

BANDPASS FILTER MICROSTRIP FREKUENSI 6 GHZ MENGUNAKAN SPLIT RING RESONATOR BERBASIS DEFECTED GROUND STRUCTURE UNTUK RADAR C-BAND

BANDPASS FILTER MICROSTRIP AT 6 GHZ FREQUENCY USING SPLIT RING RESONATOR BASED ON DEFECTED GROUND STRUCTURE FOR C-BAND RADAR

Ajrul Faza Awaludin¹, M. Reza Hidayat², Erna Alimudin³, Sofyan Basuki⁴

^{1,2,4}Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani

³Departemen Teknik Elektro Politeknik Negeri Cilacap

¹fazaaajrulchannel4@gmail.com, ²mreza@lecture.unjani.ac.id, ³ernaalimudin@pnc.ac.id,

⁴sofmae4@gmail.com

Abstrak

Dalam telekomunikasi, *filter* merupakan perangkat yang berperan penting dalam suatu sistem telekomunikasi. Salah satunya adalah *bandpass filter* yang dapat meloloskan sinyal dengan frekuensi *passband* dan memotong frekuensi *stopband*. Pada prosesnya akan ditemukan berbagai macam interferensi sinyal yang dapat mengganggu kualitas gelombang elektromagnetik. Pada penelitian ini akan merancang dan merealisasikan *bandpass filter mikrostrip* yang dapat melewati frekuensi 6 GHz dengan *bandwidth* minimum ≥ 100 MHz untuk aplikasi *C-Band Radar*. *Filter* ini dirancang dengan menggunakan *square open loop resonator* yang akan disimulasikan menggunakan *CST studio suite 2019* yang akan direalisasikan menggunakan *substrat FR 4-epoxy*. Pada penelitian ini perancangan *bandpass filter mikrostrip* dilakukan dengan tiga tahapan simulasi perancangan untuk mengetahui karakteristik dari perancangan *square open loop resonator*, *split ring resonator*, dan *defected ground structure*. Berdasarkan hasil perancangan akhir desain *bandpass filter mikrostrip* didapatkan hasil simulasi bekerja pada frekuensi resonansi 6 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -32,098 dB, nilai *insertion loss* -0,40148 dB serta *bandwidth* sebesar 101,5 MHz. Hasil pengukuran fabrikasi *bandpass filter* didapatkan pada frekuensi resonansi sebesar 6 GHz hasil yang didapatkan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dengan *return loss* sebesar -29,09 dB, *insertion loss* sebesar -2,75 dB dengan *bandwidth* 485,4 MHz.

Kata kunci: *filter, bandpass filter, mikrostrip, square open loop resonator, split ring resonator, defected ground structure, C-Band*

Abstract

In telecommunications, filters are devices that play an important role in a telecommunications system. One of them is a bandpass filter that can pass signals with a passband frequency and cut off the stopband frequency. In the process, various kinds of signal interference will be found that can interfere with the quality of electromagnetic waves. This research will design and realize a microstrip bandpass filter that can pass the 6 GHz frequency with a minimum bandwidth of ≥ 100 MHz for C-Band Radar applications. This filter is designed using a square open loop resonator which will be simulated using the CST studio suite 2019 which will be realized using a 4-epoxy FR substrate. In this study the design of a microstrip bandpass filter was carried out with three stages of design simulation to determine the characteristics of the square open loop resonator, split ring resonator, and defected ground structure design. Based on the results of the final design of the microstrip bandpass filter design, the simulation results obtained work at a resonant frequency of 6 GHz with a return loss value of -32.098 dB, an insertion loss value of -0.40148 dB and a bandwidth of 97.3 MHz. The results of bandpass filter fabrication measurements were obtained at a resonant frequency of 6 GHz, the results obtained were in accordance with the required specifications with a return loss of -29.09 dB, an insertion loss of -2.75 dB with a bandwidth of 485.4 MHz.

Keywords: *filter, bandpass filter, mikrostrip, square open loop resonator, split ring resonator, defected ground structure, C-Band*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia perangkat telekomunikasi berkembang pesat dari waktu ke waktu, khususnya radar yang merupakan suatu sistem yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Teknologi perangkat telekomunikasi yang dimaksud adalah *filter* yang bertujuan untuk memisahkan atau memblokir sinyal-sinyal dengan frekuensi tertentu dan melewatkan sinyal-sinyal dengan frekuensi yang diinginkan. Pada suatu sistem transmisi pada telekomunikasi sering terdapat interferensi sinyal yang menyebabkan sinyal informasi mengalami distorsi, karena tidak semua rentang gelombang sinyal dilewatkan, oleh karena itu diperlukan sebuah *filter* dalam penggunaannya. *Filter* yang sering digunakan ini adalah *bandpass filter* dengan menggunakan teknologi mikrostrip dengan keunggulan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan teknologi transmisi lainnya, *bandpass filter* mikrostrip merupakan suatu penyaring atau *filter* yang dimana dapat meloloskan sinyal dengan frekuensi *passband* dan memotong frekuensi *stopband* yang diimplementasikan untuk aplikasi radar *C-Band* [1].

