
FILTER BANDPASS MIKROSTRIP X-BAND UNTUK RADAR CUACA

X-BAND MICROSTRIP BANDPASS FILTER FOR WEATHER RADAR

Gandaria¹, Dharu Arseno, S.T., M.T.², Edwar, S.T., M.T.³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ria.ganda96@gmail.com, ²darseno@telkomuniversity.ac.id ³edwarm@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Filter merupakan perangkat yang penting untuk sistem *microwave*, salah satu contohnya pada radar. Pada radar, filter terdapat dalam blok sistem yang berfungsi untuk meredam sinyal-sinyal pada frekuensi yang tidak diinginkan dan meloloskan sinyal pada frekuensi yang diinginkan. Perancangan filter disesuaikan dengan frekuensi kerja dan dimana filter tersebut akan digunakan. Pada tugas akhir ini dirancang dan disimulasikan filter *bandpass* mikrostrip yang bekerja pada frekuensi X-band dengan contoh aplikasinya pada radar cuaca sehingga dibutuhkan filter dengan dimensi yang cukup kecil namun dengan kinerja yang bagus pula. Filter dirancang dengan menggunakan tiga jenis resonator berbasis *square* diantaranya *square loop resonator*, *square open loop*, dan *meander*. Substrat yang digunakan yaitu RT Duroid 5880LZ dengan konstanta dielektrik sebesar 2 dan tebal substrat 1,27 mm. Berdasarkan simulasi hasilnya yaitu nilai *return loss* filter *square loop resonator* -14,1524 dB, filter *square open loop resonator* sebesar -13,679 dB, dan filter *meander* sebesar -21,139 dB. Nilai *insertion loss* filter *square loop resonator* sebesar -2,2875 dB, filter *square open loop resonator* sebesar -2,44 dB, dan filter *meander* sebesar -1,386 dB. *Bandwidth* filter *square loop resonator* sebesar 299 MHz, filter *square open loop resonator* sebesar 301 MHz, dan filter *meander* sebesar 300 MHz. Semua filter mempunyai frekuensi tengah di 9 GHz.

Kata Kunci : *bandpass filter, mikrostrip, square loop resonator, square open loop, meander.*

Abstract

Filter is an important component for microwave systems, one of the example is the radar system. In the radar system, the filter located in the block system for attenuates the undesired signals at the certain range of frequency and passes the desired signals at the certain range of frequency. Design of filter depends on working frequencies and the location where the filter will be used. This final project designs microstrip bandpass filter that works at X-Band frequency, with an example application on the weather radar so the filter has to be design in small dimensions but with a great performance. The filter will be designed using three type of resonators based on square shape including square ring, square open loop, and meander. The substrate material used in this final project is RT Duroid 5880LZ with the value of dielectrick constant is 2 and substrate thickness is 1,27 mm. Based on the simulations, the values of return loss from square loop filter is -14,1524 dB, square open loop filter is -13,679 dB, and meander filter is -21,139 dB. The values of insertion loss from square loop filter is -2,2875 dB, square open loop filter is -2,44 dB dB, and meander filter is -1,386 dB. The values of bandwidth from square loop filter is 299 MHz, square open loop filter is 301 MHz, and meander filter is 300 MHz. All of the filters has center frequency at 9 GHz.

Keywords : *bandpass filter, mikrostrip, square loop resonator, square open loop, meander.*

Copyright © 2018 TelkomUniversity. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Radar cuaca berfungsi untuk mendeteksi fenomena alam yang terjadi mulai dari hujan sampai badai. Salah satu komponen pada radar yang sangat penting adalah filter. Penggunaan filter pada radar yaitu untuk meloloskan sinyal pada frekuensi yang diinginkan dan meredam sinyal pada frekuensi yang tidak diinginkan. Sehingga sinyal yang diterima mempunyai noise yang minimum sehingga informasi objek yang didapat lebih akurat karena meloloskan sinyal pada frekuensi yang diinginkan.

Filter dapat bekerja pada frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi. Jenis filter yang banyak digunakan yaitu filter mikrostrip dikarenakan ukurannya yang kecil, harganya murah, dan mudah untuk integrasi dengan komponen lain baik komponen aktif atau pasif. Penulis akan merancang filter bandpass mikrostrip ini akan bekerja pada frekuensi 9 GHz yang termasuk frekuensi X-band. Oleh karena itu akan digunakan jenis filter mikrostrip. Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah resonator jenis *square* yaitu *square loop resonator*, *square open loop resonator*, dan *meander resonator*.

