

PERANCANGAN BANDPASS FILTER MIKROSTRIP UNTUK CW RADAR PADA FREKUENSI S-BAND

DESIGN MICROSTRIP BANDPASS FILTER FOR CW RADAR ON S-BAND FREQUENCY

Wahyu Octa Refnaldi¹, Erfansyah Ali, S.T., M.T.², Dr. Aloysius Adya Pramudita, S.T., M.T.³
^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹wahyuocta@student.telkomuniversity.ac.id, ²erfansyahali@telkomuniversity.co.id,
³pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi di bidang telekomunikasi sudah berkembang sangat pesat. *Radio Detection and Ranging* (RADAR) merupakan sistem gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi, mengukur jarak, dan membuat map benda-benda. Fisika dasar yang mengatur prediksi jangkauan deteksi maksimum radar, untuk target yang ditentukan dalam kondisi ruang bebas dengan deteksi dibatasi oleh noise termal, telah dipahami dengan baik sejak hari-hari paling awal dari radar. Dalam pengimplementasian *Continuous Wave* (CW) pada radar akan memiliki keuntungan pada pengukuran jarak. CW radar dapat mengurangi interferensi radio dan menyederhanakan dalam pemilihan gelombang mikro.

Pada tugas akhir ini dirancang sebuah *bandpass* filter mikrostrip yang bekerja pada frekuensi *S-band* yang beroperasi pada frekuensi kerja 3 GHz. *Bandpass* filter mikrostrip pada penelitian ini menggunakan metode *split ring resonator* (SRR) dengan bentuk persegi agar meningkatkan performa filter tanpa menambahkan dimensi perangkat.

Hasil perancangan *bandpass* filter memiliki nilai *insertion loss* -2,947 dB, *return loss* -19,859 dB serta *bandwidth* 299 MHz pada frekuensi 3 GHz dengan mikrostrip menggunakan bahan FR-4 yang memiliki nilai permitivitas dielektrik 4,4.

Kata kunci : Bandpass Filter, *Continuous Wave*, *Split Ring Resonator* (SRR)

Abstract

Technological developments in the field of telecommunications have developed very rapidly. Radio Detection and Ranging (RADAR) is an electromagnetic wave system for detecting, measuring distances, and creating map objects. The basic physics governing the prediction of maximum detection range of radar, for specified targets in free space conditions with detection limited by thermal noise, has been well understood since the earliest days of the radar. In the Continuous Wave (CW) Implementation on the radar will have an advantage over distance measurements. CW radar can reduce radio interference and simplify the selection of microwaves.

At this final task was designed a microstrip filter bandpass that works at the S-band frequency uses a 3 GHz working frequency. The Microstrip filter Bandpass in this study based Square Split Ring Resonator (SRR) to improve filter performance without adding device dimensions.

The Results of the draft bandpass filter have a value of insertion loss -2.947 db, return loss -19.895 dB and bandwidth with 299 MHz at a frequency 3 GHz with Microstrip using a FR-4 material that has a value of permitivity dielectric 4.4.

Keywords: *Bandpass filter, Continuous Wave, Split Ring Resonator (SRR)*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi dalam bidang radar dewasa ini telah berkembang secara pesat. Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi, mengukur jarak, dan membuat map benda-benda. Fisika dasar yang mengatur prediksi jangkauan deteksi

maksimum radar, untuk target yang ditentukan dalam kondisi ruang bebas dengan deteksi dibatasi oleh noise termal, telah dipahami dengan baik sejak hari-hari paling awal dari radar[1]. Untuk mendapatkan jarak dan kecepatan suatu objek, digunakan radar *frequency modulated continuous wave* (FMCW). Radar FM-CW adalah suatu sistem radar dimana energi gelombang radio dengan frekuensi yang kontinu dan stabil dimodulasikan dengan sinyal segitiga sehingga akan terjadi variasi frekuensi[2].