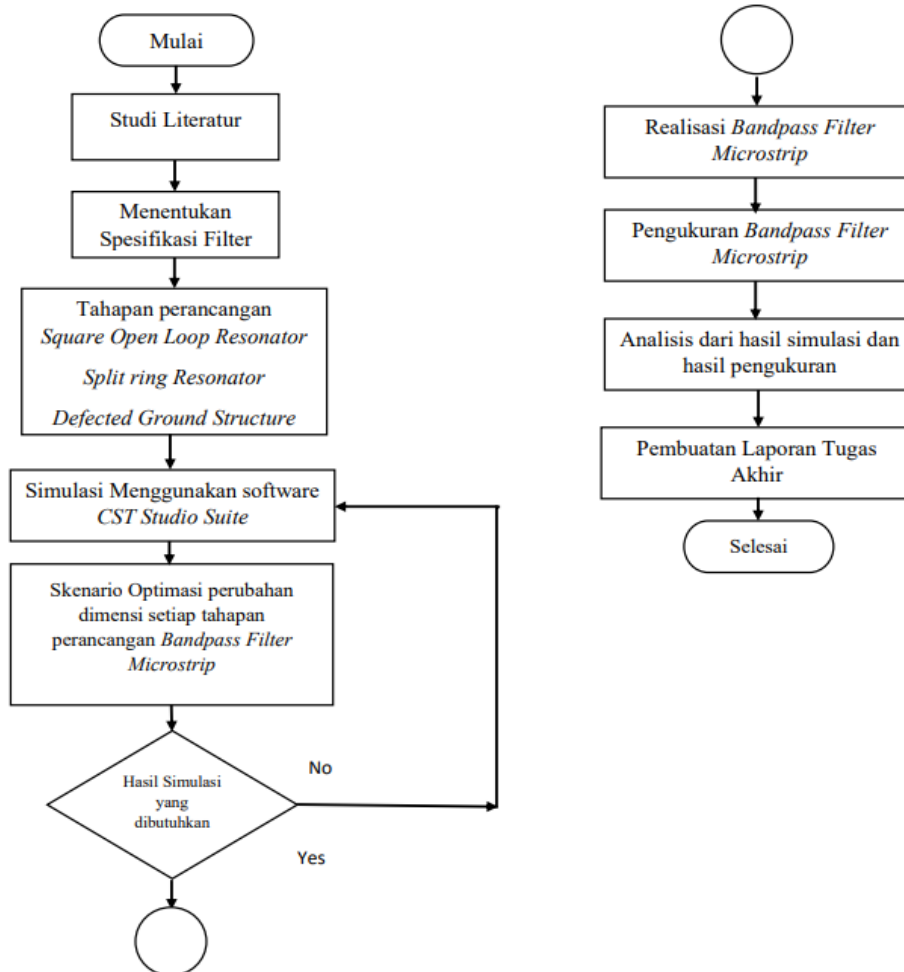
Adapun beberapa penelitian mengenai perancangan *bandpass filter* yang sudah dilakukan sebelumnya seperti pada sumber berikut, *Design of 2.75-2.85 Ghz Frequency Microstrip Band Pass Filter with Square Open-Loop Resonator* Penelitian ini dilakukan untuk merancang, dan merealisasikan *bandpass filter microstrip* pada frekuensi 2.75 – 2.85 GHz menggunakan bahan *Rogers R04035B* dengan hasil dari *return loss* sebesar -31,608 dB, *insertion loss* sebesar -2,052dB dengan *bandwidth* 100 MHz [2]. Selanjutnya perancangan *bandpass filter microstrip* pada frekuensi 3 GHz untuk aplikasi radar *S-Band* menggunakan metode *square open loop resonator* untuk melihat pengaruh dari *coupling resonator* terhadap frekuensi resonansi dengan hasil parameter *return loss* yang didapatkan sebesar -16,364 dB, *insertion loss* -3,561 dengan frekuensi resonansi sebesar 3,185 GHz [3]. Hasil pengamatan terhadap perancangan menggunakan *split ring resonator* sebagai salah satu cara mendapatkan performansi *bandpass filter microstrip* untuk mendapatkan karakteristik respon frekuensi filter yang paling optimal pada frekuensi 1.8 GHz dengan hasil *return loss* yang didapka sebesar -21 dB, *insertion loss* sebesar -0,9 dB dengan lebar *bandwidth* 900 MHz [4]. Lalu perancangan *bandpass filter microstrip* dengan *software Advanced Design System (ADS)* menggunakan open split ring resonator pada frekuensi 1.8 GHz dengan spesifikasi *ultrawide band (UWB)* dengan hasil parameter yang didapatkan untuk *return loss* sebesar -37,709 dB, *insertion loss* -0,854 dB dan dengan *bandwidth* yang lebar sebesar 1,020 GHz [5]. Selanjutnya perancangan *bandpass filter microstrip* pada frekuensi *S-Band* yang digunakan untuk radar CW pada pengaplikasiannya perancangan *bandpass filter microstrip* dilakukan dengan menggunakan *split ring resonator* yang diaplikasikan pada *square open loop resonator* untuk meningkatkan performansi *bandpass filter microstrip* pada frekuensi 3GHz dengan nilai *return loss* -19,859 dB, *insertion loss* -2,947 dB dengan lebar *bandwidth* 299 MHz [6]. Yang terakhir terdapat perancangan *bandpass filter* mikrostrip dengan menggunakan *square open loop resonator* dengan menambahkan *defected ground structure* pada bagian *groundplane* yang bekerja pada frekuensi 190 MHz dengan hasil respon filter untuk nilai *return loss* sebesar -17 dB dan *insertion loss* -0,34 dB untuk melihat pengaruh dari *defected ground structure* [7].

Penggunaan *filter bandpass microstrip* sudah banyak dipakai namun penggunaan dan spesifikasinya berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan pengguna, dalam penelitian ini akan digunakan suatu *filter bandpass microstrip* yang bekerja pada frekuensi resonansi 6 GHz untuk aplikasi radar *C-Band* dengan menggunakan *square open loop resonator* yang akan dimodifikasi dengan menggunakan *split ring resonator* dan *defected ground structure*. Adapun penelitian akan dilakukan dengan dua tahapan yaitu perancangan dan pengukuran.