2. Dasar Teori

2.1 Radar

Radar merupakan suatu sistem elektromagnetik untuk mendeteksi dan menentukan lokasi suatu objek. Radar dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan jarak pandang mata (vision) jika objek jauh, terutama untuk mendeteksi objek ketika kondisi gelap, kabur, berkabut, hujan, dan salju dimana jika menggunakan penglihatan manusia sangat sulit. Prinsip kerja radar yaitu dengan dengan mengirimkan pulsa dari energi elektromagnetik pada frekuensi microwave ke atmosfer. Saat pulsa ini mengenai suatu objek, sebagian energi elektromagnetik kembali dipantulkan ke radar. Energi yang diterima kembali oleh radar lalu dianalisa oleh komputer untuk menentukan informasi objek tersebut. Informasi ini kemudian diplot ke sebuah gambar [1]

2.2 Filter

Filter adalah rangkaian dua-port yang digunakan untuk mengontrol respon frekuensi pada sebuah RF atau sistem komunikasi microwave yang meloloskan transmisi sinyal pada frekuensi *pass band* dan meredamnya di frekuensi *stop band* filter tersebut. Jenis filter berdasarkan daerah frekuensi yang diloloskan diantaranya *low-pass* untuk meloloskan sinyal di bawah frekuensi *cut off*, *high-pass* untuk meloloskan sinyal di atas frekuensi *cut off*, *bandpass* untuk meloloskan sinyal di rentang frekuensi tertentu (frekuensi *cut off* bawah dan frekuensi *cut off* atas), dan *bandstop* untuk meloloskan sinyal di luar rentang frekuensi tertentu [2]. Parameter filter diantaranya:

1. Insertion Loss

Insertion loss merupakan perbandingan antara daya yang telah diterima yang berada di port output terhadap daya yang ditransmisikan di port input [3][4]. *Insertion loss* dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1) dan (2.2) berikut ini:

$$L_A = 10 \log_{10} \frac{P_R}{P_T} \quad (2.1)$$

atau

$$L_A = -20 \log |S_{mn}| \text{ dB} \quad ; m, n = 1, 2 (m \neq n) \quad (2.2)$$

2. Return Loss

Return loss merupakan perbandingan antara daya yang dipantulkan kembali terhadap daya yang ditransmisikan di port input. Hal ini dikarenakan adanya ketidaksesuaian antara sumber dan beban sehingga tidak semua daya dapat ditransmisikan ke beban [2][3][4]. Besarnya dapat dinyatakan dalam persamaan (2.3) dan (2.4) berikut ini:

$$L_R = 10 \log \frac{P_R}{P_T} \quad (2.3)$$

atau

$$L_R = 20 \log |S_{nn}| \text{ dB} \quad ; n = 1, 2 \quad (2.4)$$

3. Faktor Kualitas (*Q Factor*)

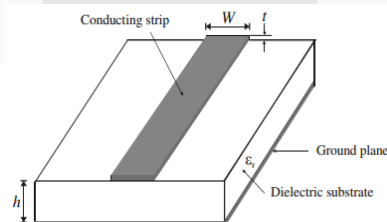
Faktor kualitas merupakan perbandingan antara frekuensi tengah terhadap *bandwidth*-nya. Faktor kualitas ini menunjukkan selektivitas dari rangkaian resonansi yang dirancang. Semakin tinggi nilai *Q*, maka semakin sempit *bandwidth*-nya, begitu pula dengan selektivitasnya.

$$Q = \frac{f_c}{f_2 - f_1} \quad (2.5)$$

Dimana f_c merupakan frekuensi tengah, f_2 merupakan frekuensi atas, dan f_1 merupakan frekuensi bawah.

2.3 Microstrip Line

Mikrostrip merupakan *transmission line* yang terdiri dari sebuah strip konduktor dan sebuah *ground plane* yang dipisahkan oleh medium dielektrik. Pada Gambar 2.1 lebar mikrostrip disimbolkan dengan W , ketebalan medium dielektrik mikrostrip disimbolkan dengan h , dan ketebalan strip konduktor mikrostrip disimbolkan dengan t [4].