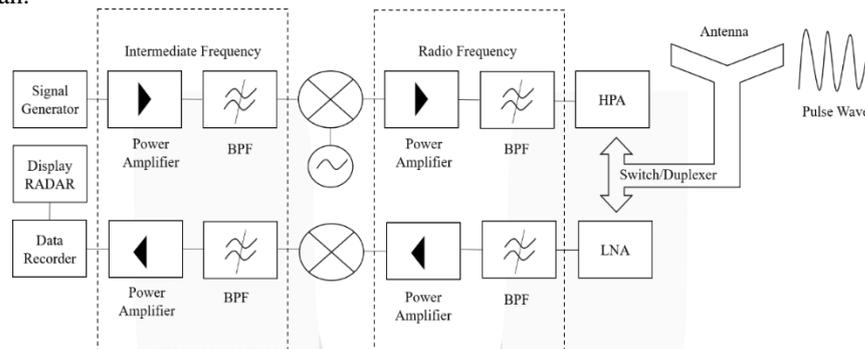
Pada penelitian sebelumnya digunakan *Bandpass Filter* (BPF) mikrostrip yang berbasis *split ring resonator* (SRR) dengan penggunaan tiga elemen. Metoda yang digunakan adalah *split ring resonator* dengan bentuk persegi. *Bandwidth* yang dihasilkan pada pengukuran adalah 2,4 GHz. BPF berbasis SRR biasanya diaplikasikan untuk *narrowband wireless*[4].

Dalam tugas akhir ini telah dirancang dan direalisasikan sebuah BPF mikrostrip berbasis SRR bentuk persegi yang akan diaplikasikan pada CW Radar dengan menggunakan substrat FR-4 yang memiliki nilai permitivitas dielektrik sebesar 4,4 dan memiliki *bandwidth* 299 MHz dengan rentang frekuensi 2,854 GHz – 3,153 GHz pada frekuensi S-band.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Radar

Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi, mengukur jarak, dan membuat map benda-benda. Radar meradiasikan energi elektromagnetik dan mendeteksi gema yang dipantulkan oleh target. Jarak pada target dapat dideteksi saat energi diradiasikan ke target dan dikembalikan.



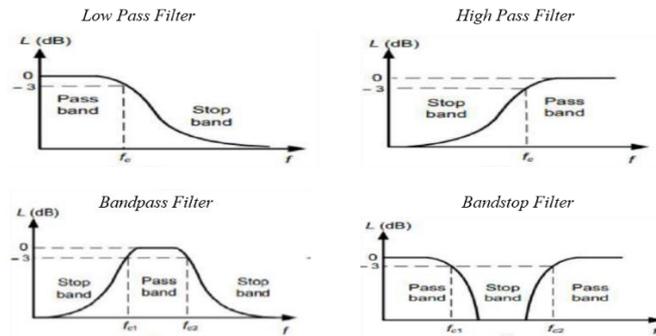
Gambar 2.1 Blok Diagram Radar[1]

2.2 Radar Continuous Wave (CW)

Konsep radar dasar adalah pulsa energi yang dikirim dan waktu bolak-baliknya diukur untuk menentukan kisaran jarak target. Dengan menggunakan *Continuous Wave* (CW) akan memiliki keuntung dalam pengukuran efek doppler dan dalam pengukuran jangkauan juga. Kelebihan Radar CW adalah kesederhanaannya dan minimal penyebaran pada spektrum yang ditransmisikan. Radar CW dapat mengurangi interferensi radio dan menyederhanakan pemilihan gelombang mikro[1].

2.3 Filter

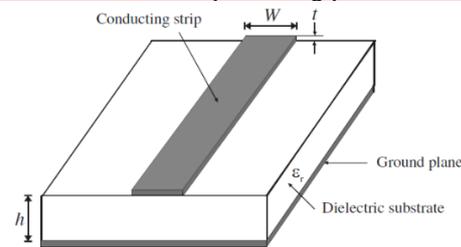
Filter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk menyaring daerah frekuensi kerja tertentu. Filter akan meneruskan frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi lainnya[5]. Filter dibedakan berdasarkan batas frekuensi yang ingin dilewatkan, yaitu *Low Pass Filter*, *High Pass Filter*, *Bandpass Filter*, dan *Bandstop Filter*.



