

**PENGEMBANGAN ANTENA MIKROSTRIP
MENGUNAKAN *METAMATERIAL CSRR*
UNTUK MEREDUKSI DIMENSI ANTENA**



RIZQIANA PUTRI F.

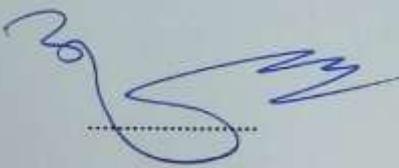
5215134353

**Skripsi ini Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan**

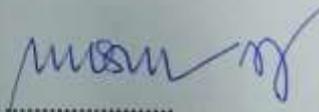
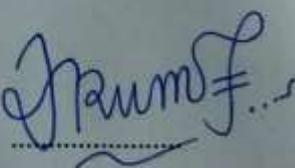
**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2017

LEMBAR PENGESAHAN
PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Efri Sandi, MT NIP.19750202 200812 1 002 (Dosen Pembimbing I)		21/08 '17
Aodah Diamah, ST, M.Eng NIP.19780919 200501 2 003 (Dosen Pembimbing II)		21/08 '17

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. Wisnu Djatmiko, MT. NIP. 19670214 199203 1 001 (Ketua Penguji)		18/08 '17
Drs. Mufti Ma'sum, M.Pd. NIP. 19560816 198803 1 001 (Sekretaris)		18/08 '17
Arum Setyowati, MT. NIP. 19730915 199903 2 002 (Dosen Ahli)		18/08 '17

Tanggal Lulus: 15 Agustus 2017

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Rizqiana Putri F.

Nomor Registrasi : 5215134353

Judul Skripsi : Pengembangan Antena Mikrostrip Menggunakan Metamaterial CSRR Untuk Mereduksi Dimensi Antena

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penulisan skripsi ini adalah hasil dari penelitian, pemikiran dan pengkajian asli dari peneliti. Jika ada hasil karya orang lain, peneliti telah mencantumkan sumber yang jelas.

Pernyataan ini peneliti buat dengan keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak manapun. Dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran terhadap pernyataan yang dibuat ini, maka peneliti bersedia menerima sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta .

Demikian pernyataan ini peneliti paparkan dan dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 15 Agustus 2017

Yang membuat pernyataan,



Rizqiana Putri F.
5215134353

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Tak lupa peneliti mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan do'a, bimbingan dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini. Dengan ini, peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Pitoyo Yuliatmojo, MT. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika.
- (2) Bapak Dr. Efri Sandi, MT. dan Ibu Aodah Diamah, ST, M. Eng, selaku dosen pembimbing I dan II atas segala ketulusan dalam mengarahkan penyelesaian skripsi.
- (3) Orang tua dan kedua adik yang tak ternilai harganya, yang telah memberikan bantuan materil maupun non materil.
- (4) Rekan-rekan mahasiswa/i Pendidikan Teknik Elektronika yang telah mendukung terselesaikannya skripsi ini.

Dan juga kepada berbagai pihak yang namanya tidak bisa peneliti ucapkan satu-persatu. Akhir kata, semoga Allah membalas segala kebaikan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Jakarta, 15 Agustus 2017

Rizqiana Putri F.

ABSTRAK

Rizqiana Putri Fiyendri, *Pengembangan Antena Mikrostrip Menggunakan Metamaterial CSRR untuk Mereduksi Dimensi Antena*. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing: Dr. Efri Sandi, MT. dan Aodah Diamah, M.Eng.

Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi dimensi antena mikrostrip. Peneliti menggunakan tambahan struktur metamaterial CSRR dengan sampel frekuensi kerja LTE Band 40. Penelitian dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta pada bulan Mei-Agustus 2017.

Pengujian terhadap antena mikrostrip dengan tambahan metamaterial CSRR dilakukan dalam dua tahap, yaitu saat simulasi dan setelah fabrikasi. Terdapat dua antena pada setiap tahapannya yaitu *array* konvensional dan *array* CSRR. Kedua antena dibandingkan sebagai usaha untuk mengukur efektivitas antena. Simulasi menggunakan bantuan *software CST Microwave Studio Suite 2014* dan antena yang telah difabrikasi diukur dengan bantuan *Network Analyzer Anritsu* tipe S223E.

Telah berhasil diuji antena mikrostrip array CSRR dengan menggunakan bahan substrat FR-4 Epoxy. Antena memiliki performa yang sesuai dengan karakteristik LTE Band 40. Antena dengan dimensi 108×48 mm ini beroperasi pada frekuensi 2,356 GHz dengan nilai return loss -26,97 dB, VSWR 1,09, bandwidth 100 MHz, dan gain sebesar 5,7 dB pada hasil uji simulasi.

Penambahan metamaterial CSRR pada patch memiliki pengaruh yang positif. Pada penelitian ini telah dibuktikan bahwa penambahan CSRR mampu mereduksi antena sebesar 31,05% pada frekuensi kerja LTE Band 40. Sehingga antena yang dibuat mampu mengikuti perkembangan teknologi dimana dibutuhkan perangkat antena sebagai media komunikasi yang compact, efektif dan efisien.

Kata-Kata Kunci : Antena Mikrostrip, Metamaterial CSRR, Array Konvensional, CST 2014, Return Loss, VSWR, Bandwidth, Gain, FR-4 Epoxy, Dimensi, Performansi.

ABSTRACT

Rizqiana Putri Fiyendri, *Development of Microstrip Antenna Using CSRR Metamaterial to Reduce Antenna Dimension*. Thesis. Jakarta, Education Program Electrical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2017. Supervisor: Dr. Efri Sandi, MT. And Aodah Diamah, M. Eng.

Goals of this research are to reduce the dimensions of microstrip antenna. The researcher used additional CSRR metamaterial structures with a working frequency sample of LTE Band 40. This research was carried out in the laboratory of the engineering faculty of Telecommunications Engineering of the State University of Jakarta in May-August 2017.

Testing on microstrip antenna with CSRR metamaterials which was done in two stages: simulation and after fabrication. There are two antennas at each stage of the conventional array and CSRR array. Both of antennas are compared as an attempt to measure the antenna effectiveness. The simulations used CST Microwave Studio Suite 2014 software and the fabricated antenna are measured with Anritsu S223E Network Analyzer.

It has been successfully tested on microstrip antenna with CSRR metamaterial antenna using FR-4 Epoxy substrate material. Antenna had matched LTE Band 40 characteristics. Antenna with dimensions of 108×48 mm operates at a frequency of 2.356 GHz with a return loss of -26.97 dB, VSWR 1.09, 100 MHz bandwidth, and a *gain* of 5.7 dB on the simulation test results

Addition of CSRR metamaterials on the patch has a positive effect. In this research there has been demonstrated improvement that the addition of CSRR has also proven to reduce antenna by 31,05% of LTE Band 40. So the antenna that is made is able to follow the development of technology where antenna device is required as a communication media that are compact, effective and efficient.

Keywords : Microstrip Antenna, Conventional Array, CST 2014, *Return Loss*, VSWR, *Bandwidth*, *Gain*, FR-4 Epoxy, Dimension, Performance.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN TEORITIK.....	5
2.1 Metode Pengembangan.....	5
2.2 Efektivitas Dimensi dan Performa Antena Mikrostrip <i>Array</i> CSRR	6
2.3 Antena.....	6
2.4 Antena Mikrostrip	9
2.4.1 Bentuk Patch Antena Mikrostrip.....	12
2.4.2 Antena Mikrostrip Segiempat	12
2.4.3 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip	13
2.4.4 Karakteristik Saluran Mikrostrip.....	16
2.4.5 Dimensi Antena Mikrostrip.....	18

2.4.6 Teknik Array	20
2.4.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip.....	23
2.5 Metamaterial Complimentary Split Ring Resonator	33
2.6 Spesifikasi LTE Band 40.....	36
2.7 Kerangka Berpikir	37
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.2 Metode Penelitian dan Pengembangan Produk	39
3.2.1 Tujuan Penelitian dan Pengembangan	39
3.2.2 Metode Penelitian dan Pengembangan	39
3.2.3 Sasaran Produk Penelitian.....	42
3.2.4 Instrumen Penelitian.....	42
3.3 Prosedur Pengembangan dan Penelitian.....	43
3.3.1 Penelitian dan Pengumpulan Data	43
3.3.2 Teknik Pengumpulan Data.....	44
3.3.3 Perencanaan Desain Produk Penelitian dan Pengembangan.....	44
3.3.4 Pemodelan dan Simulasi Desain Penelitian dan Pengembangan	47
3.3.5 Simulasi Rancangan Akhir.....	53
3.3.6 Uji Coba Produk Penelitian dan Pengembangan	54
3.3.7 Teknik Analisis Data.....	56
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	60
4.1 Hasil Penelitian dan Pengembangan.....	60
4.2 Hasil Perencanaan Desain Produk.....	60
4.2.1 Perhitungan Jarak Antar Elemen.....	60
4.2.2 Perhitungan Dimensi Saluran Pencatu	61
4.2.3 Perhitungan Dimensi Single Patch.....	69

4.3 Hasil Pemodelan dan Simulasi	70
4.3.1 Dimensi Single Patch	70
4.3.2 Antena Array	72
4.3.3 Antena Array CSRR.....	74
4.4 Kelayakan Penelitian	80
4.4.1 Hasil Simulasi Akhir	80
4.5 Uji Coba Produk Penelitian dan Pengembangan	87
4.5.1 Fabrikasi Antena	87
4.5.2 Pengukuran Antena	89
4.6 Analisis Perbandingan Konvensional dan CSRR.....	92
4.7 Analisis Perbandingan Simulasi dan Pengukuran	99
BAB 5 KESIMPULAN	102
5.1 Kesimpulan.....	102
5.2 Saran	102
DAFTAR PUSTAKA	104
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Pencantu Antena	16
Tabel 3.1 Spesifikasi Personal Computer	42
Tabel 3.2 Standar Karakteristik Antena LTE Band 40	44
Tabel 3.3 Spesifikasi Material Antena Mikrostrip	45
Tabel 3.4 Desain Jarak Antar Patch pada Simulasi	48
Tabel 3.5 Desain Dimensi Saluran Transmisi	49
Tabel 3.6 Desain Perbandingan Error rate Kesesuaian W_F terhadap Ketentuan Umum Impedansi Saluran	49
Tabel 3.7 Desain Mikrostrip Single Element	50
Tabel 3.8 Desain Hasil Iterasi Mikrostrip Single Element	51
Tabel 3.9 Gambar Optimasi Antena Array dan Array CSRR	53
Tabel 3.10 Desain Hasil Optimasi Antena Array dan Array CSRR	53
Tabel 3.11 Dimensi Antena Fabrikasi	54
Tabel 3.12 Hasil Fabrikasi Antena Array dan Array CSRR	55
Tabel 3.13 Pengukuran Antena Fabrikasi	55
Tabel 3.14 Rangkuman Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena	56
Tabel 3.15 Perbandingan dan Keberhasilan Reduksi Dimensi Antena	57
Tabel 3.16 Perbandingan Hasil Performansi Antena Array dan Array	57
Tabel 3.17 Keberhasilan Hasil Performansi Antena Array CSRR	57
Tabel 3.18 Error Rate Simulasi dan Pengukuran terhadap Dimensi	58
Tabel 3.19 Perbandingan Hasil Performansi Antena Array	58
Tabel 3.20 Error Rate Simulasi dan Pengukuran terhadap	59
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Single Patch	71

Tabel 4.2 Hasil Iterasi Mikrostrip Single Element	71
Tabel 4.3 Jarak Antar Elemen Peradiasi	72
Tabel 4.4 Dimensi Saluran Transmisi.....	73
Tabel 4.5 Perbandingan Error Rate Kesesuaian WF terhadap Ketentuan Umum Impedansi Saluran	74
Tabel 4.6 Ukuran Desain Satu Sel CSRR.....	78
Tabel 4.7 Optimasi Antena Array dan Array CSRR.....	85
Tabel 4.8 Hasil Optimasi Antena Array dan Array CSRR	86
Tabel 4.9 Dimensi Antena Fabrikasi.....	87
Tabel 4.10 Hasil Fabrikasi Antena Array dan Array CSRR	87
Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Antena Fabrikasi.....	92
Tabel 4.12 Rangkuman Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena	93
Tabel 4.13 Tingkat Keberhasilan Reduksi Dimensi Antena Array.....	93
Tabel 4.14 Tingkat Keberhasilan Performansi Antena Array CSRR	94
Tabel 4.15 Error Rate Simulasi dan Pengukuran terhadap Dimensi.....	99
Tabel 4.16 Error Rate yang terjadi pada Performansi Antena	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peran Antena pada Sistem Komunikasi Nirkabel	7
Gambar 2.2 Antena Sebagai Alat Transmisi.....	8
Gambar 2.3 Jenis Antena	9
Gambar 2.4 Struktur Dasar Antena Mikrostrip.....	11
Gambar 2.5 Bentuk dari Patch Antena Mikrostrip.....	12
Gambar 2.6 Antena Mikrostrip Segiempat	12
Gambar 2.7 Microstrip Line Feed.....	13
Gambar 2.8 Coax Line Feed	14
Gambar 2.9 Aperture Coupling.....	15
Gambar 2.10 Proximity Coupling	15
Gambar 2.11 Efek Medan Tepi pada Patch	19
Gambar 2.12 Konfigurasi Teknik Array	20
Gambar 2.13 Jarak Optimal Antara 2 Patch.....	21
Gambar 2.14 Power divider	22
Gambar 2.15 Daerah Medan Antena.....	23
Gambar 2.16 (a) Grafik Bandwidth, f_r , dan Return loss.	26
Gambar 2.17 Polarisasi Antena.....	27
Gambar 2.18 Proses Dasar Antena sebagai Transceiver.....	28
Gambar 2.19 Lobe Radiasi Antena (Tiga Dimensi).....	30
Gambar 2.20 Plot Linier Pola Daya Radiasi	31
Gambar 2.21 Sudut Pola Radiasi secara 3 dimensi.....	31
Gambar 2.22 (a) Struktur SRR, (b) Struktur CSRR.....	33
Gambar 2.23 Transformasi Resonator	35

Gambar 2.24 Spesifikasi LTE Band 40.....	37
Gambar 2.25 Flowchart Pembuatan Antena Mikrostrip	38
Gambar 3.1 Metode Research and development (R&D)	40
Gambar 3.2 Jarak Antar Patch	48
Gambar 3.3 Posisi Feeding Mikrostrip Array	49
Gambar 3.4 Mikrostrip Single Element	50
Gambar 3.5 Antena Array	51
Gambar 3.6 Desain CSRR 2×2	52
Gambar 4.1 Kalkulasi $\lambda/2$ dengan CST 2014	61
Gambar 4.2 Kalkulasi Impedansi 50 Ω dengan CST 2014	62
Gambar 4.3 Kalkulasi $\lambda/4$ dengan CST 2014	63
Gambar 4.4 Kalkulasi Impedansi 70,7 Ω dengan CST 2014	64
Gambar 4.5 Kalkulasi Impedansi 100 Ω dengan CST 2014	66
Gambar 4.6 Mikrostrip Single Element	71
Gambar 4.7 Perancangan Jarak antar elemen	72
Gambar 4.8 (a) WF 50 ohm, (b) WF dan LF 70,7 ohm, (c) WF 100 ohm.....	74
Gambar 4.9 Kalkulasi Panjang Gelombang Sel CSRR dengan CST	75
Gambar 4.10 Geometri Ring Luar	75
Gambar 4.11 Geometri Ring Dalam	76
Gambar 4.12 Hasil Desain Satu Sel CSRR.....	78
Gambar 4.13 Variabel pada Satu Sel CSRR	79
Gambar 4.14 Hasil Desain Sel CSRR dengan orientasi 4×4	79
Gambar 4.15 Kalkulasi Geometri pada CST 2014.....	80

Gambar 4.16 Grafik Simulasi Return Loss (a) Antena Konvensional dan (b) Antena Array CSRR.....	81
Gambar 4.17 Grafik Simulasi VSWR (a) Antena Konvensional dan (b) Antena Array CSRR.....	83
Gambar 4.18 Gain dari (a) Antena Konvensional,.....	84
Gambar 4.19 Grafik Pengukuran Return Loss (a) antena	90
Gambar 4.20 Grafik Pengukuran VSWR (a) antena konvensional dan.....	92
Gambar 4.21 Grafik Hasil Simulasi Array dan CSRR.....	96
Gambar 4.22 Grafik Hasil Pengukuran Array dan CSRR	97

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjadi pondasi dalam melakukan penelitian. Terdiri dari masalah dan potensi yang dijelaskan pada latar belakang, terdapat identifikasi masalah dan terdapat batasan agar penelitian tidak meluas. Hal terakhir adalah terdapat rumusan spesifik tentang apa yang akan menjadi tujuan penelitian.

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini teknologi komunikasi berkembang pesat, tak terkecuali teknologi nirkabel (*wireless*). Peneliti menetapkan frekuensi LTE sebagai sampel spesifikasi yang harus dicapai pada penelitian. Pada LTE dikenal istilah TDD dan FDD. (*Time Division Duplexing*) dimana data diantarkan dan diterima dalam satu *channel* frekuensi yang sama, namun dengan pemisahan jeda waktu yang singkat. Kapasitas yang tersedia bisa menjadi lebih besar dibanding FDD. Teknologi jaringan TDD 4G LTE menawarkan layanan data yang beroperasi di frekuensi 2300 MHz yang merupakan LTE Band 40. Kinerjanya unggul dalam hal *download* dan sesuai untuk *browsing internet, video surveillance, dan streaming*.

Salah satu pendukung implementasi LTE adalah dari segi transmisi, yaitu antena. Seiring dengan semakin majunya teknologi semikonduktor, menyebabkan ukuran dari perangkat komunikasi yang digunakan semakin mengecil. Oleh karena itu dibutuhkan suatu antena dengan bentuk fisik yang *compact*, mudah difabrikasi serta memiliki performa baik untuk diaplikasikan pada perangkat telekomunikasi nirkabel yang ada.

Antena mikrostrip menjadi solusinya. Mikrostrip menjadi salah satu topik teknologi menarik dalam berbagai aplikasi gelombang mikro, dimana bahannya sederhana tetapi mampu memberikan performa yang cukup baik. Namun, mikrostrip juga memiliki kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit dan kecilnya *gain*.

Berdasarkan beberapa literatur dan penelitian sebelumnya, peneliti menetapkan tambahan CSRR (*Complementary Split-Ring Resonator*) sebagai upaya pengembangan untuk lebih mereduksi dimensi dengan tetap mempertahankan atau meningkatkan performa antena mikrostrip. Berdasarkan persamaan-persamaan dalam perancangan antena mikrostrip, dimensi antena memiliki pengaruh terhadap beberapa parameter antena.

Pemilihan CSRR dikarenakan desainnya mampu menghasilkan dipolee listrik yang kuat pada f_r dan sesuai dengan proses reduksi antena karena dimensinya yang kecil, sehingga sesuai untuk rancangan metamaterial (Nuansa, 2011: 20). CSRR dapat dicetak pada *ground* atau *patch* antena (jika memiliki cukup ruang). Elemen CSRR terdiri dari dua ring slot (lingkaran atau segiempat) dimana slot sisi dalam dan luar dipisahkan sebuah strip metal (tembaga). (Nuansa, 2011: 2).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat diidentifikasi masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Kebutuhan akan performa perangkat nirkabel (*wireless*) yang semakin meningkat.

2. Dibutuhkan antena dengan bentuk fisik yang *compact*, mudah difabrikasi serta memiliki performa yang baik
3. Dibutuhkan upaya pengembangan untuk mereduksi antena dengan tetap mempertahankan atau meningkatkan performa antena mikrostrip.
4. Performa antena mikrostrip dengan struktur metamaterial CSRR ditentukan oleh beberapa parameter
5. Antena yang dirancang sesuai dengan spesifikasi LTE Band 40.

1.3 Batasan Masalah

Peneliti perlu membatasi permasalahan agar memperoleh hasil maksimal, tidak meluas dan tetap terarah sesuai judul yang telah peneliti buat. Batasan masalah tersebut adalah:

1. Tolak ukur peningkatan kinerja antena yaitu dengan membandingkan antena mikrostrip *array* konvensional dan antena mikrostrip *array* dengan tambahan struktur CSRR. Perbandingan meliputi saat simulasi dan pengukuran.
2. Bahan substrat yang digunakan adalah jenis FR4 - Epoxy (*Lossy*) yang memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) 4.3 dan ketebalan (h) 1.6 mm.
3. Parameter yang digunakan dalam perancangan dan pengukuran antara lain yaitu frekuensi kerja, f_r , *bandwidth*, *return loss*, VSWR, dan *gain*.
4. Tahap simulasi menggunakan *software CST Microwave Studio Suite* 2014 dan tahap pengukuran menggunakan *Network Analyzer* sebagai alat ukur yang dilakukan di laboratorium telekomunikasi gedung elektro FT UNJ.
5. Tidak membahas LTE secara lebih luas.

6. Penelitian dibataskan pada tahap uji coba produk yaitu membuat *prototype* yang sesuai dengan spesifikasi LTE Band 40, tidak diimplementasikan secara langsung.

