

RANCANG BANGUN *MICROSTRIP DUAL WIDEBAND* DAN *DUAL NARROW BAND FILTERING ANTENNA* UNTUK KOMUNIKASI NIRKABEL

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

Nama : Fajar Dwi Fitran

NIM : 3332200015

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Rancang Bangun Dual Wideband dan Dual Narrowband
Filtering Antenna untuk Komunikasi Nirkabel

Nama Mahasiswa : Fajar Dwi Fitran

NPM : 3332200015

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 24 November 2024



Fajar Dwi Fitran

3332200015

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa skripsi berikut:

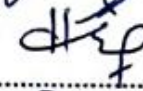
Judul : Rancang Bangun *Microstrip Dual Wideband* dan *Dual Narrowband Filtering Antenna* untuk Komunikasi Nirkabel
Nama Mahasiswa : Fajar Dwi Fitran
NPM : 3332200015
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

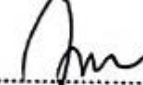
Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 26 November 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS / TIDAK LULUS.

Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Eng. Teguh Firmansyah, S.T., M.T.
Pembimbing II : Dina Estining Tyas Lufianawati, S.T., M.T.
Penguji I : Dr. Irma Saraswati, S.Si., M.T.
Penguji II : Rian Fahrizal, S.T., M.Eng.

Tanda Tangan


.....

.....

.....

.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan


Dr. Eng. Rocky Rafanz, S.T., M.Sc.

NID. 198407282010121001

PRAKATA

Segala puji hanya milik Allah Subhanahu Wata'ala, Tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat dan karuniannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul **Rancang Bangun *Microstrip Dual Wideband Dan Dual Narrowband* Untuk Komunikasi Nirkabel**. Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik (S.T.) pada tingkat Strata 1 (S1) di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulisan laporan penelitian ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari pihak lain. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan, penulisan laporan, dan penyelesaian penelitian ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan segala dukungan dan do'a selama menjalani dunia perkuliahan ini.
3. Bapak Fadil Muhammad S.T, M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dalam setiap proses kegiatan akademik.
4. Bapak Dr. Eng. Teguh Firmansyah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menjalani dan membimbing selama penelitian dilakukan.
5. Ibu Dina Estining Tyas S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang telah membantu serta membimbing penulis selama penelitian dilakukan.
6. Bapak Imamul Muttakin S.T., M. Eng., yang telah membantu dan memberikan fasilitas selama penelitian dilakukan.
7. Sahabat dan teman-teman seperjuangan angkatan 2020 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian ini.

Penulis berharap hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri.

Penulis sangat menyadari bahwa hasil dari penelitian ini masih memiliki kekurangan, namun penulis berharap hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk kemajuan dan perkembangan dari hasil penelitian ini.

Cilegon, 24 November 2024



Fajar Dwi Fitran

Penulis

ABSTRAK

Fajar Dwi Fitran

Teknik Elektro

Rancang Bangun Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna untuk Komunikasi Nirkabel

Perkembangan komunikasi nirkabel yang pesat dalam teknik elektronik, integrasi dan multi fungsi, sistem komunikasi menjadi miniatur. Di ujung depan *Radio Frequency* (RF), terdapat *filter* dan antenna yang keduanya memiliki ukuran besar dibandingkan dengan komponen lainnya. Namun antenna kebanyakan masih bekerja *single band*, *bandwidth* yang sempit, dan belum memiliki kinerja sebagai filter. Maka dari itu, pada penelitian ini dirancang *microstrip dual wideband* dan *dual narrowband antenna* yang bekerja secara simultan pada frekuensi 2.1 Ghz, 2.6 GHz, 4.6 GHz dan 5.6 GHz, dengan nilai koefisien refleksi berturut-turut sebesar -36.61 dB, -28.6 dB, -24.83 dB, dan -24.1 dB dengan *bandwidth* 240 MHz pada frekuensi 2.1 GHz dan 450 MHz pada fekuensi 4.6 GHz yang efisiensi untuk komunikasi nirkabel di berbagai lingkungan aplikasi. Hasil pengukuran perangkat antenna yang telah dirancang ini sudah baik dan dapat diaplikasikan.

Kata Kunci: Antena, Koefisien Refleksi, *Gain*, *Voltage Standing Wave Ratio*.

ABSTRACT

Fajar Dwi Fitran
Electrical Engineering

Design and Development of Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna for Wireless Communication

With the rapid development of wireless communications in electronic engineering, integration and multi-functionality, communication systems are being miniaturized. At the Radio Frequency (RF) front end, there are filters and antennas, both of which have a large size compared to other components. However, most antennas still work in a single band, narrow bandwidth, and do not have performance as a filter. Therefore, in this research, a microstrip dual wideband and dual narrowband antenna is designed that works simultaneously at frequencies of 2.1 GHz, 2.6 GHz, 4.6 GHz and 5.6 GHz, with a reflection coefficient value of -36.61 dB, -28.6 dB, -24.83 dB, and -24.1 dB respectively with a bandwidth of 240 MHz at 2.1 GHz and 450 MHz at 4.6 GHz which is efficient for wireless communication in various application environments. The measurement results of this designed antenna device are good and can be applied.

Keywords: Antenna, Reflection Coefficient, Gain, Voltage Standing Wave Ratio.

DAFTAR ISI

HALAMAN UTAMA.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Antena Mikrostrip	5
2.1.1 Elemen Peradiasi (<i>patch</i>)	6
2.1.2 Substrat Dielektrik	6
2.2 <i>Filtering Antenna</i> dalam Komunikasi Nirkabel	7
2.3 <i>Bandwidth</i>	8
2.4 <i>S-Parameter</i>	8
2.5 Koefisien refleksi	9

2.6	<i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	9
2.7	<i>Gain</i>	9
2.8	CST Studio Suite.....	10
2.9	Kajian Pustaka.....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		14
3.1	Metode Penelitian.....	14
3.2	Studi Literatur	15
3.3	Menentukan Spesifikasi	15
3.4	Merancang Antena <i>Single Wideband</i> pada Frekuensi Bawah	16
3.5	Merancang Antena <i>Single Wideband</i> pada frekuensi atas.....	20
3.6	Merancang Antena <i>Dual Wideband</i>	23
3.7	Merancang Antena <i>Dual Wideband</i> dan <i>Single Narrowband</i>	27
3.8	Merancang Antena <i>Dual Wideband</i> dan <i>Dual Narrowband</i>	33
3.9	Fabrikasi Antena.....	39
3.10	Pengukuran menggunakan VNA.....	39
3.11	Analisis hasil simulasi dengan pengukuran	39
BAB IV PEMBAHASAN.....		40
4.1	Simulasi Desain Akhir	40
4.1.1	<i>Return Loss</i>	43
4.1.2	<i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	44
4.1.3	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 2.1 GHz.....	45
4.1.4	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 2.6 GHz.....	46
4.1.5	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 4.6 GHz.....	46
4.1.6	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 5.2 GHz.....	47
4.1.7	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 2.1 GHz	47
4.1.8	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 2.6 GHz	48

4.1.9	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 4.6 GHz	49
4.1.10	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 5.2 GHz	49
4.2	Realisasi <i>Microstrip Dual Wideband</i> dan <i>Dual Narrowband Filtering Antenna</i>	50
4.3	Hasil Simulasi dan Pengukuran <i>Microstrip Dual Wideband</i> dan <i>Dual Narrowband Filtering Antenna</i>	50
4.4	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 2.1	51
4.5	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 2.6	52
4.6	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 4.6	53
4.7	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 5.2	53
BAB V	KESIMPULAN.....	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	56
DAFTAR REFERENSI		57
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.	
	LAMPIRAN A TABEL PERBANDINGAN PERFORMA	A-1
	LAMPIRAN B ITERASI.....	B-1
A.	Desain Pertama.....	B-1
B.	Desain Kedua	B-3
C.	Desain Ketiga	B-5
D.	Desain Keempat	B-6
E.	Desain Kelima.....	B-8
LAMPIRAN C	REKAPITULASI HASIL	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Antena mikrostrip [16]	5
Gambar 2.2 <i>Patch</i> antena mikrostrip	6
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian	14
Gambar 3.2 Struktur desain pertama.....	16
Gambar 3.3 Hasil simulasi desain pertama	18
Gambar 3.4 <i>Gain</i> simulai desain pertama pada frekuensi 2.1 GHz.....	19
Gambar 3.5 Struktur desain kedua	20
Gambar 3.6 Hasil Simulasi desain kedua.....	21
Gambar 3.7 <i>Gain</i> simulasi desain kedua pada frekuensi 4.6 GHz.....	23
Gambar 3.8 Struktur desain ketiga.....	24
Gambar 3.9 Hasil simulasi desain ketiga	25
Gambar 3.10 <i>Gain</i> simulasi desain ketiga pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz	27
Gambar 3.11 Struktur desain keempat	28
Gambar 3.12 Hasil simulasi desain keempat	29
Gambar 3.13 <i>Gain</i> simulasi desain keempat pada frekuensi (a) 2.1 GHz, (b) 2.6 GHz, dan (c) 4.6 GHz	32
Gambar 3.14 Struktur desain kelima.....	33
Gambar 3.15 Hasil simulasi desain kelima	34
Gambar 3.16 <i>Gain</i> simulasi desain kelima pada frekuensi 2.1 GHz dan 2.6 GHz	37
Gambar 3.17 <i>Gain</i> simulasi desain kelima pada frekuensi 4.6 GHz dan 5.1 GHz	38
Gambar 4.1 Dimensi struktur desain akhir	40
Gambar 4.2 Hasil simulasi desain akhir.....	44
Gambar 4.3 VSWR pada frekuensi minimum	44
Gambar 4.4 VSWR pada frekuensi maksimum	45
Gambar 4.5 E-Field pada frekuensi 2.1 GHz	45
Gambar 4.6 E-Field pada frekuensi 2.6 GHz	46
Gambar 4.7 E-Field pada frekuensi 4.6 GHz	47
Gambar 4.8 E-Field pada frekuensi 5.2 GHz	47
Gambar 4. 9 H-Field pada frekuensi 2.1 GHz	48
Gambar 4.10 H-Field pada frekuensi 2.6 GHz	48

Gambar 4. 11 H-Field pada frekuensi 4.6 GHz.....	49
Gambar 4. 12 H-Field pada frekuensi 5.2 GHz	49
Gambar 4.13 Realisasi microstrip dual wideband dan dual narrowband filtering antenna	50
Gambar 4.14 Hasil simulasi dan pengukuran	51
Gambar 4.15 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 2.1	52
Gambar 4.16 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 2.6.....	52
Gambar 4.17 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 4.6.....	53
Gambar 4.18 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 5.2.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komparasi <i>Filtering Antenna</i>	13
Tabel 3.1 Substrat Duroid RT5880.....	15
Tabel 3. 2 Dimensi Struktur Desain Pertama	17
Tabel 3.3 Iterasi l_3 pada Simulasi Desain Pertama	18
Tabel 3.4 Dimensi Struktur Desain Antena Kedua	20
Tabel 3.5 Iterasi w_7 pada Simulasi Desain Kedua.....	22
Tabel 3.6 Dimensi Struktur Desain Antena Ketiga	24
Tabel 3.7 Dimensi Struktur Desain Antena Keempat	28
Tabel 3.8 Iterasi g_1 pada Simulasi Desain Keempat	29
Tabel 3. 9 Dimensi Struktur Desain Antena Kelima	34
Tabel 3.10 Iterasi l_6 pada Simulasi Desain Kelima	35
Tabel 4.1 Iterasi l_{12} pada Struktur Desain Akhir	40
Tabel 4.2 Dimensi Struktur Desain Akhir	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan komunikasi nirkabel yang pesat dalam teknik elektronik, integrasi dan multi fungsi, sistem komunikasi menjadi miniatur. Di ujung depan *Radio Frequency* (RF), terdapat *filter* dan antena yang keduanya memiliki ukuran besar dibandingkan dengan komponen lainnya. Maka dari itu, merupakan ide bagus untuk merancang komponen *filter* antena yang dapat memberikan performa penyaringan dan pemancaran [1], [2].

Pada referensi-referensi, terdapat beberapa upaya untuk mengintegrasikan *filter* dan antena ke dalam satu modul [3]. Pada referensi [4], menggunakan *microstrip bandpass filter* selektif tinggi dan *diplexer* dengan menggabungkan kopling elektromagnetik. Pada referensi ini juga memiliki *bandwidth* sebesar 7.2% dan *Return loss* yang tidak kurang dari 22 dB. Pada referensi [5], menggunakan desain dari struktur *multilayer microwave filtering antenna*. Pada referensi ini memiliki *bandwidth* sebesar 2.7%, *gain* sebesar 2.6 GHz, juga *return loss* sebesar 13.53 dB pada frekuensi 2.6 GHz. Pada referensi [6], menggunakan *wide stopband filtering antenna* dengan *gain* yang besar. Pada referensi ini tidak ditemukan *return loss*.

Referensi [7], menggunakan *dual-band filtering antenna* dengan *novel transmission characteristics* dengan *return loss* sebesar 10dB serta *bandwidth* sebesar 1.2% dan 2.9%, *gain* sebesar 4.8 dB dan menggunakan *single layer*. Kelemahan pada referensi ini salah satunya adalah terletak pada rentang frekuensinya yang sempit. Pada referensi [8], menggunakan metode isolasi tinggi oleh metamaterial yang dipandu gelombang struktur. Pada referensi ini memiliki *lower resonant frequency* yaitu pada 3.4 GHz dan 4.95 GHz. Kelebihan referensi ini yaitu dapat memisahkan *dual-band patch antenna*. Namun antena ini masih belum memiliki *filter*, juga *bandwidth* frekuensi nya yang masih sempit. Pada referensi [9], menggunakan metode modifikasi pada slot guna meningkatkan impedansi pada *bandwidth*, memiliki dua transmisi yaitu pada 5,4 GHz dan 7,7 GHz.

Pada referensi [10], menggunakan metode *stripline low pass filter* yang menghasilkan kinerja yang baik pada *wide stopband* yang lebih rendah dari -25dB *insertion loss* yang lebih sedikit yaitu pada -1dB, filter antenna yang berfungsi pada jangkauan 2.6 GHz (-3dB) hingga 2.9 GHz (-39dB). Kekurangan dari referensi ini yaitu sinyal yang dihasilkan masih berupa *single band* yang *bandwidth* nya sempit, serta pada 2.6 GHz hingga 10.9 GHz menunjukkan *suppression characteristic* yang tidak berguna. Pada referensi [11] menggunakan teknik *filtering* yang sederhana sehingga antenna memiliki pita penyaringan yang sempit dan sinyal pada S11 yaitu kurang dari -20dB pada frekuensi tengah yaitu 4.17 GHz.

Pada referensi [12] memiliki 4 radiasi yang dapat dikontrol dan *suppression level* yang berada diatas 29dB dan impedansi *bandwidth* yang lebar yang berkisar dari 2.93 GHz hingga 3.96 GHz. Akan tetapi, pada referensi ini antenna hanya dapat menghasilkan *single band*. Secara umum permasalahan referensi diatas diantaranya yaitu antenna masih bekerja *single band*, *bandwidth* yang sempit, dan belum memiliki kinerja sebagai filter. Maka dari itu, pada penelitian ini dirancang *microstrip dual wideband* dan *dual narrowband antenna*.

Pada penelitian ini, menggabungkan dua konsep yaitu *dual wideband antenna* dan *dual narrowband* yang dapat bekerja sekaligus sebagai *filter*, dimana antenna ini memungkinkan untuk melakukan komunikasi dari berbagai frekuensi. Adapun *filtering antenna* berfungsi untuk menghilangkan interferensi yang merugikan dimana interferensi ini merupakan interaksi antar gelombang di dalam satu daerah. Dengan menggabungkan kedua konsep ini dalam satu antenna, yaitu *microstrip dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* yang dapat menghasilkan solusi yang lebih efisien serta handal untuk komunikasi nirkabel di berbagai lingkungan aplikasi [14], [15].

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat empat permasalahan utama yang diharapkan dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Bagaimana merancang *single wideband filtering antenna* pada frekuensi bawah dan frekuensi atas?

2. Bagaimana merancang *dual wideband* dan *single narrowband filtering antenna*?
3. Bagaimana merancang *dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* dengan nilai koefisien refleksi < -10 dB?
4. Bagaimana mengevaluasi kinerja antena antara hasil simulasi dan hasil pengukuran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merancang *single wideband filtering antenna* pada frekuensi bawah dan frekuensi atas.
2. Dapat merancang *dual wideband* dan *single narrowband filtering antenna*.
3. Dapat merancang *dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* dengan nilai koefisien refleksi < -10 dB.
4. Menganalisa hasil evaluasi kinerja antena antara hasil simulasi dan pengukuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah manfaat dari penelitian yang dilakukan:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam bidang antena mikrostrip, yaitu pengembangan antena mikrostrip dengan *dual wideband* dan *dual narrowband* yang juga dapat bekerja sebagai filter.
2. Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi peneliti lain yang tertarik untuk mengembangkan antena mikrostrip dengan *bandwidth* yang luas.
3. Manfaat untuk pendidikan, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan teknologi khususnya bidang komunikasi nirkabel.

1.5 Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan masalah dari rancang bangun *dual wideband filtering antenna*:

1. Perancangan simulasi antena menggunakan *software* CST Studio Suite.

2. Antena yang dirancang memiliki 4 pita frekuensi.
3. Parameter yang diukur adalah *bandwidth*, *return loss*, *gain*, dan *voltage standing wave ratio* (VSWR).
4. Bahan substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 (*lossy*)

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, peneliti membagi tulisan menjadi beberapa pokok permasalahan yang secara garis besar sebagai berikut:

BAB I: Pendahuluan

Berisikan mengenai latar belakang pemilihan judul tema yang diajukan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika untuk penulisan proposal tersebut.

BAB II: Landasan Teori

Berisikan perihal penjelasan teori-teori yang mendukung dalam penyusunan penelitian ini mulai dari dasar hingga penjelasan terperinci mengenai antena mikrostrip, dan parameter umum filter

BAB III: Metodologi Penelitian

Berisikan tentang prosedur perancangan dan realisasi antena mikrostrip yang meliputi desain dan konfigurasi akhir antena.

BAB IV: Pembahasan

Berisi mengenai bahasan khusus penelitian berupa analisis data-data yang diperoleh kemudian dikaitkan dengan teori-teori yang dibahas pada bab 3.

BAB V: Penutup

Berisikan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penulisan skripsi.

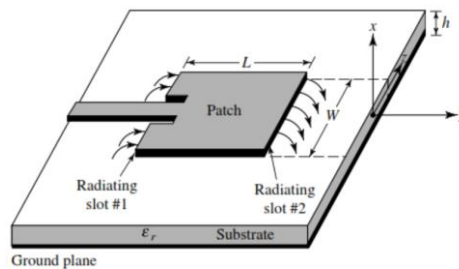
DAFTAR PUSTAKA

Berisikan mengenai suatu referensi-referensi pendukung dalam pengumpulan data dan pembuatan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah antena yang tersusun dari 3 elemen, diantaranya yaitu: elemen substrat (*substrate*), elemen peradiasi (*patch*), dan elemen pentanahan (*ground*) [16].



Gambar 2.1 Antena mikrostrip [16]

Patch merupakan bagian dari antena mikrostrip yang terbuat dari logam yang berfungsi untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik [16]. Bentuk dari *patch* dapat bermacam-macam seperti persegi panjang, lingkaran, segitiga, dan lain sebagainya yang mana pada masing-masing bentuk terdapat cara perhitungan yang berbeda pada saat proses pendesainannya [17].

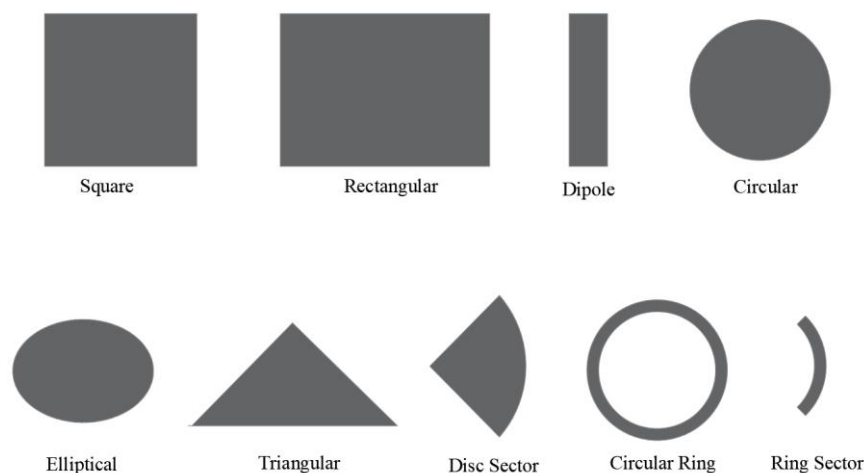
Substrat merupakan lapisan dielektrik yang terletak dibawah *patch* yang berfungsi untuk memisahkan antara *patch* dengan lapisan bawah yang disebut *ground* ketebalan dari substrat juga akan mempengaruhi sifat impedansi dan efisiensi antena [16]. *Ground* merupakan lapisan yang konduktor yang terletak dibawah substrat antena yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan, serta mempengaruhi impedansi dan pola radiasi antena [16]

Pada antena mikrostrip terdapat nilai radiasi tertinggi terutama pada bagian, dan biasanya dibuat substrat dengan bahan yang tebal serta konstanta dielektrik yang rendah guna meningkatkan efisiensi dan lebar radiasi, namun hal ini akan meningkatkan ukuran antena itu sendiri [18]. Hampir semua perangkat komunikasi nirkabel tidak memiliki antena fisik, hal ini disebabkan karena peralatan telekomunikasi menggunakan antena mikrostrip yang dapat langsung diintegrasikan ke dalam perangkat [19].

Meskipun antenna mikrostrip memiliki dimensi yang kecil, namun antenna mikrostrip memiliki kemampuan untuk bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Kelebihan lain dari antenna ini juga diantaranya yaitu dengan bentuknya yang *compact* membuat bahan baku yang digunakan untuk fabrikasi menjadi sedikit sehingga biaya yang dikeluarkan pun relatif murah. Akan tetapi, dari dimensinya yang kecil tersebut mengakibatkan *bandwidth* dari antenna ini juga relatif kecil.

2.1.1 Elemen Peradiasi (*patch*)

Elemen peradiasi atau *patch* pada antenna merupakan konduktor tipis yang biasanya terbuat dari bahan tembaga yang dapat beresonansi dengan frekuensi kerjanya [20]. *Patch* antenna juga memiliki berbagai bentuk dengan masing-masing bentuk tersebut memiliki Panjang gelombang yang berbeda [17], [20].



Gambar 2.2 *Patch* antenna mikrostrip

2.1.2 Substrat Dielektrik

Substrat dielektrik merupakan bagian dari antenna mikrostrip yang berfungsi sebagai media penyaluran gelombang elektromagnetik dari saluran catu ke *patch* serta bersifat *non magnetic*. Material yang digunakan untuk membuat substrat biasanya terbuat dari FR4 (*Flame Retardan 4*) serta menggunakan spesifikasi ketebalan 1.6 mm – 1.8 mm. FR4 banyak digunakan dalam pembuatan PCB (*Printed Circuit Board*) karena memiliki sifat isolasi yang baik, tahan terhadap panas, serta biaya nya yang terjangkau, sehingga dapat diproduksi massal khusus

nya untuk produk elektronik yang terdapat pada antena dan *system microwave* [17], [20]. Jenis substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah Rogers RT5880 karena substrat tersebut memiliki keunggulan diantara substrat lainnya [21]. Berikut ini merupakan keunggulan dari substrat Rogers RT5880 antara lain:

1. Memiliki kemampuan konduktivitas termal yang sangat baik sehingga dapat membantu menjaga sirkuit agar tetap dingin dan mencegah *overheating*
2. Memiliki stabilitas dimensi yang tinggi sehingga substrat tidak akan melengkung atau berubah bentuk walau dalam kondisi suhu atau kelembaban yang ekstrim.
3. Mudah diproses menggunakan teknik manufaktur papan sirkuit standar.
4. *Solderability* yang baik, sehingga membuatnya mudah untuk melakukan perakitan dan penyolderan komponen.
5. Rogers RT5880 cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk sirkuit elektronik daya, sirkuit RF dan *microwave* hingga sirkuit digital kecepatan tinggi.