2. PERANCANGAN

2.1 Diagram Alir

Proses Perancangan *bandpass filter* mikrostrip dilakukan secara sistematis oleh karena itu dibuat beberapa tahapan agar menghasilkan parameter *bandpass filter* yang diinginkan. Tahapan uji coba dibuat dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1 untuk menyelesaikan perancangan *bandpass filter* mikrostrip yang akan dilakukan pengukuran.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Perancangan *Bandpass Filter Microstrip*

2.2.1 Spesifikasi *Bandpass Filter Microstrip*

Bandpass filter merupakan suatu perangkat telekomunikasi khususnya pada sistem komunikasi radio yang berupa rangkaian yang akan melewatkan frekuensi daerah tertentu diantara frekuensi *cut-off* rendah dan frekuensi *cut-off* tinggi, serta akan meredam frekuensi diluar daerah tersebut [8]. Pada penelitian ini akan dirancangan rangkaian *bandpass filter* dengan menggunakan media *microstrip*. Spesifikasi *bandpass filter mikrostrip* dirancang sesuai dengan pengaplikasiannya. Perancangan *bandpass filter* ini memiliki tiga tahapan perancangan yaitu, *square open loop resonator*, *split ring resonator*, dan *defected ground structure*. Dalam penelitian ini telah ditentukan bahwa frekuensi resonansi yang digunakan pada *bandpass filter* berada pada frekuensi *C band* dalam spektrum radio yang bekerja pada frekuensi resonansi 6 GHz. Tabel 1 berisikan mengenai spesifikasi

dari *bandpass filter* yang akan dirancang, dengan spesifikasi standar redaman yang harus mencakup redaman maksimum yang dapat diterima dalam filter, serta lebar pita yang memungkinkan sinyal untuk melewati dengan sedikit atau tanpa attenuasi, dan frekuensi resonansi yang mencakup rentang frekuensi yang dibutuhkan sesuai pengaplikasian *bandpass filter* pada radar c-band.

Tabel 1. Spesifikasi bandpass filter microstrip

Spesifikasi <i>Bandpass Filter</i>	Keterangan
Frekuensi Resonansi	6 GHz
<i>Bandwidth</i>	≥ 100 MHz
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB
<i>Insertion loss</i>	≥ -3 dB

2.2.2 Pemilihan Karakteristik Bahan

Bandpass filter microstrip terbentuk dari beberapa struktur di antaranya yaitu *ground plane*, *substrate*, dan *patch*. Setiap struktur tersebut dirancang menggunakan material tertentu, untuk *groundplane* dan *patch* dibuat dari bahan tembaga, sementara *substrate* terbuat dari bahan FR-4 Epoxy. Berikut ini adalah karakteristik dari bahan yang digunakan pada setiap struktur *bandpass filter* yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik bahan *bandpass filter microstrip*

Karakteristik Bahan	Jenis Material	Permittivitas	Ketebalan
<i>Patch & Ground Plane</i>	Tembaga (cooper)	1	0,035 mm
<i>Substrate</i>	FR-4 Epoxy	4,3	1,6 mm

2.2.3 Perhitungan Konstanta Dielektrik Efektif *Microstrip*

Saat merancang *bandpass filter microstrip*, Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan konstanta dielektrik *microstrip*, untuk itu perlu mengetahui material yang digunakan pada saat *bandpass filter* akan difabrikasi yaitu tebal dielektrik (h) dan konstanta dielektrik (ϵ_r) menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$\epsilon_r \cdot eff = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{u}\right)^{-a \cdot b} \quad (1)$$

Dimana nilai dari a dan b didapatkan dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 sebagai berikut:

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

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

Setelah hasil ϵ_r didapatkan, kemudian dapat mencari nilai impedansi karakteristik Z_0 menggunakan persamaan 4 sebagai berikut:

$$A = \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \quad (4)$$

Dimana ϵ_r merupakan konstanta dielektrik, dan Z_0 merupakan impedansi yang dibutuhkan untuk menyalurkan daya dari saluran transmisi, setelah hasil A didapatkan, kemudian dapat mencari nilai dari lebar dan Panjang saluran transmisi menggunakan persamaan 5 dan 6 sebagai berikut:

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2a-2}} \quad (5)$$

$$L = 5 \times h \quad (6)$$

Setelah hasil A didistribusikan terhadap persamaan 5, untuk mencari nilai lebar saluran transmisi (W) dan Panjang saluran transmisi (L) dapat diketahui dari ketebalan bahan substrate (h) yang digunakan.

2.2.4 Perhitungan *Square Open Loop Resonator*

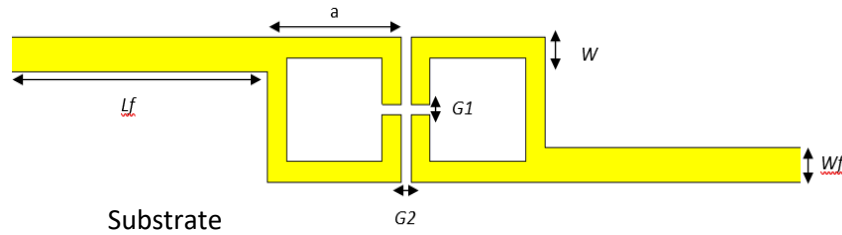
Resonator merupakan media penghubung antara sumber dengan port beban, *Filter microstrip* dengan metode perancangan *Square Ring Resonator* banyak digunakan karena bentuk yang mudah pada saat merancang dan merealisasikannya. Umumnya rangkaian resonansi terdiri dari komponen L (Induktasi) dan C (Kapasitor), dalam merancang menggunakan media mikrostrip, komponen L dan C dibentuk menjadi *square open loop resonator*. Komponen rangkaian *Square Ring Resonator* dasar terdiri dari efek *line*, kap kopling dan resonator. Prinsip kerja resonator adalah menggunakan prinsip resonansi, sehingga bisa dikatakan resonator akan bekerja atau beresonansi pada suatu frekuensi tertentu [9]. Untuk menentukan panjang gelombang dan panjang resonator bandpass filter dengan *square open loop resonator* diperlukan hasil dari konstanta dielektrik efektif yang didapatkan dari persamaan sebelumnya. Kemudian untuk menentukan panjang gelombang dan panjang resonator digunakan persamaan 7 dan 8 sebagai berikut:

$$\lambda_g = \frac{300}{f_{\text{resonansi}} \text{ (GHz)} \sqrt{\epsilon_r \text{ eff}}} \quad (7)$$

$$a = \frac{\frac{1}{2} \lambda_g + \text{gap}}{4} + W \quad (8)$$

2.2.5 Rancang Awal *Bandpass Filter Microstrip Square Open Loop Resonator*

Setelah serangkaian tahapan yang telah dilakukan dimulai dari penentuan spesifikasi pemilihan bahan, sampai dengan perhitungan konstanta dielektrik *microstrip* dan dimensi *square open loop resonator*, maka didapatkan hasil rancangan awal untuk *bandpass filter mikrostrip* seperti pada Gambar 2 dibawah berikut ini.