1.4 Perumusan Masalah

1. Bagaimana tingkat efektivitas dimensi antenna mikrostrip array CSRR pada frekuensi 2,35 GHz dengan karakteristik *return loss* $< -9,54$, *VSWR* $< 1,5$, *bandwidth* ± 100 MHz, dan *gain* > 2 ?
2. Bagaimana performa antenna mikrostrip array CSRR pada frekuensi 2,35 GHz dengan karakteristik *return loss* $< -9,54$, *VSWR* $< 1,5$, *bandwidth* ± 100 MHz, dan *gain* > 2 ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan yang akan dicapai adalah:

1. Mengetahui tingkat efektivitas pengembangan *prototype* antenna mikrostrip *array* CSRR dalam hal dimensi pada frekuensi 2,35 GHz dengan karakteristik *return loss* $< -9,54$, *VSWR* $< 1,5$, *bandwidth* ± 100 MHz, dan *gain* > 2 .
2. Mengetahui performa dari pengembangan *prototype* antenna mikrostrip *array* CSRR pada frekuensi 2,35 GHz dengan karakteristik *return loss* $< -9,54$, *VSWR* $< 1,5$, *bandwidth* ± 100 MHz, dan *gain* > 2 .

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat baik dari segi keilmuan, yaitu dalam bidang telekomunikasi, frekuensi kerja LTE TDD, dan dalam bidang pendidikan pada mata kuliah Antena dan Propagasi Gelombang.

BAB II

KAJIAN TEORITIK

Teori yang berhubungan dengan judul penelitian dijelaskan pada bab kajian teoritik, selain itu juga terdapat alur atau kerangka berpikir. Pembahasan pada bab kajian teoritik menjadi pedoman untuk bab selanjutnya.

2.1 Metode Pengembangan

Pengembangan adalah pembangunan secara bertahap dan teratur, dan yang menjurus ke sasaran yang dikehendaki (Depdiknas, 2008: 725). Proses pengembangan tidak terlepas dari proses perancangan. Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam tahap perancangan tersebut dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan lain (Harsokoesoemo, 2000: 1).

Dalam kehidupan sehari-hari banyak dijumpai produk buatan manusia. Pembuatan ini dilandasi oleh keinginan atau kebutuhan, dan ditunjang oleh kemampuan memberikan ide bagaimana memenuhi keinginan tersebut serta ketekunan atau kegigihan untuk mentransformasi ide tersebut menjadi kenyataan. Proses melahirkan ide untuk menjawab kebutuhan dan mewujudkan ide tersebut dikenal dengan istilah merancang bangun (*designing*). Lebih jelasnya, desain adalah proses kreatif yang dilakukan sebagai usaha untuk berbuat sesuatu, baik itu sesuatu yang baru maupun perbaikan (inovasi) dari produk lama.

Setelah perancangan, maka untuk mengukur parameter keberhasilan dilakukan sebuah pengujian. Menguji adalah memeriksa sesuatu untuk mengetahui kualitas, kepandaian, dan sebagainya (Depdiknas, 2008: 1771-1772).

Analisis data adalah proses menyusun secara sistematis data yang diperoleh dan mengubahnya menjadi informasi yang digunakan untuk mengambil kesimpulan dalam penelitian. Informasi tersebut diubah dengan cara mengorganisasikan data, menjabarkannya ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun ke dalam pola sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri dan orang lain, dan terakhir membuat kesimpulan (Sugiyono, 2006: 274).

2.2 Efektivitas Dimensi dan Performa Antena Mikrostrip *Array* CSRR

Efektivitas adalah keberhasilan tentang usaha atau tindakan (Depdiknas, 2008:375). Efektivitas adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa baik sasaran telah tercapai (Putra, 1998:29). Dimensi adalah sebuah ukuran yang terdiri dari panjang, lebar, tinggi, luas, dan sebagainya (Depdiknas, 2008:355).

Sehingga, dapat disimpulkan bahwa definisi dari efektivitas dimensi antena mikrostrip *array* CSRR adalah seberapa besar persentase keberhasilan dari sebuah usaha penambahan struktur CSRR dalam pencapaian tujuan yang telah ditetapkan yaitu reduksi luas antena pada karakteristik LTE Band 40

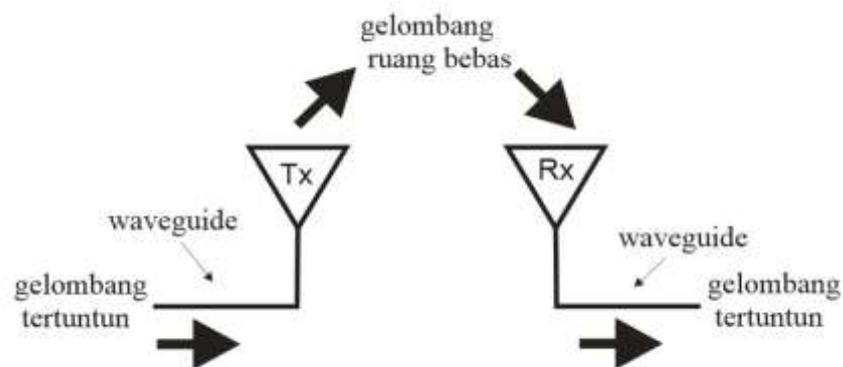
Performa adalah seperangkat hasil yang dicapai dan merujuk pada tindakan pencapaian serta pelaksanaan sesuatu pekerjaan yang diminta (Stolovitch, 1992). Performa adalah tingkat pencapaian hasil (Rue dand Byars, 1981:375).

Sehingga, dapat disimpulkan bahwa defisini dari performa antena mikrostrip *array* CSRR adalah karakteristik dasar yang merupakan hasil kinerja antena yang terdiri dari f_r , *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain*.

2.3 Antena

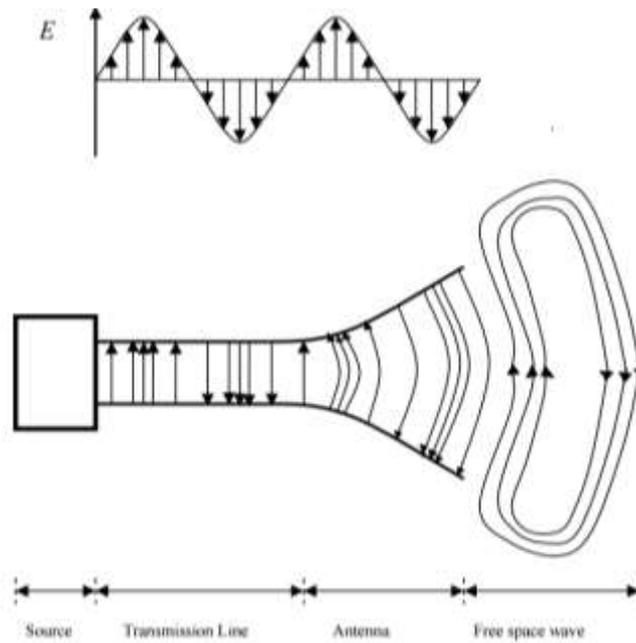
Definisi antena menurut beberapa ahli, sebagai berikut:

1. Antena adalah suatu struktur yang berada di wilayah transisi antara gelombang tertuntun dan gelombang bebas, atau kebalikannya (Kraus, 1997: 17)
2. Antena adalah sebuah komponen yang dirancang untuk bisa memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetika. Antena sebagai alat pemancar (*transmitting antenna*) adalah sebuah transduser (pengubah) elektromagnetis, yang digunakan untuk mengubah gelombang tertuntun di dalam saluran transmisi, menjadi gelombang yang merambat di ruang bebas, dan sebagai alat penerima (*receiving antenna*) mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun seperti terlihat pada Gambar 2.1 (Alaydrus, 2011: 1-2).



Gambar 2.1 Peran Antena pada Sistem Komunikasi Nirkabel
(Alaydrus, 2011: 2)

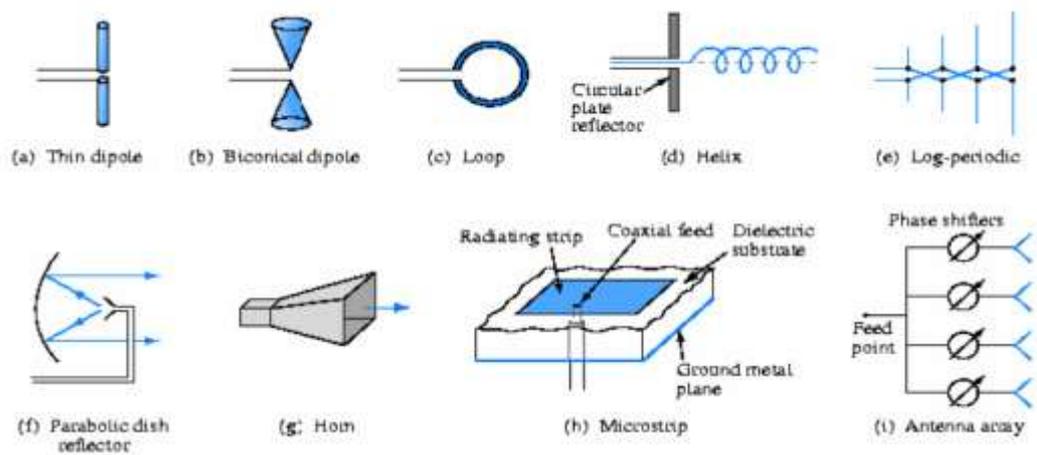
Saluran transmisi adalah alat yang berfungsi sebagai penghantar atau penyalur energi gelombang elektromagnetik seperti terlihat pada Gambar 2.2 (Balanis, 2005:1-2).



**Gambar 2.2 Antena Sebagai Alat Transmisi
(Punit, 2004: 10)**

Proses kerja dari sebuah antena didasarkan pada konsep hubungan medan listrik dan medan magnet atau yang dikenal sebagai elektromagnetika. Hubungan kedua medan inilah yang dimanfaatkan untuk mengubah radiasi gelombang sebagai media komunikasi *wireless* (Sandi & Djatmiko, 2012: 2). Dengan kata lain, antena adalah alat yang dapat mentransmisikan dan menerima sinyal radio berupa gelombang elektromagnetika.

Beberapa contoh antena dalam berbagai jenis seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jenis Antena

Jenis antena kawat/kabel/wire (*monopole, dipolee, loop*), antena pantul/reflektor (*parabolic, corner*), antena celah/aperture (*horn, slot*), antena mikrostrip, antena susun/array Antena banyak diaplikasikan pada penyiaran radio dan televisi, sistem komunikasi satelit, telepon seluler, sistem radar, sensor otomatis, dan masih banyak fungsi lainnya.

2.4 Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip dibuat dalam bentuk *Printed Circuit Board (PCB)*. Struktur dasar dari antena mikrostrip tersusun atas tiga bagian, yaitu (Saputro, 2013: 7-8):

a. Elemen peradiasi (*patch antenna*)

Elemen ini berfungsi sebagai peradiasi gelombang elektromagnetik ke ruang bebas atau udara yang terbuat dari bahan konduktor (tembaga) yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasanya digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan konduktivitas $5,8 \times 10^7$ S/m. Panjang L untuk *rectangular patch* berkisar antara $\frac{\lambda_g}{3} < L < \frac{\lambda_g}{2}$.

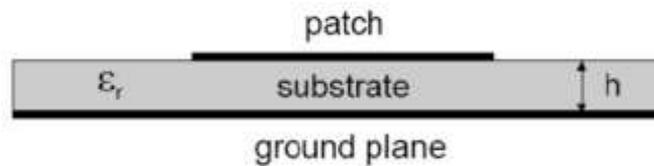
b. Substrat dielektrik

Elemen ini berfungsi untuk menyalurkan gelombang elektromagnetik dari catuan menuju *patch* (Sabrina, 2014: 2). Elemen substrat dari antenna mikrostrip terdiri dari tebal substrat (h), permitivitas relatif (ϵ_r) yang merupakan konstanta dielektrik, dan *loss tangent* ($\tan \delta$) yang merupakan rugi-rugi dielektrik. Konstanta dielektrik pada substrat berkisar antara $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

c. Bidang pentanahan (*Ground Plane*)

Elemen ini terbuat dari bahan konduktor tembaga yang sama dengan bahan pada *patch*. *Ground Plane* digunakan sebagai reflektor gelombang elektromagnetik atau memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

Dapat dilihat pada Gambar 2.4 yang merupakan bagian dari struktur antenna.



**Gambar 2.4 Struktur Dasar Antena Mikrostrip
(Moreno, 2016: 13)**

Kelebihan dari antenna mikrostrip, diantaranya (Garg, 2000: 2-3):

- a. Bentuk yang *low profile*
- b. Memiliki bobot yang ringan dan volume yang kecil.
- c. Ekonomis dan mudah dalam fabrikasi
- d. Polarisasi linear dan sirkular mudah didapat hanya dengan *feeding* yang sederhana.
- e. Dapat digunakan sebagai aplikasi dual polarisasi, *dual* maupun *triple* Band frekuensi.
- f. Dapat diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MICs)
- g. *Feed line* dan *matching network* dapat difabrikasi langsung dengan beragam struktur antenna.

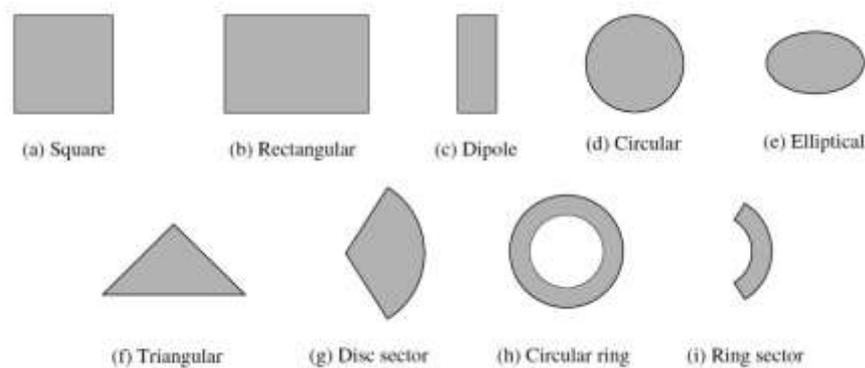
Disamping kelebihan, antenna mikrostrip memiliki kekurangan, diantaranya adalah (Garg, 2000: 2-3):

- a. *Bandwidth* yang sempit.
- b. *Gain* yang dicapai kecil (maksimal 6 dB).
- c. Memiliki rugi-rugi hambatan (*ohmic loss*) pada pencatuan antenna *array*.
- d. Daya relatif rendah (maksimal 100 Watt).
- e. Efisiensi rendah.
- f. Timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*).

2.4.1 Bentuk *Patch* Antena Mikrostrip

Terdapat banyak pola atau bentuk *patch* antena mikrostrip seperti terlihat pada Gambar 2.5, namun pada umumnya bentuk konfigurasi *patch* yang digunakan adalah persegi atau lingkaran, karena lebih sederhana dan lebih mudah untuk dianalisis (Surjati, 2010: 4).

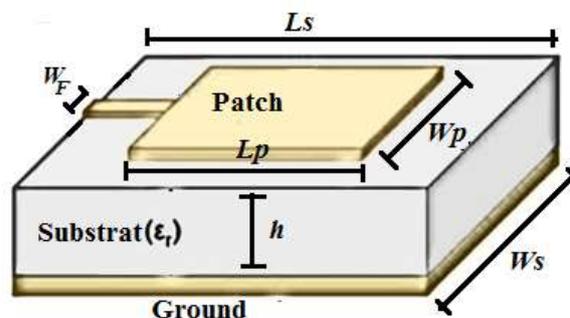
Bentuk *patch* dan teknik pencatutan memiliki pengaruh terhadap pola radiasi, polarisasi, dan impedansi antena mikrostrip (Balanis, 2005: 813).



Gambar 2.5 Bentuk dari *Patch* Antena Mikrostrip

2.4.2 Antena Mikrostrip Segiempat

Antena mikrostrip segiempat dimana W_p dan L_p adalah lebar dan panjang dari elemen peradiasi antena (*patch*), h adalah tebal substrat dan ϵ_r merupakan nilai konstanta dielektrik dari substrat. Antena mikrostrip segiempat dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Antena Mikrostrip Segiempat

2.4.3 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

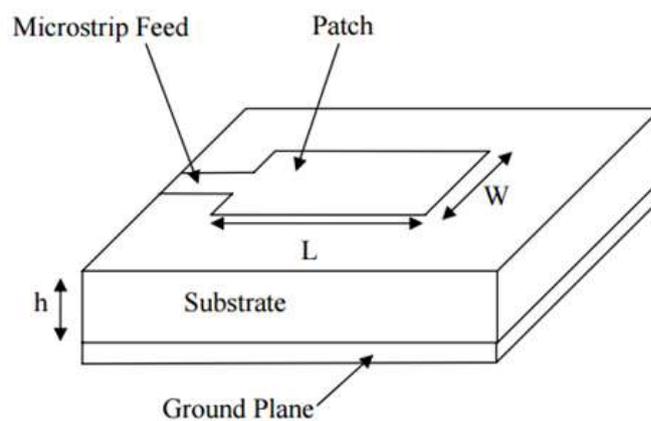
Untuk mengirimkan energi dari sumber ke antena mikrostrip, dibutuhkan suatu pencatu (*feeding*). Posisi pencatuan harus dipilih sedemikian rupa agar transfer daya yang terjadi efisien antara peradiasi dengan pencatu sehingga didapatkan kondisi atau tercapainya *matching impedance* yang baik antara keduanya (Alaydrus, 2011: 206).

Pada dasarnya saluran pencatu untuk antena mikrostrip dapat dibagi menjadi dua, yaitu pencatuan secara langsung (*direct coupling*) dan pencatuan secara tidak langsung (*electromagnetic coupling*) (Surjati, 2010: 35).

1. Pencatuan secara langsung (*direct coupling*)

a. Pita Mikrostrip (*Microstrip Line Feed*)

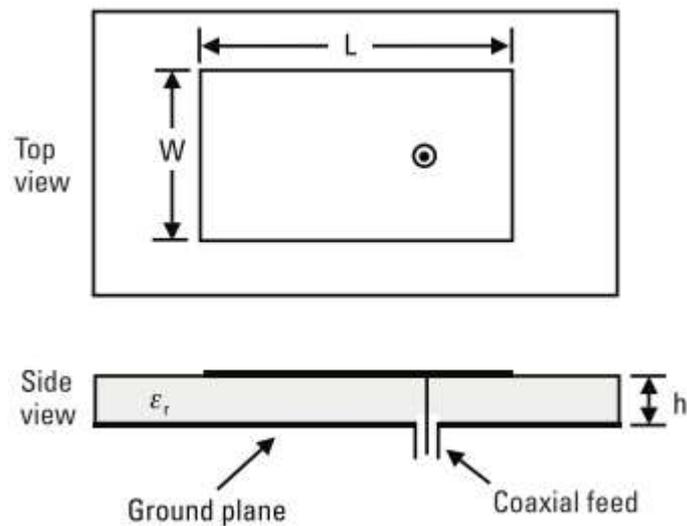
Bandwidth pada tipe ini kecil karena seiring dengan arus permukaan dan radiasi samping yang meningkat karena tebalnya substrat. Bentuk dari pencatuan *microstrip line* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Microstrip Line Feed*

b. Probe Koaksial (*Coax-Line Feed*)

Tipe ini juga menjadi umum digunakan dengan terhubungnya *Ground Plane* dan konduktor luar koaksial, menembus substrat, dan terhubungnya *patch* dan konduktor dalam koaksial. Bentuk dari pencatuan *coax line* dapat dilihat pada Gambar 2.8.