Gambar 2.2 Respon Frekuensi Filter[5]

2.4 Mikrostrip

Mikrostrip merupakan media transmisi yang digunakan pada rangkaian RF dan *microwave*. Mikrostrip merupakan salah satu dari beberapa media transmisi yang sering digunakan dalam rangkaian *microwave*. Mikrostrip terdiri dari konduktor strip (*line*) dengan lebar (W) dan ketebalan (t) yang berada di atas sebuah substrat dielektrik yang memiliki konstanta relatif dielektrik (ϵ_r) dan ketebalan (h), dan bagian bawah substrat terdapat bidang permukaan (*ground plane*)[8].



Gambar 2.3 Struktur umum mikrostrip[8].

Terdapat hubungan antara lebar (W) dan ketebalan (h) dalam ketentuan nilai impedansi karakteristik (Z_0) dan nilai konstanta efektif dielektrik (ϵ_r) pada persamaan berikut Untuk $W/h \leq 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{8 \exp(A)}{\exp(2A) - 2} \tag{2.12}$$

dengan

$$A = \frac{Z_0}{60} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{0.5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \tag{2.13}$$

dan untuk $W/h \geq 2$

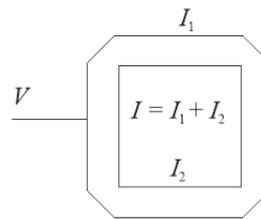
$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left((B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right) \tag{2.14}$$

dengan

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.15}$$

2.5 Split Ring Resonator (SRR)

Resonator berbentuk *ring* memiliki karakteristik *bandpass*. Pada dasarnya struktur pada SRR terbuat dari metal non-magnetik. Filter dengan metode resonator berbentuk *ring* memiliki rangkaian dan bentuk yang sederhana. Jika *ring resonator* digabungkan pada input dan output saluran transmisi, sinyal akan dilewati dengan kerugian tertentu pada frekuensi resonansi ring dan akan ditolak pada frekuensi diluar frekuensi resonansi. Pada tugas akhir ini digunakan *ring resonator* yang berbentuk persegi atau disebut juga *Square Split Ring Resonator*.

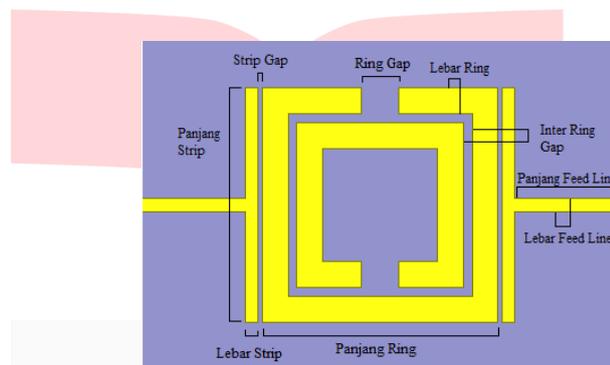


Gambar 2.4 Struktur Ring Resonator[9].

Menunjuk pada Gambar 2.4, gelombang berdiri berulang untuk kelipatan $\lambda_g/2$ pada setiap bagian ring. Jadi untuk mendukung gelombang berdiri, panjang terpendek dari setiap bagian pada ring haruslah $\lambda_g/2$. Untuk semakin tinggi mode order, dimana n adalah nomor mode. Oleh karena itu, total panjang pada SRR adalah

$$I = I_1 + I_2 = nI_g \quad \text{untuk } n = 1, 2, 3 \dots \quad (2.16)$$

2.5.1 Square Patch



Gambar 2.5 SRR Bentuk Persegi.

Pada Gambar 2.5 menunjukkan desain untuk filter SRR berbentuk persegi. Berikut perhitungan untuk panjang ring:

$$a = \frac{0,5\lambda_d + g}{4} + \omega \quad (2.17)$$

Dimana (a) merupakan panjang ring terluar, (g) gap pemisah antara ring dan strip, sedangkan (ω) merupakan lebar ring terluar[4]. Perhitungan untuk panjang gelombang pada substrat dielektrik (λ_d) menggunakan rumus[11]:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \quad (2.18)$$

Permitivitas relatif efektif dari substrat dielektrik ($\epsilon_{r,eff}$) didapat menggunakan rumus:

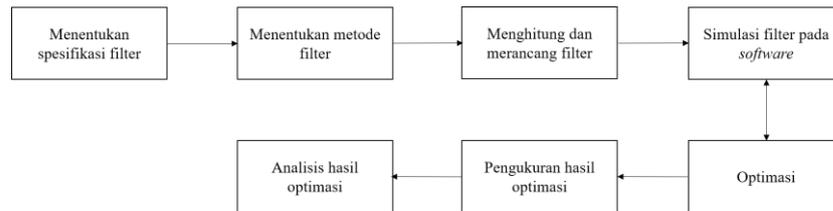
$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \left(\frac{12}{u} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

Untuk (u) didapat menggunakan persamaan (2.12) atau bisa dikatakan bahwa (u) adalah rasio antara lebar *line* transmisi (W) dengan tebal substrat dielektrik (h)

3. Pembahasan

3.1 Tahap Pengerjaan Filter

Pada realisasi sebuah filter dibutuhkan beberapa tahapan untuk perancangannya. Berikut adalah sebuah blok diagram pada tahapan pengerjaan filter.



Gambar 3.1 Blok diagram tahap pengerjaan filter

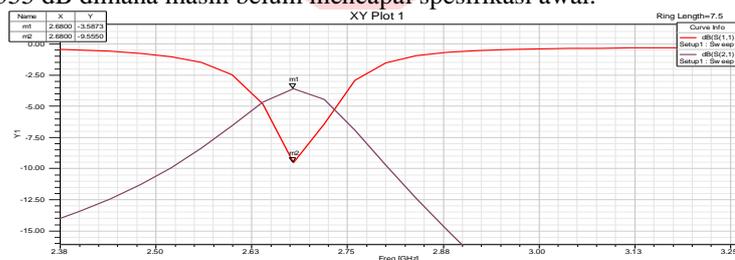
3.2 Spesifikasi Filter

Pada perancangan sebuah BPF mikrostrip dibutuhkan spesifikasi perangkat yang diinginkan penulis. Spesifikasi tersebut meliputi rentang frekuensi antara 2,85 GHz – 3,15 GHz, frekuensi tengah 3 GHz, *bandwidth passband* 300 MHz, *return loss* ≤ -10 dB, *insertion loss* ≥ -3 dB, impedansi 50 ohm, dan *VSWR* < 2 .

3.3 Hasil Simulasi Awal

Pada perhitungan awal filter didapat panjang ring terluar sebesar 7,5 mm, menggunakan strip gap sebesar 0,25 mm, lebar ring sebesar 1,5 mm, dan menggunakan lebar strip 0,4 mm, inter ring gap 0,5 mm, ring gap 0,8 mm, panjang ring dalam 5,5 mm, panjang feed 2,6 mm, dan lebar feed 0,4 mm.

Gambar 3.4 menunjukkan hasil dari perhitungan awal. Pada perhitungan awal, *bandwidth* -3 dB masih belum didapat. S_{21} tertinggi didapat dengan nilai -3,58 dB dan S_{21} terendah didapat dengan nilai -9,555 dB dimana masih belum mencapai spesifikasi awal.



Gambar 3.2 Hasil Simulasi Awal

3.4 Optimasi

3.4.1 Optimasi Panjang Ring Luar

Dilihat dari hasil sebelumnya didapat nilai S_{21} -3,58 dB, S_{11} -9,555 dB dan nilai *bandwidth* dan frekuensi kerja yang belum didapat sesuai spesifikasi. Sehingga dilakukan optimasi panjang ring luar dengan hasil berikut:

Tabel 3.1 Hasil Optimasi Panjang Ring Luar

No	Panjang Ring Luar (mm)	Panjang Ring Dalam (mm)	Panjang Feed (mm)	S_{21} (dB)	<i>Bandwidth</i> (MHz)
4	6,8	4,8	2,95	-3,31	-

3.4.2 Optimasi Ring Gap

Tabel 3.2 Hasil Optimasi Ring Gap

No	Ring Gap (mm)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	S_{21} tertinggi (dB)
3	1,0	41	-2,96

Setelah dilakukan optimasi ring gap, hasil optimasi masih belum memenuhi spesifikasi. Namun, *bandwidth* pada -3 dB sudah mulai didapat pada ring gap dengan ukuran 1 mm dengan nilai *bandwidth* 41 MHz pada saat atenuasi -3 dB dan S_{21} sebesar -2,96 dB. Ring gap dengan ukuran 1 mm digunakan karena memiliki nilai yang mendekati spesifikasi.