2.2 *Filtering Antenna* dalam Komunikasi Nirkabel

Filtering antenna dalam komunikasi nirkabel berfungsi untuk membatasi atau mengontrol rentang frekuensi sinyal yang diterima atau dikirim oleh antena yang merujuk pada integrasi elemen penyaringan ke dalam desain antena. *Filtering antenna* dilakukan guna mengoptimalkan performa komunikasi nirkabel dalam lingkungan yang kompleks karena komunikasi yang diinginkan bisa saja terganggu oleh adanya *noise* dan berbagai sinyal interferensi [22]. *Filtering antenna* juga memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Penyaringan interferensi: *Filtering antenna* digunakan untuk memblokir sinyal-sinyal yang datang dari luar yang dapat mengganggu dan hanya menerima atau mengirimkan sinyal yang relevan [23].
2. Penyaringan harmonik: Beberapa perangkat elektronik menghasilkan frekuensi kedua dari sinyal asli atau bisa disebut juga dengan harmonik. Fungsi dari *filtering* ini untuk membantu menyaring harmonik agar tidak mempengaruhi performa komunikasi [24].

3. Pengurangan *noise*: Antena juga dapat menerima sinyal gangguan atau biasa disebut *noise* yang dapat merugikan kualitas komunikasi. *Filtering antenna* dapat membantu mengurangi dampak dari *noise* ini agar sinyal yang diinginkan tetap terjaga [17].
4. Peningkatan selektivitas: Dengan menggunakan *filtering*, antena dapat memiliki karakteristik selektivitas yang ditingkatkan terhadap frekuensi tertentu, sehingga memungkinkan dapat lebih responsif terhadap frekuensi yang ditargetkan [25].
5. Peningkatan kualitas sinyal: Dengan menyaring sinyal gangguan dari luar, sinyal yang akan diterima atau dikirimkan akan menjadi lebih bersih serta memiliki kualitas yang baik [25].
6. Pengurangan intermodulasi: *Filtering antenna* juga dapat membantu terjadinya intermodulasi, yang mana ini merupakan fenomena ketika dua atau lebih sinyal frekuensi yang berbeda berinteraksi [17], [25].

2.3 *Bandwidth*

Bandwidth merupakan nilai rentang frekuensi ketika perangkat radio frekuensi dengan karakteristik dan standar yang ditetapkan telah sesuai, serta besarnya saluran transmisi untuk dilewati sinyal informasi. [26], [27].

2.4 *S-Parameter*

Scattering Parameter atau *S-Parameter* merupakan ukuran atau parameter yang terdapat pada antena mikrostrip yang digunakan untuk menggambarkan bagaimana suatu antena atau komponen mikrostrip merespon terhadap sinyal elektromagnetik yang datang ke dalamnya [19], [28].

S-Parameter dinyatakan dalam bentuk S_{11} , S_{21} , S_{12} , dan S_{22} sebagai komponen utamanya. Berikut merupakan penjelasan dari komponen-komponen berikut:

1. S_{11} (koefisien refleksi depan): Mengukur sejauh mana sinyal yang datang ke *port input* dipantulkan kembali tanpa adanya transmisi ke dalam sistem.
2. S_{21} (koefisien transmisi dari *port 1* ke *port 2*): Menunjukkan seberapa baik sinyal yang datang ke *port input* yang ditransmisikan ke *port output*.

3. S_{12} (koefisien transmisi dari *port 2* ke *port 1*): Menunjukkan seberapa baik sinyal dari *port output* salurkan kembali ke *port input*.
4. S_{22} (koefisien refleksi dalam): Mengukur sejauh mana sinyal yang datang ke *port output* lalu dipantulkan kembali tanpa adanya transmisi ke dalam sistem.

2.5 Koefisien refleksi

Koefisien refleksi merupakan ukuran seberapa baik daya yang dikirimkan ke antena lalu dikembalikan ke sumbernya yang biasanya terjadi karena pantulan. Koefisien refleksi mengukur refleksi sinyal di antara antena dan sumbernya. Semakin tinggi koefisien refleksi nya, maka akan semakin sedikit pula daya yang dipantulkan serta semakin baik juga antena dapat menyesuaikan impedansi dengan sumbernya [17].

Fungsi koefisien refleksi juga serupa dengan VSWR yaitu untuk menentukan *matching* antara antena dan *transmitter*. Nilai koefisien refleksi yang baik pada antena yaitu di bawah -10 dB atau 90% sinyal yang diserap dan 10% sinyal yang dipantulkan kembali [19].

2.6 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah pengukuran dasar impedansi antara *transmitter* dan antena. Nilai VSWR yang baik adalah 1. Namun, merupakan hal yang sulit untuk mendapatkan nilai tersebut, sehingga untuk nilai VSWR diberi toleransi menjadi kurang dari 2. Jika nilai VSWR semakin tinggi, maka kemungkinan *missmatch* pada *transmitter* dan antena akan semakin besar, namun jika nilai tersebut semakin kecil, maka antena akan semakin *matching* [19].

2.7 Gain

Gain pada antena mikrostrip merupakan perbandingan antara daya radiasi didalam suatu arah tertentu dengan daya yang nantinya akan dimiliki oleh antena ideal yang sama serta mengacu pada kemampuan antena guna mengarahkan daya radiasi dalam suatu arah tertentu. *Gain* dapat mengukur efisiensi antena dalam

mengubah energi listrik menjadi radiasi elektromagnetik dalam arah tertentu [17], [19].

2.8 CST Studio Suite

CST Studio Suite merupakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik 3D yang digunakan untuk menganalisis serta merancang berbagai jenis perangkat dan sistem elektromagnetik. CST Studio Suite merupakan perangkat lunak yang populer digunakan dalam bidang rekayasa elektromagnetik, termasuk perangkat mikrostrip, desain antena, sirkuit tercetak, filter, komponen optik, dan masih banyak lagi [29].

CST Studio Suite memungkinkan desainer dan insinyur untuk melakukan simulasi serta menganalisis perilaku elektromagnetik dari perangkat atau sistem sebelum dilakukannya fabrikasi. Hal ini membantu untuk menghemat biaya, waktu, serta upaya yang diperlukan dalam pengembangan dan optimasi produk [17].

2.9 Kajian Pustaka

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian mengenai desain *wideband antenna* dengan fungsi *filtering* dibuat rangkuman pada bagian ini. Berikut ini merupakan beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi pada penelitian yang sedang dilakukan.

Pada referensi [4] ini menggunakan resonator berbentuk H ganda yang memiliki nilai frekuensi 2.4 GHz dan 3.42 GHz, *fractional bandwidth* (FWB) 7.2% dan *return loss* yang tidak kurang dari 22 dB. Filter yang dibuat dikombinasikan dengan kopling EM campuran yang mana kopling ini berkonsentrasi pada resonator yang digabungkan sedangkan medan magnet berkonsentrasi pada area kopling antara *feed line* dan resonator berbentuk H ganda. Pada referensi ini juga memiliki *insertion loss* pada 2.44 GHz/1.43 dB dan 3.52 GHz/1.59 dB serta *return loss* pada 22 dB.

Pada referensi [5] perancangan bentuk antena dibuat menyerupai bentuk Γ yang strukturnya dicetak pada substrat jenis Rogers5880 dengan *dielectric constant* 2.2, *lost tangent* 0.03 dan ketebalan 0.508 mm. Ukuran pada *ground plane* yaitu $L \times W = 29.4 \times 17.5$ mm serta panjang total antena yaitu 26.68 mm dan panjang

feeding line nya 26.47 mm dengan lebar antenna 1.77 mm. Hasil pengukuran pada referensi ini mendapatkan frekuensi *bandwidth* sebesar 2.7%, *gain* sebesar 2.6 GHz, juga *return loss* sebesar 13.53 dB pada frekuensi 2.6 GHz.

Pada Referensi [6] desain antenna terdiri dari tiga lapisan substrat Rogers RT5880 dengan lapisan atas sebagai slot antenna konvensional dengan slot berbentuk huruf “U” yang terukir pada *patch*. *Electromagnetic Band Gap* (EBG) pada antenna dirancang di lapisan tengah dan bawah yang bertindak sebagai reflektor antenna yang berfungsi untuk menghasilkan penguatan antenna yang tinggi. Sedangkan dua EBG pada bagian bawah *feeding patch* dilepas karena mengganggu arus pada *patch*. Hasil pengukuran pada antenna ini didapatkan *stopband resonance point* 34.6 GHz. Hasil dari dual passband kurang dari -10 dB, dan *gain* diatas 7.5 dB adalah 26-34 GHz dan 37.5-38.5 GHz, serta *gain* dibawah 5 dB adalah 34.0-35.5 GHz. kesimpulan dari referensi ini yaitu memberikan solusi baru untuk desain *filtering antenna* pada *stopband* yang lebar.

Pada referensi [7] desain antenna menggunakan spesifikasi substrat jenis Rogers RT/Duroid 5880 ($\epsilon_r = 2.2$, $\tan \delta = 0.001$) dengan ketebalan $t = 0.79$ mm dengan menggunakan ukuran *ground plane* 70 x 50 mm. *Dual-band filtering antenna* (DBFA) pada referensi ini dirancang untuk menghasilkan *upper band centered* pada $f_U = 4.7$ GHz, *return loss* = 10 dB, *bandwidth* sebesar 3% dan TZ pada 4.85 GHz. sedangkan *lower band* berpusat pada $f_L = 4.1$ GHz dengan *bandwidth* sebesar 1.2% dan TZ pada 4.2 GHz. ukuran *ground plane* pada DBFA ini adalah 70 x 50 mm.

Pada referensi [8] meneliti *waveguide metamaterial* (WG-MTM) untuk mengurangi kopling timbal balik antara *dual-band patch antenna* yang berjarak rapat. Dengan memasang WG-MTM diantara *dual-band patch antenna*, *electric resonance* dan *magnetic resonance*, masing-masing dihasilkan pada pita yang lebih rendah dan lebih tinggi. Pada referensi ini mendapatkan hasil *lower resonant frequency* sekitar 3.4 GHz dan lebih tinggi lagi pada 4.95 GHz. Kelebihan dari merancang struktur WG-MTM ini, apabila jarak antara dua mikrostrip antenna hanya $0.11\lambda_0$ (λ_0 merupakan panjang gelombang *low resonance frequency* dalam ruang hampa), maka *port isolation* dari *high* dan *low frequency bands*, dapat dinaikkan setidaknya 5 dB dan 7 dB dengan memuat struktur WG-MTM. Dibandingkan

dengan struktur celah lainnya, jarak antar antenna yang lebih kecil merupakan suatu keuntungan karena metode ini mudah untuk diproses.

Pada referensi [9] meneliti *wideband filtering antenna* dengan memodifikasi *slots* dan *SIR structure*, yang mana ini bertujuan untuk meningkatkan impedansi pada *bandwidth*. Referensi ini menggunakan spesifikasi substrat jenis FR4 dengan *dielectric constant* $\epsilon_r = 4.4$ dan ketebalan $h = 1.6\text{mm}$. Hasil dari perhitungan yang dilakukan, antenna ini memiliki dua transmisi yaitu pada 5,4 GHz dan 7,7 GHz serta impedansi *bandwidth* sekitar 1.66 GHz. Namun, kekurangan pada antenna ini yaitu sinyal yang dihasilkan kurang halus, juga hanya menghasilkan *single band*.

Pada referensi [10] meneliti *filtering antenna* dengan menggunakan metode *stripline low pass filter* yang mana antenna ini memiliki performa yang bagus pada *wide stopband lower* yaitu -25 dB pada 2.85 GHz hingga 10.9 GHz. *sharp roll-off* dari 2.6 GHz (-3dB) hingga 2.9 GHz (-39dB). *Insertion loss* yang sedikit yaitu dari -dB pada *pass band*. *Filtering antenna* ini bekerja pada rentang frekuensi mulai dari 1.9 hingga 2.5 GHz (27%). Namun kelemahan pada referensi ini yaitu memiliki *suppression characteristic band* yang tidak berguna itu pada 2.6 GHz hingga 10.9 GHz. Pada referensi [11] meneliti *filtering antenna* dengan menggunakan metode *slotted dense dielectric patch*. Referensi ini menggunakan spesifikasi substrat jenis Rogers RO4003 dengan ukuran $h = 32\text{ mm}$. Hasil dari perhitungan, antenna memiliki pita penyaringan yang sempit dan sinyal pada S11 yaitu kurang dari -20dB pada frekuensi tengah $f_0 = 4.17\text{ GHz}$.

Pada referensi [12] memiliki 4 radiasi yang dapat dikontrol dan *suppression level* yang berada diatas 29dB dan impedansi *bandwidth* yang lebar yang berkisar dari 2.93 GHz hingga 3.96 GHz. Dengan menggunakan spesifikasi substrat jenis F4B dengan *relative permittivity* = 2.65 dan *loss tangent* = 0.001. Dua *air layer* ditempatkan antara atas dan bawah pada substrat dan *ground*. Kelebihan dari antenna ini yaitu dapat menghasilkan isolasi polarisasi antara *polarization differential port* dan *cross-polarization* yang baik dan juga tinggi. Akan tetapi, pada referensi ini antenna hanya dapat menghasilkan *single band*.

Tabel 2.1 Komparasi *Filtering Antenna*

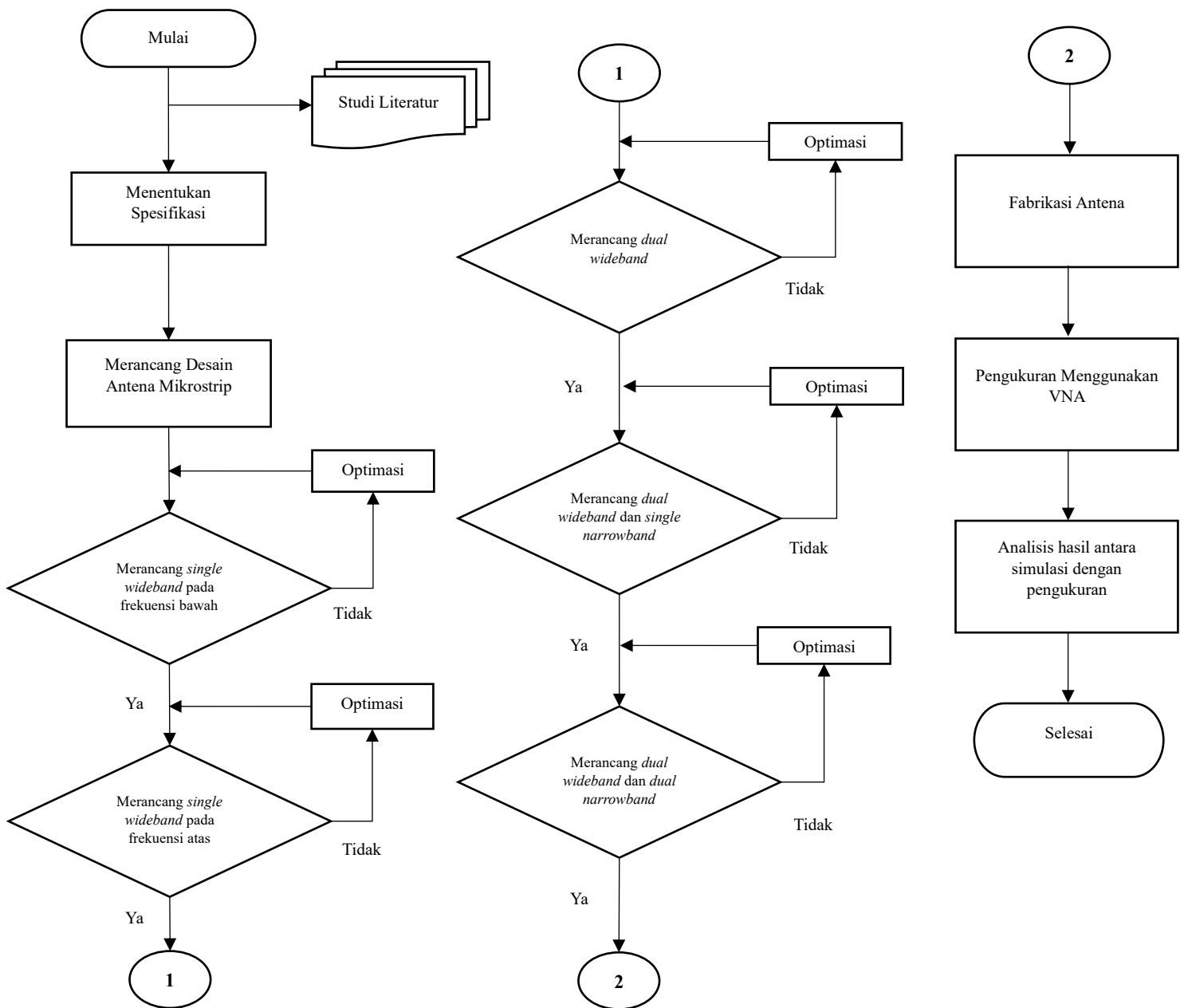
Ref.	Metode	Ave. Gain	Bandwidth	Kompleksitas	Koefisien refleksi	Ukuran
[5]	<i>Multilayer Structur</i>	2.2 dBi	2.7% = 70 MHz	<i>Simple</i>	-13.53 dB	29.4×17.5 mm
[6]	<i>Wide Stopband Filtering Antenna with High Gain</i>	3 dBi	26-34 GHz =800 MHz and 37.5-38.5 GHz = 100 MHz	<i>Complex</i>	NA	28×18 mm
[7]	<i>Dual-Band Filtering Antenna with Novel Transmission Zero Characteristic</i>	4.8 dBi	1.2% = 50 MHz and 2.9% = 136 MHz	<i>Complex</i>	-10 dB	70×50 mm
[9]	<i>Filtering Antenna with Modified Shaped Slots and SIR Structur</i>	3 dBi	30% = 1.950 MHz	<i>Simple</i>	-18.2 dB	1.2×1mm
[10]	<i>Filtering Antenna Based on Stripline Low Pass Filter</i>	-10 dBi	27% = 60 MHz	<i>Complex</i>	NA	46.5×26.8mm
[12]	<i>Dual-Polarized Differential-Fed Filtering Microstrip Patch Antenna with High Suppression and Wide Stopband</i>	9.9 dBi	30% = 1000 MHz	<i>Simple</i>	NA	0.92×0.92mm
[13]	<i>Filtering Antenna using Dielectric Strip Resonator and Parallel Microstrip Feedline</i>	7.1 dBi	4% = 196 MHz	<i>Simple</i>	NA	0.98×0.98mm
<i>This Work</i>	<i>Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna</i>	>3 dBi	>400 MHz, 70 MHz, 650 MHz, & 120 MHz	<i>Complex</i>	-36.67 dB	30×67.08mm

NA = *Not Available*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan proses untuk mencapai hasil yang diharapkan, seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini memberikan ringkasan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian. Dalam upaya untuk mendapatkan pemahaman yang lengkap tentang konsep-konsep dasar dan kemajuan terbaru dalam desain antena mikrostrip multifrekuensi, berbagai publikasi ilmiah, baik buku maupun jurnal, dipelajari. Pertama-tama dibahas prinsip dasar antena mikrostrip termasuk struktur, parameter, dan fitur umum. Kemudian dibahas metode desain untuk respons frekuensi ganda, seperti penggunaan *patch*, *slot*, dan elemen tambahan. Selain itu, bagian ini juga menyajikan tinjauan penelitian sebelumnya tentang pengembangan antena mikrostrip yang dapat beroperasi pada pita frekuensi sempit dan lebar sekaligus. Agar dapat memberikan fondasi yang kuat untuk penelitian ini, dirangkum berbagai topologi, teknik analisis, dan temuan dari studi terkait. Dengan mempelajari dasar-dasar dan perkembangan terbaru di bidang ini, diharapkan dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang desain dan analisis antena mikrostrip sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan.

3.3 Menentukan Spesifikasi

Antena mikrostrip dirancang dengan jenis substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 yang memiliki karakteristik konstanta dielektrik (ϵ_r) 2.2, ketebalan substrat (h) 1.575 mm, dan $\tan \delta$ 0,0009. Perancangan antena mikrostrip menggunakan metode perhitungan manual, kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi CST Studio Suite seperti pada Tabel 3.1 .

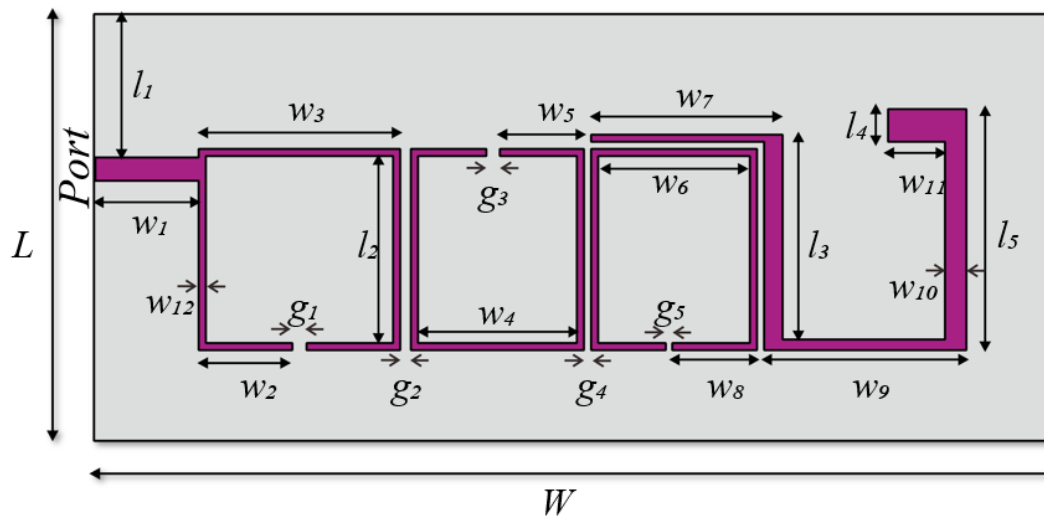
Tabel 3.1 Substrat Duroid RT5880

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Konstanta dielektrik efektif	2.2
2	Ketebalan substrat	1.575 mm
3	Konduktivitas tembaga	$5.8 \times 10^8 \text{ s/m}$
4	Rugi Tangensial	0.0009

3.4 Merancang Antena *Single Wideband* pada Frekuensi Bawah

Pada tahap ini, dilakukan perancangan antena mikrostrip yang dapat beroperasi dengan satu pita frekuensi namun memiliki *bandwidth* yang lebar pada frekuensi bawah. Hal ini dapat dicapai melalui optimasi dimensi, bentuk, serta susunan dari elemen-elemen respons yang memenuhi spesifikasi pada pita frekuensi yang diinginkan.

Pada gambar 3.2 terlihat bahwa struktur antena ini memiliki pencatu dari sisi samping kiri yang terhubung dengan ring yang menghadap kebawah. Kemudian ring berpasangan dengan empat ring lainnya yang saling berlawanan arah. Pada ring terakhir, memiliki bentuk yang berbeda, pada ring keempat memiliki bentuk yang sedikit memanjang dan juga *patch* dari ring keempat terlihat melintasi sisi atas *patch* ring ketiga (w_7). Pada struktur antena ini terdapat *ground* yang terletak dibelakang substrat yang memiliki diameter L 30 mm x W 47.58 mm. Adapun dimensi yang lebih jelas terlihat pada Gambar 3.2.