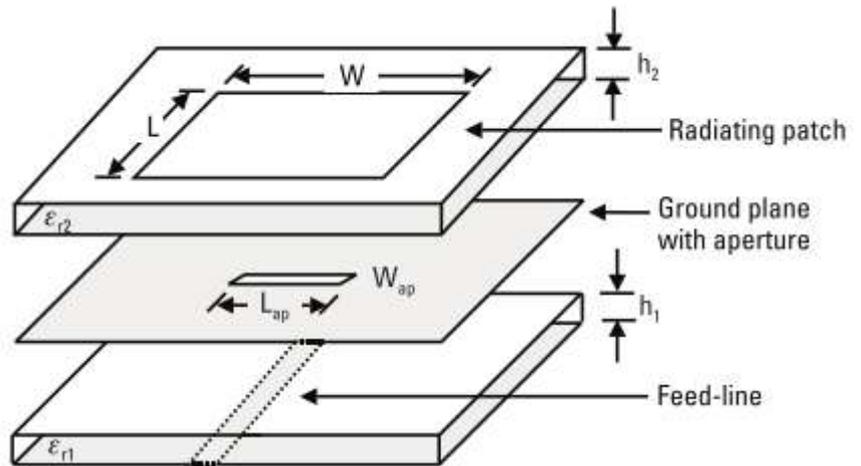


Gambar 2.8 Coax Line Feed
(Kumar & Ray, 2003: 2)

2. Pencatuan secara tidak langsung (*electromagnetic coupling*)

a. Kopling Aperture

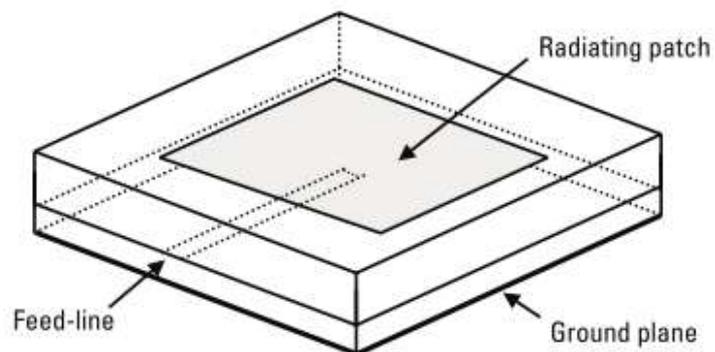
Terdiri atas *Ground Plane* yang dihimpit oleh dua jenis substrat, mikrostrip *line* di bawah substrat-bawah, dan *patch* di atas substrat-atas. Bentuk dari pencatuan *aperture coupling* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Aperture Coupling

b. Kopling Proksimitas

Terdiri atas *microstrip line* yang dihimpit oleh dua jenis substrat, *patch* di atas substrat-atas dengan konstanta dielektrik yang lebih rendah, dan *ground plane* di bawah substrat-bawah dengan konstanta dielektrik yang lebih tinggi. Bentuk dari pencatuan *proximity coupling* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Proximity Coupling

Perbedaan karakteristik dari berbagai teknik pencatuan antenna dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Pencantu Antena
(Punit, 2004: 38)**

Karakteristik	Pencatuan <i>Mikrostrip Line</i>	Pencatuan <i>Coaxial</i>	Pencatuan <i>Aperture Coupled</i>	Pencatuan <i>Proximity Coupled</i>
Radiasi <i>feed</i>	Lebih Banyak	Lebih Banyak	Sedikit	Minimum
Keandalan	Lebih Baik	Buruk karena pengaruh penyolderan	Baik	Baik
Fabrikasi	Mudah	Dibutuhkan penyolderan dan pengeboran	Cukup Rumit	Cukup Rumit
<i>Matching Impedance</i>	Mudah	Mudah	Mudah	Mudah
<i>Bandwidth</i>	2-5%	2-5%	2-5%	13%

2.4.4 Karakteristik Saluran Mikrostrip

Panjang dari saluran mikrostrip (L_F) tidak mempengaruhi kinerja saluran transmisi, melainkan hanya lebar (W_F) dan tebal dari substrat (h), dimana keduanya mempengaruhi parameter utama dari saluran transmisi yaitu impedansi karakteristik (Z_0).

1. Menentukan lebar saluran mikrostrip (W_F)

Nilai Z_0 dan ϵ_r harus ditetapkan sebelumnya, dan lebar saluran mikrostrip dapat dicari setelah menentukan persamaan yang sesuai dengan syarat $u = \frac{W_F}{h}$ yang diberikan oleh Hammerstad sebagai berikut (Alaydrus, 2009: 269):

a. Ketika $u = \frac{W_F}{h} \leq 2$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (2.1)$$

dengan

$$A = \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \quad (2.2)$$

b. Ketika $u = \frac{W_F}{h} \geq 2$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.3)$$

dengan

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

2. Menentukan konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff})

Nilai W_F dan h harus ditetapkan sebelumnya, dan konstanta dielektrik efektif dapat dicari setelah menentukan persamaan yang sesuai dengan syarat kurang atau lebih dari 1 (Surjati, 2010: 42-43):

a. untuk $\frac{W_F}{h} < 1$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} + 0,04 \left(1 - \frac{W_F}{h} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Dan bisa dibuktikan nilai dari impedansi karakteristiknya (Z_0) nya,

$$Z_0 = \left[\frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \ln \left(\frac{8h}{W_F} \right) \right] + \frac{W_F}{4h} \quad (2.6)$$

b. untuk $\frac{W_F}{h} > 1$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} \right) \right] \quad (2.7)$$

Dan bisa dibuktikan nilai dari impedansi karakteristiknya (Z_0) nya,

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{\frac{W_F}{h} + 1.393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{W_F}{h} + 1.44 \right) \right]} \quad (2.8)$$

2.4.5 Dimensi Antena Mikrostrip

Prosedur dalam menghitung dimensi sebuah antena mikrostrip segiempat yang sesuai dengan frekuensi kerjanya, sebagai berikut (Surjati, 2010: 48-49):

1. Menentukan lebar dari elemen peradiasi (W_p)

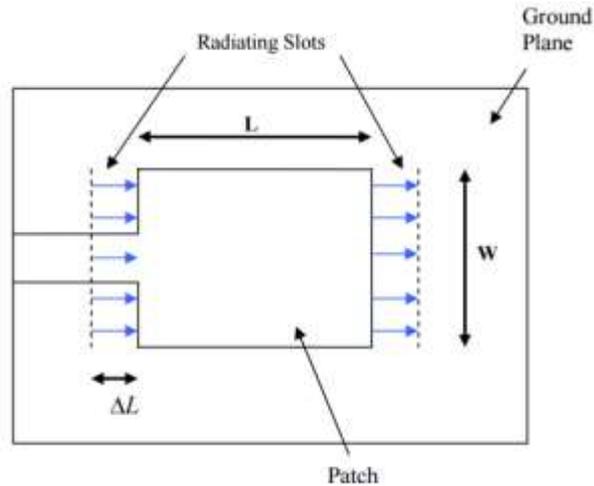
$$W_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.9)$$

2. Menentukan panjang dari elemen peradiasi (L_p)

Untuk menentukan panjang peradiasi atau *patch*, terlebih dahulu menghitung nilai panjang *patch* efektif (L_{eff}) dan perubahan panjang yang disebabkan *fringing effect* atau efek medan tepi pada elemen peradiasi (ΔL)

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.10)$$

Fringing Effect dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Efek Medan Tepi pada Patch
(Punit, 2004: 41)

$$\Delta L = 0,412 \times h \times \left[\frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0,3) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0,258) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,8\right)} \right] \quad (2.11)$$

Sehingga didapatkan total panjang peradiasi (*patch*) sebagai berikut:

$$L_P = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad (2.12)$$

3. Menentukan panjang dari *ground* dan substrat ($W_{G/S}$)

Pada umumnya, dimensi *ground plane* dan dimensi substrat adalah terintegrasi satu sama lain (ukurannya sama) (Afridi, 2015: 128). Secara ideal *Ground Plane* diasumsikan memiliki dimensi yang tak terhingga (*infinite*), namun jika hal tersebut diaplikasikan maka tidaklah efektif dan efisien sehingga ukurannya menjadi disesuaikan dengan nilai minimum (Rajput, 2014: 2101).

$$W_S = 6h + W_P \quad (2.13)$$

$$L_S = 6h + L_P \quad (2.14)$$

keterangan:

c : Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f_r : Frekuensi kerja (Hz)

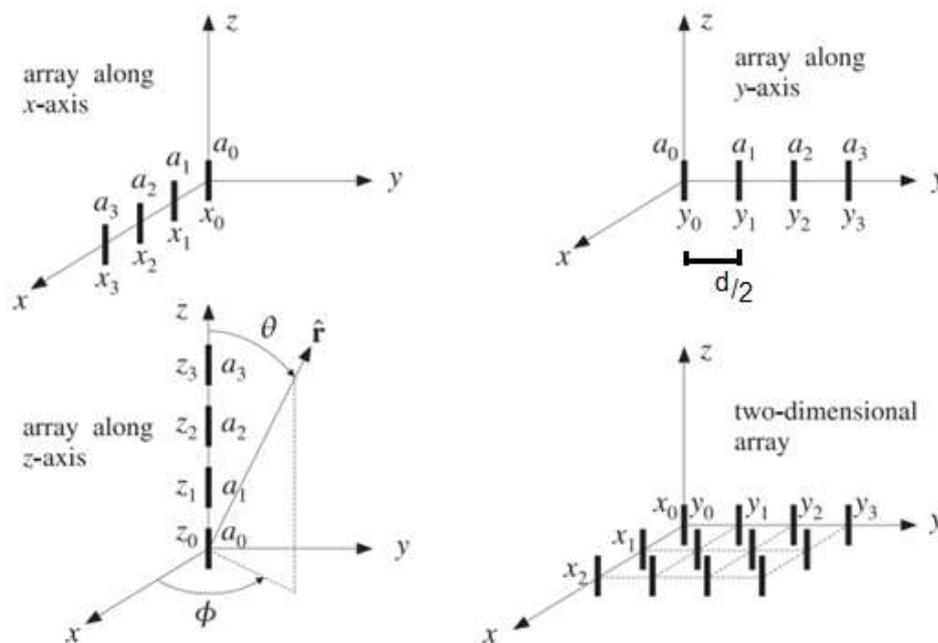
ϵ_r : Permittivitas *relative* dari substrat

h : Ketebalan substrat dielektrik (mm)

2.4.6 Teknik Array

Untuk meningkatkan kualitas *gain* dan *directivity* pada antenna *single*. Antena *array* adalah susunan dari beberapa elemen antenna mikrostrip yang identik atau sama persis dari ukuran dan sebagainya. Teknik *array* digunakan pada *patch*.

Antena *array* dapat dimisalkan sebagai susunan dari *dipole* horizontal yang sangat kecil, seperti terlihat pada Gambar 2.12:



Gambar 2.12 Konfigurasi Teknik Array
(Orfadinis, 2016: 1089)

2.4.6.1 Penyusunan *Patch Array*

Diperlukan pengaturan jarak (d) dan pengaturan beda fasa eksitasi (β) antar elemen pada antena *array* untuk menghasilkan pola radiasi yang mengarah pada sudut tertentu (*directivity*) dan untuk mengurangi efek *mutual coupling*. Untuk mencari jarak antar *patch* dapat dihitung secara matematis dengan mencari terlebih dahulu panjang gelombang pada bahan seperti pada persamaan (2.15).

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.15)$$

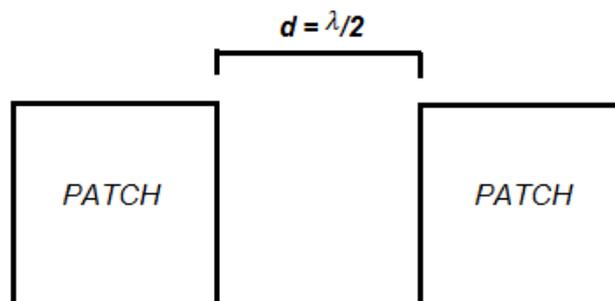
dimana,

$$\lambda_0 \text{ (mm)} = \frac{c}{f_{\text{(Hz)}}} \quad (2.16)$$

Sehingga didapatkan persamaan (2.17) untuk menghitung jarak optimal antar *patch* agar tidak saling bertindihan (Surjati, 2010: 91).

$$d = \frac{1}{2} \lambda_g \quad (2.17)$$

Perhitungan tersebut dapat juga dicari otomatis dengan bantuan aplikasi CST *Microwave*. Jarak optimal pada antena *array* dapat dikur dari ujung tepi *patch* seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Jarak Optimal Antara 2 Patch

2.4.6.2 Impedance Matching

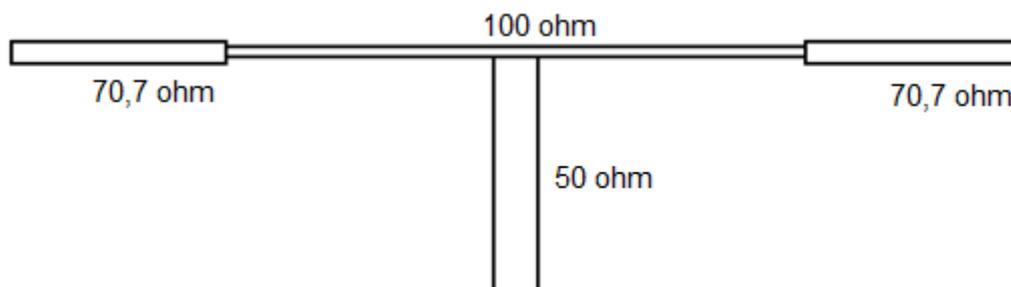
Tidak adanya refleksi pada ujung saluran beban ($Z_0 = Z_L$) menjadi syarat *matching* untuk suatu jalur transmisi (Surjati, 2010: 27). Z_0 merupakan parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi yang umumnya bernilai 50 ohm. Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip (W_F) dan tinggi substrat (h) (Surjati, 2010: 43).

Beban yang *matched* sangat diperlukan untuk mentransfer daya secara sempurna, beban tersebut dapat berupa rangkaian yang mempunyai impedansi beban Z_L . Teknik untuk mendapatkan kondisi yang *matching* yaitu dengan menambahkan saluran transformator $\frac{\lambda}{4}$, dengan impedansi sebesar 70,7 ohm yang dapat dihitung dengan persamaan (2.18) (Surjati, 2010: 28).

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_3} \quad (2.18)$$

dimana,

Z_1 merupakan impedansi 50 ohm dan Z_3 merupakan impedansi beban 100 ohm. Saluran pencatu 70,7 ohm dan 100 ohm dibutuhkan dalam merancang antena *array* menggunakan pembagi daya atau *Power divider*. Bentuk dari susunan *power divider* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Power divider

Cara lain mendapatkan nilai impedansi saluran Z_T dan Z_3 adalah dengan persamaan (2.19).

$$Z_{T,3} = Z_0 \sqrt{N} \quad (2.19)$$

dimana,

N : Jumlah *Array*

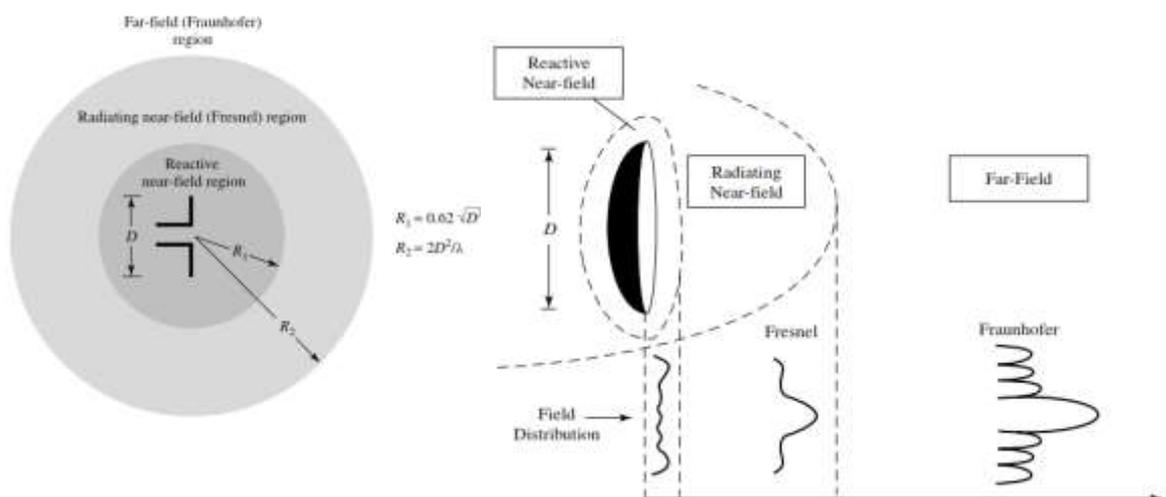
Dan panjang dari saluran pencatu 70,7 ohm dapat dihitung dengan persamaan (2.20).

$$l = \frac{1}{4} \lambda_g \quad (2.20)$$

Untuk menghitung lebar dari saluran mikrostrip 70,7 ohm dan 100 ohm dapat menggunakan persamaan pada sub bab 2.4.4.

2.4.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip

Ada beberapa parameter penting sebagai karakteristik antena yang biasanya ditentukan pada pengamatan medan jauh (*far field*) seperti pada Gambar 2.15 (Alaydrus, 2011: 17). Parameter tersebut menjadi dasar untuk mengetahui performa dari perancangan sebuah antena.



Gambar 2.15 Daerah Medan Antena
(Balanis, 2005: 34-35)

Parameter antenna perlu diketahui untuk menggambarkan performa. Beberapa parameter saling berhubungan tetapi tidak harus semua parameter dibahas (Balanis, 2005: 27). Beberapa dari parameter tersebut adalah *bandwidth*, *return loss*, VSWR, polarisasi, impedansi masukan, *gain*, dan pola radiasi.

a. *Bandwidth*

Bandwidth antenna adalah rentang frekuensi kerja yang sesuai dengan karakteristik dan standar aplikasi penggunaan antenna. Dimana pada rentang tersebut antenna dapat bekerja efektif sebagai *transceiver* gelombang.

Dengan demikian sebuah antenna yang memiliki spesifikasi tertentu hanya akan memenuhi spesifikasi tersebut dalam rentang frekuensi kerja sesuai nilai *Bandwidth* yang diberikan (Sandi & Djatmiko, 2012: 16).

Bandwidth dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas (f_2) dan bawah (f_1) dalam level yang dapat diterima. Frekuensi *cut-off* atau resonansi dapat dilihat dari nilai tengah *Bandwidth* (f_c)

Bandwidth biasanya ditulis dalam bentuk persentase karena bersifat lebih konstan terhadap frekuensi, seperti pada persamaan (2.21). Dan

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.21)$$

b. *Return loss* dan VSWR

Koefisien refleksi (Γ) mempengaruhi nilai *Return loss*. Koefisien refleksi merupakan perbandingan antara gelombang yang dipantulkan (V_0^-) dengan gelombang yang dikirimkan (V_0^+). Pemantulan gelombang tersebut disebabkan karena tidak *matching*nya saluran transmisi (Z_0) dengan antenna (impedansi masukan beban) (Z_L). Nilai

dari koefisien refleksi dan *return loss* dapat dicari dengan persamaan (2.22) dan (2.23).

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.22)$$

$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.23)$$

Return loss menyatakan besarnya daya pantul yang hilang, dan berhubungan dengan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*). VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum \bar{V}_{max} dengan minimum \bar{V}_{min} . Nilai dari VSWR dapat dicari dengan persamaan (2.24)

$$S = \frac{|\bar{V}|_{max}}{|\bar{V}|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.24)$$

Terdapat tiga keadaan yang bisa terjadi, yaitu:

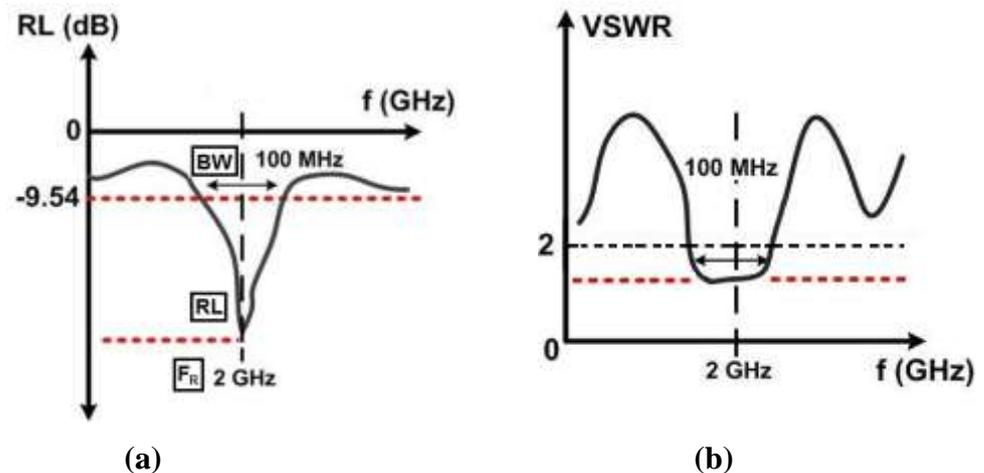
$\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat

$\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan matched sempurna

$\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

Kondisi yang ideal adalah ketika $S = 1$, yang berarti nilai dari $\Gamma = 0$. Namun kondisi tersebut sulit didapatkan, sehingga terdapat nilai standar yang ditetapkan untuk mikrostrip yaitu lebih kecil sama dengan 2 ($VSWR \leq 2$), dan untuk *return loss* bernilai lebih kecil sama dengan -9,54 dB ($RL \leq -9,54$ dB).

Grafik dari *return loss* dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 2.16 (Surjati, 2010: 15-17).



**Gambar 2.16 (a) Grafik *Bandwidth*, f_r , dan *Return loss*.
(b) Grafik VSWR**

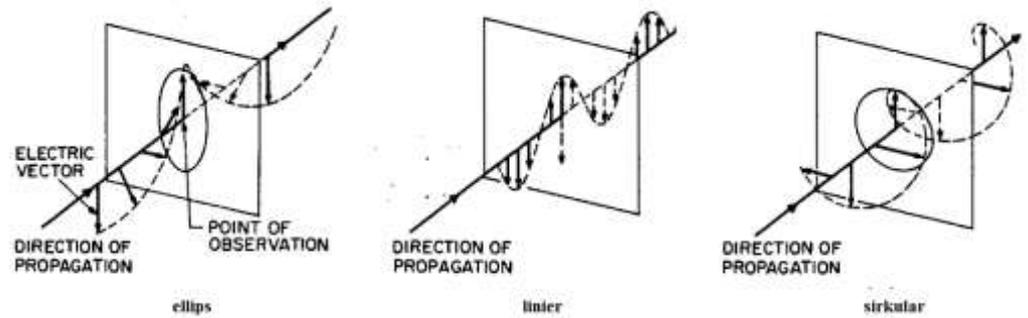
c. Polarisasi

Polarisasi adalah gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasinya pada arah *gain* maksimum (Surjati, 2010: 24).

Polarisasi suatu antenna memberikan informasi tentang kearah mana orientasi perambatan medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh antenna tersebut (Sandi & Djatmiko, 2012: 15).

