panjang resonator dan lebar dari catu daya, maka dipilihlah percobaan ke-3 dimana panjang resonator 14.2 mm sehingga frekuensi tengah berada pada frekuensi yang diinginkan yaitu 3 GHz dan lebar catu daya 3.3 mm dengan *insertion loss* dan *return loss* berturut-turut -3.3850 dan -13.7713.

Tabel 3. 2 Hasil optimasi dari panjang resonator

| L-Resonator (mm) | Frekuensi Tengah (GHz) | W-Catu Daya (mm) | <i>Insertion Loss</i> (dB) | <i>Return Loss</i> (dB) |
|------------------|------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|
| 14.2             | 3                      | 3.3              | -3.3850                    | -13.7713                |

**3.4.2 Optimasi Lebar Resonator**

Berdasarkan hasil optimasi lebar resonator, diketahui nilai *insertion loss* dan *return loss* yang masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Untuk *insertion loss* nilainya adalah -3.5904 dB dimana lebih mendekati dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu mendekati -3 dB.

Tabel 3. 3 Hasil optimasi lebar resonator

| W-Resonator (mm) | Diameter Via Hole (mm) | <i>Insertion Loss</i> (dB) | <i>Return Loss</i> (dB) |
|------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1.4              | 0.7                    | -3.5904                    | -16.151                 |

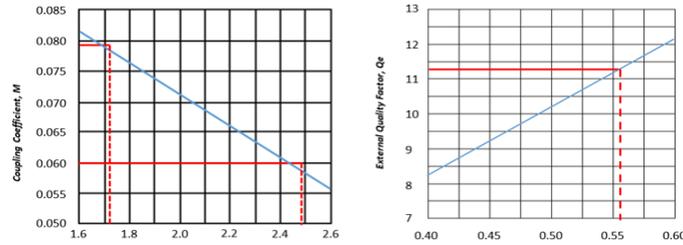
**3.4.3 Jarak Resonator (S)**

Untuk mencari jarak resonator yang ideal dapat menggunakan koefisien kopling dan kualitas faktor.

Tabel 3. 4 Tabel koefisien kopling dan faktor kualitas

| Koefisien kopling             |                               | Faktor Kualitas            |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| $M_{1,2} = M_{4,5} = 0.07974$ | $M_{2,3} = M_{3,4} = 0.06076$ | $Q_{e1} = Q_{e5} = 11.468$ |

Dari kedua hasil diatas, selanjutnya dilakukan pencarian angka untuk jarak ideal dengan menggunakan grafik koefisien kopling dan grafik faktor kualitas eksternal.



Gambar 3. 3 Grafik koefisien kopling ( $M$ ) & faktor kualitas ( $Q$ )

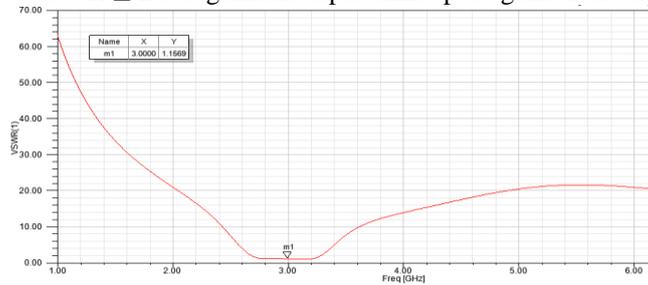
Berdasarkan grafik di atas, maka didapat jarak antar resonator yaitu:

Tabel 3. 5 Tabel jarak resonator

| Jarak Resonator (mm) |           |           |           |           |           | Bandwidth (MHz) | Insertion Loss (dB) | Return Loss (dB) |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|---------------------|------------------|
| $S_{0,1}$            | $S_{1,2}$ | $S_{2,3}$ | $S_{3,4}$ | $S_{4,5}$ | $S_{5,6}$ |                 |                     |                  |
| 0.56                 | 1.72      | 2.42      | 2.42      | 1.72      | 0.56      | 300             | -2.9538             | -22.7660         |