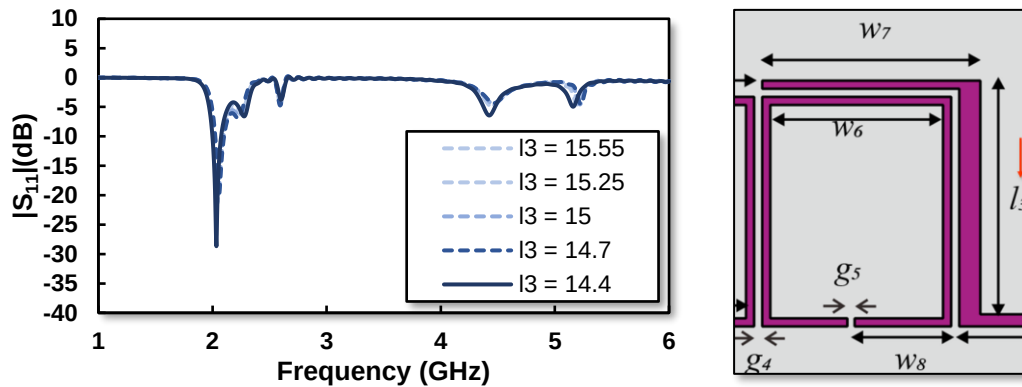
Gambar 3.2 Struktur desain pertama

Berikut merupakan tabel dimensi antena pada struktur desain pertama yang diperoleh melalui pertimbangan dari iterasi menggunakan simulasi *software*. Seperti pada optimasi panjang dari ring keempat yang diinisialisasi oleh l_3 pada gambar 3.2 akan memengaruhi magnitudo S_{11} secara langsung.

Tabel 3. 2 Dimensi Struktur Desain Pertama

Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm
L	30	W	67,08	g_1	1
l_1	10,26	w_1	7,26	g_2	0,75
l_2	13,15	w_2	6,575	g_3	0,95
l_3	14,4	w_3	14,15	g_4	0,5
l_4	2,3	w_4	11,15	g_5	0,45
l_5	16,95	w_5	5,9		
		w_6	10,65		
		w_7	13,45		
		w_8	5,95		
		w_9	14,2		
		w_{10}	1,5		
		w_{11}	4		

Gambar 3.3 memperlihatkan hasil simulasi dari rancangan awal desain pertama. Adapun simulasi ini dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 GHz. Sementara itu sumbu-y merupakan nilai koefisien refleksi (S_{11}) yang dihasilkan dalam satuan dB. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S_{11} yang dihasilkan *single wideband* pada frekuensi bawah. Secara umum, grafik S_{11} pada gambar 3.3 menghasilkan *bandwidth* mulai dari 1.99 GHz sampai dengan 2.3 GHz atau sekitar 300 MHz. Untuk itu struktur pertama ini masih berjalan di frekuensi bawah dan merupakan acuan untuk desain selanjutnya dimana ditargetkan untuk memiliki *bandwidth* pada frekuensi atas. sehingga perlu dilakukan simulasi desain selanjutnya.



Gambar 3.3 Hasil simulasi desain pertama

Hasil grafik S_{11} pada Gambar 3.3 dipengaruhi oleh iterasi perubahan dimensi panjang l_3 pada ring keempat struktur antenna. Karena S_{11} merupakan koefisien refleksi atau bisa disebut juga dengan daya yang terpantul, maka jika nilai magnitudo pada titik frekuensinya semakin kecil, akan semakin baik juga kinerjanya. Namun, dengan syarat nilai magnitudo harus berada dibawah -10 dB.

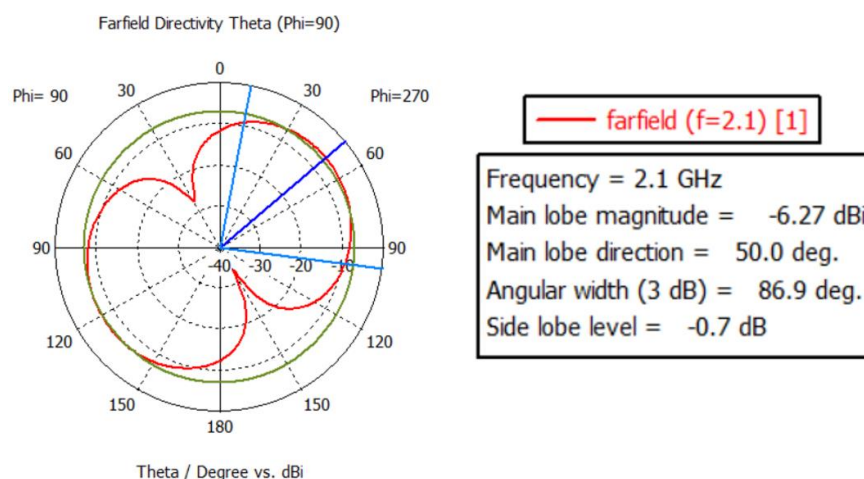
Tabel 3.3 Iterasi l_3 pada Simulasi Desain Pertama

l_3 (mm)	Bandwidth (MHz)	S ₁₁ (dB)	Frekuensi Tengah
	Frekuensi Bawah		
15.55	80	-19.92	2.1 GHz
15.25	70	-19.77	
15	80	-20.1	
14.7	70	-21.2	
14.4	80	-28.7	

Pada tabel 3.3 merupakan hasil iterasi l_3 yang berdasarkan grafik pada gambar 3.3 memiliki dimensi 15.55 mm memiliki *bandwidth* sebesar 80 MHz dan nilai S_{11} sebesar -19.92 pada frekuensi 2.1 GHz. Kemudian dimensi pada l_3 diturunkan sehingga memiliki panjang 15.25 serta memiliki *bandwidth* sebesar 70 MHz nilai S_{11} sebesar -19.77 dB pada frekuensi 2.1 GHz. Pada saat dimensi pada l_3 dicoba untuk diturunkan lagi menjadi 15 mm, ternyata memiliki nilai yang lebih baik yaitu nilai S_{11} sebesar -20.1 namun dengan *bandwidth* yang sama seperti sebelumnya yaitu 80 MHz. Sehingga iterasi dilakukan kembali dengan menurunkan dimensi l_3 menjadi 14.7 mm yang menghasilkan *bandwidth* sebesar 70 MHz dan nilai S_{11} sebesar -21.205 dB pada frekuensi 2.1 GHz yang ternyata menghasilkan

nilai yang lebih baik walaupun tidak ada perubahan pada rentang frekuensi nya. Kemudian terakhir iterasi dilakukan kembali dengan menurunkan dimensi nilai l_3 menjadi 14.4 mm sehingga memiliki *bandwidth* sebesar 80 MHz dan nilai S_{11} -28.7 dB yang mana ini merupakan perubahan nilai S_{11} yang signifikan dibandingkan pada iterasi sebelumnya.

Secara umum, sebenarnya iterasi masih bisa dilakukan dengan cara menurunkan kembali nilai dimensi l_3 yang mana nanti akan mendapatkan nilai S_{11} yang lebih baik lagi. Namun, hal tersebut akan menimbulkan masalah dimana pada iterasi terakhir, pada ring keempat memiliki jarak dengan ring ketiga sebesar 0.5 mm. Dan jika dimensi pada l_3 kembali diturunkan, maka jarak pada kedua ring tersebut juga akan menjadi semakin rapat, dimana hal tersebut akan menyulitkan pada saat proses fabrikasi serta memungkinkan untuk terjadinya kesalahan atau cacat fabrikasi.



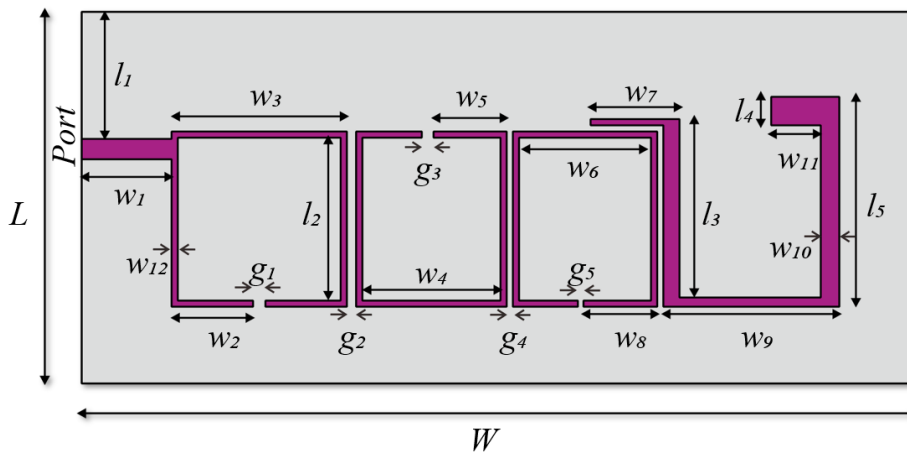
Gambar 3.4 *Gain* simulai desain pertama pada frekuensi 2.1 GHz

Gambar 3.4 merupakan grafik *gain* simulasi desain pertama pada frekuensi 2.1 GHz. Dimana pola radiasi antenna pada simulasi desain pertama ini menunjukkan bahwa nilai *gain* terbaik (*main lobe magnitude*) adalah -6.27 dBi.

Dengan arah radiasi utama pada 50 derajat. Antena ini juga dapat memancarkan lebar berkas 86.9 derajat pada level -3 dB, serta *level lobe* samping yang bisa dikatakan cukup rendah yaitu sebesar -0.7 dB. Karakteristik ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan cakupan luas dengan daya pancar yang tidak terlalu tinggi.

3.5 Merancang Antena *Single Wideband* pada frekuensi atas

Gambar 3.5 memperlihatkan desain penelitian sebagai struktur kedua. Terlihat bahwa pada struktur kedua ini memiliki bentuk yang hampir sama dengan struktur pertama, hanya saja yang paling membedakan dari struktur ini adalah bentuk pada *patch* dari ring keempat yang melintasi sisi atas *patch* ring ketiga (w_7) yang selanjutnya akan disebut *patch* singgungan memiliki bentuk yang lebih pendek daripada bentuk sebelumnya.



Gambar 3.5 Struktur desain kedua

Panjang *patch* singgungan pada struktur sebelumnya memiliki panjang 0.5 mm dan lebar 12.15 mm sedangkan pada struktur kedua memiliki panjang yang sama yaitu 0.5 mm sedangkan yang membedakan terletak pada dimensi w_7 yaitu 7.175 mm. Adapun dimensi lengkap tertera pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Dimensi Struktur Desain Antena Kedua

Parameters	Unit/mm
L	30
l_1	10,26
l_2	13,15
l_3	14,4
l_4	2,3
l_5	16,95

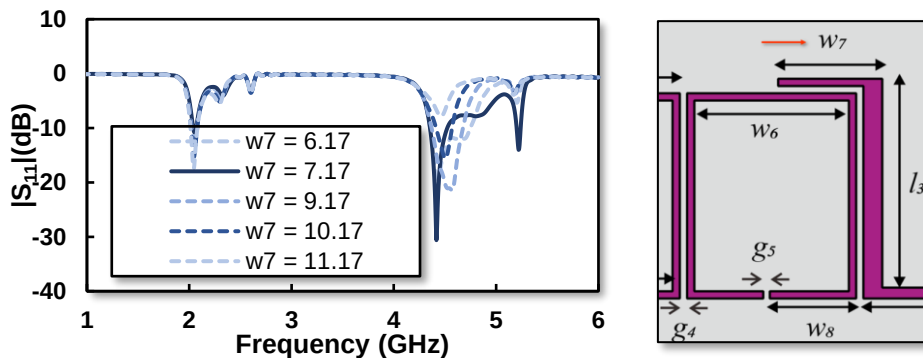
Parameters	Unit/mm
W	67,08
w_1	7,26
w_2	6,575
w_3	14,15
w_4	11,15
w_5	5,9
w_6	10,65

Parameters	Unit/mm
g_1	1
g_2	0,75
g_3	0,95
g_4	0,5
g_5	0,45

w_7	7,17
w_8	5,95
w_9	14,2
w_{10}	1,5
w_{11}	4

Berdasarkan Tabel 3.4 menampilkan dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring keempat (w_7). Gambar 3.6 memperlihatkan hasil simulasi dari usulan dari desain kedua. Adapun simulasi ini dilakukan pada rentang frekuensi yang berbeda dari simulasi pertama yaitu pada frekuensi 2.1 GHz, sedangkan pada simulasi kedua ini dilakukan pada rentang frekuensi 4.6 GHz atau bisa dibilang juga pada frekuensi atas. Pada struktur ini menghasilkan sinyal *single wideband* yang memiliki rentang frekuensi yang cukup lebar yaitu pada 4.2 GHz hingga 4.9 GHz.

Secara umum rentang frekuensi yang dihasilkan pada struktur kedua telah memenuhi harapan dari struktur pertama yaitu memiliki *dual wideband* dengan *bandwidth* setidaknya >200 MHz, namun harapan selanjutnya yaitu bagaimana agar struktur memiliki dua pita frekuensi yang dapat bekerja secara bersamaan. Sehingga perlu dilakukan simulasi desain selanjutnya.



Gambar 3.6 Hasil Simulasi desain kedua

Hasil grafik S_{11} pada Gambar 3.6 dipengaruhi oleh iterasi perubahan dimensi panjang w_7 pada ring keempat yang terletak tepat diatas ring ketiga. Perubahan dimensi w_7 tersebut memengaruhi kinerja di frekuensi atas dengan melakukan beberapa iterasi agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.5 Iterasi w_7 pada Simulasi Desain Kedua

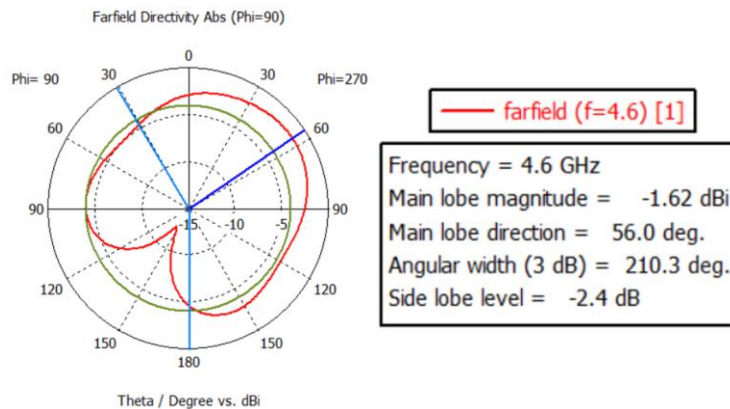
w_7 (mm)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	S_{11} (dB)	Frekuensi Tengah
	Frekuensi Atas		
11.17	-	-7.83	4.6 GHz
10.17	150	-15.6	
9.17	310	-21.4	
7.17	280	-30.62	
6.17	390	-20.74	

Pada Tabel 3.5 merupakan hasil iterasi w_7 yang berdasarkan grafik pada gambar 3.6 memiliki dimensi 11.17 mm dan nilai S_{11} sebesar -7.83 dB dan pada iterasi iterasi $w_7 = 11.17$ mm terdapat *bandwidth* seperti yang diharapkan karena nilai magnitudo yang masih lebih dari -10 dB. Dari hasil iterasi pertama ini juga menunjukkan bahwa perubahan dimensi yang dilakukan pada w_7 dapat memengaruhi bentuk sinyal S_{11} pada frekuensi atas walaupun hasil yang didapatkan masih belum maksimal. Selanjutnya dengan melakukan iterasi $w_7 = 10.17$ mm sehingga didapatkan nilai nilai *bandwidth* sebesar 150 MHz dan nilai S_{11} pada frekuensi atas sebesar -15.6 dB. Berdasarkan hasil tersebut, nilai koefisien refleksi atau S_{11} pada w_7 dengan dimensi 10.17 mm mendapatkan nilai yang lebih baik yaitu sekitar -15 dB, dan hasil tersebut masih bisa di optimalkan kembali dengan melakukan iterasi selanjutnya.

Pada iterasi $w_7 = 9.17$ mm didapatkan nilai *bandwidth* sebesar 310 MHz dan nilai S_{11} sebesar -21.24 dB. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa pada frekuensi atas mendapatkan nilai yang lebih baik, serta *bandwidth* yang didapatkan juga mengalami kenaikan kualitas. Kemudian pada iterasi $w_7 = 7.17$ mm yang mana dari pengurangan dimensi tersebut mendapatkan *bandwidth* sebesar 280 MHz dan nilai S_{11} pada sebesar -30.62 dB.

Berdasarkan hasil dari iterasi $w_7 = 7.17$, dapat diketahui bahwa hasil yang didapatkan dari pengurangan dimensi tersebut membuat nilai pada frekuensi atas menjadi sangat baik yaitu -30.62 dB namun pita frekuensi yang mengalami penurunan kualitas sinyal dari sebelumnya yaitu pada 280 MHz. Pada iterasi $w_7 = 6.17$ mm yang mana menghasilkan *bandwidth* sebesar 390 MHz dan S_{11} sebesar -20.74 dB. Berdasarkan hasil iterasi $w_7 = 6.17$ mm, nilai *bandwidth* yang didapatkan menjadi lebih baik, akan tetapi nilai S_{11} nya mengalami penurunan kualitas dari

yang sebelumnya, sehingga iterasi yang dipilih untuk melanjutkan ke tahap desain selanjutnya adalah iterasi 4.



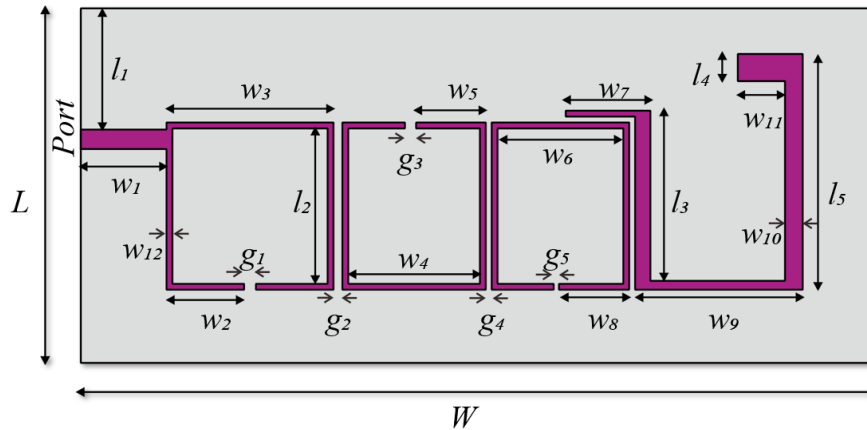
Gambar 3.7 *Gain* simulasi desain kedua pada frekuensi 4.6 GHz

Gambar 3.7 merupakan grafik *gain* simulasi desain kedua pada frekuensi 4.6 GHz. Dimana pola radiasi antenna pada simulasi desain kedua ini menunjukkan bahwa nilai *gain* terbaik (*main lobe magnitude*) adalah -1.62 dBi, dimana ini menunjukkan bahwa *gain* antenna yang dipancarkan masih cukup rendah. Sedangkan, arah daya pancar maksimal (*main lobe direction*) terjadi berada pada 56 derajat.

Lebar berkas antenna pada level -3 dB adalah 210.3 derajat. Selain *main lobe direction*, terdapat juga *lobe* samping (*side lobe*) dengan level daya yang terbilang rendah juga yaitu pada -2.4 dB.

3.6 Merancang Antena *Dual Wideband*

Gambar 3.8 memperlihatkan desain penelitian sebagai desain struktur ketiga. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat tambahan *patch* yang ring keempat paling ujung kanan (l_5). Pada desain struktur sebelumnya, panjang *patch* paling ujung kanan pada ring keempat memiliki diameter dengan panjang 16.95 mm dan lebar (w_{10}) 1.5 mm, sedangkan pada desain ketiga ini panjang diameter paling ujung kanan pada ring keempat memiliki diameter dengan panjang (l_5) 19.95 mm dan lebar yang sama seperti pada desain sebelumnya yaitu 1.5 mm. Dengan demikian, selisih panjang ring keempat pada desain ketiga dan desain sebelumnya adalah 2 mm. Adapun dimensi yang lebih jelas terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3.8 Struktur desain ketiga

Gambar 3.9 memperlihatkan hasil simulasi dari desain ketiga. Adapun simulasi dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz. Hasil simulasi memperlihatkan nilai S_{11} yang dihasilkan yaitu *dual wideband* yang memiliki rentang pita frekuensi pada *wideband* pada frekuensi bawah yaitu sebesar 350 MHz akan tetapi sinyal yang turun dibawah -10 dB memiliki panjang pita frekuensi sebesar 80 MHz, sedangkan untuk *wideband* pada frekuensi atas nya memiliki *bandwidth* sebesar 700 MHz. artinya penambahan panjang *patch* pada ring keempat paling ujung kanan memberikan dampak yang cukup signifikan untuk dapat menurunkan sinyal *wideband* pada fekuensi bawah. Adapun dimensi lebih lengkap tertera pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Dimensi Struktur Desain Antena Ketiga

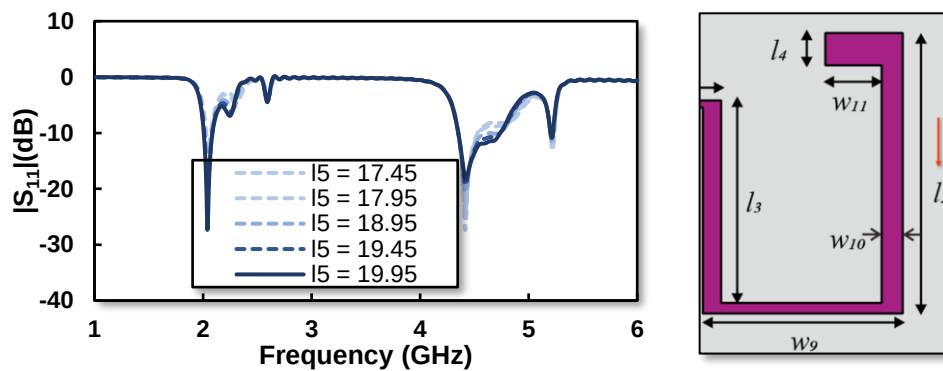
Parameters	Unit/mm
L	30
l_1	10,26
l_2	13,15
l_3	14,4
l_4	2,3
l_5	19,95

Parameters	Unit/mm
W	67,08
w_1	7,26
w_2	6,575
w_3	14,15
w_4	11,15
w_5	5,9
w_6	10,65
w_7	7,17
w_8	5,95

Parameters	Unit/mm
g_1	1
g_2	0,75
g_3	0,95
g_4	0,5
g_5	0,45

w_9	14,2
w_{10}	1,5
w_{11}	$4fcx$
w_{12}	0.5

Berdasarkan Tabel 3.6, dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring keempat (l_5).



Gambar 3.9 Hasil simulasi desain ketiga

Secara umum, grafik S_{11} pada Gambar 3.9 menghasilkan sinyal *dual wideband* walau secara spesifikasi pada *wideband* frekuensi bawah yang turun dibawah -10 dB masih belum memenuhi syarat yaitu memiliki lebar pita frekuensi setidaknya > 200 MHz. Namun berdasarkan gambar tersebut, bentuk grafik sinyal pada simulasi ketiga memiliki potensi agar dapat memiliki bentuk grafik sinyal yang lebih baik lagi. Sehingga perlu dilakukan simulasi desain selanjutnya.