Gambar 2.1 Struktur Mikrostrip

Dimensi pada mikrostrip ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6) sampai dengan (2.16) berikut:

Untuk $w/h \leq 2$ maka,

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (2.6)$$

Untuk $w/h > 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.7)$$

Dimana A:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.8)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

Persamaan untuk menentukan panjang gelombang terarah:

$$\lambda_g = \frac{c}{f_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

Dimana,

c (kecepatan cahaya) = 3×10^8 m/s; f_0 (frekuensi tengah) dalam Hz; ϵ_r (konstanta dielektrik)

Mencari konstanta dielektrik efektif relatif

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{u} \right)^{-ab} \quad (2.11)$$

Dengan

$$u = \frac{W}{h} \quad (2.12)$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left(\frac{u^4 + \left(\frac{u}{52}\right)^2}{u^4 + 0,432} \right) + \frac{1}{18,7} \ln \left[1 + \left(\frac{u}{18,1} \right)^3 \right] \quad (2.13)$$

$$b = 0,564 \left(\frac{\epsilon_r - 0,9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0,053} \quad (2.14)$$

Menentukan lebar *feed line*:

$$W_p = \frac{W}{h} xh \quad (2.15)$$

Menentukan panjang *feed line*:

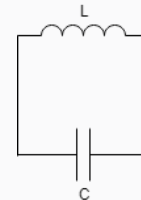
$$Lp = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.16)$$

2.4 Square Loop Resonator

Filter *square loop resonator* merupakan filter berbentuk ring persegi dimana panjang gelombangnya merupakan panjang gelombang λ penuh dimana tiap sisi panjangnya menjadi $\lambda/4$ [4][5]. Bentuk resonator dan rangkaian ekivalennya dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.2 Bentuk *square loop resonator*



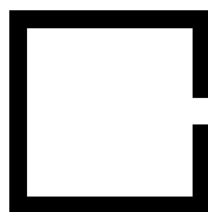
Gambar 2.3 Rangkaian ekivalennya

Persamaan (2.17) untuk mencari panjang sisi-sisinya berdasarkan [4] yaitu:

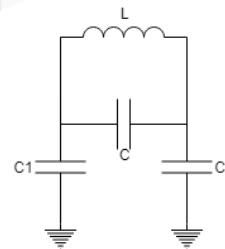
$$D = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.17)$$

2.5 Square Open Loop Resonator

Pengertian *square open loop bandpass filter* secara konseptual yaitu dengan menekuk resonator yang pada awalnya berbentuk lurus menjadi bentuk persegi atau dapat diartikan sebagai resonator jenis *square ring* yang dibelah dengan gap tertentu [6]. Bentuk resonator dan rangkaian ekivalennya dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.4 Bentuk *square open loop resonator*



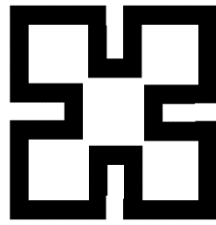
Gambar 2.5 Rangkaian ekivalennya

Persamaan (2.18) untuk mencari panjang sisi-sisinya yaitu:

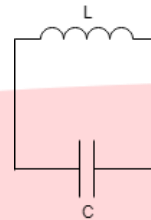
$$D = \frac{\lambda g}{4} \tag{2.18}$$

2.6 Meander Resonator

Filter *meander loop* merupakan filter yang berdasarkan *square loop* namun ditekuk sedemikian rupa sehingga dihasilkan seperti pada Gambar 2.6 dan rangkaian ekivalennya dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.6 Bentuk *square open loop resonator*



Gambar 2.7 Rangkaian ekivalennya

Meander membuat dimensi filter menjadi lebih kecil dibandingkan bentuk filter *square loop resonator*, dan *square open loop resonator* [4]. Persamaan untuk menghitung dimensi meander dari persamaan (2.18) sampai (2.20).