3.4.3 Optimasi Strip Gap

Hasil yang didapat sebelumnya belum mencapai spesifikasi. Selanjutnya dilakukan optimasi strip gap. Pada Tabel 3.3 menunjukkan hasil optimasi strip gap.

Tabel 3.3 Hasil Optimasi Strip Gap

No	Strip Gap (mm)	Panjang Feed (mm)	Frekuensi (MHz)	Bandwidth (MHz)
5	0,125	3,075	2961	218

3.4.4 Optimasi Lebar Strip

Tahap selanjutnya adalah optimasi lebar strip. Pada optimasi ini mempengaruhi nilai S_{11} dan $bandwidth$ filter. Hasilnya sebagai berikut:

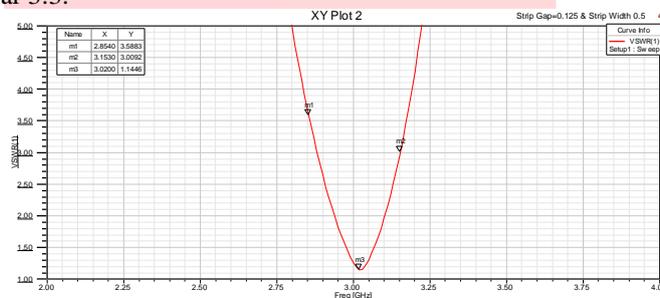
Tabel 3.4 Hasil Optimasi Lebar Strip

No	Lebar Strip (mm)	Panjang Feed (mm)	Bandwidth (MHz)	S_{11} (db)	S_{21} (db)
3	0,5	2,975	299	-19,895	-1,404

Berdasarkan Tabel 3.7 dapat dilihat nilai $bandwidth$ pada ukuran lebar strip 0,5 mm adalah 300 MHz, $return\ loss$ sebesar -19,895 dB dan $insertion\ loss$ dengan nilai -1,404 dB. Hasil dari optimasi tersebut bisa dibilang sudah mencapai nilai spesifikasi dimana pada spesifikasi nilai $bandwidth$ sebesar 300 MHz, $S_{11} \leq -10$ dB dan $S_{21} \geq -3$ dB.

3.5 VSWR

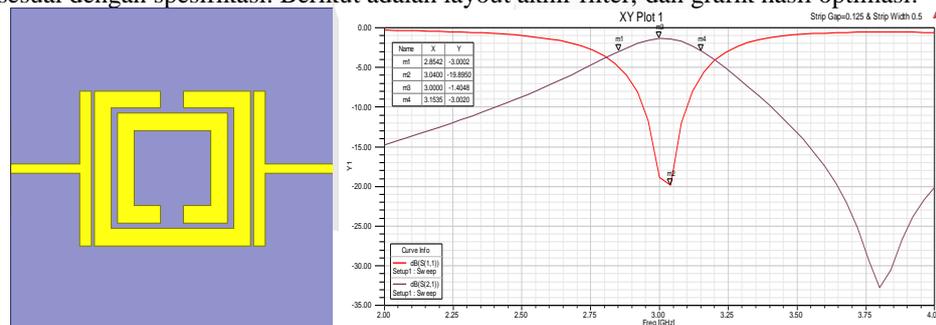
Nilai VSWR setelah hasil akhir optimasi pada frekuensi kerja 3 GHz didapat dengan nilai sebesar 1,257. Nilai tersebut sudah memenuhi nilai spesifikasi yaitu $1 \leq VSWR < 2$. Nilai tersebut dapat dilihat dari Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik VSWR Optimasi

3.6 Layout Akhir Filter

Setelah dilakukan beberapa rangkaian optimasi, akhirnya didapatkan hasil akhir filter yang sesuai dengan spesifikasi. Berikut adalah layout akhir filter, dan grafik hasil optimasi:



Gambar 3.4 Layout Akhir Filter dan Grafik Hasil Optimasi

Berdasarkan dari Gambar 3.4 didapatkan hasil akhir filter dengan $bandwidth$ 299 MHz, frekuensi kerja 3000 MHz, $return\ loss$ -19,895 dB dan S_{21} -1,404 dB.