Gambar 3.7 Iterasi l_5 pada Simulasi Desain Ketiga

l_5 (mm)	S11 (dB)		Bandwidth (MHz)		Frekuensi Tengah
	Frekuensi Bawah	Frekuensi Atas	Frekuensi Bawah	Frekuensi Atas	
17.45	-12.11	-27.2	40	180	2.1 GHz & 4.6 GHz
17.95	-13.5	-24.58	50	180	
18.95	-18	-20.8	70	290	
19.45	-21.31	-19.36	70	380	
19.95	-27.35	-18.24	80	380	

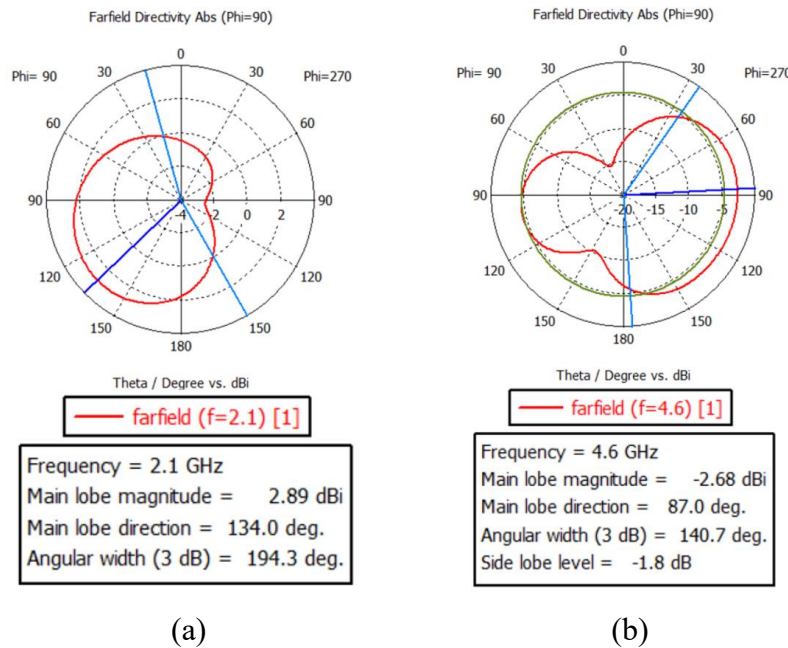
Pada Tabel 3.7 merupakan hasil iterasi l_5 yang berdasarkan grafik pada gambar 3.9 pada iterasi $l_5 = 17.45$ mm dan memiliki nilai S_{11} pada frekuensi bawah sebesar -12.11 dB dan frekuensi atas sebesar -27.2 dB. Pada iterasi $l_5 = 17.45$ mm juga memiliki *bandwidth* pada frekuensi bawah sebesar 40 MHz dan 180 MHz, yang mana ini belum juga memenuhi dari ketentuan awal untuk minimum *bandwidth* yaitu diatas 200 MHz. Dari perubahan dimensi l_5 juga membuktikan bahwa perubahan dimensi tersebut dapat mempengaruhi frekuensi bawah yang sebelumnya hanya *wideband* yang terdapat pada frekuensi atas. Selanjutnya pada iterasi $l_5 = 17.95$ mm.

Dari hasil iterasi tersebut didapatkan nilai koefisien refleksi atau S_{11} pada frekuensi bawah yaitu sebesar -13.5 dB dan frekuensi atas sebesar -24.58 dB. Selain itu, pada frekuensi bawah mendapatkan nilai *bandwidth* sebesar 50 MHz dan pada frekuensi atas sebesar 180 MHz. Berdasarkan hasil iterasi tersebut, tidak ada perubahan yang signifikan dan pada frekuensi atas tidak ada perubahan *bandwidth*, namun nilai S_{11} berkurang. Selanjutnya pada iterasi $l_5 = 18.95$ mm, dimana hasil dari perubahan dimensi tersebut mendapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi bawah sebesar -18 dB dan pada frekuensi atas sebesar -20.8 dB. Selain itu, pada frekuensi bawah memiliki *bandwidth* sebesar 70 MHz dan frekuensi atas sebesar 290 MHz.

Berdasarkan iterasi $l_5 = 18.95$ mm, hasil yang didapatkan cukup baik karena nilai S_{11} pada frekuensi bawah memiliki mendapatkan kualitas yang lebih baik, namun pada *bandwidth* frekuensi atas terjadi penurunan kualitas, namun nilai *bandwidth* nya menjadi lebih baik. Selanjutnya pada iterasi $l_5 = 19.45$ mm. Dari hasil tersebut didapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi bawah sebesar -21.31 dB dan *bandwidth* sebesar 70 MHz, sedangkan pada frekuensi atas mendapatkan nilai S_{11} sebesar -19.36 dB dan *bandwidth* sebesar 380 MHz. Berdasarkan iterasi tersebut, hanya sedikit terjadi perubahan nilai, namun *bandwidth* pada frekuensi atas mengalami kenaikan kualitas sinyal.

Pada iterasi $l_5 = 19.95$ mm dimana dari hasil iterasi tersebut pada frekuensi bawah mendapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) sebesar -27.35 dB dan *bandwidth* sebesar 80 MHz, sedangkan pada frekuensi atas mendapatkan nilai S_{11} sebesar -18.24 dB dan *bandwidth* sebesar 380 MHz. Berdasarkan hasil iterasi tersebut,

secara keseluruhan nilai yang didapatkan mengalami perubahan kualitas kearah yang lebih baik, walau pada frekuensi bawa masih belum memenuhi syarat, namun berdasarkan grafik tersebut, sinyal yang dihasilkan oleh antenna memiliki potensi untuk mendapatkan *wideband* yang diinginkan.



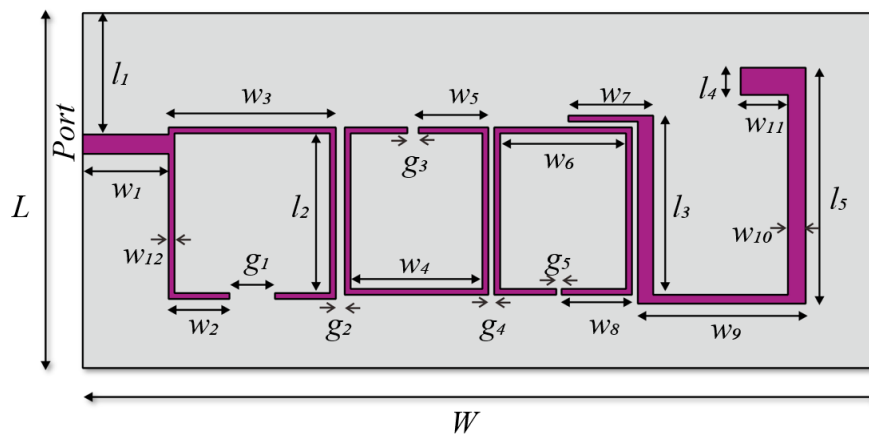
Gambar 3.10 *Gain* simulasi desain ketiga pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz

Gambar 3.10 memperlihatkan 2 grafik pola radiasi antenna pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz. Pada frekuensi 2.1 GHz antenna memiliki *gain* maksimal sebesar 2.98 dBi dengan arah radiasi utama yaitu pada 134 derajat serta lebar berkas antenna yang terbilang cukup lebar yaitu pada 194.3 derajat pada level -3 dB. Sedangkan pada frekuensi 4.6 GHz antenna memiliki *gain* maksimal yang lebih rendah yaitu pada -2.68 dBi, dengan arah radiasi utama yaitu pada 87 derajat serta lebar berkas yang cukup lebar yaitu pada 140.7 derajat pada level -3 dB. Selain itu, *side lobe* yang relatif rendah yaitu hanya -18 dB, yang artinya menunjukan efisiensi antenna yang baik.

3.7 Merancang Antena *Dual Wideband* dan *Single Narrowband*

Gambar 3.11 memperlihatkan desain penelitian sebagai struktur keempat. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat penambahan panjang *patch* pada ring

kesatu dan ring keempat. Panjang ring kesatu pada struktur sebelumnya memiliki panjang *patch* yang bersinggungan dengan *patch* kedua yaitu 13.15 mm. Sedangkan pada struktur ketiga ini memiliki panjang *patch* yang bersinggungan dengan *patch* kedua yaitu (l_2) 13.5 mm sehingga panjang *patch* ring pertama struktur ketiga dan struktur sebelumnya ini memiliki selisih sebesar 0.35 mm. Sedangkan untuk gap (g_1) pada struktur keempat ini memiliki jarak sebesar 3.85 mm, maka jika dibandingkan dengan struktur sebelumnya ini memiliki selisih sebesar 2.85 mm.



Gambar 3.11 Struktur desain keempat

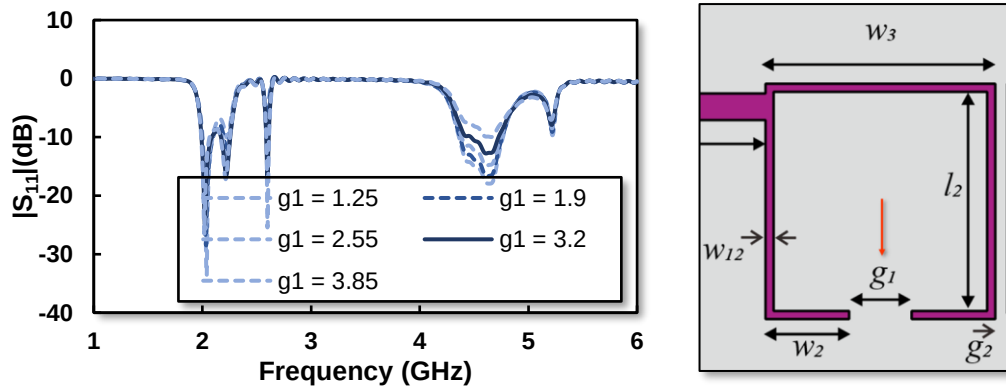
Tabel 3.7 menampilkan dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring kesatu (l_2 dan g_1) dan *patch* ring keempat (l_3).

Tabel 3.7 Dimensi Struktur Desain Antena Keempat

Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm
L	30	W	67,08	g_1	3.2
l_1	10,26	w_1	7,26	g_2	0,75
l_2	13,5	w_2	6.575	g_3	0,95
l_3	15,15	w_3	14,15	g_4	0,5
l_4	2,3	w_4	11,15	g_5	0,45
l_5	19,95	w_5	5,9		
		w_6	10,65		
		w_7	7,17		
		w_8	5,95		
		w_9	14,2		

w_{10}	1,5
w_{11}	4

Gambar 3.12 memperlihatkan hasil simulasi dari desain keempat. Adapun simulasi dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 Hz, 2.6 Hz, dan 4.6 Hz. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S_{11} yang dihasilkan yaitu *dual wideband* dan *single narrowband*, Dimana pada *wideband* frekuensi bawah ini memiliki lebar pita frekuensi sebesar 400 MHz sedangkan *wideband* pada frekuensi atas memiliki lebar pita frekuensi sebesar 700 MHz.



Gambar 3.12 Hasil simulasi desain keempat

Pada simulasi desain keempat ini telah memenuhi harapan untuk membuat sinyal *dual wideband* dan *single narrowband*, akan tetapi pada struktur akhir diharapkan agar antenna dapat memiliki *dual wideband* dan *dual narrowband* yang dapat bekerja secara simultan. Sehingga diperlukan simulasi desain selanjutnya.

Tabel 3.8 Iterasi g_1 pada Simulasi Desain Keempat

g_1 (mm)	Frekuensi Tengah					
	2.1 GHz		2.6 GHz		4.6 GHz	
	S_{11} (dB)	Bandwidth (MHz)	S_{11} (dB)	Bandwidth (MHz)	S_{11} (dB)	Bandwidth (MHz)
1.25	-33.35	90	-5.43	-	-17.94	400
1.9	-28.5	250	-7.87	-	-16.73	380
2.55	-25.66	260	-11.21	20	-14.9	360
3.2	-23.74	260	-16.88	30	-12.78	310
3.85	-26.52	270	-25.29	30	-9.9	-

Pada Tabel 3.8 merupakan hasil iterasi g_l yang mana ini merupakan *gap* yang terletak pada ring pertama. Berdasarkan grafik pada gambar 3.12 pada iterasi $g_l = 1.25$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 90 MHz dan S_{11} sebesar -33.35 dB, pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar -5.43 dB namun *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB, sedangkan pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 400 MHz dan S_{11} sebesar -17.94 dB. Berdasarkan simulasi desain keempat dapat dibuktikan bahwa l_2 , l_3 , dan g_l dapat mempengaruhi kinerja sinyal hingga menghasilkan tambahan 1 *single band*, namun hasil yang didapatkan masih belum optimal sehingga dilakukan iterasi selanjutnya.

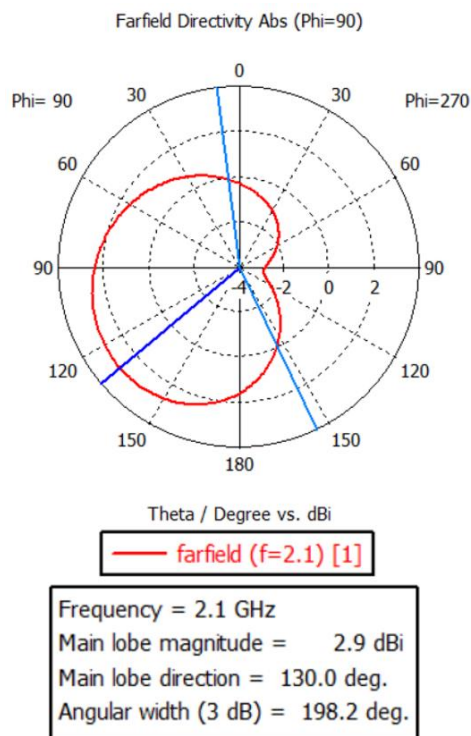
Selanjutnya pada iterasi $g_l = 1.9$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 250 MHz dan S_{11} sebesar -28.5 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} sebesar -7.87 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 380 MHz. Berdasarkan iterasi $g_l = 1.9$ mm membuat *bandwidth* pada frekuensi 2.1 menjadi sedikit lebih lebar, namun terjadi sedikit penurunan kualitas pada S_{11} , begitupun pada frekuensi 4.6 GHz yang mengalami sedikit penurunan kualitas sinyal. Pada iterasi $g_l = 2.55$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} sebesar -25.66 dB. Pada frekuensi 2.6 menghasilkan *bandwidth* sebesar 20 MHz dan S_{11} sebesar -11.21 dB. Dan pada frekuensi 4.6 menghasilkan *bandwidth* sebesar 360 MHz dan S_{11} sebesar -14.9 dB.

Berdasarkan iterasi $g_l = 2.55$ mm, setiap nilai *bandwidth* yang didapatkan tidak memiliki banyak perubahan, namun nilai S_{11} pada frekuensi 2.6 GHz kurang dari -10 GHz sehingga *bandwidth* dapat dihitung. Pada iterasi $g_l = 3.2$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} sebesar -23.74 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -16.88 dB. Dan pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 310 MHz dan S_{11} sebesar -12.78 dB.

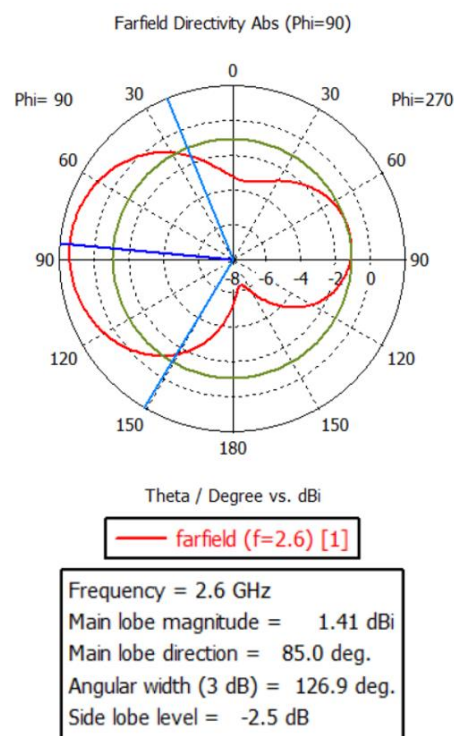
Berdasarkan iterasi $g_l = 3.2$ mm, nilai S_{11} pada frekuensi 2.1 dan 4.6 terus mengalami penurunan kualitas sinyal, namun pada frekuensi 2.6 GHz nilai S_{11} yang didapatkan menjadi semakin lebih baik. Selanjutnya pada iterasi $g_l = 3.85$ mm yang pada frekuensi 2.1 menghasilkan *bandwidth* sebesar 270 MHz dan S_{11} sebesar -

26.52 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -25.29 dB. Dan pada frekuensi 4.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB yaitu sebesar -9.9 dB.

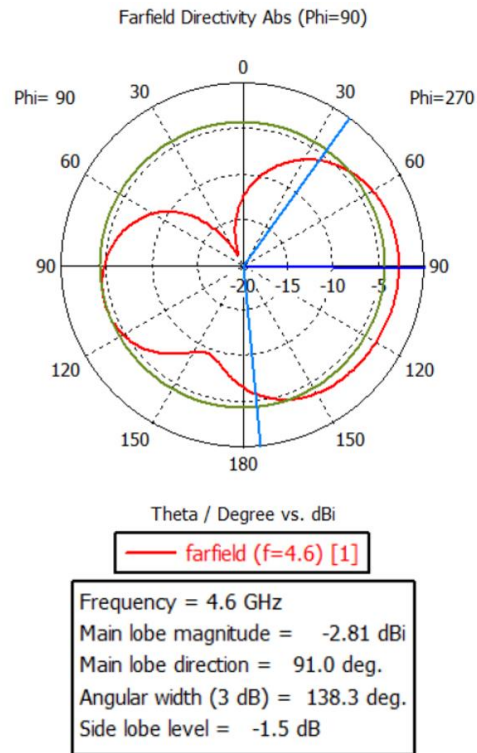
Berdasarkan iterasi $g_I = 3.85$ mm, nilai S_{11} pada frekuensi 2.1 GHz dan 2.6 GHz menjadi semakin lebih baik, namun pada fekuensi 4.6 menghasilkan nilai yang sangat buruk dimana nilai S_{11} yang keluar dari target yaitu kurang dari -10 dB. Sehingga iterasi keempatlah yang menghasilkan nilai paling baik.



(a)



(b)



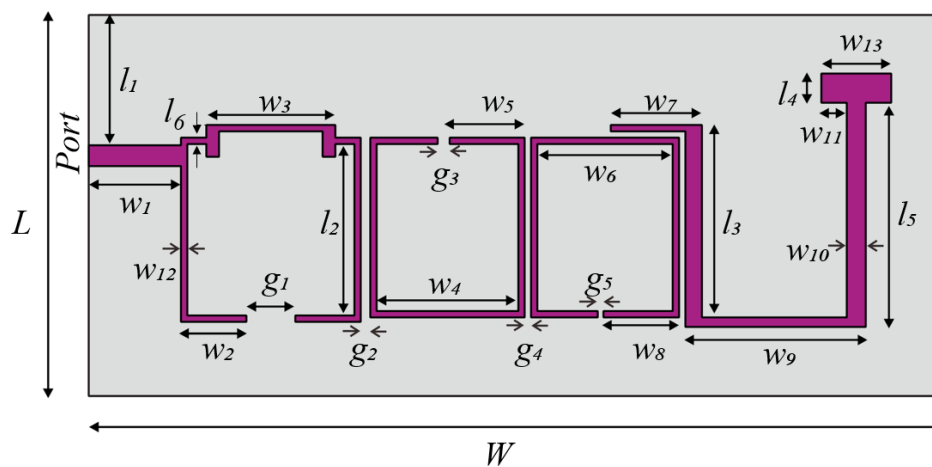
(c)

Gambar 3.13 *Gain* simulasi desain keempat pada frekuensi (a) 2.1 GHz, (b) 2.6 GHz, dan (c) 4.6 GHz

Gambar 3.13 memperlihatkan *gain* hasil simulasi keempat pada frekuensi 2.1 GHz, 2.6 GHz, dan 4.6 GHz. Pada frekuensi 2.1 GHz, antenna memiliki *gain* maksimal sebesar 2.9 dBi, namun dengan arah radiasi utama yang cukup lebar yaitu pada 130 derajat. Lebar berkas antenna yang mencapai 197.9 derajat pada level -3 dB. Ketika frekuensi naik menjadi 2.6 GHz, karakteristik antenna berubah. *Gain* maksimal pada antenna menurun menjadi 1.41 dBi, namun arah *main lobe direction* juga jadi sedikit menyempit yaitu pada 85 derajat pada level -3 dB, serta level *side lobe* yang tetap rendah yaitu pada -2.5 dB. Selanjutnya pada frekuensi 4.6 GHz, antenna memiliki *gain* maksimal yang kembali menurun menjadi -2.81 dBi, namun arah radiasi utamanya bergeser menjadi 91 derajat, lebar berkas antenna yang menjadi lebar yaitu pada 138.1 derajat, serta level *side lobe* yang juga tetap rendah yaitu pada -1.5 dB.

3.8 Merancang Antena *Dual Wideband* dan *Dual Narrowband*

Gambar 3.14 memperlihatkan desain penelitian pada struktur kelima. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat lebih banyak modifikasi dari desain sebelumnya. Dimulai dari *patch* pada ring pertama yaitu ditambahkan dua buah stub dengan memiliki diameter yang sama yaitu panjang 2.5 mm dan lebar 1 mm, serta jalur transmisi yang seharusnya terletak diantara kedua stub dengan panjang (w_3) 8.15 mm yang dipindahkan ke sisi atas stub. Pada ring kedua tidak terdapat modifikasi,



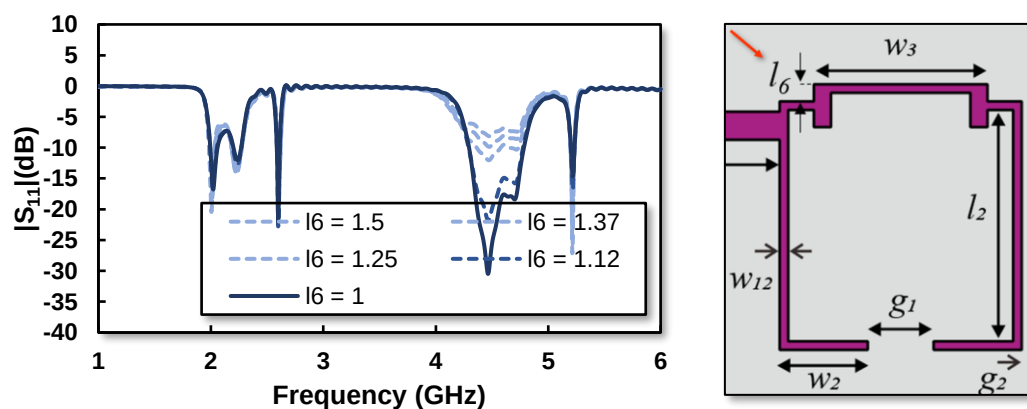
Gambar 3.14 Struktur desain kelima

Gambar 3.11 memperlihatkan hasil simulasi terakhir dari desain kelima. Adapun simulasi dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 Hz, 2.6 Hz, 4.5 Hz, dan 5.2 Hz. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S_{11} yang dihasilkan yaitu *dual wideband* dan *dual narrowband*, Dimana pada *wideband* frekuensi bawah memiliki panjang pita frekuensi sebesar 300 MHz, sedangkan untuk *wideband* pada fekuensi atas memiliki panjang pita frekuensi sebesar 540 MHz. serta penambah dual narrowband yang terletak pada frekuensi 2.6 Hz dan 5.2 Hz yang jika ditotal pada desain struktur ini memiliki empat buah pita frekuensi. Secara umum grafik S_{11} pada gambar 3.11 menghasilkan dual wideband dan dual narrowband yang telah memenuhi spesifikasi yang diusulkan.