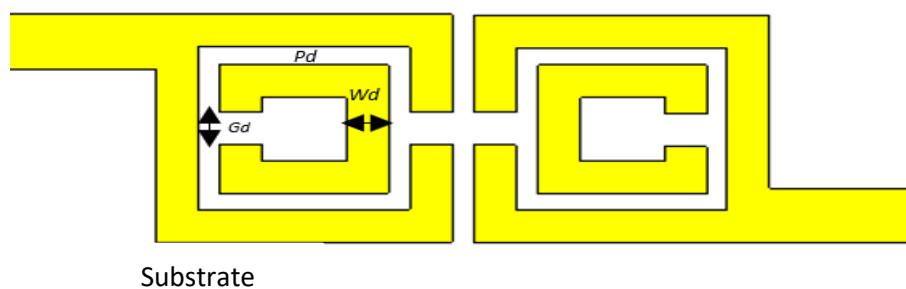
Gambar 2. Desain *Square Open Loop Resonator*

Tabel 3. Parameter dimensi *square open loop resonator*

Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang Resonator	A	4,1875
Lebar Resonator	W	0,6
<i>coupling resonator</i>	G1	0,6
Panjang saluran transmisi	G2	0,3
Lebar saluran transmisi	Lf	8
Jarak antara <i>coupling resonator</i>	Wf	1

2.2.6 Rancang Awal *Bandpass Filter Microstrip Split Ring Resonator*

sesuai dengan diagram alir perancangan *bandpass filter microstrip*, setelah melakukan perancangan awal dengan menggunakan *square open loop resonator*, perancangan selanjutnya dengan merancang *split ring resonator* sebagai tahapan perancangan yang kedua seperti pada Gambar 3. *split ring resonator* merupakan struktur buatan yang digunakan sebagai struktur tambahan buatan untuk implementasikan teknologi dan aplikasi pada komponen *compact microwave*. SRR digunakan untuk menghasilkan respon magnetic pada berbagai jenis struktur buatan. SRR menghasilkan kekuatan kopling magnetic tambahan pada medan elektromagnetik sesuai kebutuhan. SRR terdiri dari sepasang lintasan tertutup yang dipisahkan pada ujung yang berlawanan dan memiliki jarak pemisah antara lintasan tersebut. SRR dapat digunakan untuk meningkatkan performansi perangkat komunikasi seperti filter tanpa perlu menambah dimensi [10].



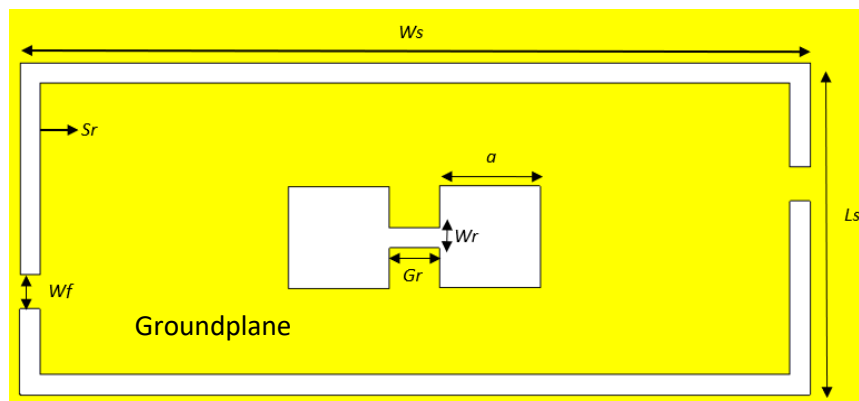
Gambar 3. Desain *Split Ring Resonator*

Tabel 4. Parameter dimensi *split ring resonator*

Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Lebar <i>split ring resonator</i>	Wd	0,6
<i>coupling split ring resonator</i>	Gd	0,5
Jarak antara <i>square open loop resonator</i> dan <i>split ring resonator</i>	Pd	0,6

2.2.6 Rancang Awal *Bandpass Filter Microstrip Defected Ground Structure*

Defected Ground Structure merupakan pola sketsa pada bidang tanah. Struktur dari *defected ground structure* biasanya digunakan pada kombinasi *filter* pada saluran *microstrip* yang akan menolak frekuensi atau celah pita tertentu. Metode tahapan perancangan *defected ground structure* dilakukan untuk mengubah sifat gelombang dengan membuat beberapa pola pada bidang dasar, metode ini dapat menekan gelombang permukaan yang sering digunakan pada antenna *microstrip*. Struktur DGS telah digunakan pada jalur *microstrip* khususnya bagian *groundplane* yang menolak frekuensi tertentu. Tujuan perancangan *bandpass filter* dengan menambahkan DGS dapat meminimalkan ukuran filter dan menghilangkan harmonic serta meminimalkan nilai rugi rugi dari *filter* [11]. Setelah melakukan dua tahapan perancangan pada *bandpass filter microstrip* dengan merancang *square open loop resonator*, dan *split ring resonator* perancangan selanjutnya dengan merancang *defected ground structure* seperti pada Gambar 4. Pada perancangan *defected ground structure* ini akan merancang *slot dumbbell shaps* dan slot melingkar dengan menggunakan pendekatan sistematis untuk dimensi nilai tiap dari parameter *defected ground structure* pada bagian *groundplane* dari *bandpass filter microstrip*.