$$s = 0,102\lambda g \tag{2.19}$$

$$d = 0,046\lambda g \tag{2.20}$$

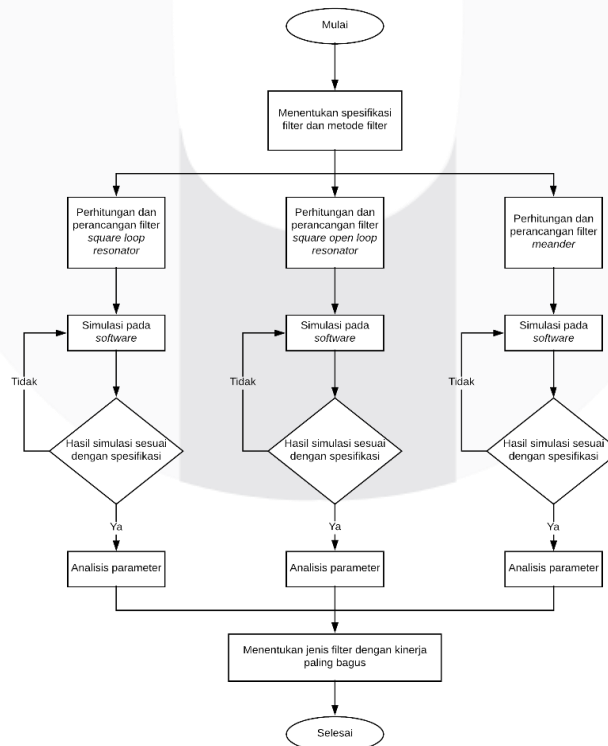
$$w = 0,13\lambda g \tag{2.21}$$

2.7 Feed Line

Ada dua jenis saluran *input/output (I/O)* untuk filter mikrostrip yaitu *tapped line* dan *coupled line*. *Tapped line* merupakan saluran catu yang terhubung langsung dengan resonator. Sedangkan *coupled line* merupakan saluran I/O yang tidak terhubung langsung dengan resonator, dimana saluran catu memiliki *gap* dengan resonator [4].

3. Simulasi

Pada pembuatan tugas akhir kali ini akan melalui beberapa tahap, agar memiliki alur penelitian yang jelas sehingga mempermudah proses pengerjaan tugas akhir. Tahapan-tahapan tersebut akan ditampilkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir proses perancangan filter *bandpass*

Spesifikasi filter *bandpass* yang dirancang yaitu:

- Frekuensi Tengah : 9 GHz
- Bandwidth : 300 MHz
- VSWR : ≤ 2
- Impedansi karakteristik : 50Ω
- Insertion Loss* : ≥ -3 dB
- Return Loss* : ≤ -12 dB

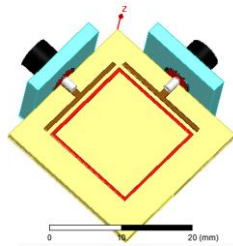
Sedangkan, untuk spesifikasi *substrat* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat RT Duroid 5880LZ

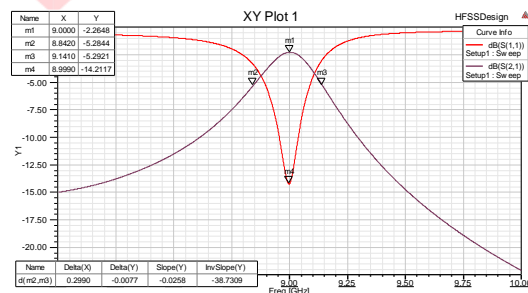
<i>Dielectric constant</i>	2
<i>Substrate thickness</i>	1,27 mm
<i>Loss tangent d</i>	0,0021

3.1 Perancangan Filter *Square Loop Resonator*

Langkah awal yang dilakukan untuk melakukan perancangan filter *square loop resonator* dengan melakukan perhitungan dimensi filter dari persamaan (2.6) sampai persamaan (2.17). Setelah itu dilakukan simulasi pada *software* dan jika hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan spesifikasi awal, maka dapat dilakukan optimasi hingga hasil sesuai dengan spesifikasi. Bentuk akhir filter ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan grafik hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Model Akhir Filter *Square Loop*



Gambar 3.3 Grafik Hasil Optimasi Akhir

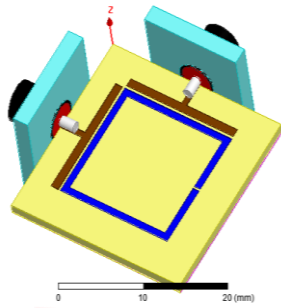
Hasil optimasi akhir didapatkan nilai frekuensi tengah berada di 9 GHz, *bandwidth* sebesar 299 MHz, nilai *return loss* sebesar -14,1524 dB serta nilai *insertion loss* sebesar -2,2875 dB. Tabel 3.2 di bawah merupakan perbandingan dimensi filter *square loop* sebelum optimasi dan sesudah optimasi.