Tabel 3. 9 Dimensi Struktur Desain Antena Kelima

Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm
L	30	W	67,08	g_1	3.2
l_1	10,26	w_1	7,26	g_2	0,75
l_2	13,5	w_2	6.575	g_3	0,95
l_3	15,15	w_3	8.15	g_4	0,5
l_4	2,3	w_4	11,15	g_5	0,45
l_5	17.65	w_5	5,9		
		w_6	10,65		
		w_7	7,17		
		w_8	5,95		
		w_9	14,2		
		w_{10}	1,5		
		w_{11}	2		
		w_{12}	5,5		
		w_{13}	1		

Berdasarkan Tabel 3.9, dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring kesatu (w_3) dan *patch* ring keempat (l_5 dan w_{13}).



Gambar 3.15 Hasil simulasi desain kelima

Pada simulasi desain keempat ini telah memenuhi harapan untuk membuat sinyal *dual wideband* dan *dual narrowband*.

Tabel 3.10 Iterasi l_6 pada Simulasi Desain Kelima

l_6 (mm)	Frekuensi Tengah							
	2.1 GHz		2.6 GHz		4.6 GHz		5.2 GHz	
	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)
1.5	-20.37	290	-13.68	30	-8.14	-	-18.69	30
1.37	-18.74	290	-15.64	30	-9.86	-	-23.38	40
1.25	-18.08	290	-19.21	20	-12.02	370	-26.87	40
1.12	-16.76	280	-22.67	30	-21.8	480	-16.8	30
1	-16.78	270	-22.17	30	-30.59	490	-14.66	30

Pada Tabel 3.10 merupakan hasil iterasi l_6 yang mana ini merupakan tambahan dimensi lakukan pada ring pertama. Berdasarkan grafik pada gambar 3.15, Pada iterasi $l_6 = 1.5$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz memiliki *bandwidth* sebesar 290 MHz dan S_{11} sebesar -20.37 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -13.68 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB yaitu sebesar -8.14 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -18.69.

Berdasarkan iterasi $l_6 = 1.5$ mm, dapat diketahui bahwa dengan menambahkan lekukan di patch atas pada ring pertama dan modifikasi pada ring keempat, dapat menghasilkan *singleband* pada frekuensi 5.2 GHz, namun karena nilainya yang masih belum optimal maka dilakukan iterasi berikutnya. Selanjutnya pada iterasi $l_6 = 1.37$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 290 MHz dan S_{11} sebesar -18.74 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -15.64 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB yaitu sebesar -9.86 dB. Pada frekuensi 5.2 menghasilkan *bandwidth* sebesar 40 MHz dan S_{11} sebesar -23.38 dB.

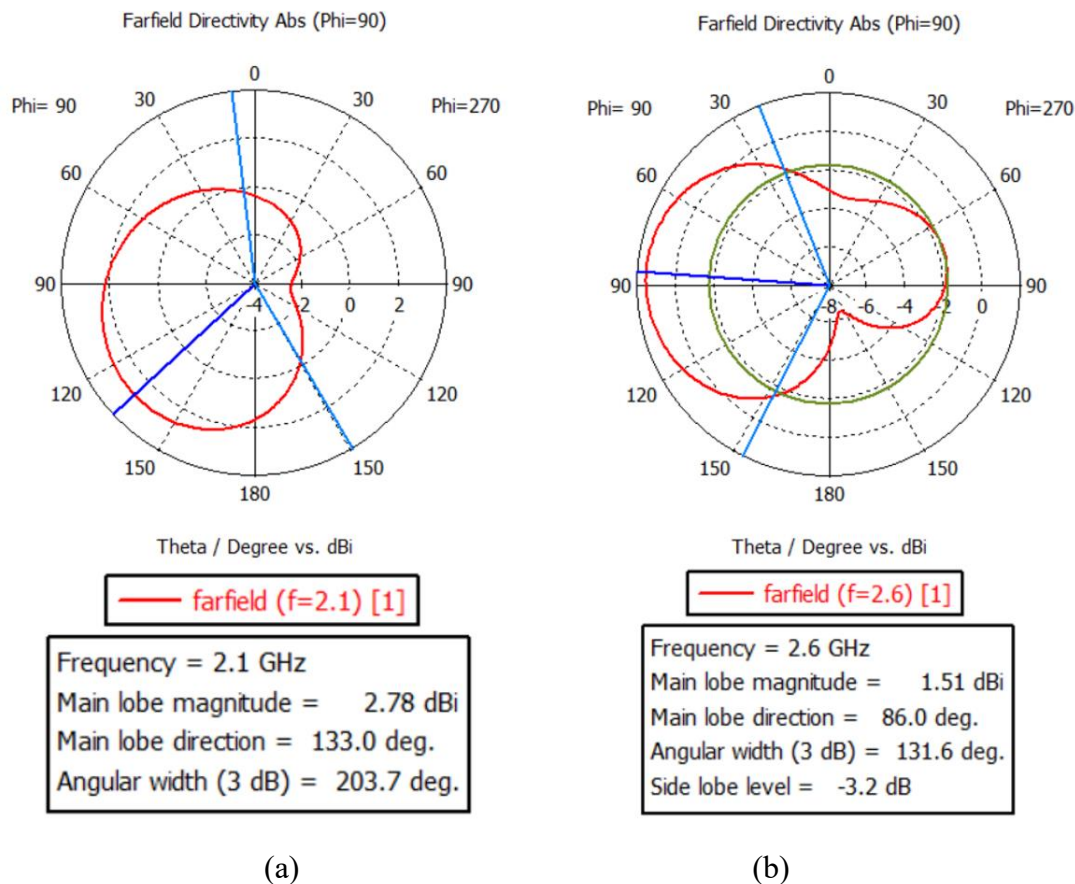
Berdasarkan iterasi $l_6 = 1.37$ mm, nilai *bandwidth* yang didapatkan tidak mengalami perubahan yang signifikan, terdapat perubahan nilai koefisien refleksi atau S_{11} kearah yang lebih baik. Selanjutnya pada i iterasi $l_6 = 1.25$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 290 MHz dan S_{11} sebesar -18.08 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 20 MHz dan S_{11} sebesar -19.21 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar

370 MHz dan S_{11} sebesar -12.02 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 40 MHz dan S_{11} sebesar -26.87 dB.

Berdasarkan iterasi $l_6 = 1.25$ mm, walaupun terjadi sedikit pengurangan nilai *bandwidth* pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz, namun nilai S_{11} pada setiap frekuensi menjadi lebih baik, karena nilai yang didapatkan sudah memasuki standar yang diinginkan yaitu kurang dari -10 dB walau nilainya masih bisa lebih dioptimalkan. Selanjutnya pada iterasi $l_6 = 1.12$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 280 MHz dan S_{11} sebesar -16.76 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -22.67 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 480 MHz dan S_{11} sebesar -21.8 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -16.8 dB.

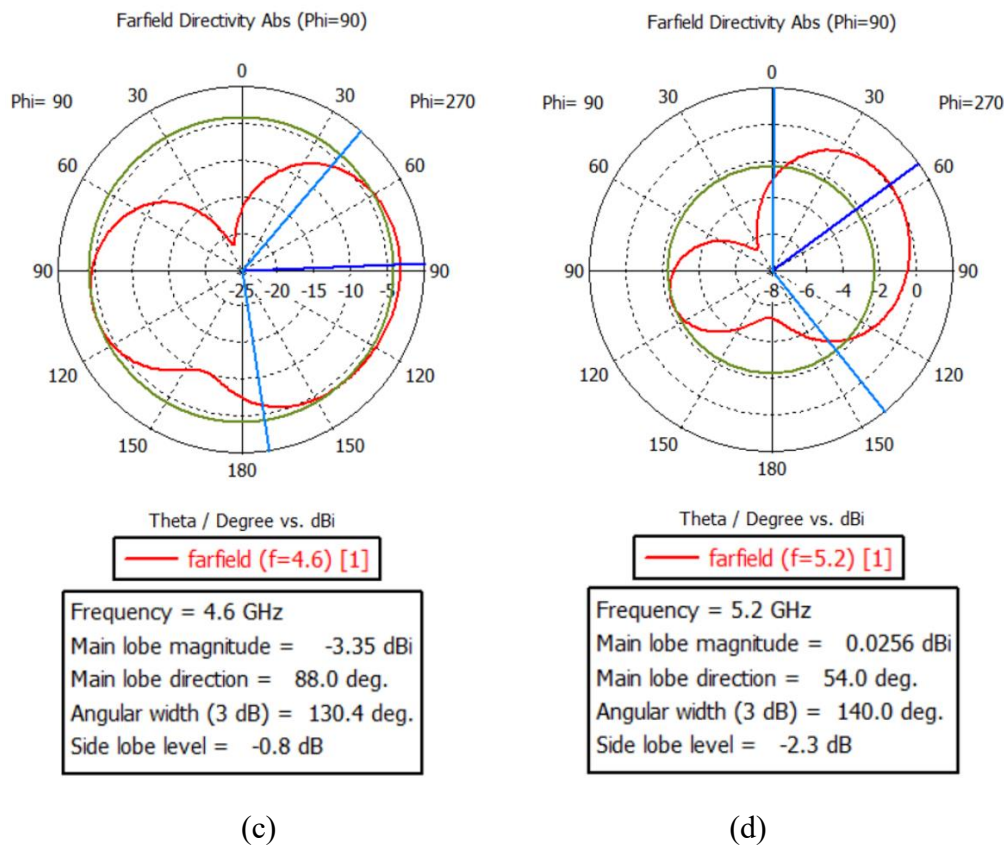
Berdasarkan iterasi $l_6 = 1.12$ mm, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada setiap frekuensi, namun hasil dari perubahan dimensi tersebut membuat koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi 2.6 GHz dan 4.6 GHz mendapatkan kualitas sinyal yang lebih baik. Sedangkan pada frekuensi 2.1 GHz dan 5.2 GHz kualitas sinyalnya menurun. Selanjutnya pada iterasi $l_6 = 1$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 270 MHz dan S_{11} sebesar -16.78 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -22.17 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 490 MHz dan S_{11} sebesar -30.59 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -14.66 dB.

Berdasarkan iterasi $l_6 = 1$ mm, terdapat perubahan kualitas sinyal S_{11} yang signifikan pada frekuensi 4.6 GHz yaitu -30.59 dB, sehingga dimensi l_6 yang paling ideal adalah 1 mm karena dimensi tersebut juga akan memudahkan pada saat proses fabrikasi.



Gambar 3.16 *Gain* simulasi desain kelima pada frekuensi 2.1 GHz dan 2.6 GHz

Gambar 3.16 memperlihatkan *gain* hasil simulasi keempat pada frekuensi 2.1 GHz, 2.6 GHz, dan 4.6 GHz, dan 5.2 GHz. Pada frekuensi 2.1 GHz, antenna memiliki *gain* maksimal sebesar 2.78 dBi dengan arah radiasi utama yaitu pada 133 derajat, dan lebar berkas antenna yang cukup lebar yaitu pada 203.7 derajat pada level -3 dB. Ketika frekuensi naik menjadi 2.6 GHz, *gain* maksimal antenna menurun menjadi 1.51 dBi, namun untuk arah radiasi utamanya bergeser ke 86 derajat, serta lebar berkas antenna yang juga menyempit menjadi 131.6 derajat pada level -3 dB.



Gambar 3.17 *Gain* simulasi desain kelima pada frekuensi 4.6 GHz dan 5.1 GHz

Gambar 3.17 memperlihatkan hasil *gain* pada frekuensi 4.6 GHz, *gain* maksimal pada antenna Kembali menurun menjadi -3.35 dBi, dengan arah *main lobe direction* yang bergeser ke 88 derajat, serta lebar berkas antenna yang menjadi semakin sempit yaitu menjadi 130.4 derajat pada level -3 dB. Terakhir, ketika pada frekuensi 5.2 GHz, *gain* maksimal pada antenna menjadi sangat rendah yaitu hanya 0.0256 dBi, namun untuk arah *main lobe direction* bergeser lagi ke 54 derajat, serta lebar berkas antenna yang menjadi semakin lebar yaitu mencapai 140 derajat pada level -3 dB.

Secara umum karakteristik antenna pada simulasi desain kelima ini mengalami pergeseran seiring dengan kenaikan frekuensi, dengan *gain* yang semakin menurun namun lebar berkas yang menjadi semakin sempit. Hal ini menunjukkan efisiensi antenna yang tetap terjaga dengan level *side lobe* yang rendah. Karakteristik pada simulasi desain keempat ini sama dengan karakteristik pada simulasi sebelumnya yaitu antenna ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan cakupan luas, meskipun tidak memerlukan *gain* yang sangat tinggi.

3.9 Fabrikasi Antena

Setelah perancangan antena mikrostrip selesai, tahap berikutnya adalah fabrikasi antena. Pada tahap ini, desain yang telah disimulasikan dan dioptimasi akan diwujudkan menjadi bentuk fisik yang sebenarnya. Pemilihan substrat yang tepat, pemasangan elemen, dan pembuatan akses pencatuan yang tepat akan menjadi bagian dari proses fabrikasi. Agar karakteristik antena yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi desain, kualitas serta ketelitian dalam fabrikasi juga sangat penting.

3.10 Pengukuran menggunakan VNA

Selanjutnya, antena yang telah difabrikasi selanjutnya akan diukur menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). VNA merupakan peralatan pengukuran yang handal untuk mengevaluasi parameter seperti koefisien refleksi (S_{11}), *bandwidth*, *gain*, serta pola radiasi. Proses pengukuran dilakukan secara sistematis dan agar memperoleh hasil pengukuran yang dapat dipercaya, kalibrasi pada VNA juga merupakan langkah yang sangat penting.

3.11 Analisis hasil simulasi dengan pengukuran

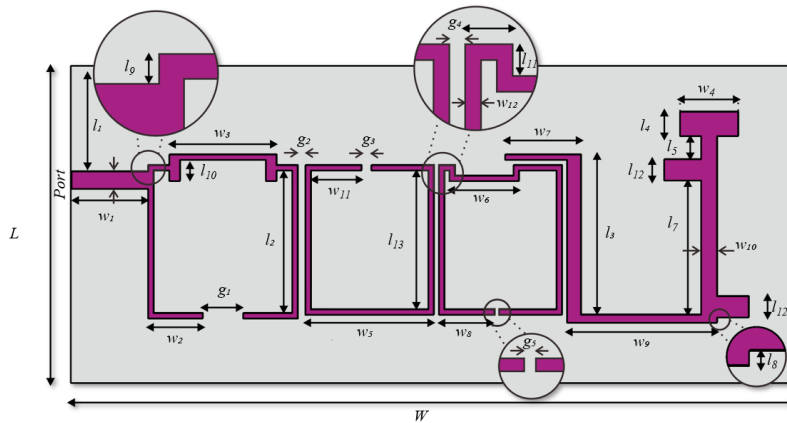
Pada tahap akhir, hasil simulasi dan hasil pengukuran akan harus dibandingkan. Pada tahap analisis ini, akan ditemukan perbedaan yang muncul antara simulasi dan pengukuran. Perbedaan tersebut disebabkan oleh variabel seperti toleransi fabrikasi, variasi bahan, hingga ketidaksempurnaan *set-up* pengukuran juga dapat menyebabkan perbedaan tersebut. Analisis secara menyeluruh akan menghasilkan pemahaman yang lebih baik mengenai titik perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Desain Akhir

Gambar 4.1 memperlihatkan desain penelitian pada struktur akhir. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat lebih banyak modifikasi dari desain sebelumnya. Dimulai dari *patch* pada ring ketiga yaitu terdapat modifikasi dengan penambahan lekukan pada *patch* sisi atas. Diameter panjang lekukan kedalam yaitu (l_{11}) 1 mm, dengan total lebar lekukan (w_6) adalah 5.575 mm sebelum akhirnya naik lagi ke atas. sedangkan pada ring ketiga terdapat modifikasi dengan penambahan lekukan pada *patch* sisi atas. Pada ring keempat memiliki modifikasi dengan penambahan 2 buah stub kembar yang berada di sisi atas *patch* yang memiliki diameter panjang (l_4) 2.3 mm serta lebar (w_{13}) 2 mm. Diameter lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Dimensi struktur desain akhir

Berikut merupakan tabel hasil iterasi l_{12} pada struktur desain akhir yang terletak pada sisi kanan dimensi ring keempat.

Tabel 4.1 Iterasi l_{12} pada Struktur Desain Akhir

l_{12} (mm)	Frekuensi Tengah							
	2.1 GHz		2.6 GHz		4.6 GHz		5.2 GHz	
	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)
3.1	-18.06	260	-18.23	30	-23.58	450	-19.73	50
2.9	-19.67	260	-18.43	30	-23.33	450	-19.84	50

2.6	-22.54	260	-19.49	30	-23.36	450	-19.92	50
2.3	-28.92	250	-21.58	30	-23.61	450	-19.94	50
2	-36.61	240	-28.6	30	-24.83	450	-24.1	50

Tabel 4.1 merupakan hasil iterasi l_{12} yang mana ini merupakan tambahan *patch* yang terdapat pada struktur keempat. Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 yang merupakan iterasi $l_{12} = 3.1$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} sebesar -18.06 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -18.23 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 450 MHz dan S_{11} sebesar 23.58 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan S_{11} sebesar -19.73 dB.

Berdasarkan iterasi $l_{12} = 3.1$ mm, dapat diketahui bahwa dengan menambahkan *patch* pada ring keempat menghasilkan pengaruh yang signifikan pada frekuensi 5.2 GHz yang membuat sinyal tersebut menjadi lebih *smooth*. Namun hasil tersebut masih belum optimal sehingga perlu dilakukan iterasi berikutnya. Selanjutnya iterasi $l_{12} = 2.9$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} -18.06 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -18.43 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 450 MHz dan S_{11} -23.33 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan S_{11} sebesar -19.84 dB.

Berdasarkan iterasi $l_{12} = 2.9$ mm, dapat diketahui bahwa efek dari penambahan dimensi tersebut menghasilkan perubahan yang signifikan, namun pada frekuensi 2.1 GHz terlihat mengalami penurunan sinyal sekitar -1 dB. Selanjutnya pada iterasi $l_{12} = 2.6$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} -22.54 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -19.49 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 450 MHz dan S_{11} -23.36 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan S_{11} sebesar -19.92 dB.

Berdasarkan iterasi $l_{12} = 2.6$ mm, dapat diketahui bahwa dengan melakukan penambahan dimensi tersebut menghasilkan penurunan koefisien refleksi pada

frekuensi 2.1 GHz sebanyak -3 dB dan pada frekuensi 2.6 GHz sebanyak -1 dB. Namun pada frekuensi 4.6 GHz dan 5.2 GHz tidak mengalami perubahan yang signifikan. Selanjutnya pada iterasi $l_{12} = 2.3$ mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} -28.92 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -21.58 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 450 MHz dan S_{11} sebesar -23.61 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan S_{11} sebesar -19.94 dB.

Berdasarkan iterasi $l_{12} = 2.3$ mm, terlihat bahwa pada frekuensi 2.1 GHz mengalami penurunan nilai koefisien refleksi sebesar -6 dB dan pada frekuensi 2.6 GHz sebesar -2 dB. Namun pada frekuensi 4.6 GHz dan 5.2 GHz tidak mengalami perubahan yang signifikan. Selanjutnya pada iterasi $l_{12} = 2$ mm, yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} -36.61 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -28.6 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 450 MHz dan S_{11} sebesar -24.83 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan S_{11} sebesar -24.1 dB.

Berdasarkan iterasi $l_{12} = 2$ mm, terlihat bahwa pada frekuensi 2.1 GHz mengalami penurunan koefisien refleksi atau S_{11} sebesar -8 dB, pada frekuensi 2.6 GHz sebesar -7 dB, pada frekuensi 4.6 GHz sebesar -1 dB, dan pada frekuensi 5.2 GHz sebesar -4 dB. Dari hasil iterasi tersebut, pada iterasi $l_{12} = 3.5$ mm lah yang membuat perubahan kualitas sinyal dengan signifikan kearah yang lebih baik, namun dari setiap iterasi tersebut, dapat diketahui bahwa perubahan dimensi pada l_{12} tidak berdampak apapun terhadap nilai *bandwidth*.

Berikut merupakan Tabel 4.2 yang menampilkan rincian dimensi pada struktur desain akhir, yang mana pada struktur ini terdapat beberapa tambahan dimensi *patch* dan perubahan nama dimensi.

Tabel 4.2 Dimensi Struktur Desain Akhir

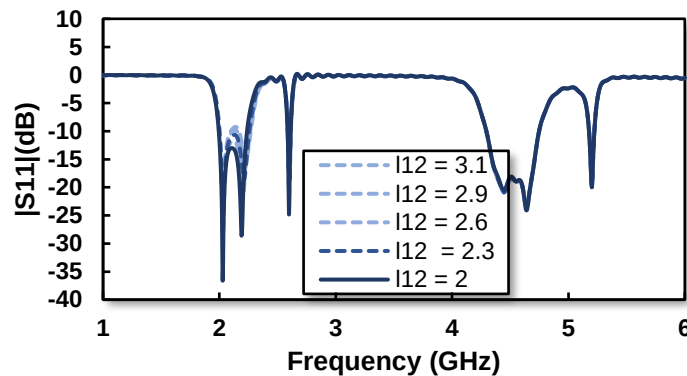
Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm	Parameters	Unit/mm
L	30	W	67,08	g_1	3.85
l_1	10,26	w_1	7,26	g_2	0,75
l_2	13,5	w_2	6.575	g_3	0,95
l_3	15,15	w_3	8.15	g_4	0,5
l_4	2,3	w_4	5.5	g_5	0,45
l_5	17.65	w_5	12.5		
l_6	2	w_6	14		
l_7	12.7	w_7	7.17		
l_8	0.5	w_8	14.2		
l_9	0.6	w_9	14.2		
l_{10}	2	w_{10}	1,5		
l_{11}	1	w_{11}	5.9		
l_{12}	2	w_{12}	0.5		

4.1.1 Return Loss

Gambar 4.2 memperlihatkan hasil simulasi akhir yang dilakukan pada frekuensi yang sama seperti pada desain struktur 5, yang mana bekerja pada frekuensi 2.1 GHz, 2.6 GHz, 4.6 GHz, 5.2 GHz. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S11 menghasilkan *dual wideband* dan *dual narrowband*. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa *wideband* pada frekuensi bawah memiliki *bandwidth* sebesar 350 MHz, disusul dengan *narrowband* pada frekuensi 2.6 GHz. Kemudian pada frekuensi atas terdapat *wideband* dengan *bandwidth* sebesar 550 MHz disusul dengan *narrowband* pada frekuensi 5.2 GHz.

Berdasarkan modifikasi yang dilakukan pada struktur desain akhir, penambahan dua buah stub yang tidak simetris pada ring keempat memberikan pengaruh pada *wideband* frekuensi atas yang membuatnya menjadi lebih lebar dan hampir simetris di kedua sisi nya, sedangkan untuk modifikasi penambahan lekukan pada ring ketiga memberikan pengaruh pada *wideband* frekuensi bawah yang

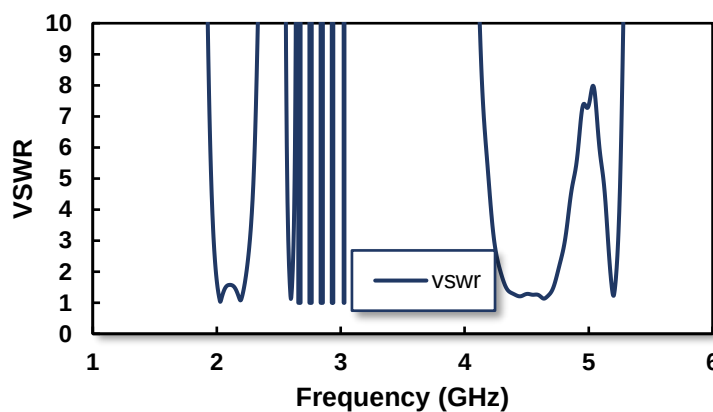
membuatnya menjadi lebih turun, dari yang sebelumnya hanya pada -7.26 dB menjadi -12.98 dB.