Polarisasi menggambarkan orientasi dari medan listrik E pada bidang tegak lurus terhadap arah rambat gelombang. Sedangkan polarisasi antenna berarti arah gerak medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna pada *lobe* utamanya.

Terdapat 3 klasifikasi polarisasi untuk antenna mikrostrip seperti pada Gambar 2.17 (Surjati, 2010: 25-27):



Gambar 2.17 Polarisasi Antena

1. Polarisasi Sirkular

Terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik yang memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) dimana titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu (Sandi & Djatmiko, 2012: 15). *Axial Ratio* Sirkular adalah 0 – 3 dB. Banyak diterapkan pada komunikasi satelit, karena diperlukan metoda untuk mengenali depolarisasi perambatan gelombang yang terkadang berubah (tidak bisa diprediksi) jika menembus awan (Alaydrus, 2011: 31).

2. Polarisasi Ellips

Terjadi ketika gelombang yang merambat berubah menurut waktu dan memiliki vektor medan yang berada pada jalur kedudukan ellips di suatu ruang. *Axial Ratio* Ellips adalah $3 \text{ dB} < \text{AR} < 40 \text{ dB}$. Contoh penerapannya sama dengan sirkular (Sandi & Djatmiko, 2012: 15).

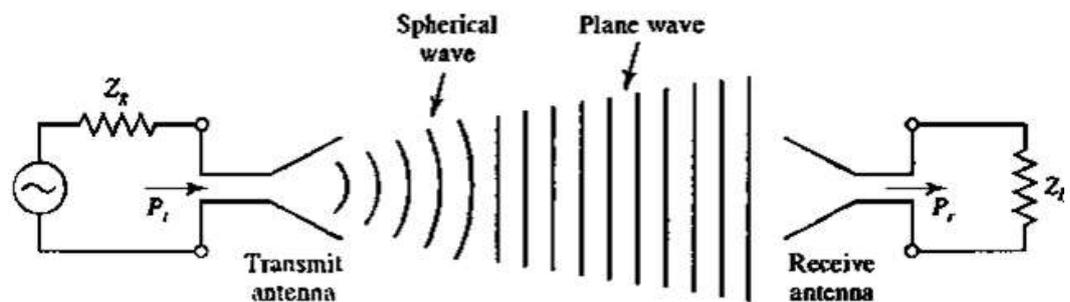
3. Polarisasi Linear

Terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu di suatu titik memiliki vektor medan dimana pada titik tersebut selalu

berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu (linear). *Axial Ratio* Linear adalah ≥ 40 dB. Banyak diterapkan pada pemancar radio AM dan komunikasi seluler (Sandi & Djatmiko, 2012: 15).

d. Impedansi Masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai perbandingan tegangan dan arus pada awal dari saluran transmisi (Alaydrus, 2009: 77). Impedansi input antenna merupakan impedansi yang diberikan antenna terhadap rangkaian dan saluran diluar antenna. Kondisi *matching* terjadi ketika nilai impedansi masukan sama dengan impedansi saluran transmisi ($Z_0 = Z_L$). Ketika kondisi *matching* terpenuhi, maka antenna akan melaksanakan perannya secara baik seperti terlihat pada Gambar 2.18. Impedansi input memiliki hubungan dengan faktor refleksi dan VSWR. Sebuah antenna dapat dikatakan *matching* jika mempunyai karakteristik saluran transmisi sebesar 50 ohm (Surjati, 2010: 121).



Gambar 2.18 Proses Dasar Antena sebagai *Transceiver*
(Pozar, 2012: 659)

e. *Gain*

Gain antenna merupakan besaran yang memperhitungkan efisiensi antenna (η) dan kemampuan direksionalnya (D), seperti pada persamaan (2.25)

$$G = D \times \eta \quad (2.25)$$

Directivity dari sebuah antenna atau deretan antenna diukur pada kemampuan yang dimiliki antenna untuk memusatkan energi dalam satu atau lebih ke arah khusus (Utomo, 2008: 127).

Gain adalah perbandingan antara intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama (U) dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik (U_0) yang menggunakan sumber daya masukan yang sama (Surjati, 2010: 21).

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.26)$$

dimana:

P_{rad} : Daya total radiasi

Gain merupakan faktor perbandingan antara daya output (P_r) atau *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) dengan daya input (P_{in}) yang diberikan kepada suatu antenna (Sandi & Djatmiko, 2012: 14).

$$\eta = \frac{P_r}{P_{in}} \quad (2.27)$$

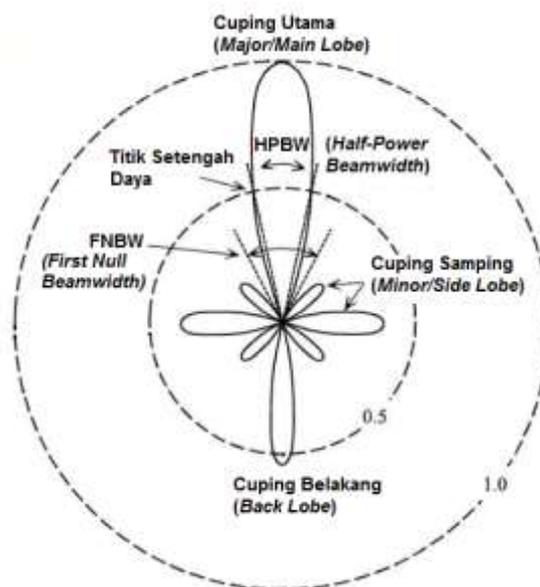
Dengan kata lain, *gain* menandakan seberapa jauh sinyal dapat dikirim pada jarak tertentu. *Gain* juga bisa dilihat berdasarkan *aperture* antenna seperti pada persamaan (2.29), dimana A adalah luas antenna.

$$A = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (2.28)$$

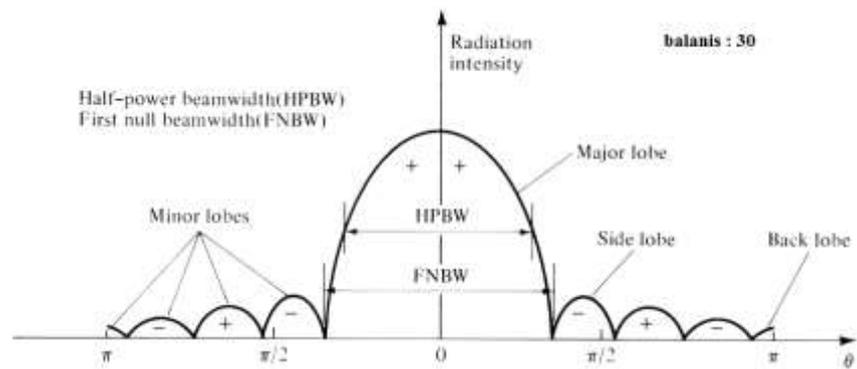
$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (2.29)$$

f. Pola Radiasi

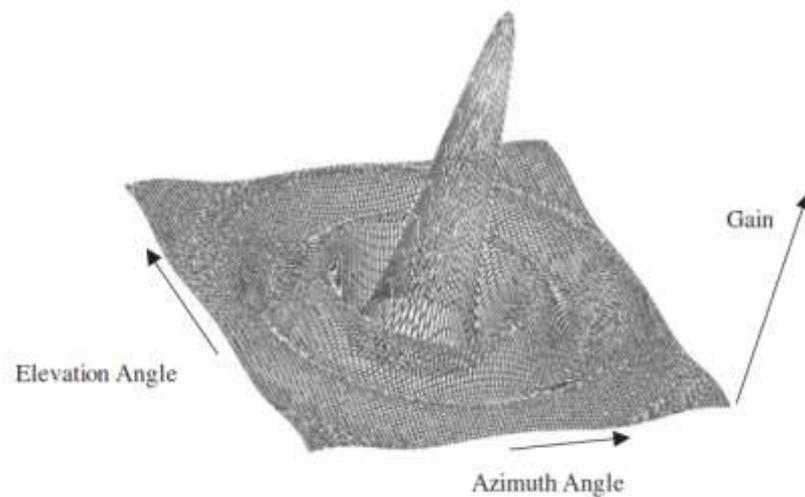
Pola radiasi adalah pola pancar antenna dengan sifat radiasi yang meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi (Surjati, 2010: 23). Pola radiasi sebuah antenna didefinisikan sebagai fungsi matematik atau representasi grafis dari radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang (Balanis, 2005: 27). Dengan kata lain, pola radiasi adalah distribusi energi yang dipancarkan antenna dalam ruang. Bentuk grafis dari pola radiasi dapat dilihat pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20, sedangkan bentuk grafis secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.19 *Lobe* Radiasi Antena (Tiga Dimensi)



Gambar 2.20 Plot Linier Pola Daya Radiasi (Balanis, 2005: 30)



**Gambar 2.21 Sudut Pola Radiasi secara 3 dimensi
(Seybold, 2005: 42)**

Keterangan berdasarkan Gambar 2.20 sebagai berikut:

f.1 *Main Lobe*

merupakan daerah pancaran terbesar (radiasi maksimum) sehingga dapat menentukan arah radiasi dan mempunyai daya yang besar.

f.2 *Side Lobe*

Side lobe terdiri dari *first side lobe*, *second side lobe*, dan *back lobe*. *first side lobe* merupakan *side lobe* dimana posisinya

paling dekat dengan *main lobe*. *second side lobe* merupakan *side lobe* dimana posisinya dekat dengan *main lobe*, namun setelah *first side lobe*. Dan *back lobe* merupakan *side lobe* dimana posisinya berlawanan dengan *main lobe*.

f.3 HPBW (*Half Power Bandwidth*)

merupakan daerah sudut yang dibatasi oleh titik $\frac{1}{2}$ daya atau -3 dB dari medan maksimum pada *main lobe*.

f.4 FNBW (*First Null Bandwidth*)

merupakan besar sudut bidang diantara dua arah pada *main lobe* yang intensitas radiasinya nol

f.5 SLL (*Side Lobe Level*)

merupakan perbandingan antara *first lobe* dan *main lobe*. *Side Lobe Level* menyatakan besar dari *side lobe*

f.6 FBR (*Front to Back Ratio*)

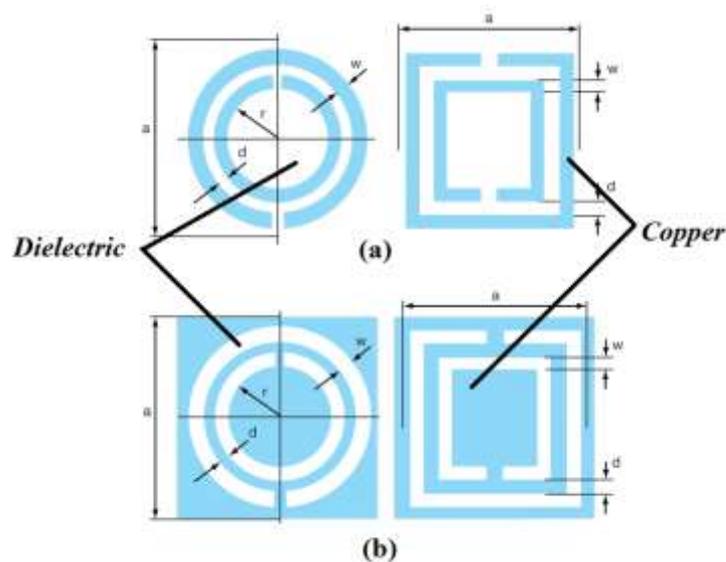
merupakan perbandingan antara *main lobe* terhadap *back lobe*.

Pola radiasi antena dibedakan menjadi tiga, yaitu: Pola radiasi isotropis, direksional, dan omnidireksional. Pola radiasi isotropis memancar ke berbagai arah dengan energi yang sama besar pada seluruh bidang, pola radiasi isotropis adalah ideal dan sulit direalisasikan. Sedangkan pola radiasi direksional memancar efektif pada satu arah, contohnya pada antena horn atau yagi uda. Berbeda dengan pola radiasi

omnidireksional yaitu memancar ke segala arah, namun ada satu bidang yang tidak terarah dan bentuknya seperti donat.

2.5 Metamaterial *Complimentary Split Ring Resonator*

CSRR (*Complementary Split-Ring Resonator*) adalah struktur yang dapat dicetak pada *ground* atau *patch* antena (jika memiliki cukup ruang). Susunan material CSRR merupakan kebalikan dari SRR yang terdiri dari dua ring slot (lingkaran atau segiempat) dimana slot sisi dalam dan luar dipisahkan sebuah strip metal/tembaga (Nuansa, 2011: 2). CSRR mempengaruhi permitivitas substrat dan menyebabkan gelombang mengikuti kaidah tangan kiri (Limaye, 2006: 3). Elemen CSRR terdiri dari dua ring slot (lingkaran atau segiempat) dimana slot sisi dalam dan luar dipisahkan sebuah strip metal (tembaga), Rangkaian ekuivalen dari CSRR cukup sederhana dengan sebuah induktansi dan sebuah kapasitansi yang terpasang paralel (LC paralel). Nilai induktansi dan kapasitansi ditentukan oleh ukuran lebar dari ring dan slot CSRR (Nuansa, 2011: 2). Bentuk struktur dari CSRR dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 (a) Struktur SRR, (b) Struktur CSRR

Resonansi pada rangkaian merupakan keadaan dimana reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif memiliki nilai yang sama ($X_L = X_C$). Sehingga didapatkan pengaruh L dan C terhadap frekuensi resonansi seperti pada persamaan (2.1).

$$\begin{aligned}
 X_L &= X_C \\
 \omega L &= \frac{1}{\omega C} \\
 \omega^2 &= \frac{1}{LC} \\
 \omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\
 2\pi f_r &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\
 f_r &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.30}
 \end{aligned}$$

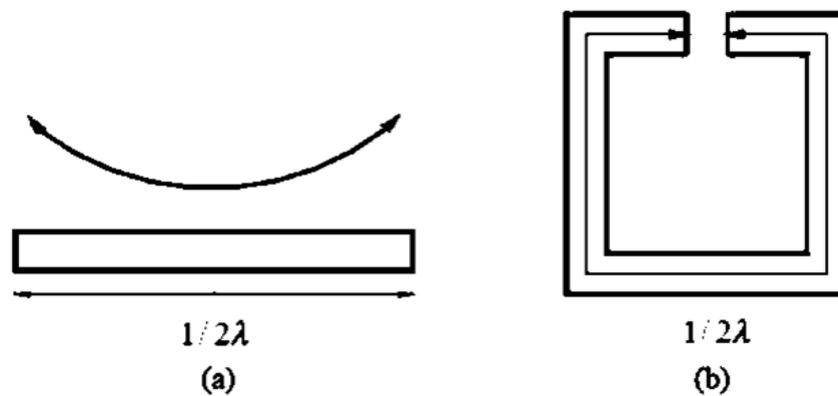
Rangkaian ini bersifat resistif hanya pada frekuensi resonansi. Jika frekuensi berubah, maka impedansi rangkaian tidak lagi resistif, tapi akan kompleks, dengan sifat reaktif induktif ($X_C > X_L$) atau kapasitif ($X_C < X_L$). Parameter yang berhubungan dengan sifat selektivitas rangkaian adalah faktor kualitas (Q) yang dirumuskan dengan persamaan (2.31) dan (2.32). Dan faktor kualitas dapat mempengaruhi besar *bandwidth*, lihat persamaan (2.33).

$$Q = \frac{R}{\omega L} \tag{2.31}$$

$$Q = \omega RC \tag{2.32}$$

$$BW = \frac{f_r}{Q} \tag{2.33}$$

Dalam perancangan dengan media mikrostrip komponen L dan C dapat direalisasikan menggunakan bentuk *square resonator* dengan cara menekuk sebuah *resonator* lurus tunggal (a) menjadi persegi (b), seperti pada Gambar 2.23. Secara teori, agar resonator dapat beresonansi sesuai dengan frekuensi yang diinginkan maka panjang dari sebuah resonator harus dibuat dengan panjang $\frac{1}{2}$ panjang gelombang (Yudha, 2016: 31).



Gambar 2.23 Transformasi Resonator

Diantara beberapa struktur yang direalisasikan untuk permitivitas dan atau permeabilitas negatif, CSRR termasuk struktur yang mudah untuk diterapkan karena bisa dicetak di bagian *ground* antena (Limaye, 2006:4). Struktur tersebut juga bisa lebih kecil dibandingkan dengan struktur EBG (Ying & Alphones, 2005: 409). CSRR mampu menghasilkan dipole listrik yang kuat pada f_r dan sesuai dengan proses reduksi antena karena dimensinya yang kecil (Nuansa, 2011: 20). Peletakkan metamaterial CSRR akan mengakibatkan pergeseran frekuensi resonan antena, sehingga mengakibatkan reduksi dimensi antena (Khatim, -:1).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, selain metode *array* yang sering digunakan untuk meningkatkan *gain* pada antena, keberadaan sel CSRR mampu

meningkatkan kinerja antena dan dapat mereduksi dimensi (Suyuti, 2016: 132). Pembebanan CSRR menjadi salah satu metode dalam hal miniaturisasi antena *patch* (Sharawi, 2013: 4266)

Metamaterial merupakan rekayasa material, struktur homogen buatan (periodik) yang memiliki sifat elektromagnetik yang tidak terdapat di alam. Kondisi homogenitas efektif berarti pada struktur sel terjadi distribusi elektromagnetik yang uniform dengan batasan struktur sel (p) lebih kecil daripada seperempat panjang gelombang mikrostrip ($p < \frac{1}{4}\lambda_g$). Sifat elektromagnetik tersebut adalah permitivitas (ϵ) dan atau permeabilitas (μ) yang bernilai negatif (Pratama, 2014: 16). Metamaterial biasanya disusun oleh komposit material seperti logam dan plastik, tetapi yang lebih berpengaruh adalah strukturnya.

Manfaat dari metamaterial diantaranya adalah (Saputro, 2013: 26):

- a. Miniaturisasi Dimensi Antena
- b. Mengurangi *Mutual Coupling*
- c. Menekan *Electromagnetic Noise*

2.6 Spesifikasi LTE Band 40

LTE Band 40 menggunakan mode duplex TDD, untuk alokasi penentuan frekuensi kerja dan lebar *bandwidth* dapat dilihat pada Gambar 2.24.

LTE BAND NUMBER	ALLOCATION (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)
33	1900 - 1920	20
34	2010 - 2025	15
35	1850 - 1910	60
36	1930 - 1990	60
37	1910 - 1930	20
38	2570 - 2620	50
39	1880 - 1920	40
40	2300 - 2400	100
41	2496 - 2690	194
42	3400 - 3600	200
43	3600 - 3800	200

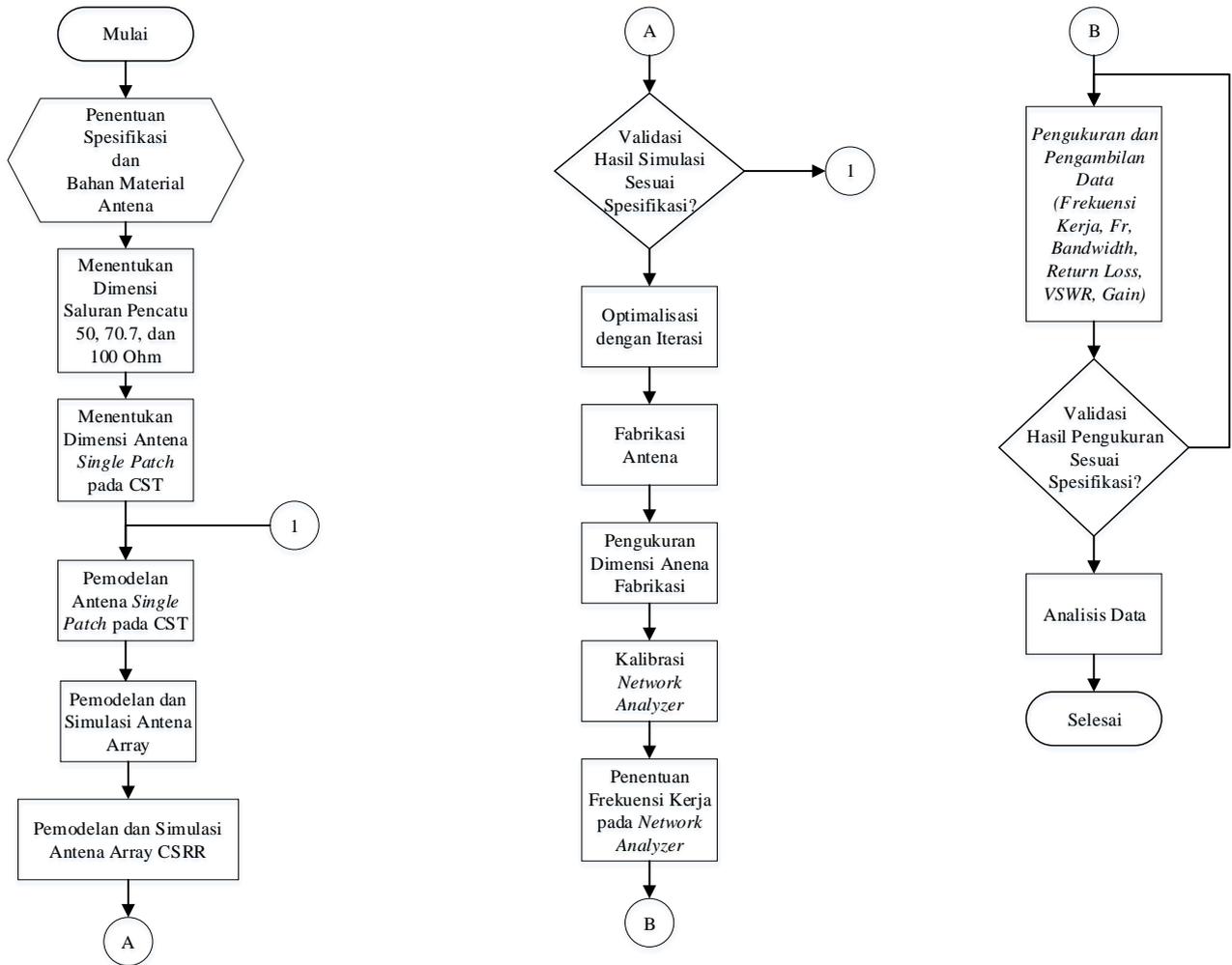
Gambar 2.24 Spesifikasi LTE Band 40

Spesifikasi antena yang akan disambung dengan perangkat, dalam rangka mentransmisikan sinyal, harus memenuhi ketentuan seperti yang terdapat pada peraturan direktur jenderal sumber daya dan perangkat pos dan informatika, nomor 214/Dirjen/2011: 13.