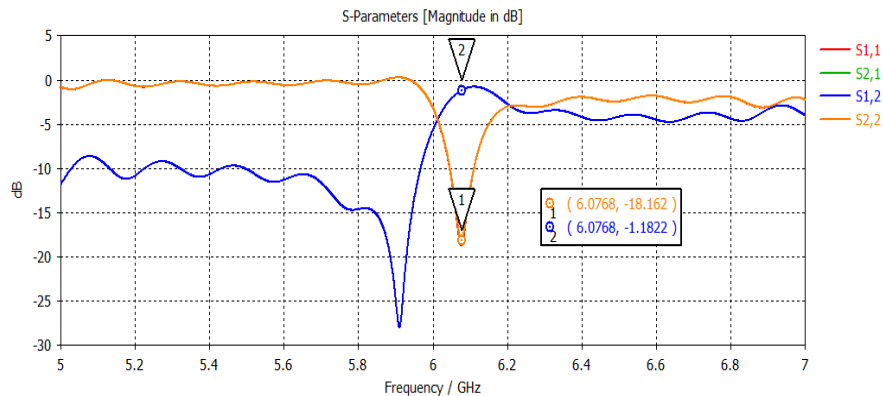


Gambar 4. *Defected Ground Structure*

3. PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi *Rancangan Bandpass Filter Microstrip Square Open Loop Resonator*

Desain rancangan awal didapatkan melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan matematis untuk mendapatkan ukuran struktur *bandpass filter microstrip* seperti lebar dan panjang saluran pencatu, panjang resonator, dan kopling resonator. Kemudian proses simulasi pada *software CST Studio Suite 2019* didapatkan hasil dari *return loss* sebesar -18,162 dB dan untuk nilai *insertion loss* sebesar -1,182 dB, dengan *bandwidth* sebesar 63,6 MHz seperti Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Hasil simulasi rancangan awal *square open loop resonator bandpass filter microstrip*

3.2 Hasil Optimasi *Bandpass Filter Microstrip Square Open Loop Resonator*

Optimasi *bandpass filter microstrip* pada perancangan dengan menggunakan *square open loop resonator* dilakukan karena hasil simulasi belum mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran dimensi dari beberapa struktur *bandpass filter* seperti lebar saluran pencatu, panjang kopling resonator, jarak antar kopling resonator dan lebar dari patch resonator.

Optimasi terbaik didapatkan dengan mengubah ukuran panjang dari kopling resonator (G1) didapatkan hasil yang mendekati dengan spesifikasi sebesar 0,6 mm, kemudian dengan mengubah jarak antar kopling resonator (G2) sebesar 0,3 mm, selanjutnya mengubah lebar patch resonator (W) sebesar 0,6 mm dan mengubah lebar saluran pencatu sebesar 1 mm. hasil simulasi didapatkan seperti pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 5. Hasil optimasi *bandpass filter microstrip square open loop resonator*

Frekuensi Resonansi (GHz)	Nilai Parameter pada Frekuensi Resonansi		
	S ₁₁ (dB)	S ₂₁ (dB)	Bandwidth (MHz)
5,99	-29,146	-0,41432	85

3.3 Hasil Optimasi *Bandpass Filter Microstrip Split Ring Resonator*

Selanjutnya hasil optimasi *bandpass filter microstrip* pada perancangan tahap kedua dengan menggunakan *split ring resonator* dilakukan karena hasil simulasi dari perancangan sebelumnya belum mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran dimensi dari beberapa struktur *split ring resonator* pada *bandpass filter* seperti jarak kopling, jarak antar kopling dan lebar dari *patch split ring resonator*.

Hasil dari optimasi ini didapatkan ukuran dari tiap dimensi *split ring resonator* dengan mengubah ukuran panjang dari kopling resonator (Gd) didapatkan hasil yang mendekati dengan spesifikasi sebesar 0,5 mm, kemudian dengan mengubah jarak antar kopling resonator (Pd) sebesar 0,6 mm, dan dengan mengubah lebar patch resonator (Wd) sebesar 0,5 mm. hasil simulasi didapatkan seperti pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 6. Hasil optimasi *bandpass filter microstrip split ring resonator*

Frekuensi Resonansi (GHz)	Nilai Parameter pada Frekuensi Resonansi		
	S ₁₁ (dB)	S ₂₁ (dB)	Bandwidth (MHz)
6.01	-29,933	-0,35179	94,3

3.3 Hasil Optimasi *Bandpass Filter Microstrip Defected Ground Structure*

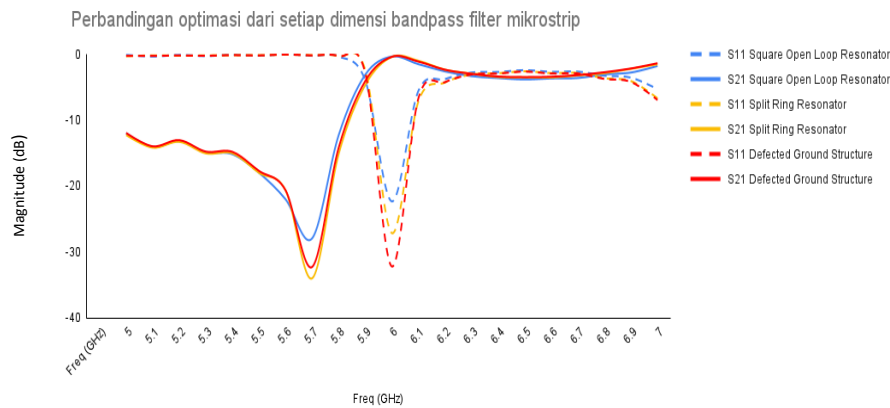
Untuk menambah performasi dari *bandpass filter microstrip* agar mendapatkan hasil sesuai dengan spesifikasi sebelumnya, selanjutnya dilakukan optimasi pada *bandpass filter microstrip* pada tahapan ketiga dengan merancang *bandpass filter microstrip* dengan menggunakan *defected ground structure*. Hasil optimasi *bandpass filter microstrip* pada perancangan tahap ketiga ini dengan menambahkan slot *dumbbell shapes* dan slot melingkar pada bagian *groundplane* dari *bandpass filter microstrip*. Hasil simulasi didapatkan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan karena efek dari tahapan perancangan dan optimasi dari *square open loop resonator*, *split ring resonator*, dan *defected ground structure* seperti pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil optimasi *bandpass filter microstrip defected ground structure*