Gambar 4.2 Hasil simulasi desain akhir

4.1.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

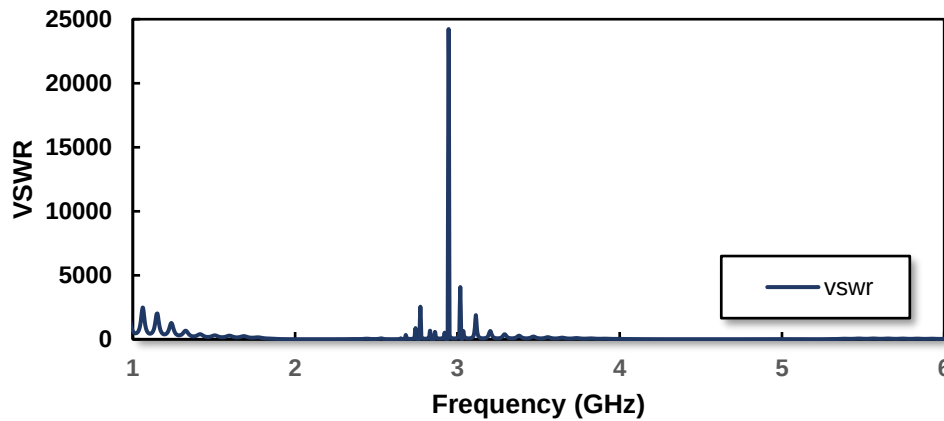
Gambar 4.3 menampilkan nilai VSWR dalam rentang frekuensi 0 GHz hingga 6 GHz. VSWR sendiri merupakan parameter yang penting dalam perancangan suatu sistem antenna. Berdasarkan grafik pada frekuensi minimum yaitu pada 2.658 GHz, nilai VSWR yang didapat adalah 1, hal ini menunjukkan bahwa adanya kesesuaian impedansi yang baik dan sistem dapat bekerja secara optimal.



Gambar 4.3 VSWR pada frekuensi minimum

Gambar 4.4 Menampilkan grafik pada frekuensi maksimum yaitu pada 2.946 GHz. berdasarkan grafik tersebut, nilai VSWR yang didapat adalah 24230.792 yang mana hal ini menunjukkan bahwa terjadi ketidaksesuaian impedansi yang sangat besar, sehingga refleksi sinyal juga sangat tinggi. Dari hal tersebut juga,

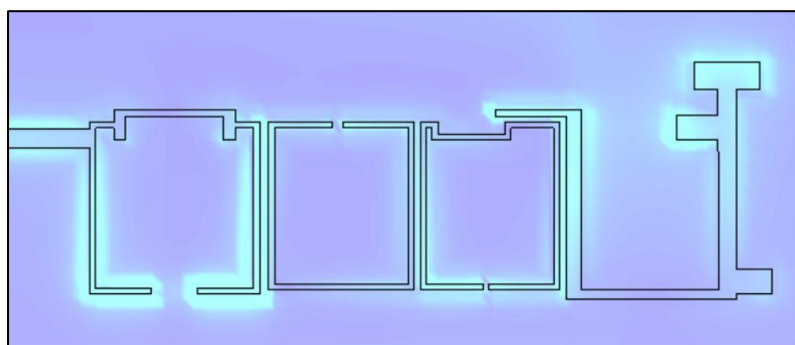
sistem tidak dapat bekerja optimal pada frekuensi maksimum yaitu pada 2.946 GHz.



Gambar 4.4 VSWR pada frekuensi maksimum

4.1.3 Distribusi *E-Field* pada Frekuensi 2.1 GHz

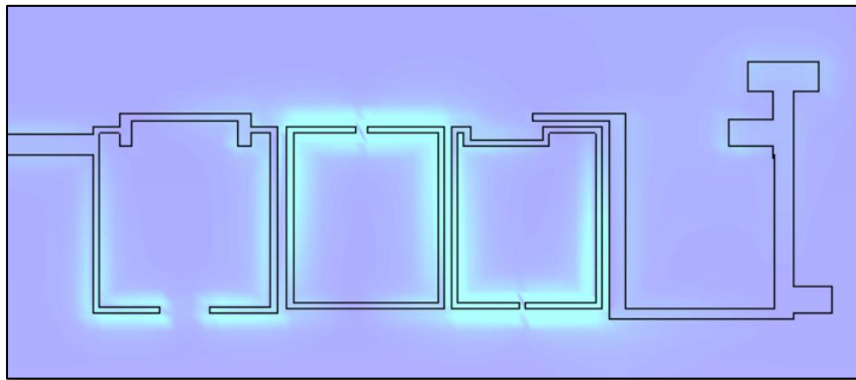
Gambar 4.5 menunjukkan visualisasai dari distribusi medan listrik atau *E-field* pada frekuensi 2.1 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola radiasi *E-field* terdistribusi secara melebar yang lebih tertuju kepada arah *gap* dan resonator nya. Karakteristik ini menunjukkan bahwa pada frekuensi 2.1 GHz, antenna memiliki pola distribusi yang cukup lebar serta jangkauannya yang luas. Daerah dengan *E-field* yang terlihat lebih terang mengindikasikan adanya radiasi utama dari antenna, sedangkan untuk daerah sekitarnya dengan intensitas *E-field* yang lebih rendah menunjukkan adanya lobe-lobe samping yang tidak terlalu dominan.



Gambar 4.5 *E-Field* pada frekuensi 2.1 GHz

4.1.4 Distribusi *E-Field* pada Frekuensi 2.6 GHz

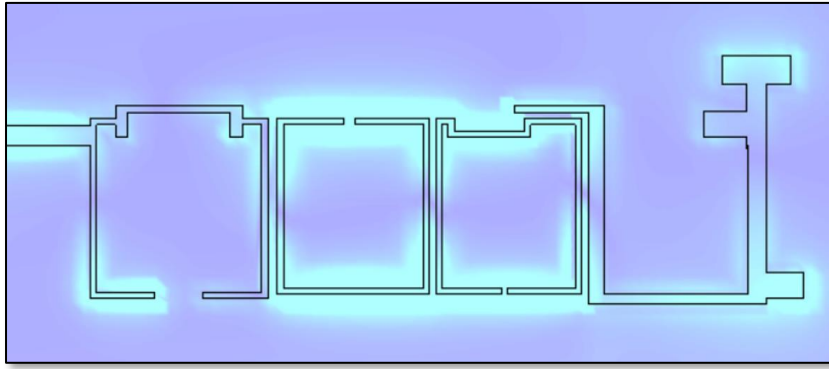
Gambar 4.6 menunjukkan visualisasai dari distribusi medan listrik atau *E-field* pada frekuensi 2.6 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola distribusi yang lebih terfokus di bagian tengah dengan jalur yang selalu melewati *gap* antenna itu sendiri, sementara intensitas dibagian lainnya cenderung lebih rendah. Pola ini mengindikasikan bahwa pada frekuensi 2.6 GHz, antenna memiliki pola radiasi yang lebih refocus dan terarah, sehingga antenna dapat bekerja lebih efisien dibandingkan pada frekuensi 2.1 GHz yang pola radiasi nya kurang terarah.



Gambar 4.6 *E-Field* pada frekuensi 2.6 GHz

4.1.5 Distribusi *E-Field* pada Frekuensi 4.6 GHz

Gambar 4.7 menunjukkan visualisasai dari distribusi medan listrik atau *E-field* pada frekuensi 4.6 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa antenna memiliki pola distribusi yang tampak lebih kompleks dan tidak terfokus di satu area tertentu. Walau secara keseluruhan distribusinya terlihat lebih merata, terdapat juga beberapa area yang intensitas E-field yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada frekuensi 4.6 GHz, antenna memiliki pola radiasi yang lebih lebar namun tidak terlalu terarah.

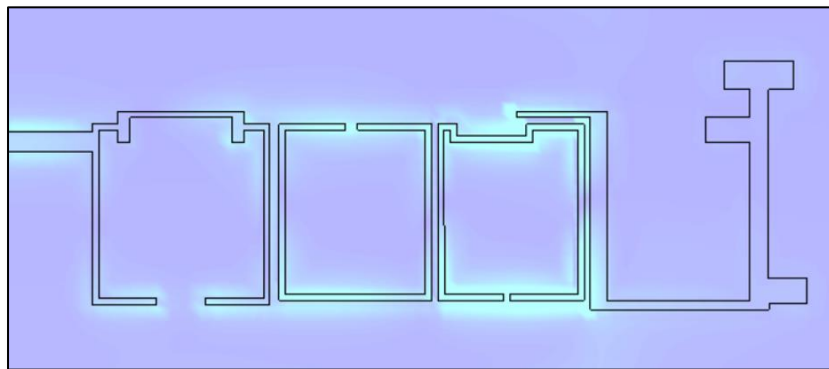


Gambar 4.7 E-Field pada frekuensi 4.6 GHz

4.1.6 Distribusi *E-Field* pada Frekuensi 5.2 GHz

Gambar 4.8 menunjukkan visualisasai dari distribusi medan listrik atau *E-field* pada frekuensi 5.2 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola distribusi *E-field* pada frekuensi 5.2 GHz memiliki pola distribusi yang terpusat dan terfokus pada area-area tertentu. Terdapat juga beberapa zona yang memiliki intensitas lebih tinggi, sementara disekitarnya cenderung lebih rendah.

Dari pola tersebut, mengindikasikan bahwa pada ferkuensi 5.6 GHz, antenna memiliki pola radiasi yang terarah serta terdapat satu atau beberapa lobe radiasi utama yang sangat dominan, dengan energi yang terkonsentrasi pada daerah daerah yang lebih spesifik.

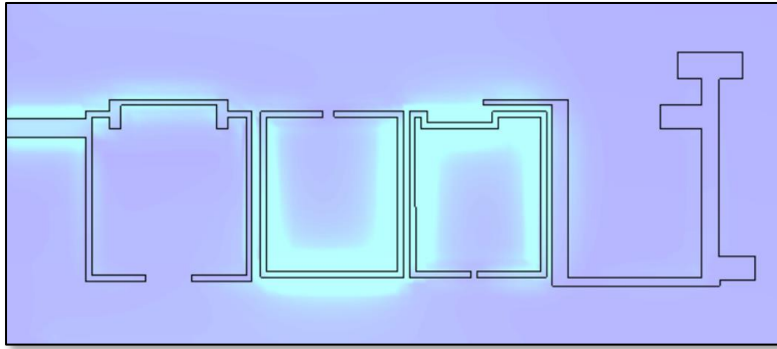


Gambar 4.8 *E-Field* pada frekuensi 5.2 GHz

4.1.7 Distribusi *H-Field* pada Frekuensi 2.1 GHz

Gambar menunjukkan visualisasai dari distribusi medan magnet atau *H-field* pada frekuensi 2.1 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pada frekuensi 2.1 GHz, pola distribusi medan magnet memiliki jalur yang searah dengan resonator

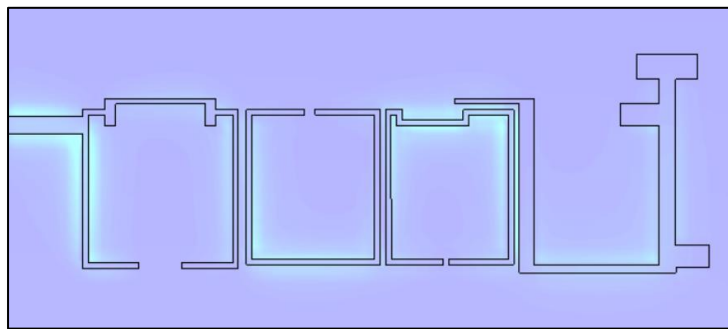
nya dan menghindari jalur ke arah *gap*, sedangkan pada ujung *patch* ring keempat, tidak terlihat dilalui oleh jalur distribusi medan magnet. Namun secara keseluruhan, distribusi *H-field* pada frekuensi 2.1 tampak tidak lebih merata jika dibandingkan dengan *E-field*. Hal ini menunjukkan bahwa antenna memiliki karakteristik yang seimbang antara medan listrik dan medan magnet nya.



Gambar 4. 9 *H-Field* pada frekuensi 2.1 GHz

4.1.8 Distribusi *H-Field* pada Frekuensi 2.6 GHz

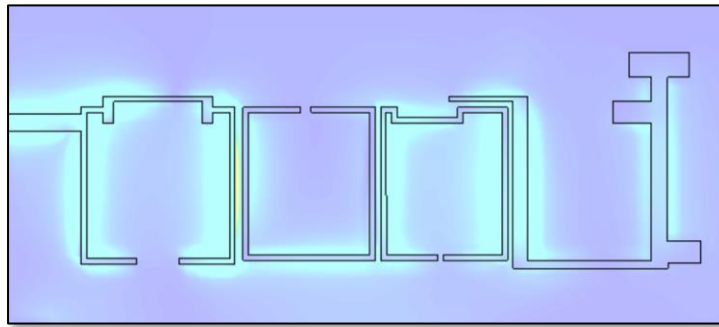
Gambar 4.10 menunjukkan visualisasai dari distribusi medan magnet atau *H-field* pada frekuensi 2.6 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola distribusi terlihat lebih redup dibandingkan seperti pada sebelumnya, terlebih jika dibandingkan dengan pola distribusi *E-field* yang mana memiliki pola distribusi yang sangat luas. Hal ini menunjukkan bahwa *H-field* pada frekuensi 2.6 GHz memiliki pola radiasi medan magnet yang lebih terfokus dan terarah. Namun, pola seperti ini akan menjadi kurang fleksibel dalam cakupan area yang lebih luas.



Gambar 4.10 *H-Field* pada frekuensi 2.6 GHz

4.1.9 Distribusi *H-Field* pada Frekuensi 4.6 GHz

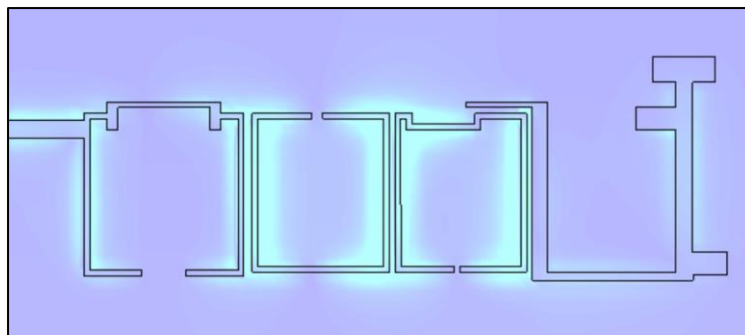
Gambar 4.10 menunjukkan visualisasai dari distribusi medan magnet atau *H-field* pada frekuensi 4.6 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola distribusi *H-field* memiliki intensitas yang sangat tinggi, terutama dibagian *patch* ring pertama dan ketiga. Hal ini mengindikasikan bahwa antenna memiliki pola distribusi medan magnet yang cukup luas, yang hampir serupa dengan pola distribusi *E-field* di ferkuensi 4.6 GHz



Gambar 4. 11 *H-Field* pada frekuensi 4.6 GHz

4.1.10 Distribusi *H-Field* pada Frekuensi 5.2 GHz

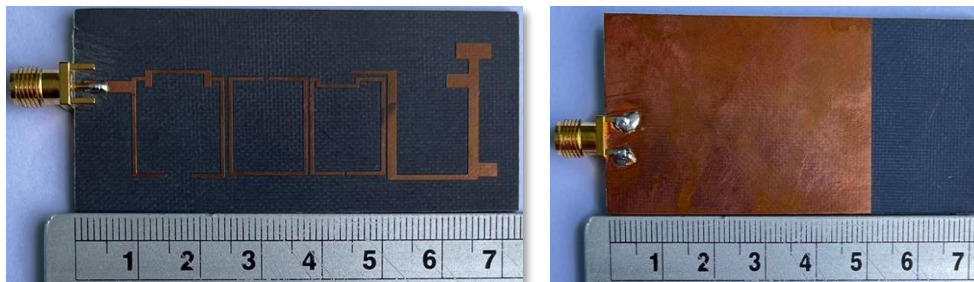
Gambar xxx menunjukkan visualisasai dari distribusi medan magnet atau *H-field* pada frekuensi 5.2 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola distribusi medan magnet *H-field* memiliki pola yang cukup menonjol pada bagian tengah, khusus nya pada *patch* ring kedua dengan *patch* ring ketiga. Namun pada *patch* ring ketiga, pola distribusi medan magnet yang melewatinya hanya memiliki intensitas yang rendah. Hal ini sangat persis seperti yang terjadi pada pola distribusi *E-field* yang memiliki intensitas dangat rendah pada *patch* ring keempat nya.



Gambar 4. 12 H-Field pada frekuensi 5.2 GHz

4.2 Realisasi *Microstrip Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna*

Antena yang sebelumnya dirancang dan disimulasikan menggunakan *software* CST Studio Suite dan direalisasikan dengan menggunakan substrat yang sebelumnya sudah ditentukan sebelumnya yaitu Duroid Rogers RT 5880 dengan $h = 1,575$ mm, $\epsilon_r = 2,2$, dan $\tan \delta = 0,0009$ di pabrik percetakan antena mikrostrip. Realisasi antena mikrostrip yang telah dirancang terlihat pada Gambar 4.13



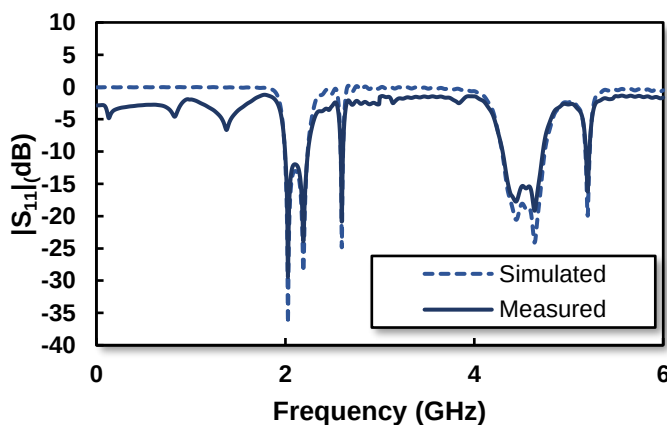
Gambar 4.13 Realisasi *microstrip dual wideband dan dual narrowband filtering antenna*

Gambar 4.3 Merupakan antena mikrostrip dari desain akhir yang sudah difabrikasi. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa antena yang sudah difabrikasi memiliki selisih dari desain yang sebelumnya di simulasikan. Pada desain sebelumnya, lebar keseluruhan (w) antena adalah 67.08, sedangkan pada antena yang sudah difabrikasi memiliki diameter 72 mm. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena adanya kekeliruan dalam pemotongan pada fabrikasi.

4.3 Hasil Simulasi dan Pengukuran *Microstrip Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna*

Gambar 4.14 merupakan perbandingan *return loss* antara hasil pengukuran dan hasil simulasi. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa perbandingan grafik simulasi dan pengukuran untuk parameter S_{11} menunjukkan pola yang serupa dan keduanya menghasilkan grafik *dual wideband* dan *dual narrowband*. *Wideband* pada frekuensi bawah memiliki hasil yang hampir serupa yang manamemiliki *bandwidth* sekitar 300 MHz, sedangkan pada frekuensi atas, terdapat *bandwidth* sekitar 730 MHz.

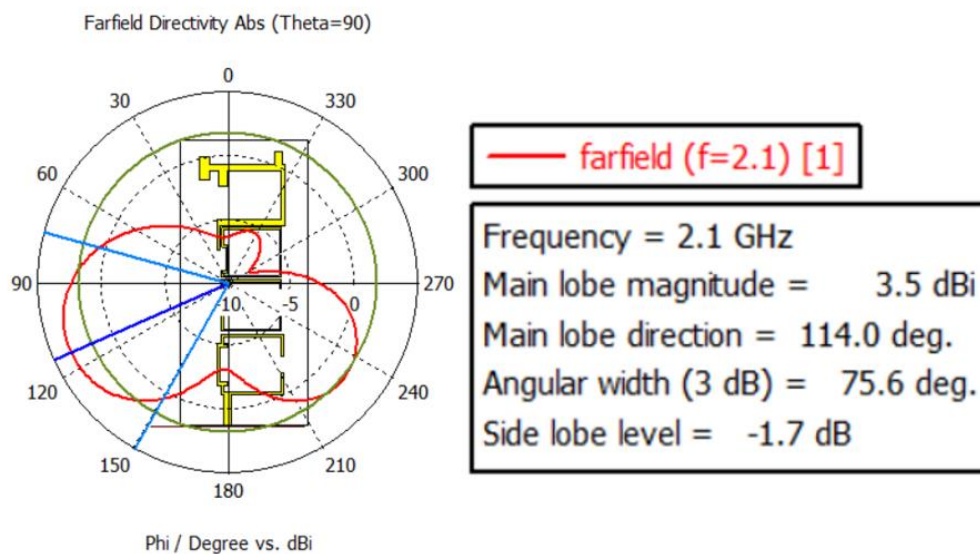
Secara keseluruhan, grafik pada simulasi dan pengukuran terlihat cukup selaras, meskipun terdapat beberapa perbedaan kecil yang pada pada frekuensi 0 hingga 2 GHz, grafik menunjukkan terdapat beberapa puncak dan lembah. Secara umum, grafik hasil simulasi dan pengukuran mengindikasikan bahwa model simulasi antenna yang digunakan telah cukup akurat dalam memprediksi kinerja antenna secara nyata. Namun, perbedaan-perbedaan kecil yang dihasilkan dapat disebabkan oleh kesalahan pada saat fabrikasi, mengingat desain antenna memiliki bentuk yang kompleks.



Gambar 4.14 Hasil simulasi dan pengukuran

4.4 Pola radiasi dan *Gain* pada Frekuensi 2.1

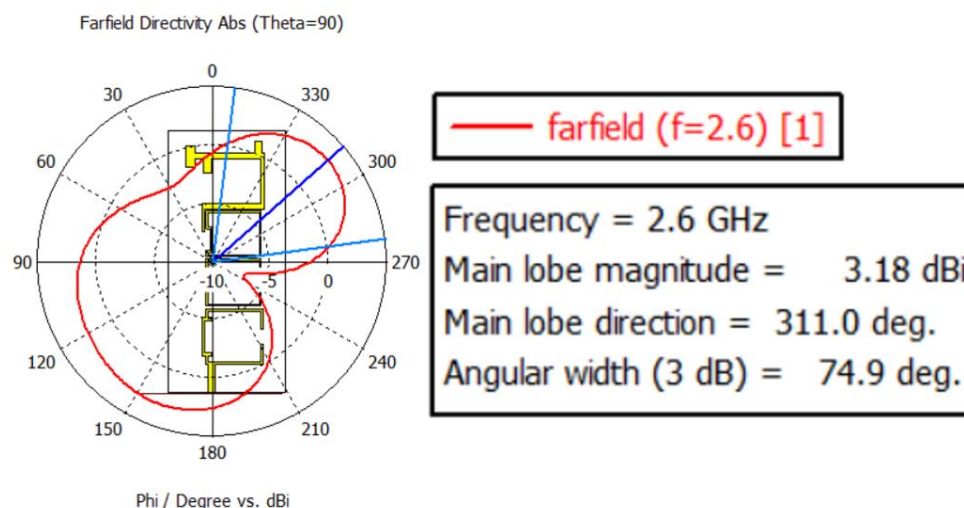
Gambar 4.15 merupakan pola radiasi antenna pada fekuensi 2.1 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa antenna menunjukkan karakteristik pola radiasi yang memiliki sifat *directional*, yang berarti radiasi terfokus pada satu arah utama. Pola radiasi pada frekuensi ini memiliki *main lobe* pada arah 114 derajat dengai nilai magnitude 3.5 dBi, ini menandakan bahwa antenna memancarkan dan menerima sinyal secara optimal pada arah tersebut. Sedangkan untuk lebar berkas pada -3 dB adalah 75.6 derajat dan *side lobe* yang lebih rendah -1.7 dB, menunjukkan cakupan area yang cukup terfokus.