- a. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) maksimum = 1,5 : 1
- b. Penguatan maksimum = 21 dBi
- c. Dapat bekerja di rentang frekuensi = 2300–2400 MHz

2.7 Kerangka Berpikir

Teori yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya menjadi dasar pengembangan untuk mendesain antena mikrostrip segiempat dengan tambahan struktur CSRR pada frekuensi LTE Band 40. Alur kerja dari penelitian ini akan dijelaskan pada Gambar 2.25 sebagai berikut:



Gambar 2.25 Flowchart Pembuatan Antena Mikrostrip

Tahap awal yang dilakukan adalah menentukan spesifikasi antena dan bahan yang akan digunakan pada pembuatan antena. Setelah itu, dilakukan proses perancangan dengan menentukan dimensi *feeding* dan dilanjutkan dengan menghitung dimensi antena. Tahap berikutnya adalah proses simulasi menggunakan CST 2014, pada tahap ini terjadi proses pembuatan antena sesuai perhitungan dan terdapat proses *running* untuk mendapatkan hasil simulasi. Sebelum ke tahap fabrikasi, dilakukan proses validasi dan refisi pada antena. Ketika sudah optimal, maka fabrikasi dilakukan dan antena diukur dengan *network analyzer*. Tahap terakhir dari penelitian adalah analisis dan kesimpulan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka berpikir yang terdapat pada bab II akan dijabarkan pada bab metodologi penelitian. Bab metodologi penelitian ini mempermudah penelitian dan pelaksanaan, karena merupakan *grand design* penelitian yang akan menjadi pedoman untuk bab selanjutnya.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta, pada bulan Mei sampai Agustus 2017.

3.2 Metode Penelitian dan Pengembangan Produk

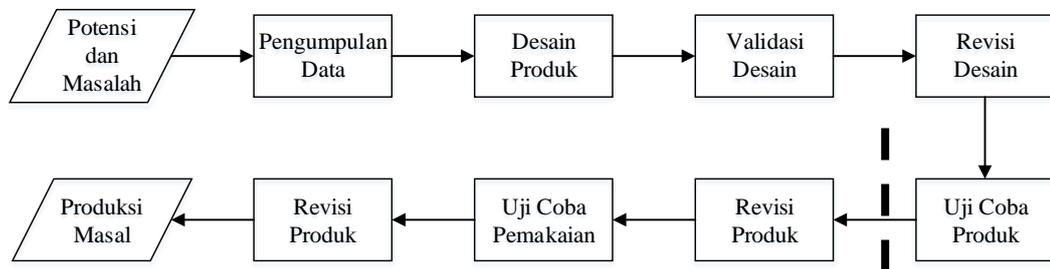
3.2.1 Tujuan Penelitian dan Pengembangan

Tujuan dalam penelitian ini adalah membuat antena yang lebih efektif dalam hal dimensi dan performansi. Proses diawali dengan perancangan secara matematis, melakukan pemodelan dan simulasi pada *software* CST 2014, dan melakukan pengujian dengan mengukur kinerja antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi LTE Band 40 pada *Network Analyzer* dengan kriteria uji *Bandwidth* ± 100 MHz, $VSWR \leq 1,5$, dan *Return loss* $\leq -9,54$ dB.

3.2.2 Metode Penelitian dan Pengembangan

Metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. R&D bersifat longitudinal (bertahap bisa

multi years). Prosedur dalam penelitian dan pengembangan dapat dilihat pada Gambar 3.1 (Sugiyono, 2006: 333 & 335).



Gambar 3.1 Metode *Research and Development* (R&D)

Berdasarkan prosedur tersebut, pada skripsi ini hanya sampai sebatas tahap ke-6 yaitu Uji Coba Produk.

1. Potensi dan Masalah

Potensi adalah segala sesuatu yang akan memiliki nilai tambah apabila didayagunakan, dan jika tidak didayagunakan maka bisa berkembang menjadi masalah, begitupun sebaliknya (Sugiyono, 2006: 333 & 335). Penelitian ini bermula dari adanya potensi pada perkembangan dimensi dan kinerja antena.

2. Pengumpulan Data

Berbagai informasi dibutuhkan sebagai bahan untuk perencanaan produk tertentu yang diharapkan dapat lebih baik dari produk yang sudah ada. Pengumpulan data dilakukan secara berulang (Sugiyono, 2006: 336). Begitupun dengan penelitian ini, data dibutuhkan sebagai bahan referensi untuk hasil desain antena sesuai yang diharapkan.

3. Desain Produk

Desain produk diwujudkan dalam gambar atau bagan, sehingga dapat digunakan sebagai pedoman untuk menilai dan membuatnya. Desain sistem bersifat hipotetik (karena efektivitas belum terbukti) dan akan diketahui setelah pengujian. Desain produk meliputi bahan yang digunakan, ukuran, alat penunjang, prosedur kerja (Sugiyono, 2006: 338). Desain antena pada penelitian didapatkan dari rancangan dengan perhitungan matematis dan simulasi menggunakan *software* CST *Microwave Studio Suite* 2014.

4. Validasi Desain

Validasi desain merupakan proses kegiatan menilai secara rasional apakah rancangan produk lebih baik dari yang sebelumnya atau sesuai dengan yang diharapkan (Sugiyono, 2006: 338). Pada penelitian ini, proses validasi adalah ketika pengujian perancangan antena saat simulasi pada CST 2014 yang berupa hasil parameter antena.

5. Revisi Desain

Kekurangan dari rancangan akan diminimalisir dengan memperbaiki desain (Sugiyono, 2006: 338). Pada penelitian ini, dilakukan proses iterasi untuk mencapai hasil yang optimal sesuai dengan spesifikasi awal.

6. Uji Coba Produk

Setelah melalui proses validasi dan revisi maka selanjutnya adalah produk dapat dibuat dalam bentuk *prototype* (Sugiyono, 2006: 339). Pada penelitian ini, *prototype* akan diuji dengan alat ukur *Network*

Analyzer, dimana *prototype* tersebut dicetak dengan jasa pihak ketiga yaitu di *Spectra* Bandung.

3.2.3 Sasaran Produk Penelitian

Sasaran produk dalam penelitian ini yaitu penggunaan tambahan struktur CSRR (*Complimentary Split Ring Resonator*) pada antena mikrostrip *array* yang sesuai dengan karakteristik antena mikrostrip pada pengaplikasian LTE Band 40.

3.2.4 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian ini terdiri dari beberapa penunjang seperti perangkat keras dan perangkat lunak, sebagai berikut:

1. Perangkat Keras
 - a. Bahan material FR4 – *Epoxy (Lossy)* dan *Copper (annealed)*.
 - b. Konektor SMA 50 ohm
 - c. *Personal computer* : Asus S451LB-CA091H. Spesifikasi PC dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Personal Computer*

CPU	Core i5 4200U 1.6GHz, SM Cache (Up to 2.6GHz)
Model GPU	NVIDIA GeForce GT740M
RAM	4GB
Tipe Memori	DDR3
Ukuran Layar	14 inches
OS ver.	Windows 8

- d. *Network analyzer* Anritsu tipe S332E
- e. Mistar

2. Perangkat Lunak

- a. *Microsoft Office* 2016 (Word, Excel, Visio)
- b. *Computer Simulation Technology Microwave Studio* 2014.

3.3 Prosedur Pengembangan dan Penelitian

3.3.1 Penelitian dan Pengumpulan Data

Berdasarkan studi literatur baik buku maupun jurnal penelitian sebelumnya, bahwa dengan menambahkan struktur (*Defected Structure*) pada antenna maka dapat memperkecil dimensi antenna tersebut. Karena dengan menambahkan struktur dapat mengatasi *surface wave* dan *mutual coupling*. *Surface wave* dapat mengurangi performa sebuah antenna. Pada penelitian ini menggunakan tambahan struktur *Complimentary Split Ring Resonator* (CSRR) pada bagian *patch* antenna *array*.

Perancangan struktur ini mengacu pada penelitian yang diusulkan oleh Hamzidah dengan judul “*Design of Microstrip Patch Antenna Based on Complimentary Split Ring Resoonator Metamaterial for WiMAX Applications*”, dan beberapa jurnal lainnya. Peneliti melakukan beberapa modifikasi, dengan menambahkan jumlah orientasi sel pada frekuensi kerja yang lain dan menerapkan teknik *array*.

Antena akan dirancang dengan dua bentuk berbeda, yaitu antenna *array* konvensional dan antenna *array* dengan tambahan CSRR. Setelah fabrikasi akan dilakukan analisis perbandingan dimensi dan performansi antenna dari beberapa parameter seperti f_r , *bandwidth*, *return loss*, *VSWR*, *gain*.

3.3.2 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini menggunakan metode observasi langsung yang diawali dengan pencarian informasi dari beberapa literatur, perhitungan perancangan, pemodelan dan simulasi dengan CST 2014 dan tahap pengujian dengan alat ukur *Network Analyzer*. Semua data kemudian dikumpulkan dan diolah sehingga hasilnya sesuai dengan yang diharapkan.

Terdapat dua jenis data pada penelitian ini, yaitu data primer dan sekunder. Data primer didapatkan secara langsung dari hasil perhitungan perancangan, hasil simulasi antenna dan hasil pengukuran. Data sekunder didapatkan secara tidak langsung dari beberapa literatur berupa buku, jurnal, dan sebagainya.

3.3.3 Perencanaan Desain Produk Penelitian dan Pengembangan

Tahapan yang diperlukan untuk mendesain produk diantaranya menentukan spesifikasi pengaplikasian antenna, bahan material antenna, serta menghitung secara sistematis jarak antar elemen, dimensi saluran transmisi, dan dimensi antenna.

1. Spesifikasi atau Karakteristik Antena

Antena yang akan dibuat adalah antenna mikrostrip untuk pengaplikasian LTE Band 40. Penentuan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 3.2, hal tersebut bertujuan agar antenna yang dirancang memiliki nilai standar yang harus dipenuhi:

Tabel 3.2 Standar Karakteristik Antena LTE Band 40

Frekuensi	2300 - 2400
Kerja	MHz
<i>Bandwidth</i>	± 100 MHz
<i>Return loss</i>	$\leq -9,54$ dB
VSWR	$\leq 1,5$
<i>Gain</i>	≥ 2 dBi
Konektor	SMA 50 ohm

2. Jenis Material

Bahan material yang digunakan untuk perancangan antenna terdiri dari dua bahan, yaitu tembaga untuk elemen *patch* dan *ground plane* lalu FR-4 untuk elemen substrat. Karakteristik bahan material mempengaruhi beberapa parameter antenna.

FR-4 adalah material untuk substrat yang efisien dari segi harga dan memiliki sifat mekanik yang cukup baik, sehingga sering digunakan untuk produksi masal produk elektronik, termasuk sistem *microwave* dan antenna (Riani, 2016: 2). Berdasarkan pertimbangan tersebut, spesifikasi jenis material pada substrat dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Material Antena Mikrostrip

	Substrat	<i>Patch dan Ground Plane</i>
Jenis Material	<i>Epoxy (FR4)</i>	<i>Copper</i>
Tipe	<i>Lossy</i>	<i>Annealed</i>
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4,3	1
Dielektrik Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,0265	0,99991
Ketebalan	1,6 mm	0,035 mm

3. Jarak Antar-Elemen Peradiasi

Jarak antar elemen *patch* $\frac{\lambda}{2}$ dibutuhkan agar antar elemen tidak saling bertindihan dan mengurangi efek *mutual coupling*. Untuk mencari jarak antar *patch* dapat dihitung dengan persamaan (2.17).

4. Dimensi Saluran Pencatu

Software CST 2014 memberikan kemudahan untuk mempermudah perhitungan, dengan memanfaatkan *tools Impedance Calculation*.

Namun, perhitungan matematis dari dimensi saluran pencatu tetap dibutuhkan.

a. 50 ohm

Nilai 50 ohm adalah nilai karakteristik untuk saluran transmisi pada umumnya. Pada penelitian ini, saluran pencatu 50 ohm akan terhubung dengan konektor dan *patch*.

Pada awal perancangan *single element* dilakukan perhitungan untuk mendapatkan lebar saluran pencatu 50 ohm persamaan (2.1) atau (2.3).

b. 70.7 ohm

Cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching* yaitu dengan menambahkan saluran transformator $\lambda/4$. Pada penelitian ini, saluran pencatu 70,7 ohm berperan sebagai penghubung antara saluran beban 100 ohm dan 50 ohm yang tersambung pada *patch*.

Perancangan diawali dengan melakukan perhitungan terhadap lebar saluran pencatu 70,7 ohm yang caranya sama dengan menghitung lebar saluran 50 ohm, dan dilanjutkan dengan perhitungan panjang transformator dengan persamaan (2.20).

c. 100 ohm

Saluran pencatu 70,7 ohm dan 100 ohm dibutuhkan dalam merancang antena *array* menggunakan prinsip pembagi daya agar kedua elemen mendapat daya yang sama. Pada penelitian ini, saluran pencatu 100 ohm akan dihubungkan dengan saluran 50 ohm yang terhubung dengan konektor. Perhitungan lebar saluran 100 ohm juga

sama dengan saluran 50 ohm. Dan untuk panjangnya fleksibel karena sebelumnya telah dihitung untuk jarak antar elemen peradiasi (*patch*).

Hasil kalkulasi dari lebar saluran pencatu secara teori maupun dengan bantuan CST 2014 tidak akan presisi dengan nilai impedansi yang telah ditentukan, namun hanya mendekati (aproksimasi). Hasil tersebut bisa dibuktikan kesesuaiannya dengan persamaan (2.6) atau persamaan (2.8).

5. Dimensi Antena

Langkah perhitungan untuk dimensi antena mikrostrip sesuai dengan yang telah dijelaskan pada bab 2.

a. Ukuran *Patch*

Ukuran lebar (W_P) dan panjang *patch* (L_P) dapat dihitung dengan persamaan (2.9) dan (2.12).

b. Ukuran Substrat dan *Ground Plane*

Ukuran panjang ($L_{S,G}$) dan lebar substrat dan atau *finite Ground Plane* ($W_{S,G}$) dapat dihitung dengan persamaan (2.13) dan (2.14).

3.3.4 Pemodelan dan Simulasi Desain Penelitian dan Pengembangan

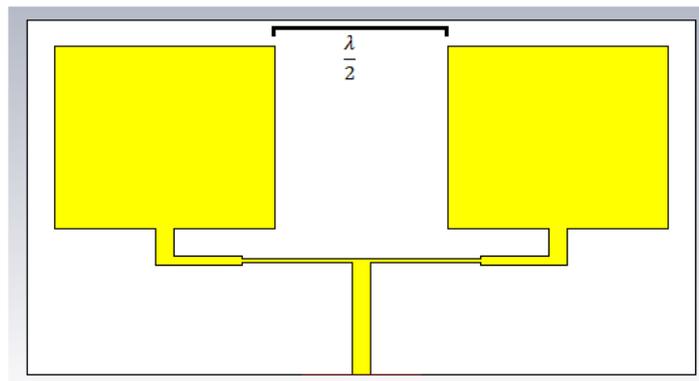
Ketika hasil simulasi kurang sesuai dengan yang diharapkan (validasi), maka dilakukan iterasi sebagai upaya optimalisasi kinerja antena (revisi). Semua perhitungan dimuat dalam sebuah format *grand design* yang akan dijabarkan pada tahap ini.

1. Perancangan Jarak Antar Elemen Peradiasi

Pada penelitian ini akan dibuat antena *array*, sehingga tahap awal yang dilakukan agar efektif adalah melakukan perhitungan jarak antar *patch* seperti terlihat pada Gambar 3.2, yang bisa dikalkulasikan secara matematis ataupun dengan bantuan *software* CST 2014. Hasil perhitungan dan simulasi dirangkum seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Desain Jarak Antar *Patch* pada Simulasi

Jarak Antar Elemen <i>Patch</i> (mm)
Perhitungan
CST 2014



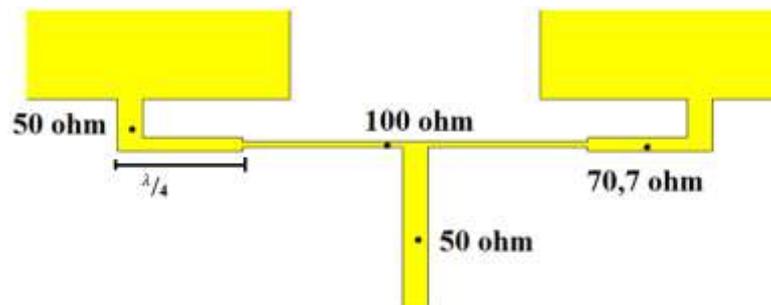
Gambar 3.2 Jarak Antar *Patch*

2. Perancangan Dimensi Saluran Transmisi (*Power Divider*)

Sama halnya dengan perancangan jarak antar *patch*, dimensi saluran transmisi juga dapat dikalkulasikan dengan cara matematis ataupun dengan bantuan *software*. Dan untuk posisi dari masing-masing *feeding* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Hasil perhitungan dan simulasi dirangkum seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Desain Dimensi Saluran Transmisi

Dimensi Saluran Transmisi (mm)			
50 ohm	70,7 ohm	100 ohm	
W_F	W_F	L_F	W_F
Perhitungan			
CST 2014			

Gambar 3.3 Posisi *Feeding* Mikrostrip Array

Setelah didapatkan nilai (W_F) pada masing-masing *feeding*, maka akan berikan perbandingan kesesuaiannya terhadap masing-masing impedansi umum yang akan dijabarkan secara matematis dan akan dirangkum pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Desain Perbandingan *Error rate* Kesesuaian W_F terhadap Ketentuan Umum Impedansi Saluran

Lebar Saluran Pencatu (mm)	Impedansi (Ω)		<i>Error Rate</i> (%)
	Simulasi	Perhitungan	
50 ohm			
70,7 ohm			
100 ohm			

3. Perancangan Dimensi *Single Element*

Apapun bentuk yang akan menjadi variasi pada pengembangan antenna mikrostrip, tidak akan melewati langkah membuat *single element*. Bentuk dari *single element* dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dimensi pada simulasi dirangkum seperti pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Desain Mikrostrip *Single Element*

Elemen	Dimensi (mm)	
	W	L
<i>Patch</i>		
Ground atau Substrat		
<i>Inset</i>		

Gambar 3.4 Mikrostrip *Single Element*

Optimasi Antena *Single Element*

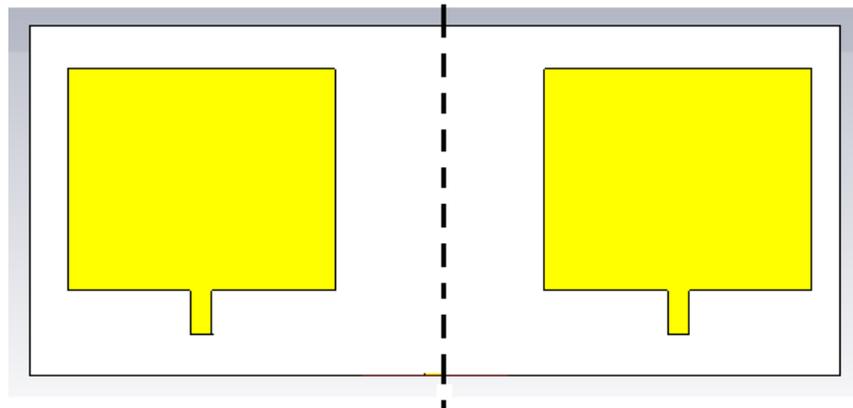
Langkah berikutnya adalah optimasi dimana hasilnya dirangkum seperti pada Tabel 3.8. Optimasi dilakukan ketika hasil dari pengujian simulasi kurang sesuai dengan apa yang diharapkan di awal.