3.5 VSWR

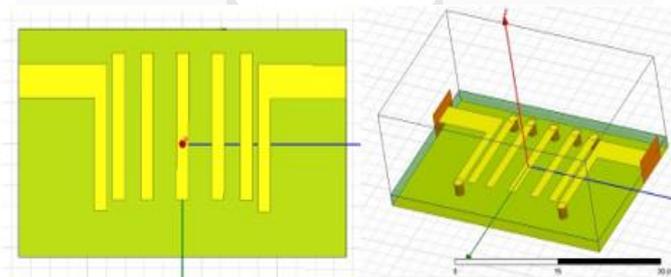
Nilai dari VSWR akhir setelah optimasi sebesar 1.1569 pada frekuensi tengah 3 GHz. Nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi yaitu  $VSWR \leq 2$  sebagaimana dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 4 Grafik dari VSWR filter

3.6 Layout Hasil Akhir

Untuk layout setelah optimasi dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 5 Layout akhir tampak atas dan tampak samping

4. Hasil dan Analisis

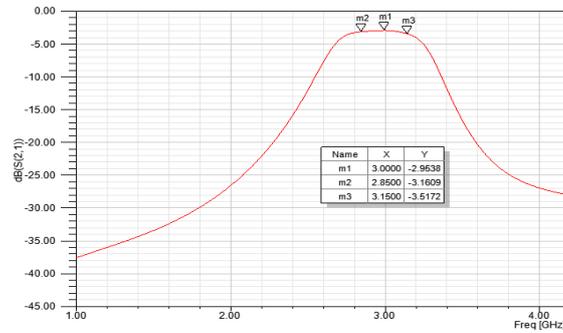
4.1 Pendahuluan

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui hasil berupa respon frekuensi filter yang ingin direalisasikan. Hasil yang telah tertulis menunjukkan bahwa tidak sepenuhnya sama antara spesifikasi dan simulasi. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan analisis pada beberapa parameter-parameter dimensi yang mempengaruhi.

4.2 Hasil Pengukuran  $S_{21}$

Pada proses pengukuran yang dilakukan pada simulasi filter BPF dengan aplikasi HFSS, nilai  $S_{21}$  telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu  $\geq -3$  dB. Nilai dari pengukuran setelah optimasi yaitu -2,9538 dB pada frekuensi tengah 3GHz yang telah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Nilai bandwidth mengalami perubahan setelah optimasi. Sebelumnya, jarak antar frekuensi cut-off bawah dan cut-off atas mencapai 350 MHz. Dengan melakukan optimasi yaitu merubah jarak parameter sehingga bandwidth berubah menjadi 300 MHz.

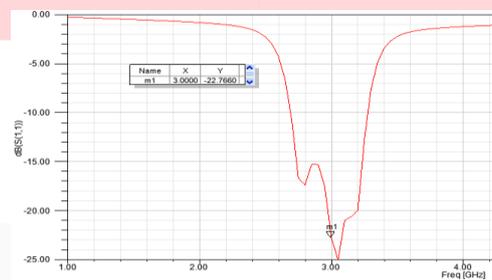


Gambar 4.1 Grafik S<sub>21</sub> filter combline

4.3 Hasil Analisis S<sub>11</sub>

Nilai S<sub>11</sub> menggambarkan *return loss* yang merupakan hasil perbandingan antara daya sumber dan daya pantul oleh beban. *Return loss* muncul akibat ketidaksesuaian antara impedansi saluran transmisi dan beban sehingga terjadi kekurangan daya akibat dipantulkan kembali. Nilai *return loss* yang diinginkan adalah  $\leq -10$  dB dengan pertimbangan agar dapat mencapai nilai  $VSWR \leq 2$ .

Hasil *return loss* yang telah didapatkan pada simulasi awal adalah sebesar -20.8857 dB pada frekuensi tengah sebesar 3.05 GHz. Nilai *return loss* setelah optimasi terutama karena terjadi pergeseran frekuensi tengah menjadi -22.7660 dB pada frekuensi tengah 3 GHz.



Gambar 4.2 Grafik S<sub>11</sub> (*return loss*)