Gambar 4.15 Pola radiasi dan *gain* pada frekuensi 2.1

4.5 Pola radiasi dan *Gain* pada Frekuensi 2.6

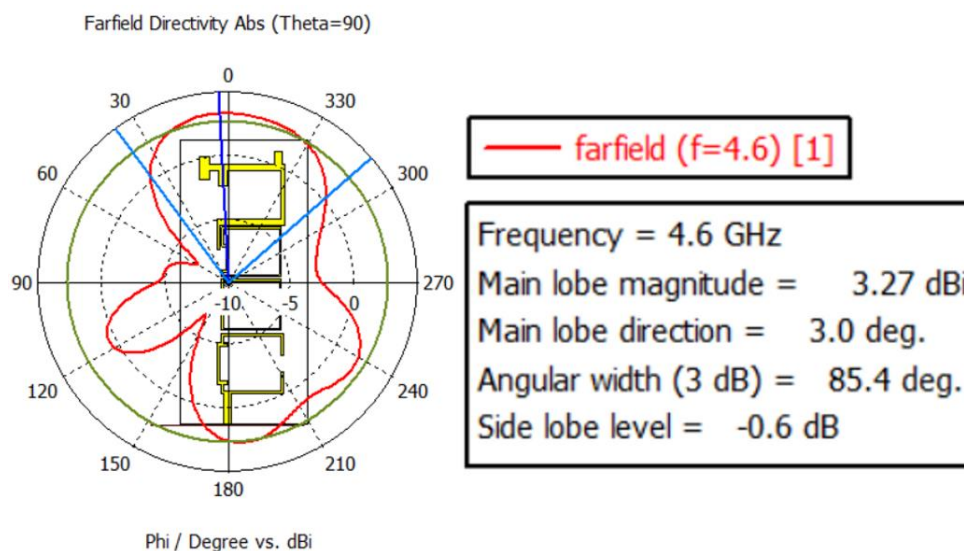
Gambar 4.16 merupakan pola radiasi antenna pada fekuensi 2.6 GHz. berdasarkan gambar tersebut menunjukan pola radiasi dengan *main lobe* pada arah 311 derajat dan lobe utama memiliki magnitude 3.18 dBi serta lebar berkas 74.9 derajat. Mengindikasikan radiasi yang terpusat pada area yang sempit. Selain *main lobe*, terdapat juga *lobe* samping dengan level yang tidak disebutkan secara eksplisit.



Gambar 4.16 Pola radiasi dan *gain* pada frekuensi 2.6

4.6 Pola radiasi dan *Gain* pada Frekuensi 4.6

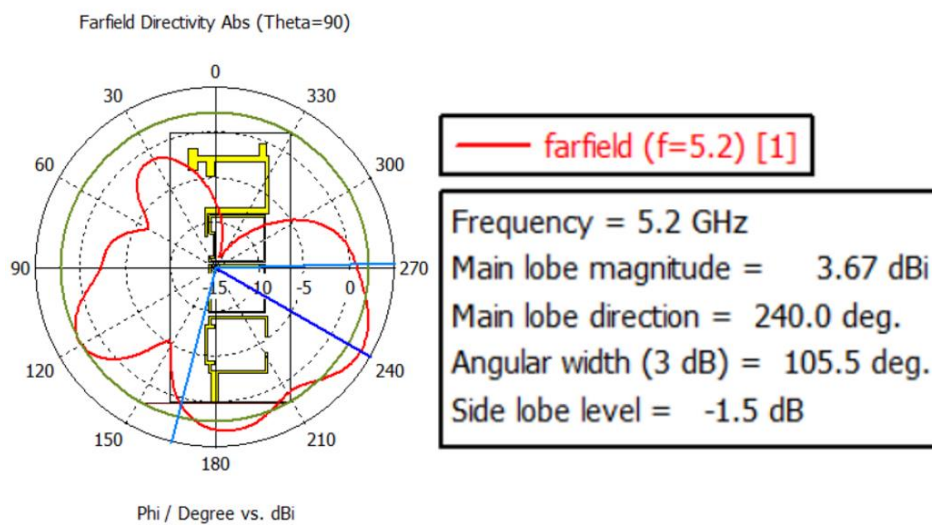
Gambar 4.17 merupakan pola radiasi antenna pada fekuensi 2.6 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola radiasi memiliki *main lobe* yang tefokus pada arah 125.6 derajat dengan magnitude 1.27 dBi dan lebar berkas 67.9 derajat. Meskipun *magnitude lobe* utama tidak terlalu tinggi, namun karakteristik antenna seperti ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan cakupan luas meskipun tidak membutuhkan *gain* yang sangat tinggi.



Gambar 4.17 Pola radiasi dan *gain* pada frekuensi 4.6

4.7 Pola radiasi dan *Gain* pada Frekuensi 5.2

Gambar 4.18 merupakan pola radiasi antenna pada fekuensi 5.2 GHz. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pola radiasi memiliki *main lobe* yang tefokus pada arah 240 derajat dengan magnitude 3.67 dBi dan lebar berkas 105.5 derajat, serta *sidelobe* yaitu pada -1.5 derajat.



Gambar 4.18 Pola radiasi dan *gain* pada frekuensi 5.2

Keberadaan *sidelobe* dengan level yang lebih rendah ini mengindikasikan bahwa radiasi samping masih terkontrol dan tidak akan memberikan intrerferensi yang signifikan, sehingga secara keseluruhan kinerja antenna dapat diterima. Karakteristik pada antenna ini juga sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pengarahannya radiasi yang cukup luas, akan tetapi tetap memerlukan fokus pada arah tertentu, seperti pada sistem komunikasi *indoor* atau sistem akses poin nirkabel.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil Kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan *single wideband filtering antenna* pada frekuensi bawah atau pada frekuensi 2.1 GHz, menghasilkan nilai koefisien refleksi -28.7 dB dan *bandwidth* sebesar 80 MHz, telah sukses dirancang dengan membuat empat ring yang masing-masing dari ring tersebut memiliki *gap* yang tidak saling berhadapan, dan pada ring keempat memiliki bentuk yang berbeda dari ketiga ring tersebut. Sedangkan untuk *Single wideband filtering antenna* pada frekuensi atas dirancang dengan melakukan optimasi *patch* resonator w_7 pada ring keempat yang pada frekuensi 4.6 GHz, menghasilkan nilai koefisien refleksi sebesar -30.62 dB dengan *bandwidth* sebesar 280 MHz.
2. *Dual wideband* dan *single narrowband filtering antenna* sukses dirancang dengan melakukan penambahan panjang dimensi pada l_2 dan l_3 serta optimasi *gap* g_1 pada ring pertama sehingga pada frekuensi 2.1 menghasilkan nilai S_{11} sebesar -23.74 dB dan *bandwidth* sebesar 260 MHz. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar -16.88 dB dan *bandwidth* sebesar 30 MHz. Dan pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar -12.78 dB dan *bandwidth* sebesar 310 MHz.
3. *Dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* sukses dirancang dengan melakukan penambahan dimensi *patch* w_{13} dan l_5 serta perubahan dimensi pada w_3 dan optimasi pada l_6 . Namun hasil yang didapatkan lebih dioptimalkan lagi dengan melakukan perubahan bentuk *patch* pada w_6 ring ketiga dan penambahan *patch* l_{12} yang terletak pada sisi kiri atas dan kanan bawah ring keempat. Sehingga pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar -36.61 dB dan *bandwidth* sebesar 240 MHz, pada frekuensi 2.6 menghasilkan S_{11} sebesar -28.6 dB dan *bandwidth* sebesar 30 Mhz. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar -24.83 dB dan *bandwidth* sebesar 450 MHz. Sedangkan pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar 24.1 GHz dan *bandwidth* sebesar 50 MHz.

4. Hasil perbandingan antara simulasi dan pengukuran menunjukkan hasil yang selaras. Namun terdapat beberapa perbedaan yang dimungkinkan terjadi akibat adanya kekeliruan pada saat fabrikasi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan jenis substrat yang berbeda, guna mendapatkan hasil pengukuran yang lebih baik lagi.
2. Disarankan menggunakan *software* lain untuk melakukan perbandingan hasil simulasi.
3. Disarankan pada saat melakukan fabrikasi, agar lebih teliti dan sesuai dengan dimensi pada saat simulasi, karena jika dimensi berubah walau hanya sedikit, maka akan mempengaruhi pergeseran frekuensi yang signifikan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] L. Chen, B. Ma, W. Wu, and Q. Liu, "A Novel Design of Miniature Filter-antenna with Broad Stop-band Characteristic," in *IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS)*, IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS), 2017. doi: 10.1109/EDAPS.2017.8277002.
- [2] D. Yang, H. Zhai, C. Guo, and H. Li, "A Compact Single-Layer Wideband Microstrip Antenna with Filtering Performance," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 19, no. 5, pp. 801–805, May 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.2980631.
- [3] Wei-Jun Wu, Chun Wang, Rong Fan, and Jun Wang, "A Compact and Anti-interference Filter-antenna for Modern Wireless Communication Systems," 2015.
- [4] J. K. Xiao, M. Zhu, Y. Li, L. Tian, and J. G. Ma, "High Selective Microstrip Bandpass Filter and Diplexer With Mixed Electromagnetic Coupling," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 25, no. 12, pp. 781–783, Dec. 2015, doi: 10.1109/LMWC.2015.2495194.
- [5] J. Cui, S. Yan, J. Chen, J. Li, A. Zhang, and Y. Qiao, "Design of a Multilayer Structure Microwave Filtering Antenna," 2019.
- [6] J. Chen, D. Shen, and X. Zhang, "Wide Stopband Filtering Antenna with High Gain for Ka Band," in *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, APMC*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020, pp. 816–818. doi: 10.1109/APMC47863.2020.9331584.
- [7] K. Dhvaj, L. J. Jiang, and T. Itoh, "Dual-Band Filtering Antenna With Novel Transmission Zero Characteristics," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 17, no. 12, pp. 2469–2473, Dec. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2878417.
- [8] C. Guo, H. Zhai, and S. Liu, "A New Dual-Band Microstrip Antenna Array With High Isolation by Waveguided Metamaterial Structure," *Microw Opt Technol Lett*, vol. 61, no. 5, pp. 1365–1370, May 2019, doi: 10.1002/mop.31707.
- [9] Y. I. A. Al-yasir *et al.*, "Design of a Wide-Band Microstrip Filtering Antenna With Modified Shaped Slots and Sir Structure," *Inventions*, vol. 5, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.3390/inventions5010011.
- [10] Z. Licheng, "A Filtering Antenna Based on Stripline Low Pass Filter," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, 2018.
- [11] X. Y. Wang, S. C. Tang, X. F. Shi, and J. X. Chen, "A Low-Profile Filtering Antenna Using Slotted Dense Dielectric Patch," *IEEE Antennas Wirel*

- Propag Lett*, vol. 18, no. 3, pp. 502–506, Mar. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2895320.
- [12] Q. Wu, Y. Shi, and L. Li, “Wideband Dual-Polarized Differential-Fed Filtering Microstrip Patch Antenna with High Suppression and Wide Stopband,” *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 2023, pp. 1–10, Apr. 2023, doi: 10.1155/2023/6682038.
 - [13] K. Xu and J. Shi, “A Compact Filtering Antenna Using Dielectric Strip Resonator and Parallel Microstrip Feed Line,” *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 30, no. 9, Sep. 2020, doi: 10.1002/mmce.22334.
 - [14] H. R. Das, R. Dey, and S. Bhattacharya, “A Review Paper on Design for Microstrip Patch Antenna,” Zibeline International Publishing, Mar. 2021, pp. 166–168. doi: 10.26480/etit.02.2020.166.168.
 - [15] W. A. Awan, A. Zaidi, M. Hussain, N. Hussain, and I. Syed, “The Design of a Wideband Antenna With Notching Characteristics for Small Devices Using a Genetic Algorithm,” *Mathematics*, vol. 9, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/math9172113.
 - [16] L. Ruhjana, “Antena Mikrostrip untuk Aplikasi Wlan,” vol. 2, no. 2, pp. 2746–1209, May 2021.
 - [17] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design (4th ed.)*. 2016.
 - [18] S. Hadi Saputra, A. Endang Jayati, dan Erlinasari, and J. Teknik Elektro, “Rancang Bangun Antena Patch Circular Dengan Teknik Linier Array untuk Frekuensi WiFi 2,4 GHz,” *eLEKTRIKAL*, vol. 11, no. 1, pp. 9–14, 2019.
 - [19] S. Romadhona, D. Alia, and M. Zulfida, “Perancangan dan Analisis Antena Dipole Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk Modul Xbee S2 Pro Menggunakan HFFS 14.0,” *AVITEC*, vol. 2, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i1.535.
 - [20] L. Hepi, Elisma, P. Wasit, and Nurfiana, “Analisa Karakteristik Antena Mikrostrip Lingkaran Berbahan Substrat Material Dielektrik Artifisial pada Frekuensi 1800 MHz,” pp. 276–283, Dec. 2018.
 - [21] Y. I. A. Al-Yasir *et al.*, “A new and compact wide-band microstrip filter-antenna design for 2.4 ghz ISM band and 4G applications,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, pp. 1–13, Jul. 2020, doi: 10.3390/electronics9071084.
 - [22] C. X. Mao, Y. Zhang, X. Y. Zhang, P. Xiao, Y. Wang, and S. Gao, “Filtering Antennas: Design Methods and Recent Developments,” *IEEE Microw Mag*, vol. 22, no. 11, pp. 52–63, Nov. 2021, doi: 10.1109/MMM.2021.3102199.

- [23] X. Liu, Y. Wu, Z. Zhuang, W. Wang, and Y. Liu, "A Dual-Band Patch Antenna for Pattern Diversity Application," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 51986–51993, Sep. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2870142.
- [24] S. Mondal, D. Kumar, and P. Chahal, "Recent Advances and Applications of Passive Harmonic RFID Systems: A Review," *Micromachines*, vol. 12, no. 4. MDPI AG, Apr. 01, 2021. doi: 10.3390/mi12040420.
- [25] G. B. Wiryawan, K. Fayakun, H. Ramza, M. A. Zakariya, E. Roza, and D. A. Cahyasiwi, "Antena-Filter Hairpin dengan Peningkatan Perolehan untuk Aplikasi 5G," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 18, no. 4, Dec. 2022, doi: 10.17529/jre.v18i4.27754.
- [26] G. Srivastava, L. H. Son, R. Kumar, and M. Khari, "A Dual Band Notched Ultra-Wideband Antenna," *Wirel Pers Commun*, vol. 110, no. 2, pp. 1021–1032, Jan. 2020, doi: 10.1007/s11277-019-06771-7.
- [27] S. Roy and U. Chakraborty, "Metamaterial Based Dual Wideband Wearable Antenna for Wireless Applications," *Wirel Pers Commun*, vol. 106, no. 3, pp. 1117–1133, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11277-019-06206-3.
- [28] Z. Deng, C. Lai, Y. Wang, and K. Deng, "Design of a Quadruple Band-Notched Ultra-Wideband (UWB) Antenna Using Curled C-Shaped Structures and Interdigital Inductance Slots," *Electronics (Switzerland)*, vol. 11, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/electronics11233949.
- [29] M. A. Fadhlurrohman and D. Kristyawati, "Perancangan dan Analisa Antena Mikrostrip Patch 3.5 GHz Menggunakan Software CST Studio Suite 2022 untuk Teknologi 5G," *JUIT*, vol. 2, no. 2.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A
TABEL PERBANDINGAN PERFORMA

Tabel A. 1 Perbandingan Performa dari Referensi Lainnya

Ref.	Metode	Av. Gain	Bandwidth	Kompleksitas	Koefisien refleksi	Ukuran
[5]	<i>Multilayer Structur</i>	2.2 dBi	2.7% = 70 MHz	<i>Simple</i>	-13.53 dB	29.4×17.5 mm
[6]	<i>Wide Stopband Filtering Antenna with High Gain</i>	3 dBi	26-34 GHz =800 MHz MHz and 37.5-38.5 GHz = 100 MHz	<i>Complex</i>	NA	28×18 mm
[7]	<i>Dual-Band Filtering Antenna with Novel Transmission Zero Characteristic</i>	4.8 dBi	1.2% = 50 MHz and 2.9% = 136 MHz	<i>Complex</i>	-10 dB	70×50 mm
[9]	<i>Filtering Antenna with Modified Shaped Slots and SIR Structur</i>	3 dBi	30% = 1.950 MHz	<i>Simple</i>	-18.2 dB	1.2×1mm
[10]	<i>Filtering Antenna Based on Stripline Low Pass Filter</i>	-10 dBi	27% = 60 MHz	<i>Complex</i>	NA	46.5×26.8mm
[12]	<i>Dual-Polarized Differential-Fed Filtering Microstrip Patch Antenna with High Suppression and Wide Stopband</i>	9.9 dBi	30% = 1000 MHz	<i>Simple</i>	NA	0.92×0.92mm
[13]	<i>Filtering Antenna using Dielectric Strip Resonator and Parallel Microstrip Feedline</i>	7.1 dBi	4% = 196 MHz	<i>Simple</i>	NA	0.98×0.98mm
<i>This Work</i>	<i>Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna</i>	>3 dBi	>400 MHz, 70 MHz, 650 MHz, & 120 MHz	<i>Complex</i>	-36.67 dB	30×67.08mm