Tabel 3.8 Desain Hasil Iterasi Mikrostrip *Single Element*

Elemen	Dimensi (mm)	
	<i>W</i>	<i>L</i>
<i>Patch</i>		
<i>Ground</i> atau Substrat		
<i>Inset</i>		

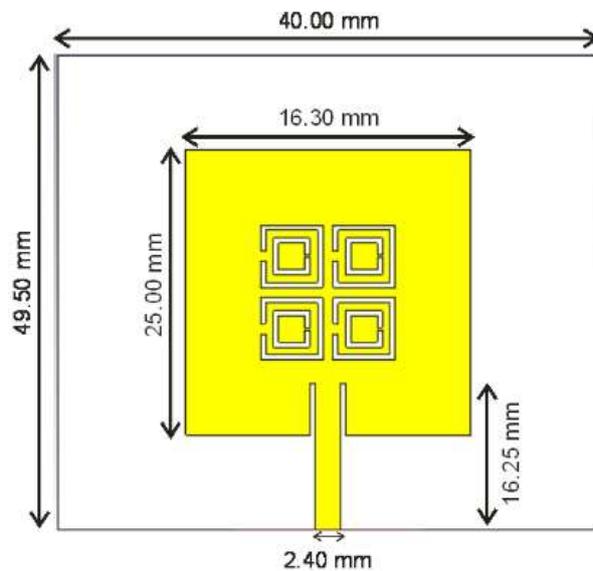
4. Perancangan Antena *Array*

Untuk membuat antena *array*, cukup meng-*copy* antena *single element* menggunakan fitur *copy* pada CST 2014 dan memperhitungkan jarak antar elemen peradiasinya, seperti pada Gambar 3.5.

**Gambar 3.5 Antena *Array***

5. Perancangan Antena *Array* dengan CSRR

CSRR akan didesain dengan bentuk persegi dan dibuat periodik *array*, semakin banyak jumlah sel maka kinerja antena akan semakin optimal. dengan orientasi antar sel *face to back* dan *side by side* dan jarak yang sama, seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Desain CSRR 2×2 (Hamzidah, 2015: 415)

Semakin banyak jumlah elemen metamaterial CSRR pada bidang *ground* antena, maka semakin besar dalam penurunan frekuensi resonansi antena, sehingga akan diperoleh persentase reduksi yang semakin besar, namun akan mengalami penurunan *gain* (Khatim, -: 11).

Dapat diketahui sebelumnya, bahwa metode *array* pada antena mikrostrip dapat meningkatkan nilai *gain*. Dan pada penelitian kali ini, peneliti akan mengkolaborasikan antena mikrostrip yang diarray dengan tambahan struktur CSRR pada bidang *patch* dengan susunan periodik. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, bahwa untuk menentukan ukuran satu resonator adalah $\frac{1}{2}\lambda$ dan ditekuk sehingga membentuk *square* resonator dan akan dioptimalisasi.

Penelitian ini akan mengembangkan jumlah orientasi selnya menjadi 4×4, dimana peneliti sebelumnya yaitu Hamzidah menggunakan orientasi sel 2×2 dengan total sel 4. Penelitian yang dilakukan Hamzidah menggunakan frekuensi 3,5 GHz, sedangkan yang

dilakukan peneliti menggunakan frekuensi 2,35 GHz. Sehingga geometri dari satu sel pada frekuensi 2,35 akan lebih besar karena disesuaikan dengan panjang gelombang.

3.3.5 Simulasi Rancangan Akhir

Tahap terakhir dari pemodelan dan simulasi adalah mengoptimalkan antenna konvensional dan antenna *array* CSRR agar sesuai dengan spesifikasi awal yang telah ditetapkan dan menampilkan hasil parameter dari simulasi menggunakan CST 2014. Bentuk dari desain antenna dan hasil optimasinya akan dirangkum pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

Tabel 3.9 Gambar Optimasi Antena *Array* dan *Array* CSRR

Gambar Hasil Simulasi	<i>Array</i>
	(Perspektif depan)
	(Perspektif belakang)
	<i>Array</i> CSRR
	(Perspektif depan)
	(Perspektif belakang)

Tabel 3.10 Desain Hasil Optimasi Antena *Array* dan *Array* CSRR

Antena	Dimensi Elemen (mm)						Parameter Antena					
	<i>Patch</i>		Substrat atau <i>Ground</i>		Inset		Frekuensi Kerja (GHz)	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	$VSWR$	$Gain$ (dB)
	W_p	L_p	$W_{S,G}$	$L_{S,G}$	W_i	L_i						
<i>Array</i>												
<i>Array</i> CSRR												

3.3.6 Uji Coba Produk Penelitian dan Pengembangan

Efektivitas penelitian berupa uji coba produk dengan mengukur antenna fabrikasi, dimana proses tersebut menjadi tolak ukur kelayakan antenna. Proses analisis akan dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat kesenjangan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

1. Fabrikasi Antena

Setelah hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi awal yang telah ditetapkan, maka langkah berikutnya ada fabrikasi antenna. Antena yang difabrikasi adalah antenna *array* konvensional dan antenna *array* dengan tambahan struktur CSRR.

2. Pengukuran Dimensi Antena Hasil Fabrikasi

Selanjutnya, dimensi hasil fabrikasi dari kedua antenna diukur kembali dan dibandingkan dengan dimensi saat simulasi sebagai usaha validasi. Hasil dari pengukuran dimensi antenna hasil fabrikasi dan bentuk dari antenna fabrikasi akan dirangkum seperti Tabel 3.11 dan Tabel 3.12.

Tabel 3.11 Dimensi Antena Fabrikasi

Elemen	Dimensi ($W \times L$)			
	<i>Array</i> (mm)		<i>Array CSRR</i> (mm)	
	Simulasi	Fabrikasi	Simulasi	Fabrikasi
<i>Patch</i>				
Substrat				

3.3.7 Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan hal yang kritis dalam proses penelitian kualitatif. Analisis data pada penelitian ini dimulai dari sebelum simulasi (data sekunder), saat simulasi (optimalisasi), dan sesudah simulasi (pengumpulan data setelah fabrikasi). Untuk mempermudah analisis, maka data akan di rangkum seperti pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Rangkuman Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena

Antena	Dimensi Elemen (mm)				Parameter Antena					
	Patch		Substrat atau Ground		Frekuensi Kerja (GHz)	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR	Gain* (dB)
	W_P	L_P	$W_{S,G}$	$L_{S,G}$						
Array	Simulasi									
	Pengukuran									
Array CSRR	Simulasi									
	Pengukuran									

Perbandingan dimensi dan performansi dari antena *array konvensional* dan antena *array* dengan tambahan CSRR dilakukan untuk mengetahui keberhasilan reduksi dimensi dan peningkatan kualitas performansi antena, baik saat simulasi ataupun pengukuran. Keberhasilan reduksi dan performansi ditampilkan dalam bentuk persentase yang didapat dari persamaan (3.1).

$$Keberhasilan = \left| \frac{Data Array - Data CSRR}{Data Array} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

Perbandingan keberhasilan reduksi dan performansi dirangkum seperti pada Tabel 3.15 Tabel 3.16 sampai Tabel 3.17.

Tabel 3.15 Perbandingan dan Keberhasilan Reduksi Dimensi Antena Array CSRR

Antena	Dimensi Elemen (m^2) ($L_p + L_s$)		Keberhasilan (%)
	Array	Array CSRR	
Simulasi	Array		
	Array CSRR		
Pengukuran	Array		
	Array CSRR		

Tabel 3.16 Perbandingan Hasil Performansi Antena Array dan Array CSRR

Antena	Parameter Antena				
	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR	Gain* (dB)
Simulasi	Array				
	Array CSRR				
Pengukuran	Array				-
	Array CSRR				-

Tabel 3.17 Keberhasilan Hasil Performansi Antena Array CSRR

Antena	Keberhasilan (%)				
	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR	Gain* (dB)
Simulasi	Array				
	Array CSRR				
Pengukuran	Array				
	Array CSRR				

Perbandingan dimensi dan performansi dari hasil simulasi dan pengukuran pada antena konvensional dan *array* dengan tambahan CSRR perlu diketahui agar mengetahui kelayakan antena dan penyebab dari kesenjangan hasil antara simulasi pada CST 2014 dengan pengukuran. Kesenjangan tersebut dapat dicari dengan rumus *error rate* pada persamaan (3.2) dimana hasilnya ditampilkan dalam bentuk persentase.

$$Error Rate = \left| \frac{Data Simulasi - Data Pengukuran}{Data Simulasi} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

Kesenjangan antara hasil pengukuran dengan simulasi untuk dimensi dan performansi dirangkum seperti pada Tabel 3.18 sampai Tabel 3.20.

Tabel 3.18 Error Rate Simulasi dan Pengukuran terhadap Dimensi Antena

Antena	Dimensi Elemen (m^2) ($L_p + L_s$)	Error Rate (%)
Array	Simulasi	
	Pengukuran	
Array CSRR	Simulasi	
	Pengukuran	

Tabel 3.19 Perbandingan Hasil Performansi Antena Array dan Array CSRR

Antena	Parameter Antena				
	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR	Gain* (dB)
Array	Simulasi				
	Pengukuran				
Array CSRR	Simulasi				
	Pengukuran				

Tabel 3.20 Error Rate Simulasi dan Pengukuran terhadap Performansi Antena

Antena		Error Rate (%)				
		f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR	Gain* (dB)
Array	Simulasi					
	Pengukuran					
Array CSRR	Simulasi					
	Pengukuran					

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian dan Pengembangan

Hasil penelitian berupa dua buah antenna, yaitu antenna mikrostrip *array* konvensional dan antenna mikrostrip dengan tambahan CSRR. Kedua antenna diuji pada tahap simulasi dengan CST 2014 dan pengukuran dengan *network analyzer*.

4.2 Hasil Perencanaan Desain Produk

4.2.1 Perhitungan Jarak Antar Elemen

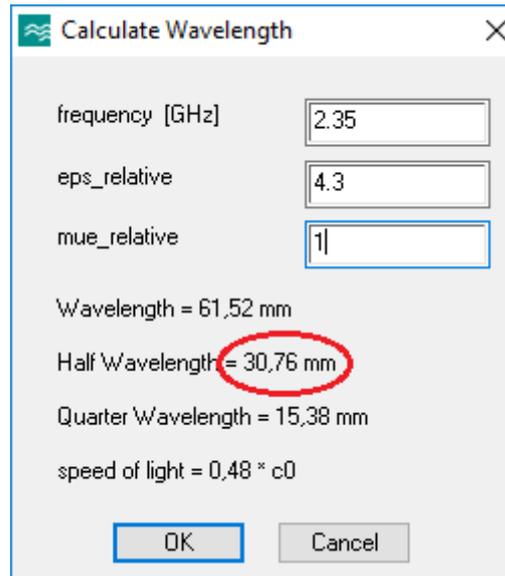
Sebelum menghitung dimensi antenna, karena pada proses penelitian ini akan terdapat tahap *array*, maka tahap pertama yang dilakukan adalah menghitung jarak antar *patch*. Dan hasilnya cukup dicatat terlebih dahulu. Berikut hasil jarak antar *patch* yang dapat dihitung dengan persamaan (2.17) atau bantuan dari CST 2014.

$$\lambda_0 (mm) = \frac{c}{f_{(Hz)}} = \frac{3 \times 10^8}{2.35 \times 10^9} = 0,127659 m \rightarrow 127,659 mm$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{127,659}{2,073} = 61,581 mm$$

$$d = \frac{1}{2} \lambda_g = 30,79 mm$$

Dan hasil kalkulasi dengan menggunakan CST 2014 adalah 30,76 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kalkulasi $\frac{\lambda}{2}$ dengan CST 2014

4.2.2 Perhitungan Dimensi Saluran Pencatu

Berikut hasil perhitungan dengan persamaan (2.1) atau (2.3), dan (2.20), beserta hasil kalkulasi dari CST 2014 dengan menggunakan *tools impedance calculation*.

a. 50 ohm

Ketentuan nilai u yang sesuai adalah $u = \frac{W_F}{h} \leq 2$, maka:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \\
 &= \frac{50}{60} \left[\frac{4,3 + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{4,3 - 1}{4,3 + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{4,3} \right] \\
 &= (0,833 \times 1,627) + (0,622 \times 0,255) = 1,513
 \end{aligned}$$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

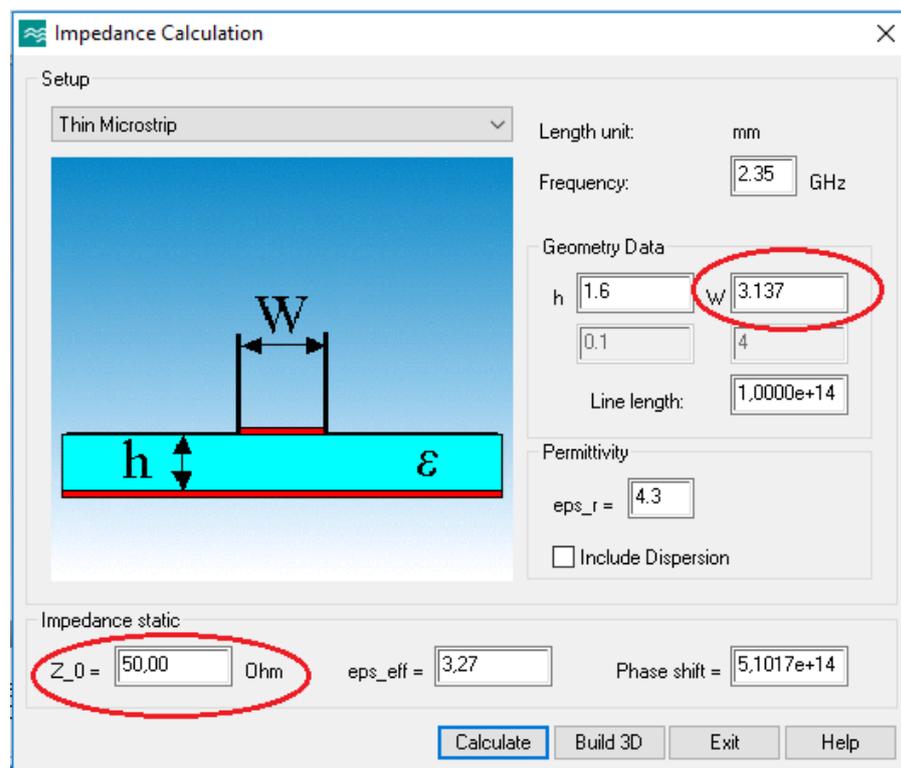
$$= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} = \frac{8e^{1,513}}{e^{2(1,513)} - 2}$$

$$= \frac{36,322}{18,614} = 1,951$$

$$W_F = 1,951 \times h$$

$$= 1,951 \times 1,6 = 3,121 \text{ mm}$$

Dan hasil menggunakan CST 2014 adalah 3,137 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.2.

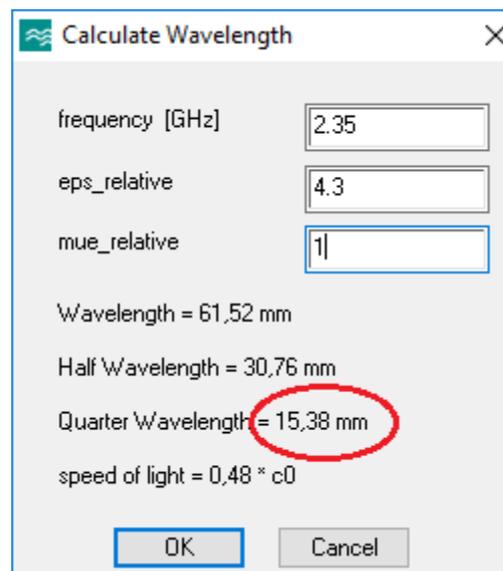


Gambar 4.2 Kalkulasi Lebar Pencatu 50 Ω dengan CST 2014

b. 70,7 ohm

$$L_F = \frac{1}{4} \lambda_g = \frac{61,581}{4} = 15,395 \text{ mm}$$

Persamaan diatas merupakan perhitungan panjang saluran $\frac{\lambda}{4}$. Dan hasil menggunakan CST 2014 adalah 15,38 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kalkulasi $\frac{\lambda}{4}$ dengan CST 2014

Untuk mencari lebar, ketentuan nilai u yang sesuai adalah $u =$

$\frac{W_F}{h} \leq 2$, maka:

$$\begin{aligned} A &= \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \\ &= \frac{70,7}{60} \left[\frac{4,3 + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{4,3 - 1}{4,3 + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{4,3} \right] \\ &= (1,178 \times 1,627) + (0,622 \times 0,255) = 2,075 \end{aligned}$$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

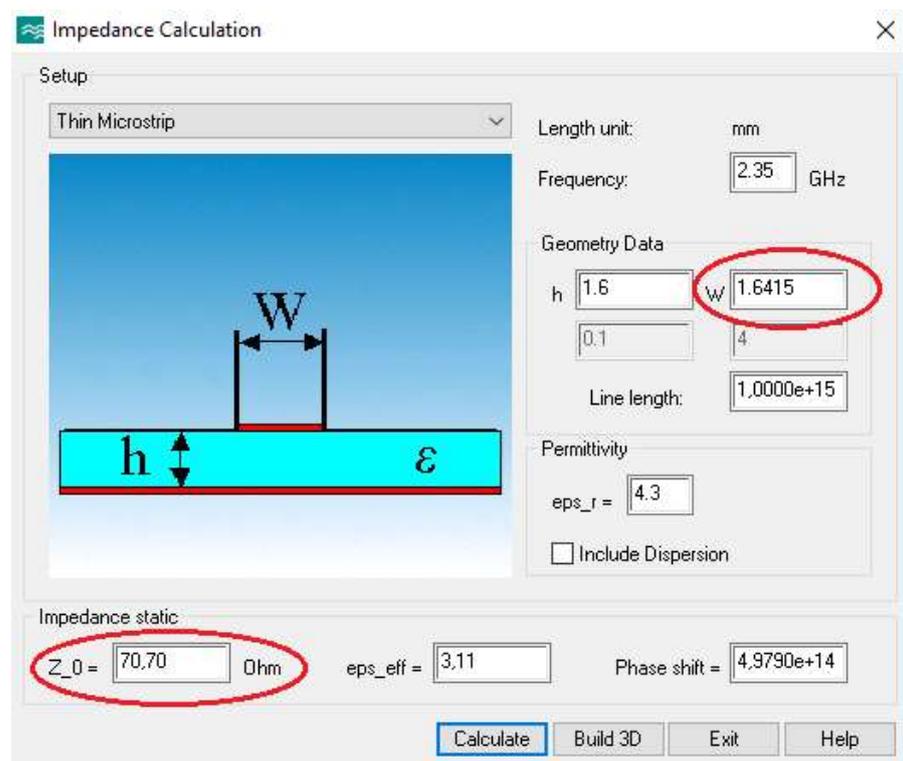
$$= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} = \frac{8e^{2,075}}{e^{2(2,075)} - 2}$$

$$= \frac{63,716}{61,434} = 1,037$$

$$W_F = 1,037 \times h$$

$$= 1,037 \times 1,6 = 1,659 \text{ mm}$$

Dan hasil menggunakan CST 2014 adalah 1,6415 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kalkulasi Lebar Pencatu 70,7 Ω dengan CST 2014

c. 100 ohm

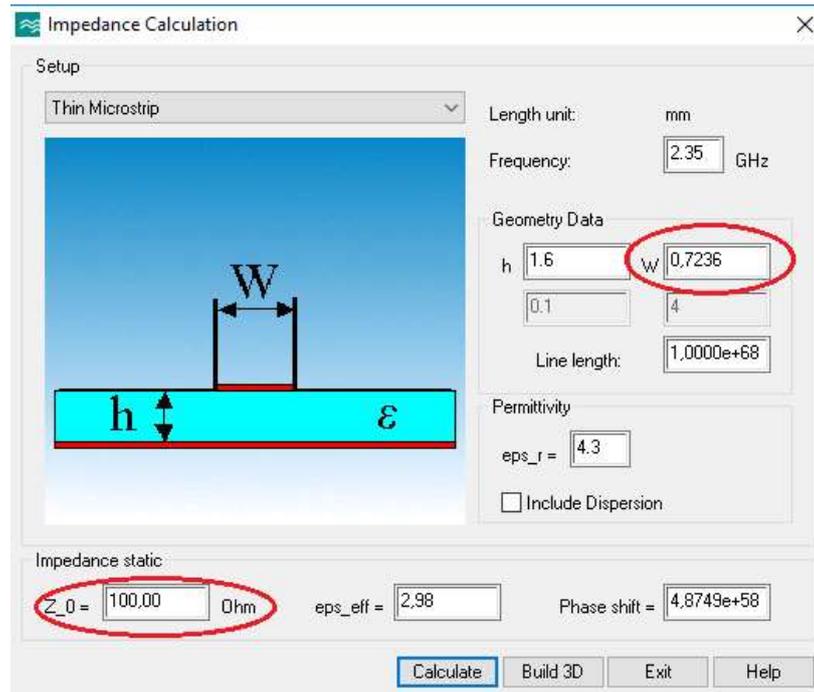
Ketentuan nilai u yang sesuai adalah $u = \frac{W_F}{h} \leq 2$, maka:

$$\begin{aligned} A &= \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \\ &= \frac{100}{60} \left[\frac{4,3 + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{4,3 - 1}{4,3 + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{4,3} \right] \\ &= (1,666 \times 1,627) + (0,622 \times 0,255) = 2,868 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_F}{h} &= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \\ &= \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} = \frac{8e^{2,868}}{e^{2(2,868)} - 2} \\ &= \frac{140,814}{307,822} = 0,457 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_F &= 0,457 \times h \\ &= 0,457 \times 1,6 = 0,731 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dan hasil menggunakan CST 2014 adalah 0,7236 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kalkulasi Lebar Pencatu 100 Ω dengan CST 2014