Menambahkan slot DGS pada <i>Groundplane</i>	Frekuensi Resonansi (GHz)	Nilai Parameter pada Frekuensi Resonansi		
		S ₁₁ (dB)	S ₂₁ (dB)	Bandwidth (MHz)
<i>Dumbbell Shapes</i>	6,01	-27,257	-0,39637	92,2
Slot Melingkar antara <i>Dumbbell Shapes</i>	6,00	-32,209	-0,40148	101,5

3.3 Hasil Perubahan Dari Perancangan Setiap Tahapan Yang Dilakukan

Modifikasi dari setiap tahapan perancangan dari *square open loop resonator*, *split ring resonator* dan *defected ground structure* yang dilakukan, beberapa optimasi dapat memberikan pengaruh terhadap frekuensi resonansi dan respon filter yang dibutuhkan. modifikasi pertama yang dilakukan dari *square open loop resonator* adalah *split ring resonator*, pengaruh yang didapatkan dari penelitian sebelumnya didapatkan perbaikan frekuensi resonansi karena perubahan permitivitas dari bahan dielektrik dan coupling tambahan pada resonator terhadap modifikasi *square open loop* yang dilakukan [12]. Untuk modifikasi kedua yang dilakukan adalah *defected ground structure*, yang dimana pada penelitian sebelumnya didapatkan penambahan lebar dari *bandwidth* serta rendahnya nilai dari *return loss* dan *insertion loss* yang dibutuhkan *bandpass filter microstrip* karena terpisahnya jalur sinyal yang berdekatan dalam *bandpass filter* dengan menggunakan modifikasi *defected ground structure* pada *groundplane* yang memblokir propagansi sinyal antara jalur yang berdekatan [13]. Hasil yang didapatkan dari perubahan setiap perancangan *square open loop resonator*, *split ring resonator*, dan *defected ground structure* sudah sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dan pengaruh dari *split ring resonator* yang memperbaiki frekuensi resonansi yang didapatkan serta pengaruh *defected ground structure* yang menambah lebar dari *bandwidth* yang dibutuhkan, dapat dilihat pada Gambar 6 dan Tabel 8 berikut ini.



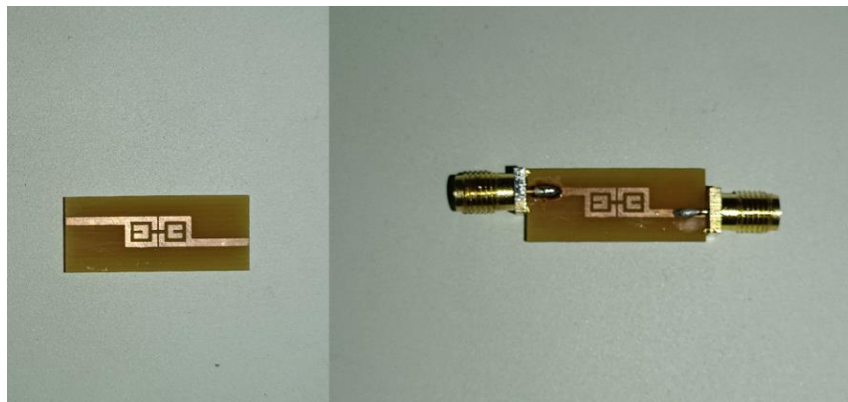
Gambar 6 Grafik hasil respon filter dari tiap perancangan bandpass filter microstrip

Tabel 8. Hasil respon filter dari tiap perancangan bandpass filter microstrip

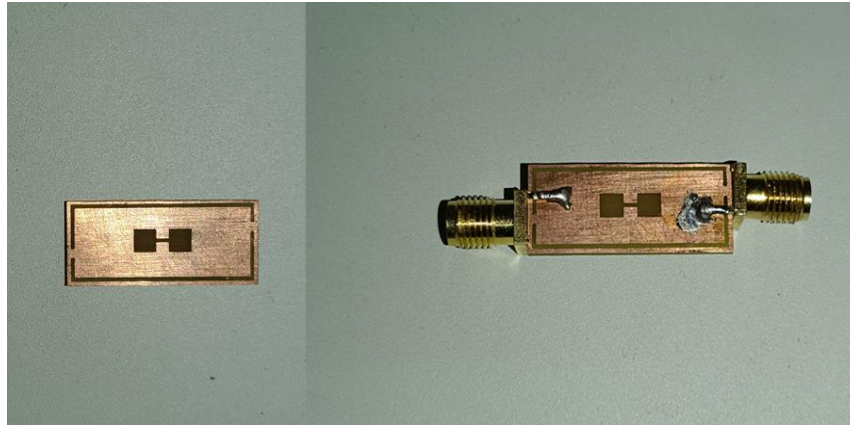
Optimasi pada setiap bandpass filter	Frekuensi Resonansi (GHz)	Nilai Parameter pada Frekuensi Resonansi		
		S ₁₁ (dB)	S ₂₁ (dB)	Bandwidth (MHz)
Square Open Loop Resonator	5,99	-29,146	-0,41432	91,2
Split Ring Resonator	6,01	-30,269	-0,42016	96,9
Defected Ground Structure	6,0	-32,209	-0,40148	101,5

3.4 Realisasi dan Pengukuran Bandpass Filter Microstrip

Desain rancangan bandpass filter microstrip diambil sesuai seperti rancangan akhir atau optimasi terakhir yang dilakukan dengan menggunakan defected ground structure yang merupakan hasil dari perancangan dan optimasi bandpass filter dari ketiga tahapan perancangan yang dilakukan. Hasil dari perancangan akhir untuk difabrikasi dipilih karena mendapatkan hasil respon filter untuk return loss, insertion loss dan bandwidth dengan frekuensi resonansi sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Hasil fabrikasi bandpass filter microstrip dapat dilihat pada Gambar 7 yang merupakan tampilan hasil dari bandpass filter microstrip yang telah difabrikasi.