Tabel 3.2 Perbandingan Dimensi Awal dan Sesudah Optimasi Filter SLR

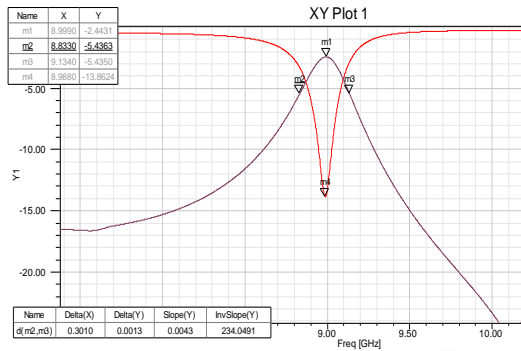
Parameter	Variabel	Ukuran Awal (mm)	Ukuran Akhir (mm)
Panjang sisi resonator keseluruhan	D	6,33	14,43
Panjang <i>feed line</i>	Lp	6,33	4,18
Tebal atau Lebar resonator	W	4,15	0,4
Lebar <i>feed line</i>	Wp	4,15	1
<i>Gap resonator-feed line</i>	G	1	0,65
Ukuran Substrat	Ps	20,99	22,79

3.2 Perancangan Filter *Square Open Loop Resonator*

Langkah awal yang dilakukan untuk melakukan perancangan filter *square open loop resonator* dengan melakukan perhitungan dimensi filter dari persamaan (2.6) sampai persamaan (2.16) dan persamaan (2.18). Hasil optimasi akhir didapatkan nilai frekuensi tengah berada di 9 GHz, *bandwidth* sebesar 301 MHz, nilai *return loss* sebesar -13,679 dB serta nilai *insertion loss* sebesar -2,44 dB. Bentuk akhir dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan grafik hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.4 Model Akhir Filter *Square Open Loop*
Tabel 3.3 di bawah merupakan perbandingan dimensi filter *square loop* sebelum optimasi dan sesudah optimasi.

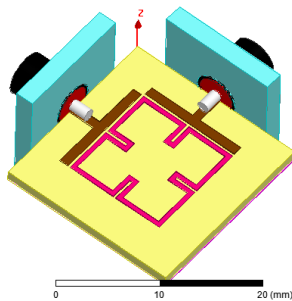


Gambar 3.5 Grafik Hasil Optimasi Akhir
Tabel 3.3 Perbandingan Dimensi Awal dan Sesudah Optimasi Filter SLR

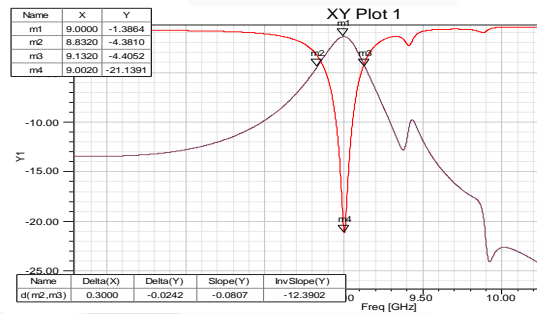
Parameter	Variabel	Ukuran Awal (mm)	Ukuran Akhir (mm)
Panjang sisi resonator keseluruhan	D	6,33	14,95
Panjang <i>feed line</i>	Lp	6,33	4,325
Lebar atau tebal sisi resonator	W	4,15	0,8
Lebar <i>feed line</i>	Wp	4,15	0,7
<i>Gap</i> resonator- <i>feed line</i>	G	1	0,35
<i>Gap</i> dalam resonator	Gapres	1	0,41
Ukuran substrat	Ps	20,99	23,6

3.3 Perancangan Filter *Meander Resonator*

Langkah awal yang dilakukan untuk melakukan perancangan filter *square open loop resonator* dengan melakukan perhitungan dimensi filter dari persamaan (2.6) sampai persamaan (2.16) dan persamaan (2.19). Hasil optimasi akhir dapat dilihat bentuknya pada Gambar 3.6 dan grafik hasilnya di Gambar 3.7 di bawah ini. Nilai frekuensi tengah berada di 9 GHz, *bandwidth* sebesar 300 MHz, nilai *return loss* sebesar -21,139 dB serta nilai *insertion loss* sebesar -1.386 dB.