Di bawah ini adalah pembuktian kesesuaian secara matematis antara lebar saluran pencatu terhadap masing-masing impedansi dengan menggunakan persamaan (2.5) atau (2.7):

a. 50 ohm

Ketentuan nilai u yang sesuai adalah $u = \frac{W_F}{h} \geq 1$, maka:

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} \right) \right] \\ &= \frac{4,3 + 1}{2} + \left[\frac{4,3 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{1,6}{3,137}}} \right) \right] \\ &= 2,65 + \left[1,65 \times \frac{1}{2,668} \right] = 3,268 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_0 &= \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{\frac{W_F}{h} + 1.393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{W_F}{h} + 1.44 \right) \right]} \\
&= \frac{120\pi / \sqrt{3.268}}{\frac{3.137}{1.6} + 1.393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{3.137}{1.6} + 1.44 \right) \right]} \\
&= \frac{208,540}{3,353 + 0,815} = 50,033 \text{ ohm}
\end{aligned}$$

b. 70,7 ohm

Ketentuan nilai u yang sesuai adalah $u = \frac{W_F}{h} \geq 1$, maka:

$$\begin{aligned}
\epsilon_{\text{eff}} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} \right) \right] \\
&= \frac{4,3 + 1}{2} + \left[\frac{4,3 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{1,6}{1,6415}}} \right) \right] \\
&= 2,65 + \left[1,65 \times \frac{1}{3,563} \right] = 3,113
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_0 &= \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{\frac{W_F}{h} + 1.393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{W_F}{h} + 1.44 \right) \right]} \\
&= \frac{120\pi / \sqrt{3,113}}{\frac{1,6415}{1,6} + 1.393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{1,6415}{1,6} + 1.44 \right) \right]} \\
&= \frac{213,669}{2,418 + 0,601} = 70,774 \text{ ohm}
\end{aligned}$$

c. 100 ohm

Ketentuan nilai u yang sesuai adalah $u = \frac{W_F}{h} \geq 1$, maka:

$$\begin{aligned}\epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} \right) \right] \\ &= \frac{4,3 + 1}{2} + \left[\frac{4,3 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{1,6}{0,7236}}} \right) \right] \\ &= 2,65 + \left[1,65 \times \frac{1}{5,247} \right] = 2,964\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_0 &= \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{\frac{W_F}{h} + 1,393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{W_F}{h} + 1,44 \right) \right]} \\ &= \frac{120\pi / \sqrt{2,964}}{\frac{0,7236}{1,6} + 1,393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{0,7236}{1,6} + 1,44 \right) \right]} \\ &= \frac{218,973}{1,845 + 0,317} = 101,282 \text{ ohm}\end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Dimensi *Single Patch*

Langkah perhitungan untuk dimensi antena mikrostrip sesuai dengan yang telah dijelaskan pada bab 2 dengan persamaan (2.9) dan (2.12) untuk dimensi *patch* dan persamaan (2.13) dan (2.14) untuk dimensi *ground*. Setelah itu dilakukan optimalisasi dengan tambahan inset.

4.2.3.1 Dimensi *Patch*

a. Lebar *Patch*

$$W_P = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2.35 \times 10^9 \sqrt{\frac{4,3 + 1}{2}}} = 0.039231 \text{ m} = 39,231 \text{ mm}$$

b. Panjang *Patch*

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_P}}} \right) \right] \\ &= \frac{4,3 + 1}{2} + \left[\frac{4,3 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{1,6}{39,231}}} \right) \right] \\ &= 2,65 + \left[1,65 \times \frac{1}{1,220} \right] = 4,002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{eff} &= \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2.35 \times 10^9 \sqrt{4,002}} \\ &= 0,031906 \text{ m} = 31,906 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Delta L = 0,412 \times h \times \left[\frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,8 \right)} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= 0,412 \times 1,6 \times \left[\frac{(4,002 + 0,3) + \left(\frac{39,231}{1,6} + 0,264\right)}{(4,002 - 0,258) + \left(\frac{39,231}{1,6} + 0,8\right)} \right] \\
&= 0,659 \times \left[\frac{(4,302) + (24,519 + 0,264)}{(3,744) + (24,519 + 0,8)} \right] \\
&= 0,659 \times \left(\frac{29,085}{29,063} \right) = 0,659
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_p &= L_{eff} - 2\Delta L \\
&= 31,906 - (2 \times 0,659) = 30,588 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.2.3.2 Dimensi Substrat dan *Ground Plane*

$$W_S = 6h + W_p = 6(1,6) + 39,231 = 48,831 \text{ mm}$$

$$L_S = 6h + L_p = 6(1,6) + 30,588 = 40,188 \text{ mm}$$

4.2.3.3 Dimensi Inset

$$\begin{aligned}
Y_0 &= 10^{-4} (0,016922\varepsilon_r^7 + 0,13761\varepsilon_r^6 - 6,1783\varepsilon_r^5 + 93,187\varepsilon_r^4 \\
&\quad - 682,69\varepsilon_r^3 + 2561,9\varepsilon_r^2 - 4043\varepsilon_r + 6697) \frac{L_p}{2} \\
&= 10^{-4} (6509,009) \frac{40,188}{2} = 13,079 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.3 Hasil Pemodelan dan Simulasi

4.3.1 Dimensi Single Patch

Berdasarkan desain perhitungan sebelumnya, maka rangkuman hasil perhitungan dari *single patch* dirangkum seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan *Single Patch*

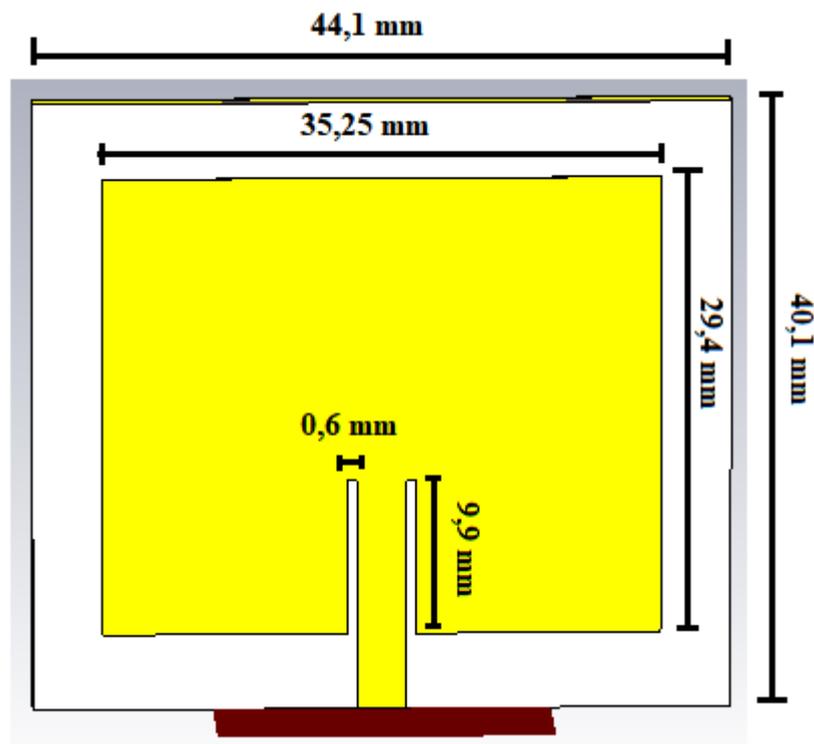
Elemen	Dimensi (mm)	
	<i>W</i>	<i>L</i>
<i>Patch</i>	39,231	30,588
<i>Ground</i> atau Substrat	48,831	40,188
<i>Inset</i>	0,6	13,079

Single Patch menjadi acuan dalam pembuatan antena *array* berikutnya.

Tabel 4.2 merupakan hasil desain iterasi pengoptimalan antena *single patch*, dan bentuk antenanya dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Tabel 4.2 Hasil Iterasi Mikrostrip *Single Element*

Elemen	Dimensi (mm)	
	<i>W</i>	<i>L</i>
<i>Patch</i>	35,35	29,4
<i>Ground</i> atau Substrat	44,1	40,1
<i>Inset</i>	0,6	9,9

**Gambar 4.6 Mikrostrip *Single Element***

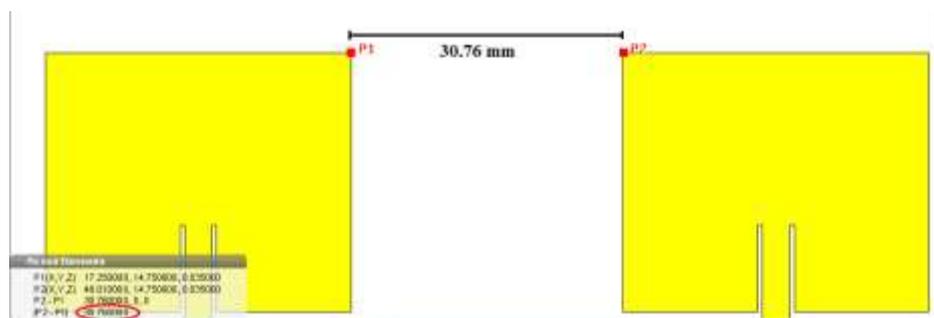
4.3.2 Antena Array

a. Jarak Antar Elemen Peradiasi

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, bahwa jarak antar elemen *patch* ketika diarray perlu diperhatikan agar tidak saling bertindihan. Hasil perhitungan dan simulasi untuk jarak antar elemen dapat dilihat pada Tabel 4.3. Perancangan pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Tabel 4.3 Jarak Antar Elemen Peradiasi

Jarak Antar Elemen <i>Patch</i> (mm)	
Perhitungan	30,79
CST 2014	30,76



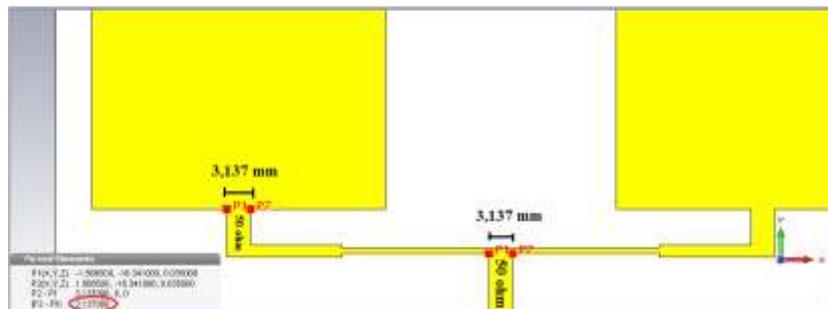
Gambar 4.7 Perancangan Jarak antar elemen

b. Dimensi Saluran Transmisi

Sesuai dengan perhitungan pada sub bab sebelumnya, maka hasil dimensi saluran transmisi secara menyeluruh dapat dilihat pada tabel Tabel 4.4 dan bentuk pada simulasinya dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Tabel 4.4 Dimensi Saluran Transmisi

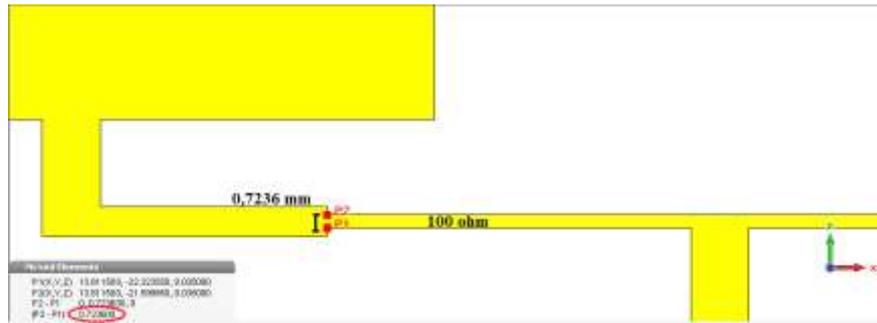
	Dimensi Saluran Transmisi (mm)			
	50 ohm	70,7 ohm	100 ohm	
	W_F	W_F	L_F	W_F
Perhitungan	3,121	1,659	15,395	0,731
CST 2014	3,137	1,6415	15,38	0,7236



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 (a) W_F 50 ohm, (b) W_F dan L_F 70,7 ohm, (c) W_F 100 ohm

Pada Tabel 4.5 terlihat perbandingan kesesuaian lebar pencatu dengan masing-masing impedansinya.

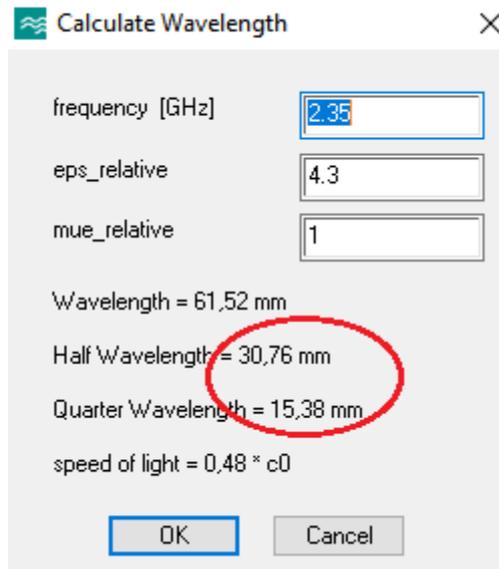
Tabel 4.5 Perbandingan *Error Rate* Kesesuaian W_F terhadap Ketentuan Umum Impedansi Saluran

W_F (mm)	Impedansi (Ω)		<i>Error Rate</i> (%)
	Simulasi	Perhitungan	
3,137	50 ohm	50,033	0,06
1,6415	70,7 ohm	70,774	0,104
0,7236	100 ohm	101,282	1,265

4.3.3 Antena *Array* CSRR

Penambahan struktur CSRR diawali dengan menghitung geometri satu sel, setelah itu akan dilanjutkan ke tahap penambahan jumlah orientasi sel menjadi 4×4 .

Tahap awal mendesain satu sel CSRR adalah mencari panjang $\frac{\lambda}{2}$ untuk ring resonator luar, dan $\frac{\lambda}{4}$ untuk ring resonator dalam. Maka, didapatkan nilai 30,76 mm dan 15,38 , seperti terlihat pada Gambar 4.9.

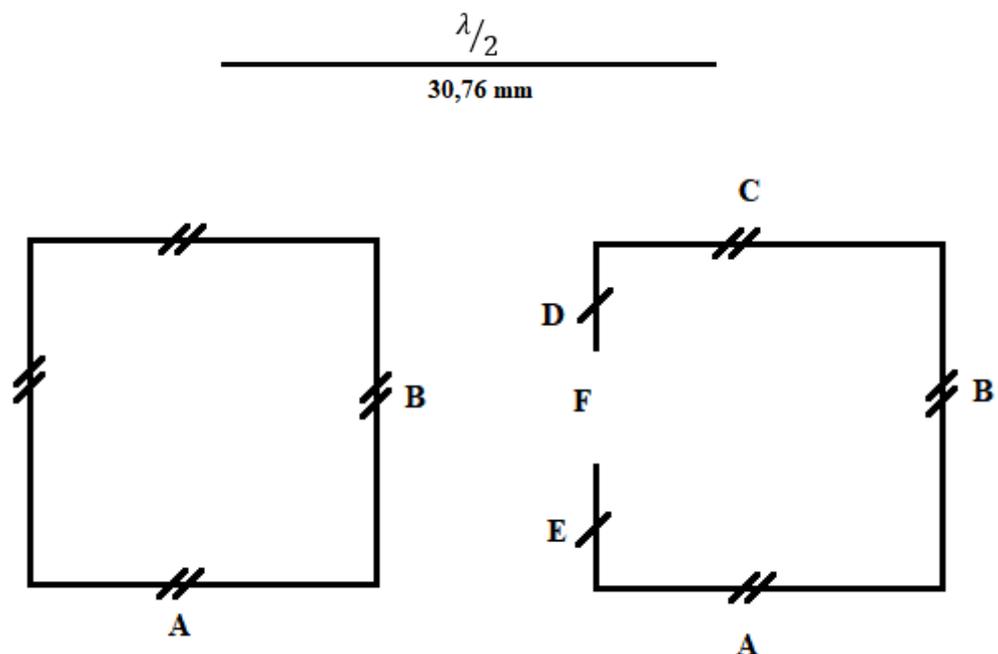


Gambar 4.9 Kalkulasi Panjang Gelombang Sel CSRR dengan CST

Setelah itu dilakukan pembagian terhadap setiap bidang pada sel CSRR.

1. Perhitungan ring luar.

Bentuk dari ring luar adalah persegi seperti terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Geometri Ring Luar

$$A = \frac{30,76}{4} = 7,69 \text{ mm}$$

$$A = B = 7,69 \text{ mm}$$

$$D = \frac{(B - F)}{2} = \frac{(7,69 - 0,5)}{2} = 3,595 \text{ mm}$$

Aproksimasi:

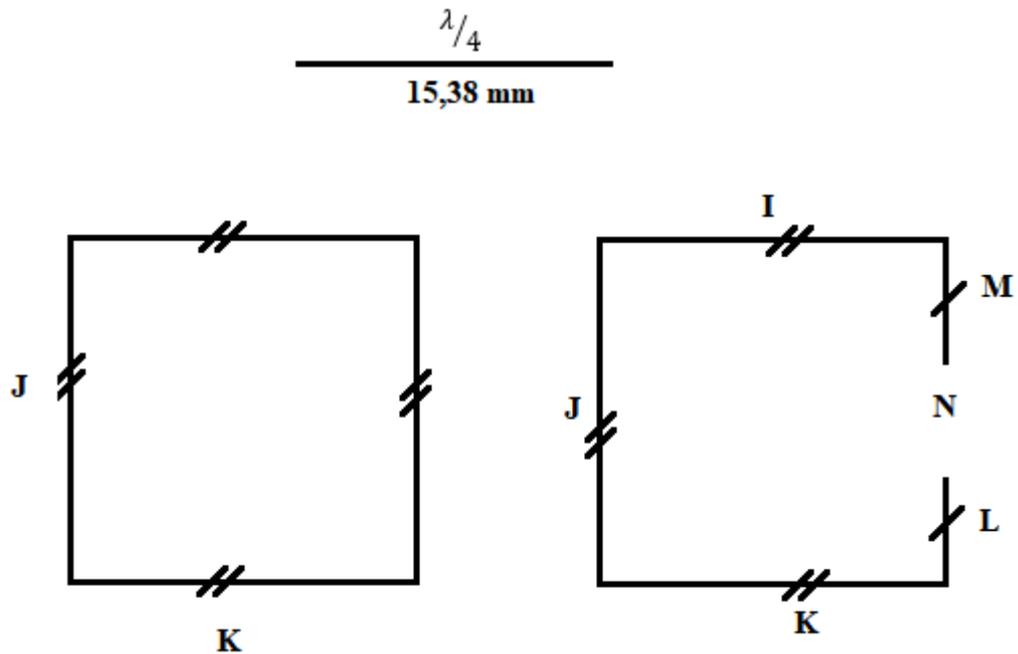
$$A = B = C = 7,7 \text{ mm}$$

$$F = 0,5 \text{ mm}$$

$$D = E = 3,6 \text{ mm}$$

2. Perhitungan ring dalam.

Bentuk dari ring dalam adalah persegi dan lebih kecil daripada ring luar, seperti terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Geometri Ring Dalam

$$J = \frac{15,38}{4} = 3,845 \text{ mm}$$

$$J = K = 3,845 \text{ mm}$$

$$M = \frac{(J - N)}{2} = \frac{(3,845 - 0,5)}{2} = 1,6725 \text{ mm}$$

Aproksimasi:

$$I = J = K = 3,9 \text{ mm}$$

$$N = 0,5 \text{ mm}$$

$$M = L = 1,7 \text{ mm}$$

3. Untuk jarak antar ring (d) dan lebar ring (t) sama besar, sehingga nilai H dan L dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

$$B - J = 3,8$$

Karena terdapat 2 (d) dan 2 (t), maka:

$$d = t$$

$$d = \frac{3,8}{4} = 0,95 \text{ mm}$$

Tahap selanjutnya mencari nilai G dan O sebagai berikut:

$$G = H$$

$$G = A - (2 * d) = 5,8 \text{ mm}$$

dan,

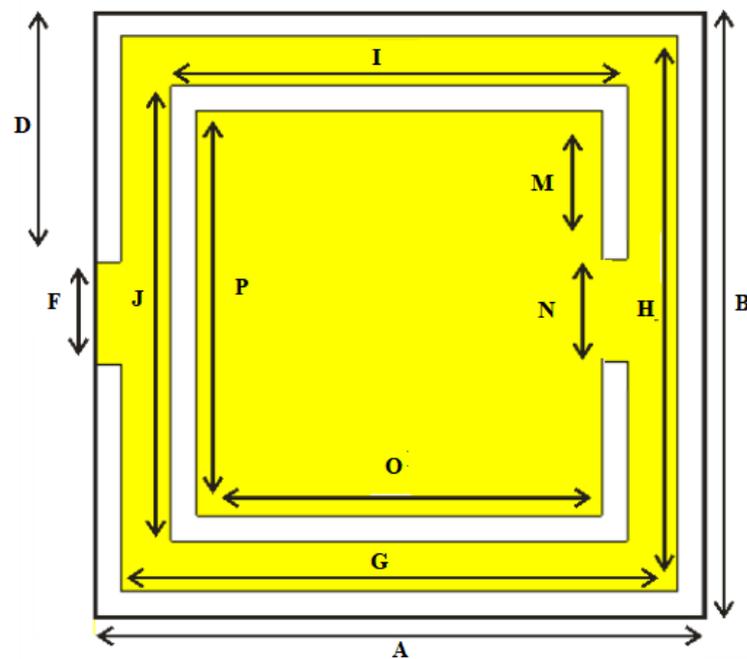
$$O = P$$

$$O = I - (2 * d) = 2 \text{ mm}$$

4. Hasil akhir dari desain satu sel CSRR seperti pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.12.

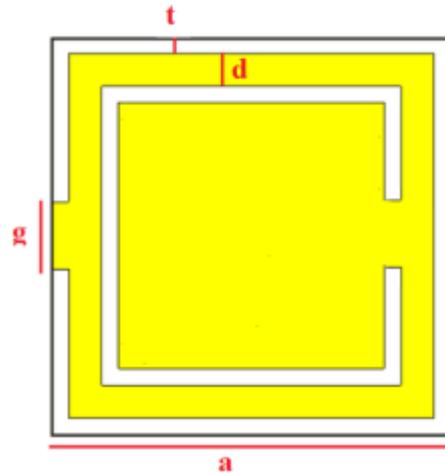
Tabel 4.6 Ukuran Desain Satu Sel CSRR

Geometri Elemen CSRR			
Geometri	Unit	Geometri	Unit
Luar	(mm)	Dalam	(mm)
A	7,7	I	3,9
G	5,8	O	2
B	7,7	J	3,9
H	5,8	P	2
D	3,6	M	1,7
F	0,5	N	0,5