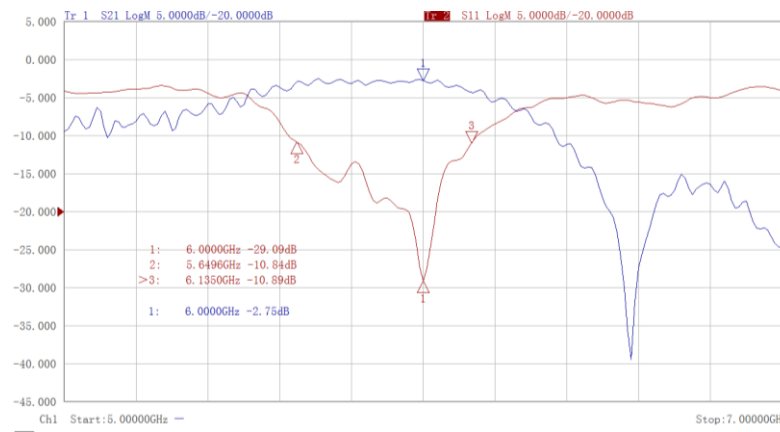


Gambar 7. Hasil fabrikasi tampak atas dari bandpass filter microstrip



Gambar 8. Hasil fabrikasi tampak bawah dari *bandpass filter microstrip*

Rancangan *bandpass filter microstrip* yang telah difabrikasi kemudian dihubungkan dengan *connector* sebagai penghubung ke sumber catu, dan selanjutnya dilakukan pengujian terhadap rancangan yang telah dilakukan dengan menggunakan perangkat *Vector Network Analyzer* dengan parameter uji yang akan diukur adalah respon *filter* berupa *return loss*, *insertion loss* dan *bandwidth*. Didapatkan hasil pengukuran seperti pada Gambar 9 berikut ini.



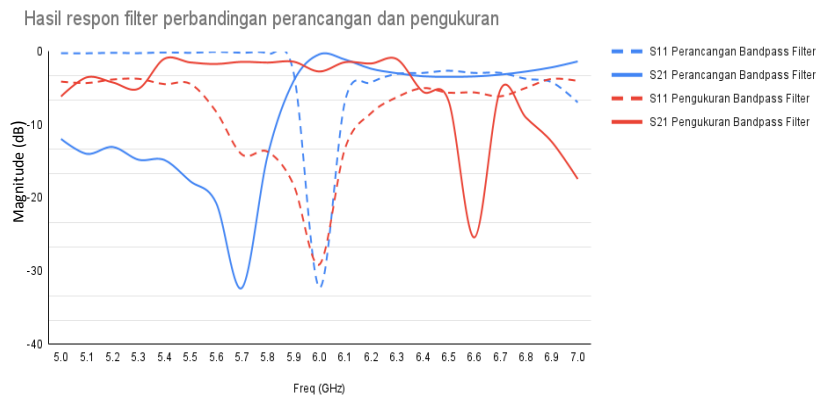
Gambar 9 Grafik hasil pengukuran respon *filter* dan *bandwidth bandpass filter microstrip*

3.5 Analisa Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

Setelah dilakukan pengukuran parameter uji respon filter *return loss*, *insertion loss*, dan *bandwidth* dengan menggunakan perangkat VNA, didapatkan perbandingan antara hasil simulasi dengan pengukuran seperti pada Gambar 9 dan Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *bandpass filter microstrip*

Parameter	Perancangan	Pengukuran
Frekuensi Resonansi(GHz)	6 GHz	6 GHz
<i>Return loss</i> (dB)	-32,209 dB	-29,09 dB
<i>Insertion loss</i> (dB)	-0,40148 dB	-2,75 dB
<i>Bandwidth</i> (MHz)	101,5 MHz	485,4 MHz



Gambar 10. Grafik hasil *return loss* dan *insertion loss* dari perbandingan perancangan dan pengukuran *bandpass filter microstrip*