Gambar 3.6 Model Akhir Filter *Meander*



Gambar 3.7 Grafik Hasil Optimasi Akhir

Tabel 3.4 di bawah merupakan perbandingan dimensi filter *square loop* sebelum optimasi dan sesudah optimasi.

Tabel 3.4 Perbandingan Dimensi Awal dan Sesudah Optimasi Filter Meander

Parameter	Variabel	Ukuran Awal (mm)	Ukuran Akhir (mm)
Panjang sisi resonator keseluruhan	D	11,04	11,27
Panjang <i>feed line</i>	Lp	6,33	4,32
Lebar sisi resonator	W	1,05	0,5
Lebar <i>feed line</i>	Wp	4,154,61	1
<i>Gap</i> resonator- <i>feed line</i>	G	1	0,3
<i>Gap</i> dalam resonator	d	0,26	0,31
Panjang sisi keseluruhan	S	3,29	2,5
Panjang sisi resonator dalam	Ds	2,26	1,31

4. Analisis Hasil Simulasi

Pada tahap perancangan dan simulasi filter, ada beberapa parameter yang mempengaruhi hasil spesifikasi seperti frekuensi tengah, *bandwidth*, *insertion loss*, dan *return loss*. Berikut ini akan dijelaskan parameter-parameter apa saja yang mempengaruhi hasil simulasi *bandpass filter*.

4.1 Pengaruh Ukuran Resonator (D)

Ukuran resonator mempengaruhi nilai frekuensi tengah, *bandwidth*, *insertion loss*, dan *return loss*. Berdasarkan hasil simulasi, semakin kecil ukuran resonator maka nilai frekuensi tengah semakin bergeser ke kanan (lebih besar). Oleh karena itu, dapat dilakukan optimasi ukuran resonator jika ingin menyesuaikan dengan frekuensi tengah filter yang sedang dirancang.

4.2 Pengaruh Lebar Feed Line (feed)

Lebar *feed* mempengaruhi nilai *bandwidth*, *insertion loss*, dan *return loss*. Semakin kecil lebar *feed* maka nilai *return loss* semakin tidak bagus. Selain itu, lebar *feed* yang diperkecil juga menyebabkan nilai *insertion loss* semakin tidak bagus. *Bandwidth* menjadi semakin sempit. Namun, belum tentu jika semakin besar lebar *feed line* maka nilai *return loss* semakin bagus. Namun, yang perlu diperhatikan bahwa *feed line* mempunyai nilai minimum dan maksimum untuk dioptimasi. Nilai minimum dan maksimum ini berasal dari simulasi yang dilakukan. Jika lebih lebar dari nilai maksimum tersebut, maka hasilnya malah berbalik menjadi tidak bagus.

4.3 Pengaruh Tebal atau Lebar Resonator (W)

Tebal atau lebar resonator mempengaruhi pergeseran frekuensi. Semakin besar tebal resonator maka frekuensi kerja semakin ke kanan, namun nilai *return loss*, *insertion loss*, dan *bandwidth* semakin tidak bagus. Namun nilai-nilai ini dapat ditingkatkan dengan melakukan optimasi pada bagian lain. Dikarenakan optimasi ini mempengaruhi pergeseran frekuensi, maka dapat dilakukan optimasi pada bagian tebal atau lebar resonator untuk menyesuaikan frekuensi dengan spesifikasi yang diinginkan.

4.4 Pengaruh Gap antara Resonator dan Feed Line (G)

Gap antara resonator dan filter mempengaruhi nilai *bandwidth*, *insertion loss*, dan *return loss*. Semakin kecil ukuran *gap* maka nilai *return loss* semakin bagus dan dapat dilihat frekuensi kerja juga bergeser ke kanan sedikit. Pengaruh ukuran *gap* terhadap *insertion loss* juga sama halnya seperti pada *return loss*. Sedangkan *bandwidth* semakin lebar jika ukuran *gap* diperkecil. Namun, seperti halnya pada pengaruh lebar *feed line*, nilai *gap* ini juga mempunyai nilai minimum dan maksimum untuk dioptimasi.