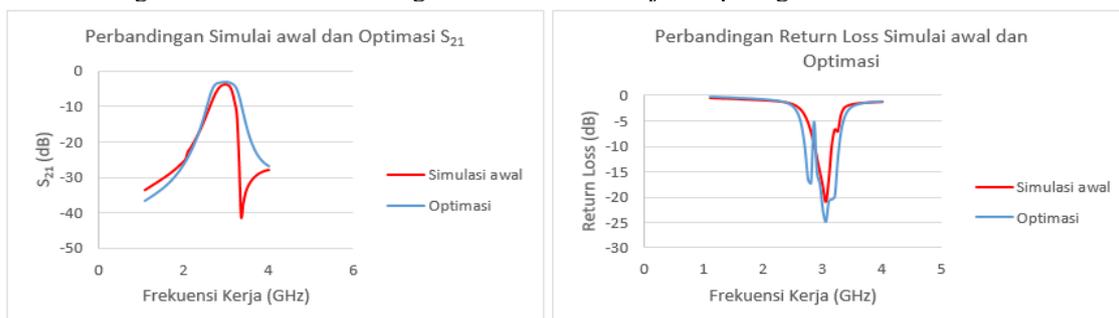
4.4 Hasil Perbandingan Spesifikasi, Simulasi dan Optimasi

Hasil yang didapatkan sebelumnya kemudian akan dirangkum menjadi satu dalam bentuk tabel dan grafik. Tujuan dari perbandingan antara spesifikasi, simulasi awal dan optimasi adalah untuk menunjukkan adanya perbedaan nilai di dalam proses perancangan filter. Berikut adalah tabel perbedaan antara spesifikasi, simulasi awal dan optimasi:

Tabel 4.1 Perbandingan antara spesifikasi, simulasi dan optimasi

| Parameter       | Spesifikasi   | Simulasi Awal | Optimasi      |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| Frekuensi Kerja | 3 GHz         | 3 GHz         | 3 GHz         |
| Range Frekuensi | 2850-3150 MHz | 2800-3150 MHz | 2850-3150 MHz |
| Insertion Loss  | $\leq 3$ dB   | -3.6732 dB    | -2.9538 dB    |
| Return Loss     | $\leq -10$ dB | -17.9636 dB   | -22.7660 dB   |
| Bandwidth       | 300 MHz       | 350 MHz       | 300 MHz       |

Dari tabel 4.1, menunjukkan bahwa pada proses simulasi awal belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, maka diperlukan proses selanjutnya yaitu optimasi. Optimasi dilakukan dengan melakukan beberapa perubahan ukuran dari parameter-parameter yang pada proses sebelumnya telah dihitung, seperti panjang resonator, lebar resonator, lebar catu daya dan jarak antar resonator, sehingga diharapkan mendapatkan nilai yang sesuai dengan spesifikasi. Berdasarkan tabel diatas, hasil setelah dilakukan optimasi sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Jika gambarkan dalam bentuk grafik maka akan menjadi seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.3 Perbandingan Simulasi awal dan optimasi S<sub>21</sub> (inversi insertion loss) dan Return Loss

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi dari BPF mikrostrip *comblin* 5 orde untuk radar continuous wave, maka dapat disimpulkan bahwa Tugas Akhir berhasil menghitung, merancang dan mensimulasikan BPF mikrostrip chebyshev dengan ripple 0.1 dB untuk radar *continuous wave* (CW radar) dengan frekuensi kerja 3 GHz. Kemudian untuk nilai yang ditargetkan yaitu bandwidth dengan nilai  $S_{21}$ , dan nilai  $S_{11}$ . Nilai dari *bandwidth* awal perhitungan dan simulasi berbeda. Untuk *bandwidth* pada simulasi awal didapatkan angka 350 MHz setelah dilakukan optimasi berhasil mendapatkan angka yang diinginkan yaitu 300 MHz. Nilai  $S_{21}$  yang merupakan inversi *insertion loss* dari hasil simulasi awal adalah -3.6732dB masih belum sesuai dengan spesifikasi, kemudian setelah dilakukan optimasi menjadi -2.9538 dB. Hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu *insertion loss*  $\geq$  -3 dB. Nilai *return loss* dari hasil simulasi adalah -17.9636 dB. Akibat adanya proses optimasi maka nilai dari *return loss* ikut mengalami perubahan di angka -22.7660 dB dimana masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu  $\leq$  -10 dB. Nilai dari VSWR pada simulasi awal yaitu sebesar 1.2894 pada frekuensi tengah 3 GHz, setelah dilakukan optimasi maka nilai dari VSWR menjadi 1.1569 pada frekuensi tengah 3 GHz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai VSWR masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu  $VSWR \leq 2$ . Hasil yang telah didapatkan baik dari proses awal perhitungan, simulasi awal maupun proses optimasi mengalami perbedaan karena beberapa faktor diantaranya kurang teliti dalam proses perhitungan, dan *loss* di elektrik.