4. Hasil dan Analisis

Hasil pengukuran simulasi dapat dilakukan analisis terhadap hasil yang didapatkan.

4.1 Hasil Analisis S_{21} dan Bandwidth

Pada simulasi tidak menampilkan nilai $insertion\ loss$ secara langsung. Namun, S_{21} merupakan nilai inversi dari $insertion\ loss$ yang menunjukkan sinyal yang ditransmisikan melewati port input menuju port output. Hasil pengukuran simulasi awal didapatkan nilai S_{21} sebesar -3,58 dB. Setelah

dilakukan optimasi didapat nilai S_{21} sebesar -1,404 dB dimana nilai tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu ≥ -3 dB dan berada di frekuensi tengah 3 GHz.

Bandwidth yang dihasilkan setelah optimasi pada simulasi didapat dengan nilai sebesar 300 MHz dimana sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

4.2 Hasil Analisis S_{11}

Nilai S_{11} pada simulasi juga merupakan gambaran dari nilai *return loss* yang menyatakan perbandingan antara daya sumber dan daya pantul oleh beban. Pada hasil simulasi didapat nilai S_{11} sebesar -19,895 dB dimana nilai tersebut sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu ≤ -10 dB.

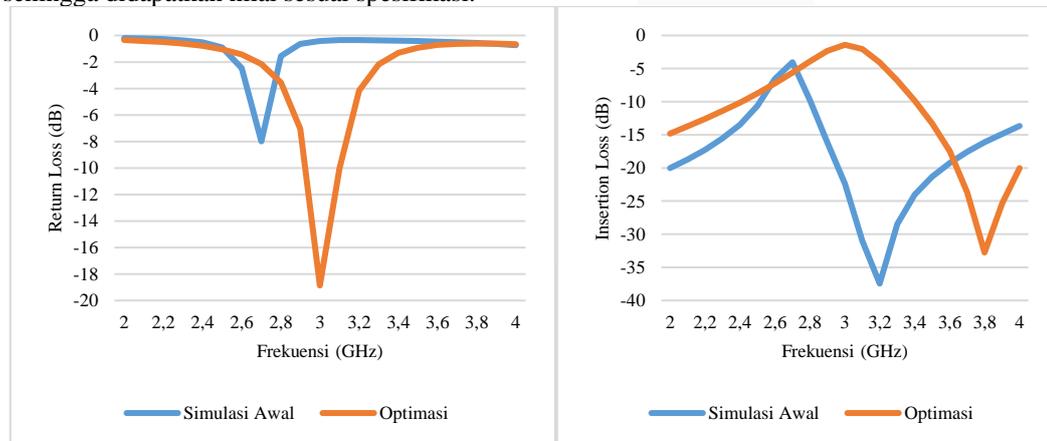
4.3 Perbandingan Hasil Spesifikasi

Hasil yang telah didapat sebelumnya dari simulasi awal dan optimasi, selanjutnya akan dirangkum menjadi satu pada tabel dan grafik. Tujuan dari dirangkumnya adalah menunjukkan perbandingan hasil spesifikasi karena adanya perbedaan nilai dalam proses perancangan filter dan membandingkan terhadap spesifikasi awal. Berikut adalah tabel yang menunjukkan perbedaan simulasi awal, dan optimasi :

Tabel 4.1 Perbandingan Spesifikasi, Simulasi Awal dan Optimasi

Parameter	Spesifikasi	Simulasi Awal	Optimasi
Frekuensi Tengah	3000 MHz	2680 MHz	3000 MHz
Rentang Frekuensi	2850 – 3150 MHz	-	2854 – 3153 MHz
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB	-9,555 dB	-18,589 dB
<i>Insertion Loss</i>	≥ -3 dB	-11,094 dB	-2,947 dB
<i>Bandwidth</i>	300 MHz	-	299 MHz

Hasil simulasi awal belum menunjukkan nilai yang sesuai dengan spesifikasi sehingga diperlukan tahap optimasi. Pada -3 dB simulasi awal, nilai *bandwidth* belum didapat. Pengoptimasian dilakukan dengan melakukan beberapa perubahan ukuran filter pada simulasi sehingga didapatkan nilai sesuai spesifikasi.