4.5 Perbandingan Antar Jenis Filter

Setelah simulasi yang dilakukan maka ketiga filter ini memenuhi spesifikasi awal. Berdasarkan analisis nilai *return loss*, *insertion loss*, *bandwidth*, filter jenis *meander* yang mempunyai nilai lebih baik dibandingkan filter *square loop resonator* dan filter *square open loop resonator*. Nilainya dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut. Untuk dimensi antara ketiga filter, perbedaannya tidak terlalu jauh. Meskipun nilai *return loss* dan *insertion loss* filter *meander* lebih bagus dibandingkan kedua jenis filter lainnya, perlu diperhatikan bahwa perancangan filter *meander* sedikit lebih rumit dibandingkan filter *square loop resonator* dan filter *square open loop resonator*.

Tabel 3.5 Perbandingan Hasil Simulasi antar Jenis Filter

Filter	Frek. Tengah (GHz)	Return Loss (dB)	Insertion Loss (dB)	Bandwidth (MHz)	Ukuran (mm)
<i>Square Loop</i>	9	-14,1524	-2,2875	299	23
<i>Square Open Loop</i>	9	-13,679	-2,44	301	23,6
<i>Meander</i>	9	-21,139	-1,386	300	19,91

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan proses perancangan, simulasi dan analisis filter *bandpass* pada frekuensi 9 GHz, kesimpulannya sebagai berikut:

1. Tiga jenis filter yang dirancang yaitu filter *square loop resonator*, filter *square open loop resonator*, dan filter *meander* semuanya memenuhi spesifikasi awal yang diinginkan.
2. Nilai *return loss* yang diperoleh yaitu filter *square loop resonator* sebesar -14,1524 dB, filter *square open loop resonator* sebesar -13,679 dB, dan filter *meander* sebesar -21,139 dB. Nilai tersebut mencapai hasil spesifikasi awal yaitu ≤ -12 dB.

3. Nilai *insertion loss* yang diperoleh untuk filter *square loop resonator* sebesar -2,2875 dB, filter *square open loop resonator* sebesar -2,44 dB, dan filter *meander* sebesar -1,386 dB. Nilai tersebut mencapai hasil spesifikasi awal yaitu ≥ -3 dB.
4. *Bandwidth* yang diperoleh untuk filter *square loop resonator* sebesar 299 MHz, filter *square open loop resonator* sebesar 301 MHz, dan filter *meander* sebesar 300 MHz.
5. Berdasarkan analisis nilai *return loss*, *insertion loss*, dan *bandwidth*, maka filter jenis *meander* yang mempunyai nilai lebih baik dibandingkan filter *square loop resonator* dan filter *square open loop resonator*. Untuk dimensi masing-masing filter, ukurannya tidak berbeda jauh. Namun yang perlu diperhatikan bahwa perancangan filter *meander* sedikit lebih rumit dibandingkan filter *square loop resonator* dan filter *square open loop resonator*. Sehingga untuk pemilihan jenis filter dapat disesuaikan sesuai kebutuhan saja.

5.2 Saran

Agar mendapatkan *filter* yang memenuhi spesifikasi yang sesuai, untuk penelitian selanjutnya, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan diantaranya

1. Perancangan filter dengan melibatkan analisa pada komponen atau struktur diskontinuitas seperti *open end*, *gap*, *bend*, dan sebagainya dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat.
2. Dapat dilakukan realisasi dan pengujian atau pengukuran untuk memvalidasi performansi masing-masing jenis filter.

Daftar Pustaka

- [1] T. J. Trauner, W. A. Manginelli, J. S. Lowe, M. F. Nagata, and B. J. Furniss, *INTRODUCTION TO RADAR SYSTEMS Second Edition*. 2009.
- [2] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Fourth Edi. John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [3] D. K. Misra, *Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [4] Jia-Sheng Hong, *Microstrip Filters for RF / Microwave Applications, 2nd Edition*, vol. 7. 2011.
- [5] Edwar and A. Munir, "A novel of square loop resonator band pass filter by using cross-shape input/output coupling for 9GHz application," *Proceeding 2016 10th Int. Conf. Telecommun. Syst. Serv. Appl. TSSA 2016 Spec. Issue Radar Technol.*, pp. 4-7, 2017.
- [6] K. Chang and L.-H. Hsieh, *Microwave Ring Circuits and Related Structures*, Second Edi. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.