### 5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil terbaik pada penelitian lebih lanjut, ada beberapa hal yang harus diperhatikan dan dipertimbangan, diantaranya pelajari lebih lanjut mengenai metode yang ingin digunakan dalam proses pembuatan filter, karena dapat mempengaruhi bentuk dan kualitas filter yang akan dirancang. Diperlukan ketelitian lebih dalam pada perhitungan proses perancangan filter, karena filter sangat sensitif terhadap selisih angka yang kecil bahkan pada selisih 0.0001 mm dapat mempengaruhi kualitas filter yang dirancang. Pelajari lebih lanjut cara kerja dari aplikasi yang digunakan dalam proses perancangan simulasi filter.

### Daftar Pustaka

- [1] R. L. Baker and H. J. Sullivan, "Tests of and by Items," *Contemp. Psychol. A J. Rev.*, vol. 11, no. 6, pp. 305–306, 1966.
- [2] V. Jenik, Z. Plhak, P. Hudec, and P. Cerny, "Digitally-controlled calibrator for measurement and testing of CW doppler radars," *Eur. Microw. Week 2013, EuMW 2013 - Conf. Proceedings; EuMC 2013 43rd Eur. Microw. Conf.*, pp. 1283–1286, 2013.
- [3] V. Chandrasekar, S. H. Lim, and E. Gorgucci, "Simulation of X-band rainfall observations from S-band radar data," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 23, no. 9, pp. 1195–1205, 2006.
- [4] M. Sánchez-Renedo, "High-selectivity tunable planar combline filter with source/load- multiresonator coupling," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 17, no. 7, pp. 513–515, 2007.
- [5] P. N. Arafat, D. Arseno, and S. Hardiati, "Desain dan Realisasi Band Pass Filter Pada Frekuensi (9,3 – 9,5) GHz Berbasis Mikrostrip Menggunakan Metode Interdigital," pp. 3–9.
- [6] Z. Wang, Q. Wang, and Y. Zhai, "Design of an economical compact combline filter," *2008 Int. Conf. Microw. Millim. Wave Technol. Proceedings, ICMWT*, vol. 1, pp. 308–310, 2008.
- [7] M. Monika, V. Poonkulali, R. T. Prabu, and V. Yokesh, "Design of Microstrip Combline Bandpass Filter on Different Substrates," no. 5, pp. 196–199, 2019.
- [8] M. i. Skolnik, *Radar Handbook*, vol. 53. 1990.
- [9] J. Oberhammer, N. Somjit, U. Shah, and Z. Baghchehsaraei, *RF MEMS for automotive radar*. Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [10] G. D. Vendelin, A. M. Pavio, and U. L. Rohde, "Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques: Second Edition," *Microw. Circuit Des. Using Linear Nonlinear Tech. Second Ed.*, pp. 1–1058, 2005.
- [11] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, vol. 7. 2001.
- [12] S. Nassar, P. Meyer, and P. W. Van Der Walt, "An S-band combline filter with reduced size and increased pass-band separation," *Proc. 14th Conf. Microw. Tech. Com. 2015*, 2015.
- [13] L. Young, "Design of microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures," vol. 11. p. 1079, 1963.
- [14] a Hasan and a E. Nadeem, "Bandpass Filter Using Via Ground Holes," pp. 393–419, 2008.
- [15] G. Szentirmai, *Electronic filter design handbook*, vol. 70, no. 3. 2008.
- [16] N. Thomson, J. S. Hong, R. Greed, and D. Joyce, "Practical approach for designing miniature interdigital filters," *35th Eur. Microw. Conf. 2005 - Conf. Proc.*, vol. 2, pp. 1251–1254, 2005.
- [17] L. Torres, J. C. Becceneri, C. C. Freitas, S. J. S. Sant'Anna, and S. Sandri, "OWA filters for SAR imagery," *2015 Latin-America Congr. Comput. Intell. LA-CCI 2015*, pp. 0–5, 2016.
- [18] G. L. Matthaei, "Narrow-band, band-pass filters with zig-zag, hairpin-comb resonators," *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1931–1934, 2002.
- [19] M. Jankiraman, E. W. de Jong, and P. van Genderen, "Ambiguity analysis of Pandora multifrequency FMCW/SFCW radar," *IEEE Natl. Radar Conf. - Proc.*, vol. 0, pp. 35–41, 2000.