Nilai dari *return loss*, *insertion loss* serta *bandwidth* hasil perbandingan *bandpass filter microstrip* dari perancangan dan pengukuran terjadi perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan terjadi akibat pengaruh dari beberapa faktor, untuk hasil frekuensi resonansi didapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi dari *bandpass filter* baik perancangan dan pengukuran hal ini menunjukkan pengaruh dari *coupling resonator* pada *square open loop resonator* serta *coupling* tambahan dari *split ring resonator* yang mempengaruhi frekuensi resonansi, untuk rendahnya nilai dari *return loss* dan *insertion loss* didapatkan perubahan yang semakin tinggi meskipun tidak terlalu signifikan dan masih sesuai spesifikasi yang dibutuhkan hal ini terjadi dikarenakan adanya pengaruh refleksi daya yang dipantulkan Kembali ke sumber nilainya lebih rendah dibandingkan dengan daya yang dikirim ke beban, serta untuk nilai *bandwidth* yang didapatkan terjadi perubahan yang signifikan dari perancangan dan pengukuran hal ini menunjukkan karena terpisahnya jalur sinyal yang berdekatan dalam *bandpass filter* dengan menggunakan modifikasi dari *defected ground structure* pada bagian *groundplane* yang memblokir propagansi sinyal antar jalur yang berdekatan sehingga kinerja dari *bandpass filter* dapat menyebabkan pergeseran *bandwidth*, selain dari pengaruh dalam tahapan perancangan, pengaruh terjadi pada saat dilakukan pengukuran karena faktor nilai permitivitas bahan dielektrik yang tidak sesuai juga mempengaruhi hasil pengukuran *bandpass filter microstrip*, serta kondisi tempat pada saat pengukuran yang tidak menggunakan tempat khusus pengukuran yang mempunyai redaman untuk menghilangkan interferensi. Berdasarkan data tersebut *bandpass filter microstrip* yang telah difabrikasi sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil ini juga menunjukkan keberhasilan dalam fabrikasi dan pengukuran *bandpass filter microstrip* yang dilakukan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan *bandpass filter microstrip* didapatkan pengaruh dari beberapa perubahan terhadap dimensi setiap tahapan perancangan *square open loop resonator*, *split ring resonator*, dan *defected ground structure* seperti pengaruh dari *coupling resonator* pada tahapan perancangan *square open loop* dan *split ring resonator*, dan pengaruh dari *slot dumbbell shapes* dan slot melingkar pada bagian *groundplane*. Dari hasil modifikasi perancangan *square open loop resonator* terhadap *split ring resonator* didapatkan pergeseran frekuensi resonansi yang didapatkan dengan selisih 0,2 GHz hasil ini sesuai dengan pengaruh dari *split ring resonator* yang dapat mengubah frekuensi resonansi dari tahapan perancangan sebelumnya, kemudian modifikasi dari dua tahapan perancangan sebelumnya terhadap *defected ground structure* didapatkan hasil dari respon filter dengan selisih *return loss* sebesar -1,94 dB, dengan *insertion loss* sebesar -0,0186 dB, dan

selisih untuk lebar *bandwidth* sebesar 4,6 MHz, modifikasi terhadap *defected ground structure* telah sesuai dengan pengaruh dari *defected ground structure* yang dapat mempengaruhi rendahnya nilai *return loss* dan *insertion loss* serta dapat melebarkan *bandwidth*. Hasil pengukuran fabrikasi *bandpass filter microstrip* berhasil didapatkan *filter* yang bekerja pada frekuensi 6 GHz. Adapun untuk hasil pengukuran didapatkan pengaruh dari modifikasi square open loop resonator terhadap *split ring resonator*, dan *defected ground structure* terhadap hasil dari respon *filter* serta sesuai dengan spesifikasi filter yang dibutuhkan untuk aplikasi radar *C-Band*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Mira Rahmawati and dan Hanny Madiawati, "Desain Band Pass Filter pada Frekuensi X-Band Menggunakan Metode Square Resonator untuk Aplikasi Radar Navigasi," vol. 21, no. 02, pp. 135–143, 2022, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [2] A. Faroqi, M. A. Ramdhani, D. D. Andika, and S. Soedarsono, "Design of 2.75-2.85 Ghz Frequency Microstrip Band Pass Filter with Square Open-Loop Resonator in Radar Method," 2018. [Online]. Available: www.sciencepubco.com/index.php/IJET
- [3] R. A. Maulidini, M. R. Hidayat, and T. Praludi, "Band-Pass Filter Microstrip at 3 GHz Frequency Using Square Open-Loop Resonator for S-Band Radar Applications," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 20, no. 2, p. 53, Dec. 2020, doi: 10.14203/jet.v20.53-59.
- [4] H. Attamami and M. Fauzan, "METODA SPLIT RING RESONATOR UNTUK PERFORMANSI BANDPASS FILTER PADA APLIKASI PERMANEN ENERGI BERBASIS RADIO FREKUENSI," *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, vol. 7, no. 1, p. 42, Jun. 2022, doi: 10.32897/infotronik.2022.7.1.1433.
- [5] T. Firmansyah and I. Member, *Desain Mikrostrip Wideband Band Pass Filter Menggunakan Metode Open Split Ring Resonator untuk Komunikasi Bergerak Nirkabel*.
- [6] W. O. Refnaldi, E. Ali, and A. A. Pramudita, "PERANCANGAN BANDPASS FILTER MIKROSTRIP UNTUK CW RADAR PADA FREKUENSI S-BAND DESIGN MICROSTRIP BANDPASS FILTER FOR CW RADAR ON S-BAND FREQUENCY."
- [7] S. Mariyanto, A. Sasongko, M. Ma'ruf, S. Ariessaputra, and C. M. O. Muvianto, "Prosiding SAINTEK Rancang Bangun Filter Band Pass Mikrostrip Menggunakan Metode Square Open Loop Resonator Berbasis Defected Ground Structure untuk Pemancar Televisi Digital," *LPPM Universitas Mataram*, vol. 4, 2022.
- [8] A. Al Havis, L. Fitria, | Jurnal, and S. Mikroskil, "Filtering Sinyal Menggunakan Band Pass Filter," OKTOBER 2018 IJCCS, vol. 19, pp. 1–5.
- [9] I. A. Utami, T. Prakoso, and I. Santoso, "PERANCANGAN BAND PASS FILTER MIKROSTRIP PARALLEL COUPLED LINE PADA FREKUENSI 5,8 GHZ."
- [10] R. N. Herlambang and E. Sulaeman, "Analisis Simulasi Four Pole Cross-Coupled Bandpass Filter untuk Band LTE 2300MHz Berbasis Meandered Split Ring Resonator," 2021.
- [11] S. Fitria Nurjihan and A. Munir, "Rancang Bangun Filter Bandpass Mikrostrip Pita Sangat Lebar Berbasis Defected Ground Structure (Design of UltraWideband Microstrip Bandpass Filter Based on Defected Ground Structure)," 2020.
- [12] M. Reza Hidayat Universitas Jenderal Achmad Yani and Y. Bakti Zainal Universitas Jenderal Achmad Yani, "Analysis of Power Supply Element on Microstrip Filter Based on SplitRing." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/350954920>
- [13] I. D. Kristiadi, D. Arseno, and A. D. Setiawan, "Bandpass Filter Mikrostrip Square Ring Resonator Coupled Line Stub dengan Defected Ground Structure (DGS)," 2018.