Gambar 4.1 Perbandingan Insertion Loss dan Return Loss pada Simulasi Awal dan Optimasi

Dari grafik pada Gambar 4.1 terdapat perbandingan perbedaan hasil simulasi awal dan optimasi pada *return loss* dan *insertion loss*.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi awal dan optimasi serta analisis yang telah digunakan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada Tugas Akhir ini telah berhasil dilakukan merancang dan mensimulasikan filter BPF dengan SRR bentuk persegi pada frekuensi S-band dengan rentang frekuensi 2854 – 3153 MHz.
2. Nilai *insertion loss* tertinggi yang dihasilkan simulasi pada frekuensi tengah 3 GHz didapat dengan nilai -2,947 dB. Sedangkan nilai *return loss* terendah yang dihasilkan pada

simulasi didapat sebesar -19,895 dB. Hasil ini menunjukkan hasil dari simulasi sudah memenuhi spesifikasi.

3. Respon filter yang dihasilkan simulasi berada pada frekuensi tengah 3000 MHz. Hasil ini sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan mendapatkan nilai *bandwidth* sebesar 299 MHz dimana mengalami pergeseran 0,33% dari nilai spesifikasi yang diinginkan yaitu 300 MHz.
4. Nilai VSWR pada simulasi awal yaitu 2,475 dengan nilai frekuensi kerja 2,691 GHz. Setelah dilakukan optimasi, nilai VSWR berubah menjadi 1,257 dengan frekuensi kerja 3 GHz. Nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi yaitu $1 \leq \text{VSWR} < 2$

5.2 Saran

Agar mendapatkan respon frekuensi yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menjadi pertimbangan penelitian selanjutnya.

1. Pelajari lebih baik lagi metode yang akan digunakan pada pembuatan filter karena metode perancangan filter dapat mempengaruhi spesifikasi. Metode yang digunakan pada Tugas Akhir ini masih sedikit teori pembuat patchnya.
2. Proses perhitungan harus dilakukan lebih teliti agar tidak terjadi kesalahan dalam perancangan karena dapat mengubah nilai-nilai dari parameternya.
3. Pada penelitian Tugas Akhir ini masih menggunakan satu elemen. Kedepannya elemen yang digunakan lebih dari satu.
4. Pemilihan bahan substrat harus diperhatikan untuk mendapatkan filter yang bagus.
5. Merealisasikan filter agar dapat memahami *prototype* filter lebih dalam.

Referensi:

- [1] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, no. 12. 2007.
- [2] M. Wahab, D. Ruhayat, S. Hermana, H. Arisesa, and P. Penelitian, "Aplikasi Radar Fm-Cw Untuk Pengawasan Obyek Terbang Pada Kawasan Wilayah Pantai," no. Isra 2011, pp. 91–94, 2012.
- [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, doi: 10.1175/JTECH1909.1.
- [4] M. Syahrul and A. Munir, "Effect of elements number of SRR-based BPF to its characteristics," *Proc. - 2016 3rd Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2016*, pp. 1–4, 2017, doi: 10.1109/ICITACEE.2016.7892489.
- [5] C. Bowick, "RF Circuit Design," *RF Circuit Des.*, pp. 1–827, 2008, doi: 10.1002/9780470405758.
- [6] P. Jarry and J. Beneat, *Advanced Design Techniques and Realizations of Microwave and RF Filters*. 2007.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering 4th Edition*, vol. 66. 2012.
- [8] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, vol. 7. 2001.
- [9] L.-H. Chang, Kai; Hsieh, *Microwave Ring Circuits and Related*. 2004.
- [10] W. L. Stutzman and W. A. Davis, *Antenna Theory*. 1999.
- [11] R. Marqus, F. Martn, and M. Sorolla, *Metamaterials with Negative Parameters*. 2007.
- [12] M. Syahrul and A. Munir, "Development of multiple elements of SRR-based Bandpass Filter," *Proceeding 2016 10th Int. Conf. Telecommun. Syst. Serv. Appl. TSSA 2016 Spec. Issue Radar Technol.*, 2017, doi: 10.1109/TSSA.2016.7871090.