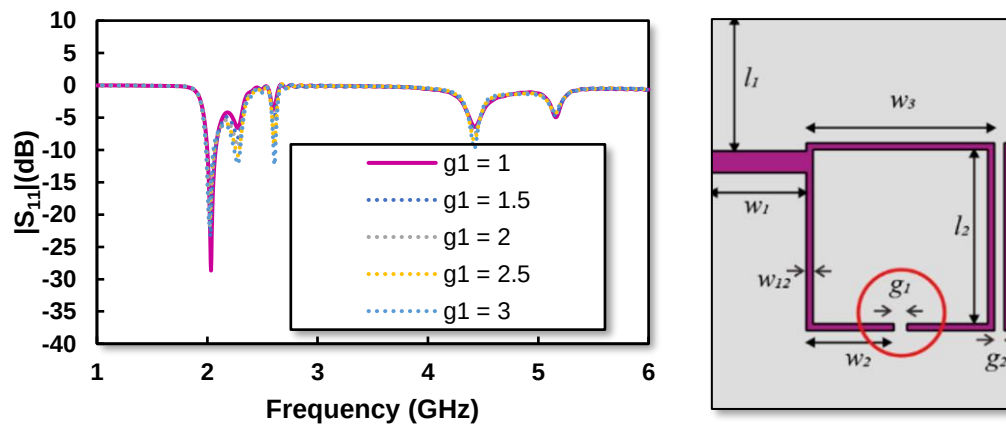
NA = *Not Available*

LAMPIRAN B

ITERASI

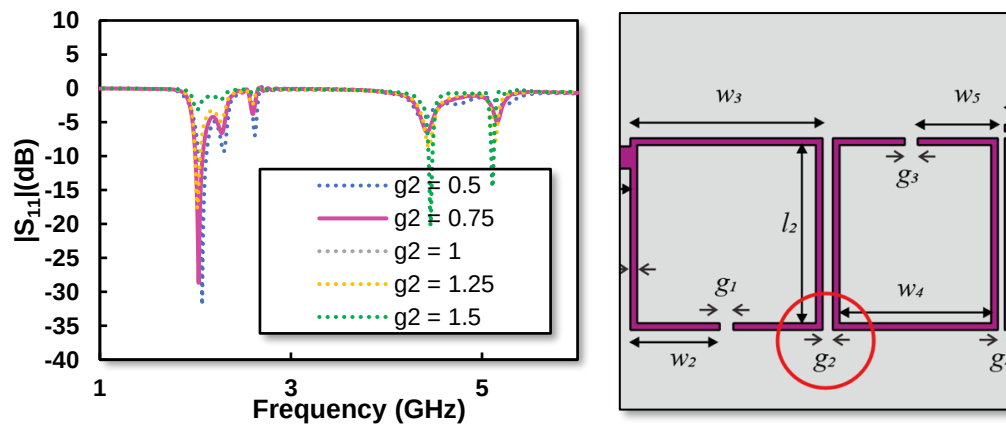
A. Desain Pertama

1. Iterasi pada g_1



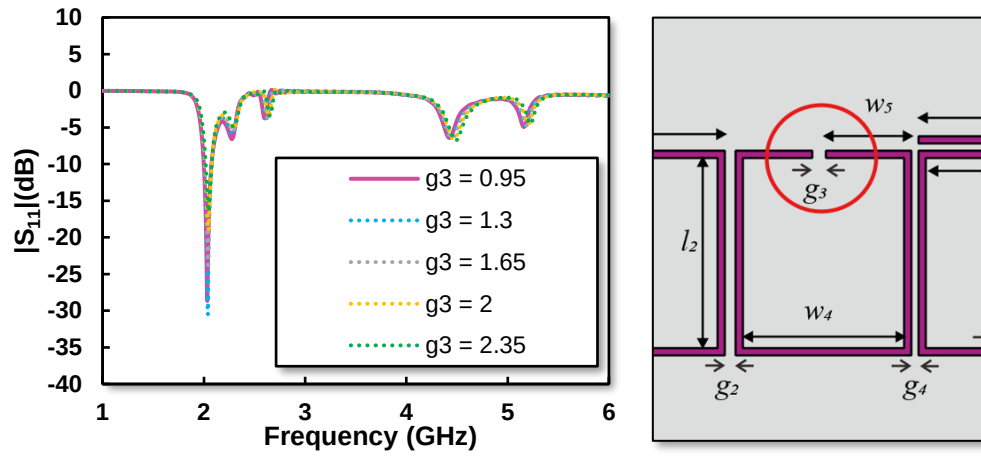
Gambar A.1 Iterasi pada g_1

2. Iterasi pada g_2



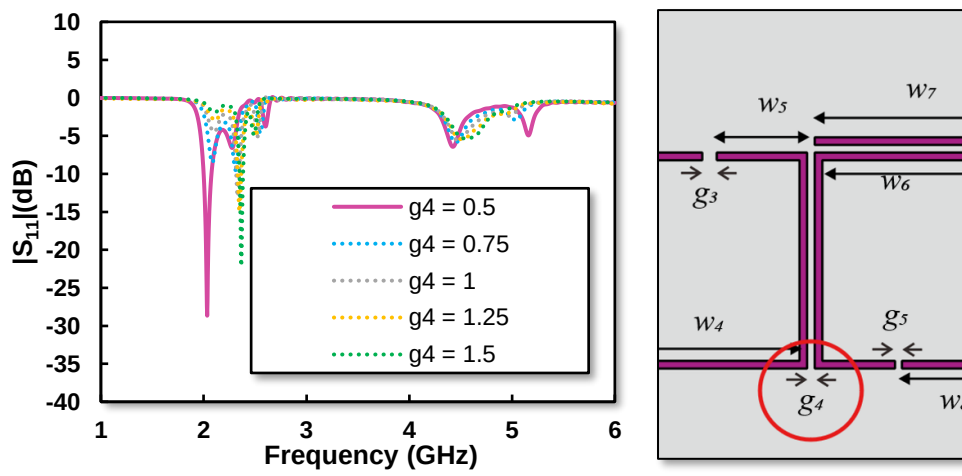
Gambar A.2 Iterasi Pada g_2

3. Iterasi pada g_3



Gambar A.3 Iterasi Pada g_3

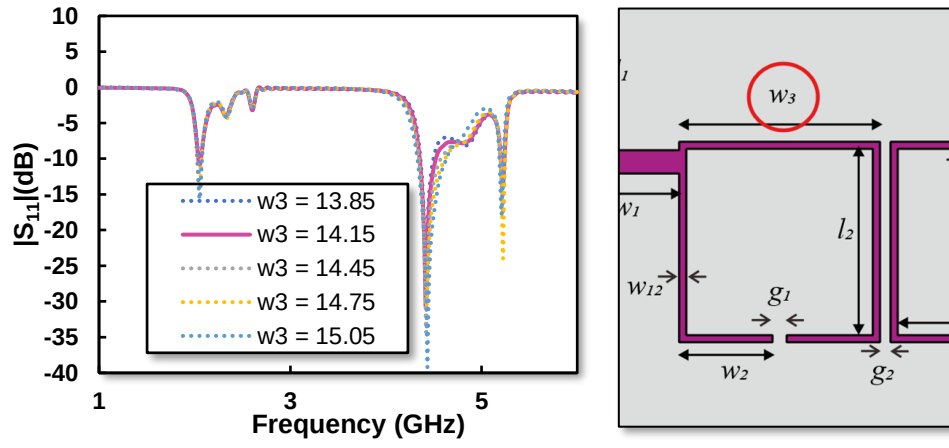
4. Iterasi pada g_4



Gambar A.4 Iterasi Pada g_4

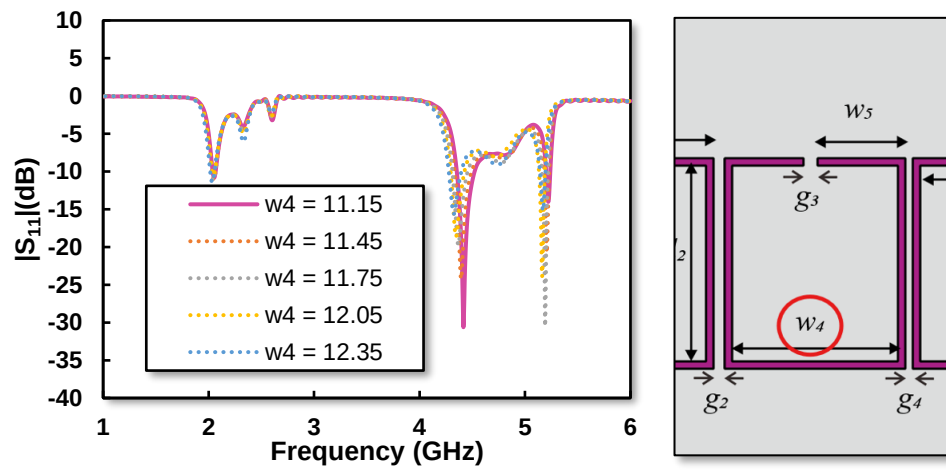
B. Desain Kedua

1. Iterasi pada w_3



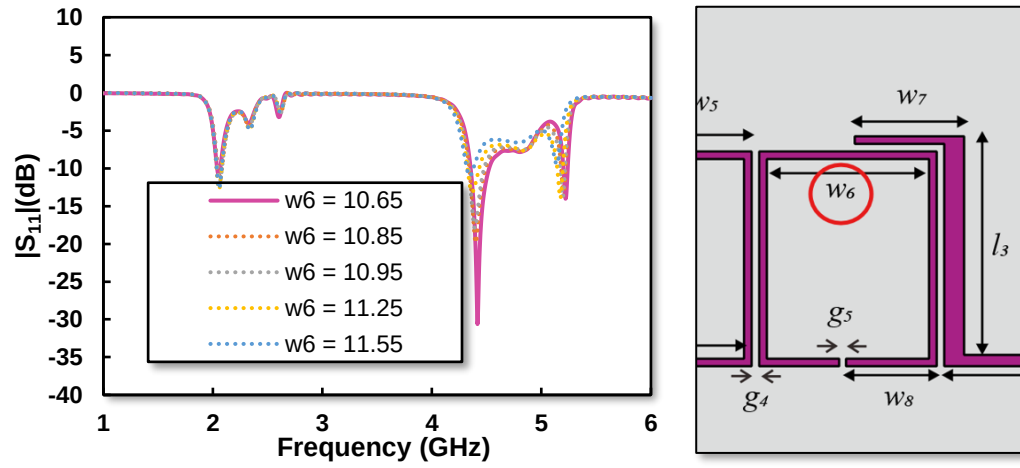
Gambar B.1 Iterasi Pada w_3

2. Iterasi pada w_4



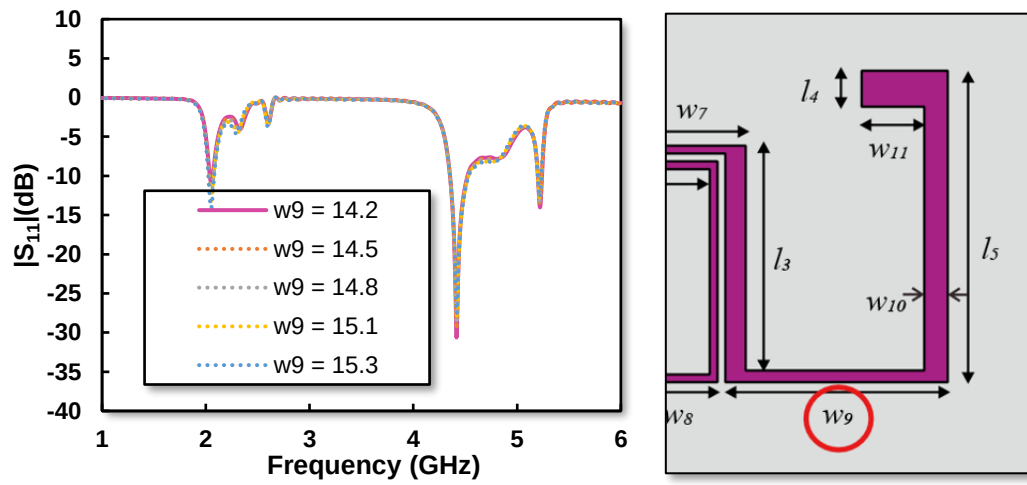
Gambar B.2 Iterasi Pada w_4

3. Iterasi pada w_6



Gambar B.3 Iterasi Pada w_6

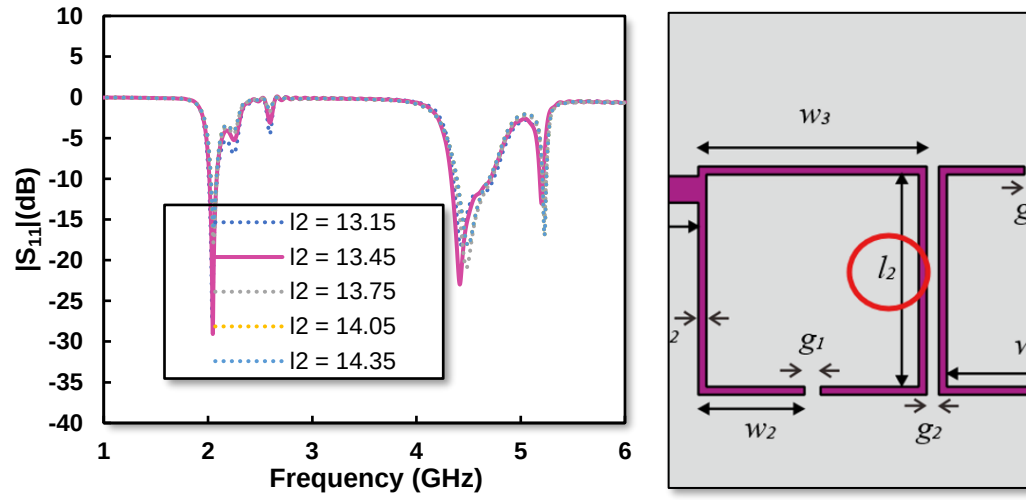
4. Iterasi pada w_9



Gambar B.4 Iterasi Pada w_9

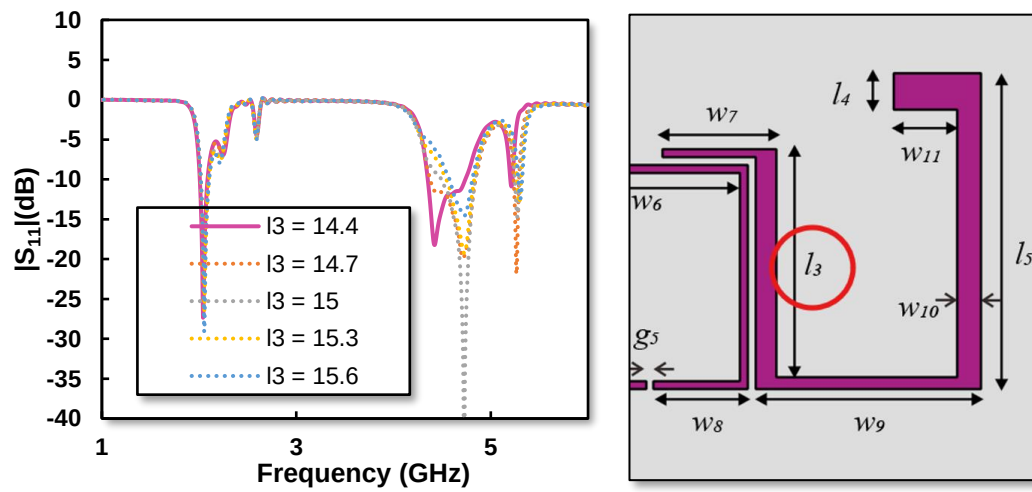
C. Desain Ketiga

1. Iterasi pada l_2



Gambar C.1 Iterasi Pada l_2

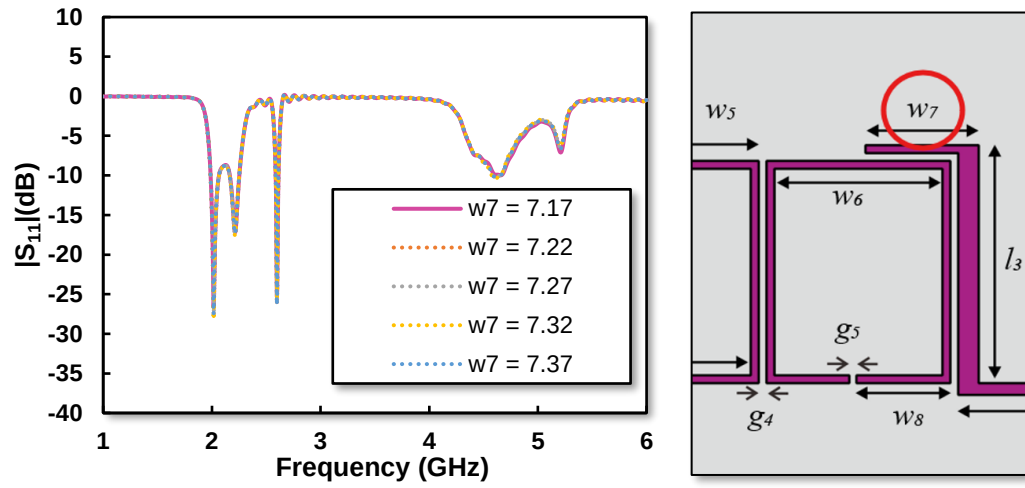
2. Iterasi pada l_3



Gambar C.2 Iterasi Pada l_3

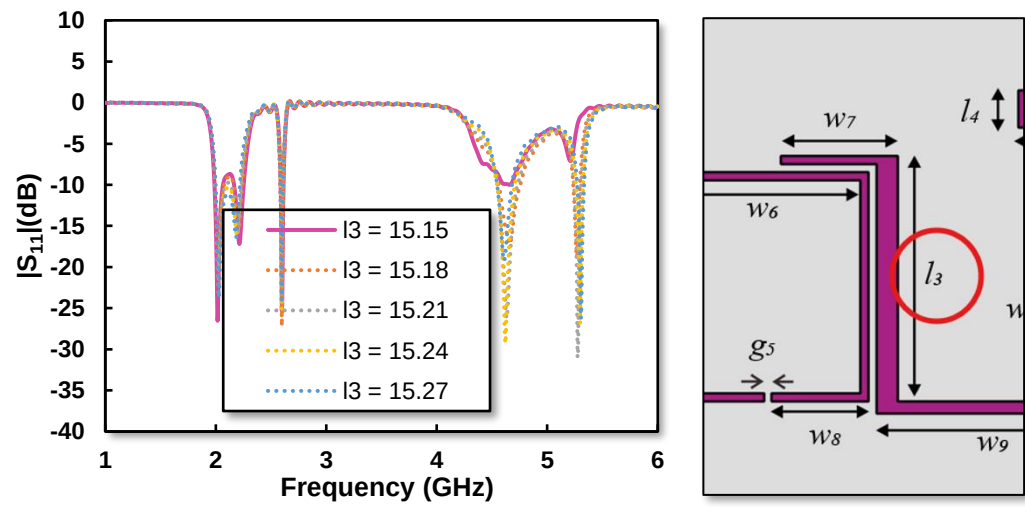
D. Desain Keempat

1. Iterasi pada w_7



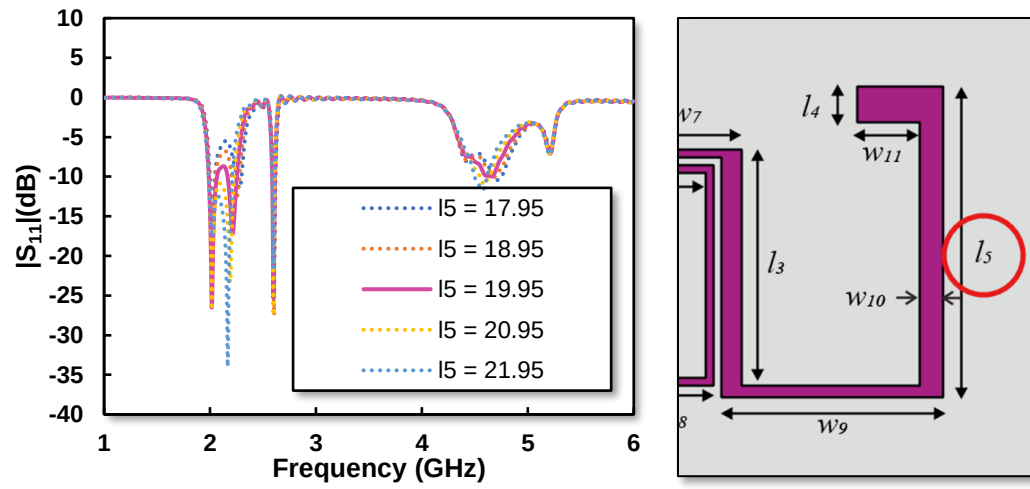
Gambar D.1 Iterasi Pada w_7

2. Iterasi pada l_3



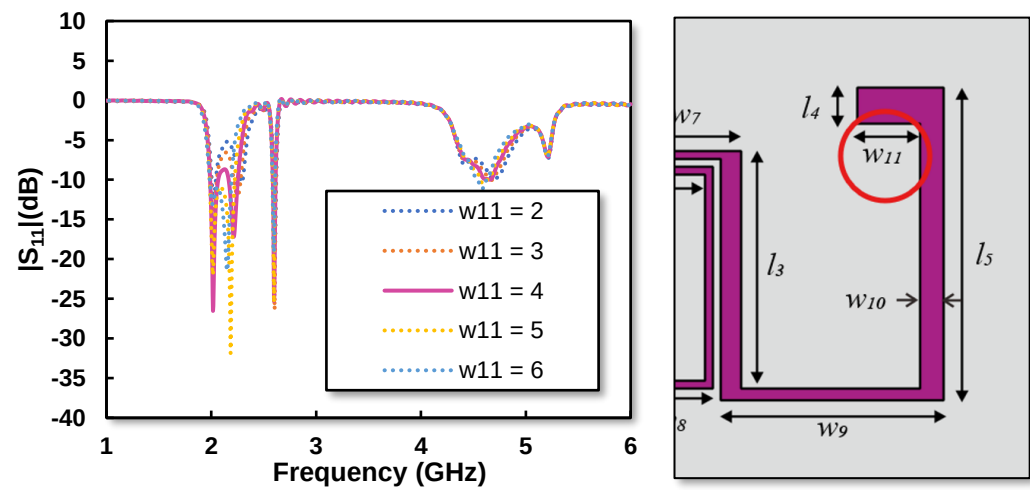
Gambar D.2 Iterasi Pada l_3

3. Iterasi pada l_5



Gambar D.3 Iterasi Pada l_5

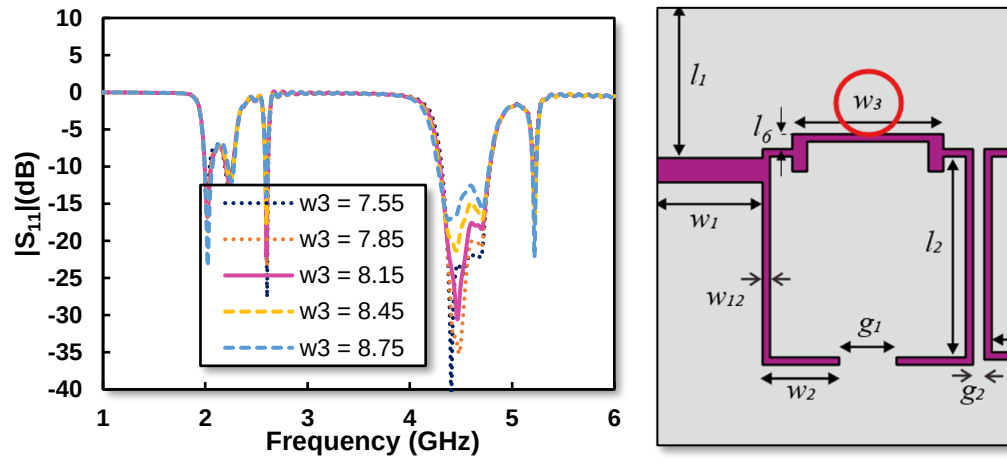
4. Iterasi pada w_{11}



Gambar D.4 Iterasi Pada w_{11}

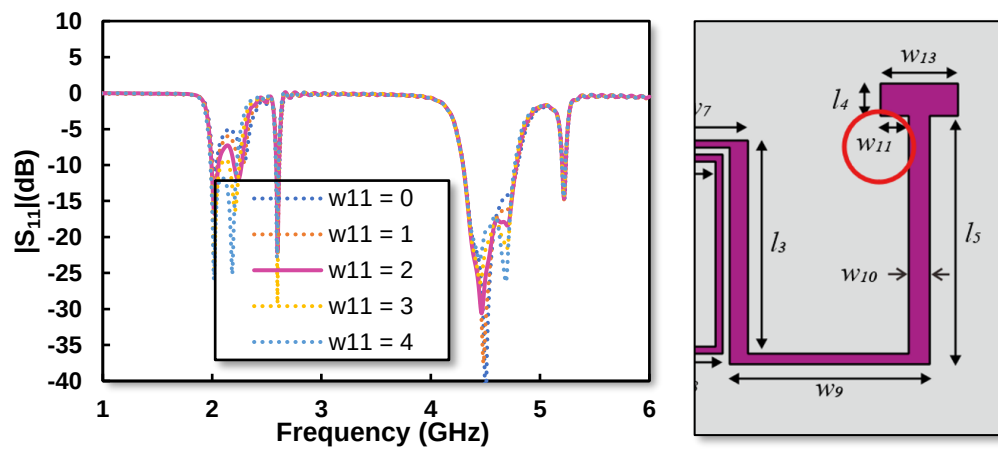
E. Desain Kelima

1. Iterasi pada w_3



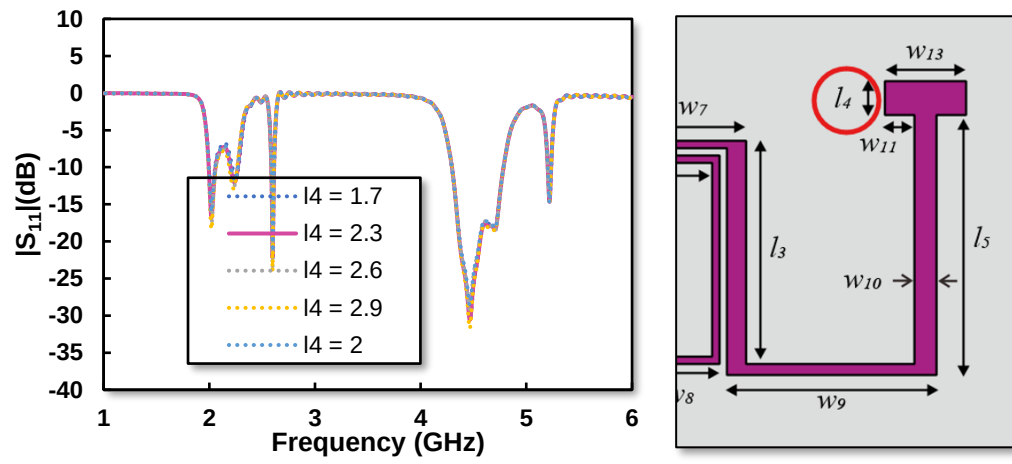
Gambar E.1 Iterasi Pada w_3

2. Iterasi pada w_{11}



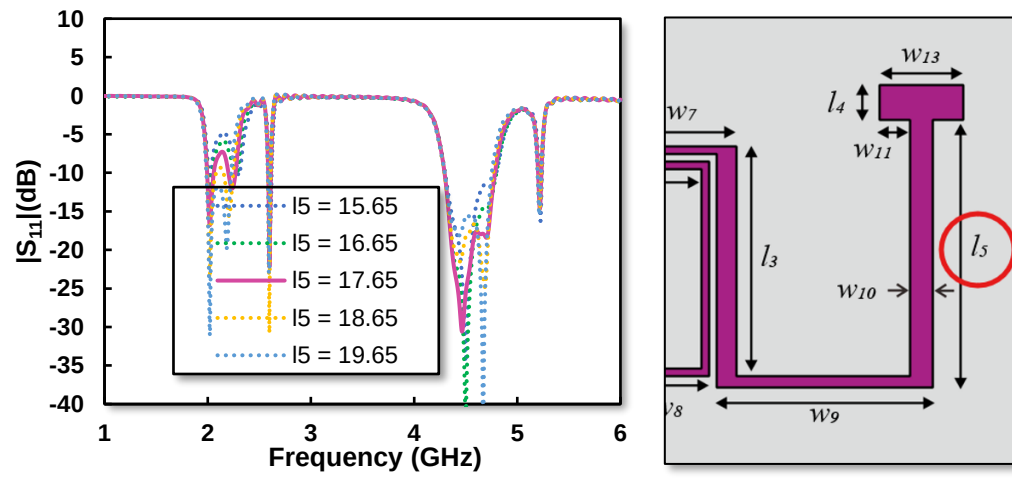
Gambar E.2 Iterasi Pada w_{11}

3. Iterasi pada l_4



Gambar E.3 Iterasi Pada l_4

4. Iterasi pada l_5



Gambar E.4 Iterasi Pada l_5

LAMPIRAN C
REKAPITULASI HASIL

Model	Frekuensi							
	2.1 GHz		2.6 GHz		4.6 GHz		5.2 GHz	
	S ₁₁ (dB)	BW (MHz)	S ₁₁ (dB)	BW (MHz)	S ₁₁ (dB)	BW (MHz)	S ₁₁ (dB)	BW (MHz)
Desain Pertama	-28.7	80	-	-	-	-	-	-
Desain Kedua	-	-	-	-	-30.62	280	-	-
Desain Ketiga	-27.35	80	-	-	-18.24	380	-	-
Desain Keempat	-23.74	260	-16.88	30	-12.78	310	-	-
Desain Kelima	-16.78	270	-22.17	30	-30.59	490	-14.66	30
Desain Akhir	-36.61	240	-28.6	30	-24.83	450	-24.1	50