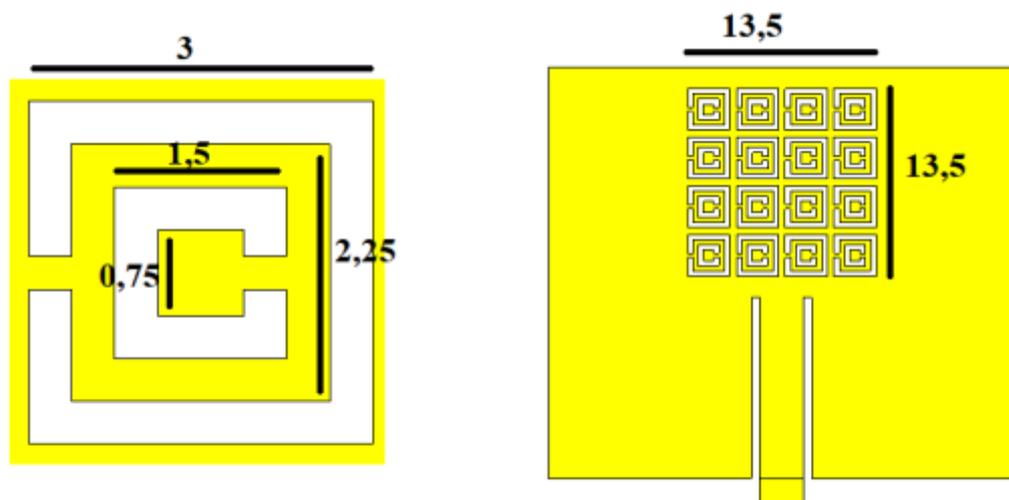
Gambar 4.12 Hasil Desain Satu Sel CSRR

CSRR memiliki empat variabel dalam setiap sel nya, seperti pada Gambar 4.13. Dimana a adalah panjang sel, d adalah jarak antar ring, t adalah lebar ring, dan g adalah lebar gap.



Gambar 4.13 Variabel pada Satu Sel CSRR

Langkah selanjutnya adalah tahap iterasi untuk membuat orientasi sel 4×4 , dimana ukuran satu sel nya diperkecil dikarenakan jika tidak dilakukan akan mengganggu tingkat *matching*, terutama *gain* akan terlihat kontras bernilai negatif seperti pada simulasi yang telah dijelaskan pada penelitian Suyuti. Dan ukurannya disesuaikan dengan luas *patch* seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil Desain Sel CSRR dengan orientasi 4×4

Kalkulasi yang dilakukan pada CST 2014 dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Parameter List	
Name /	Value
a	$0.75+(6.75/3)$
b	$0.75+(4.5/3)$
c	$0.75+(2.25/3)$
d	0.75
g1	0.3
g2	0.3

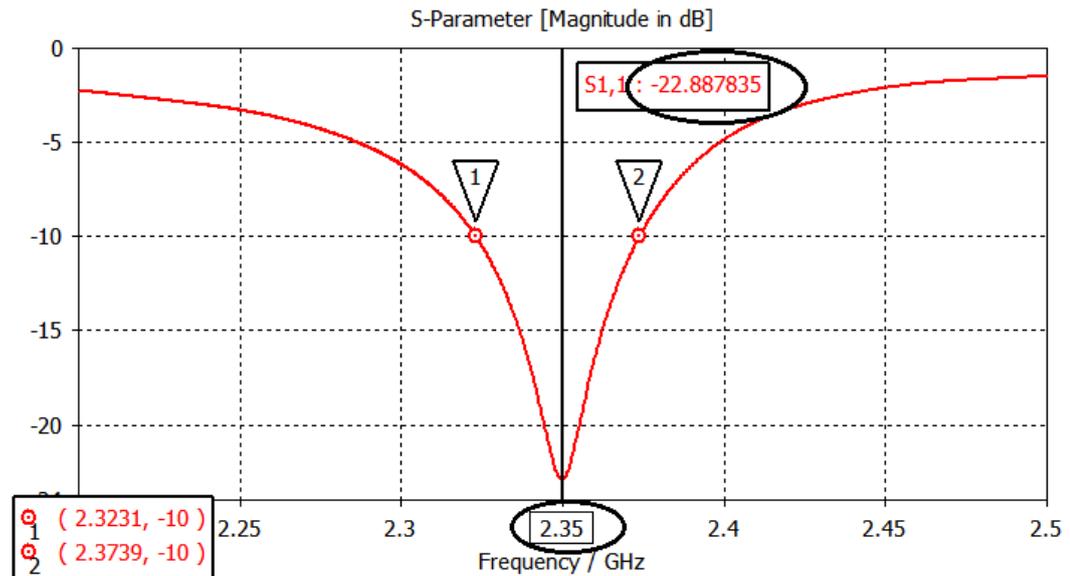
Gambar 4.15 Kalkulasi Geometri pada CST 2014

4.4 Kelayakan Penelitian

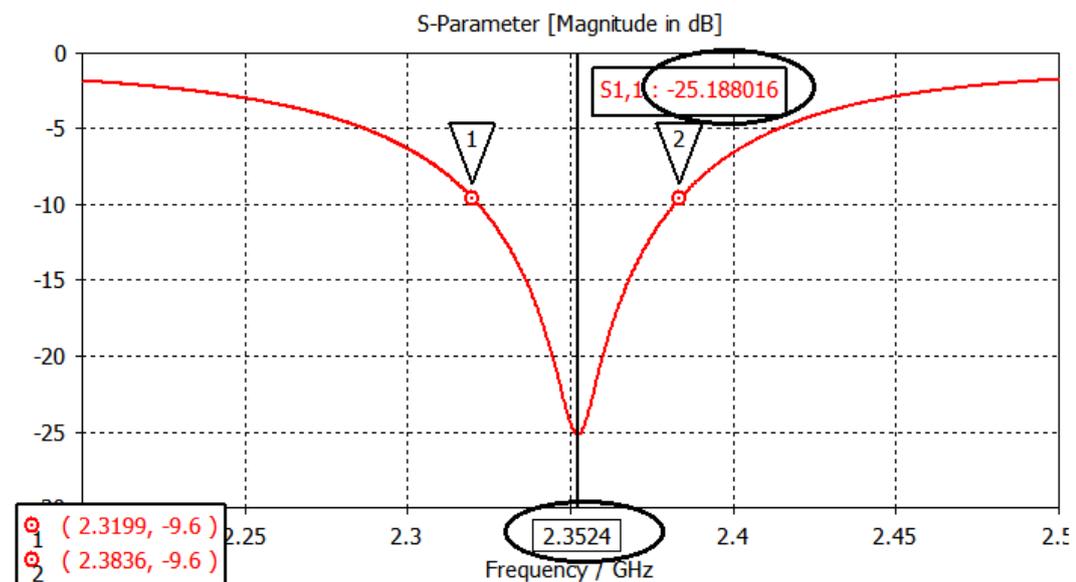
Sesuai dengan konsep penelitian, bahwa terdapat dua tahap pengujian, yaitu saat simulasi dan pengukuran. Dan terdapat dua antenna yang diuji pada setiap tahapannya, yaitu antenna *array* konvensional dan *array* CSRR.

4.4.1 Hasil Simulasi Akhir

Hal yang sama dilakukan juga untuk antenna *array* dan *array* CSRR yaitu iterasi untuk mencapai hasil performansi yang optimal, dapat dilihat hasil simulasinya pada Gambar 4.16



(a)



(b)

Gambar 4.16 Grafik Simulasi *Return Loss* (a) Antena Konvensional dan (b) Antena Array CSRR

Dari grafik *return loss* dapat pula dicari nilai frekuensi resonansi (*cut off*) dan *bandwidth*. Untuk f_r dari antena konvensional adalah pada titik minimum 2,35 GHz, dan untuk antena *array* CSRR ada pada titik 2,3524.

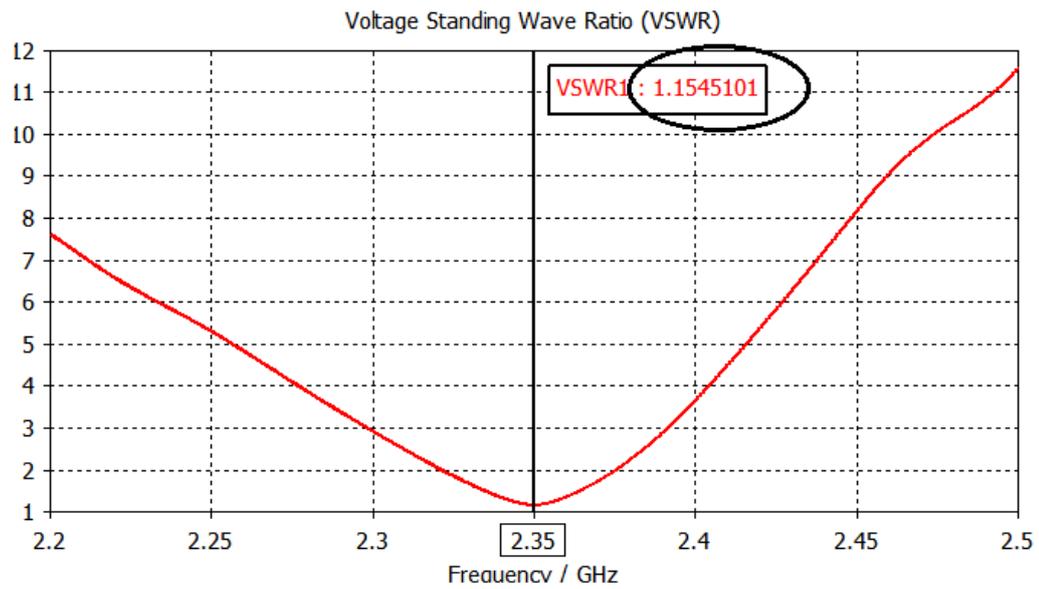
Nilai *Bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan (2.21). Untuk antenna konvensional dapat dilihat berdasarkan grafik pada gambar Gambar 4.16(a)

$$\begin{aligned} BW &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ &= \frac{2,3739 - 2,3231}{2,35} \times 100\% \\ &= 2,16\% (50,8 \text{ MHz}) \end{aligned}$$

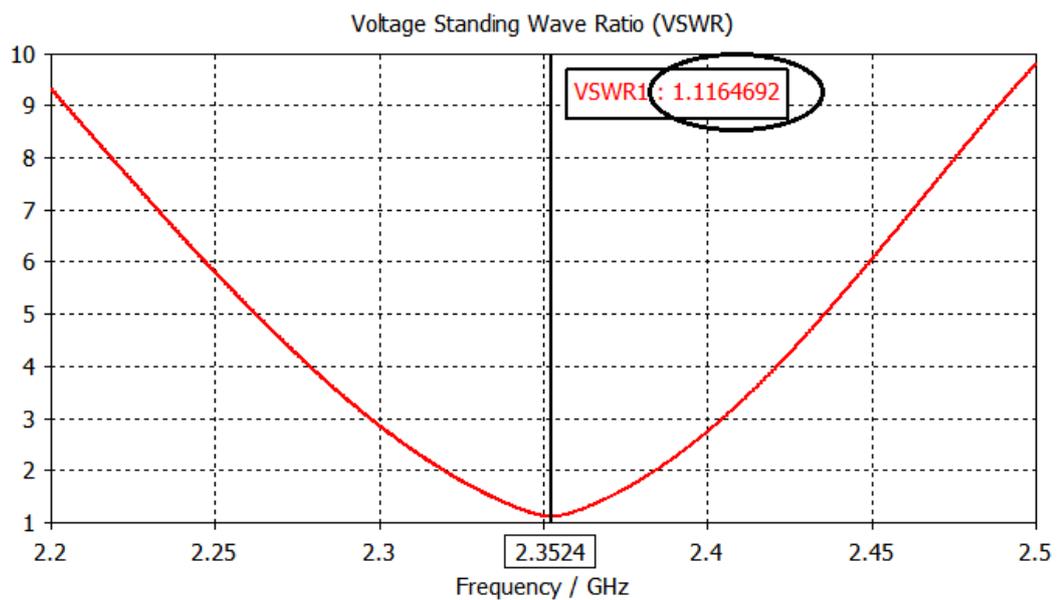
Dan untuk menghitung *bandwidth* dari antenna *array* CSRR adalah berdasarkan grafik pada gambar Gambar 4.16(b)

$$\begin{aligned} BW &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ &= \frac{2,3836 - 2,3199}{2,35} \times 100\% \\ &= 2,71\% (63,7 \text{ MHz}) \end{aligned}$$

Selain *return loss*, frekuensi resonansi (*cut off*) dan *bandwidth*. Hasil simulasi performansi antenna juga terdiri dari nilai VSWR sebagai parameter terwujudnya *matching* antar saluran transmisi. Grafik VSWR dapat dilihat pada Gambar 4.17.



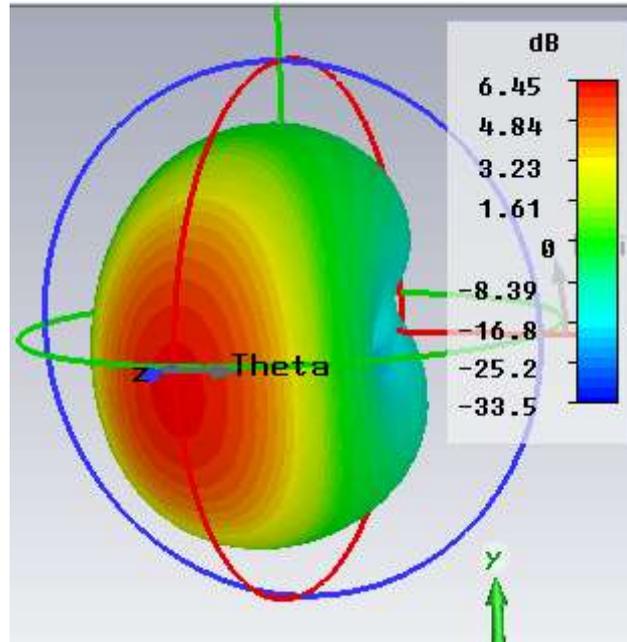
(a)



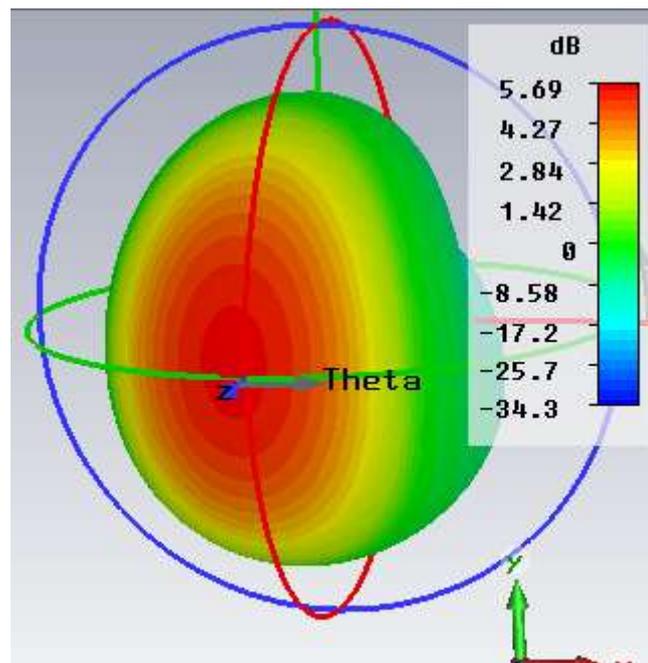
(b)

Gambar 4.17 Grafik Simulasi VSWR (a) Antena Konvensional dan (b) Antena Array CSRR

Nilai VSWR pada kedua antena sudah memenuhi standar. Parameter dari performansi antena berikutnya adalah *gain*, seperti pada Gambar 4.18.



(a)

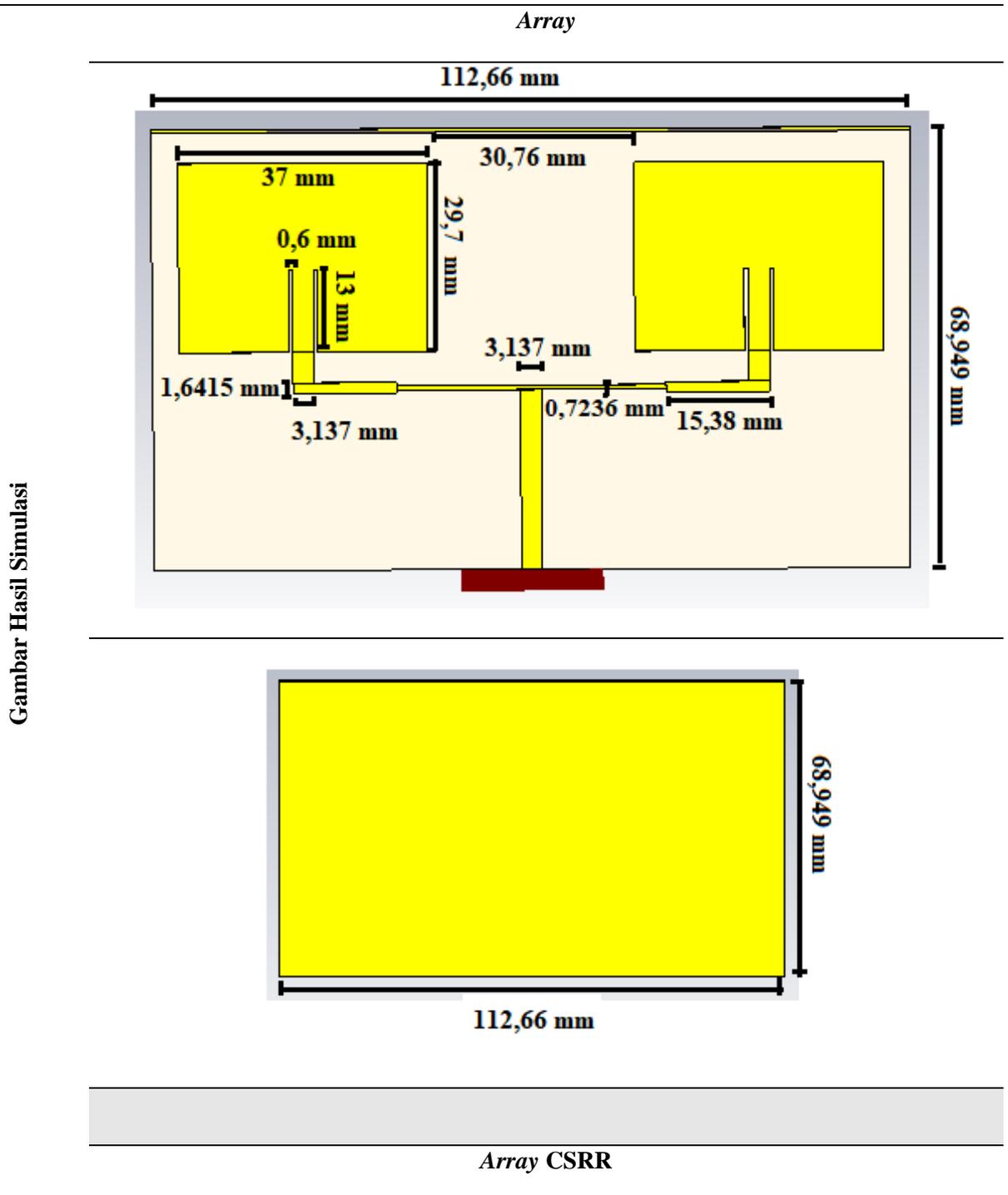


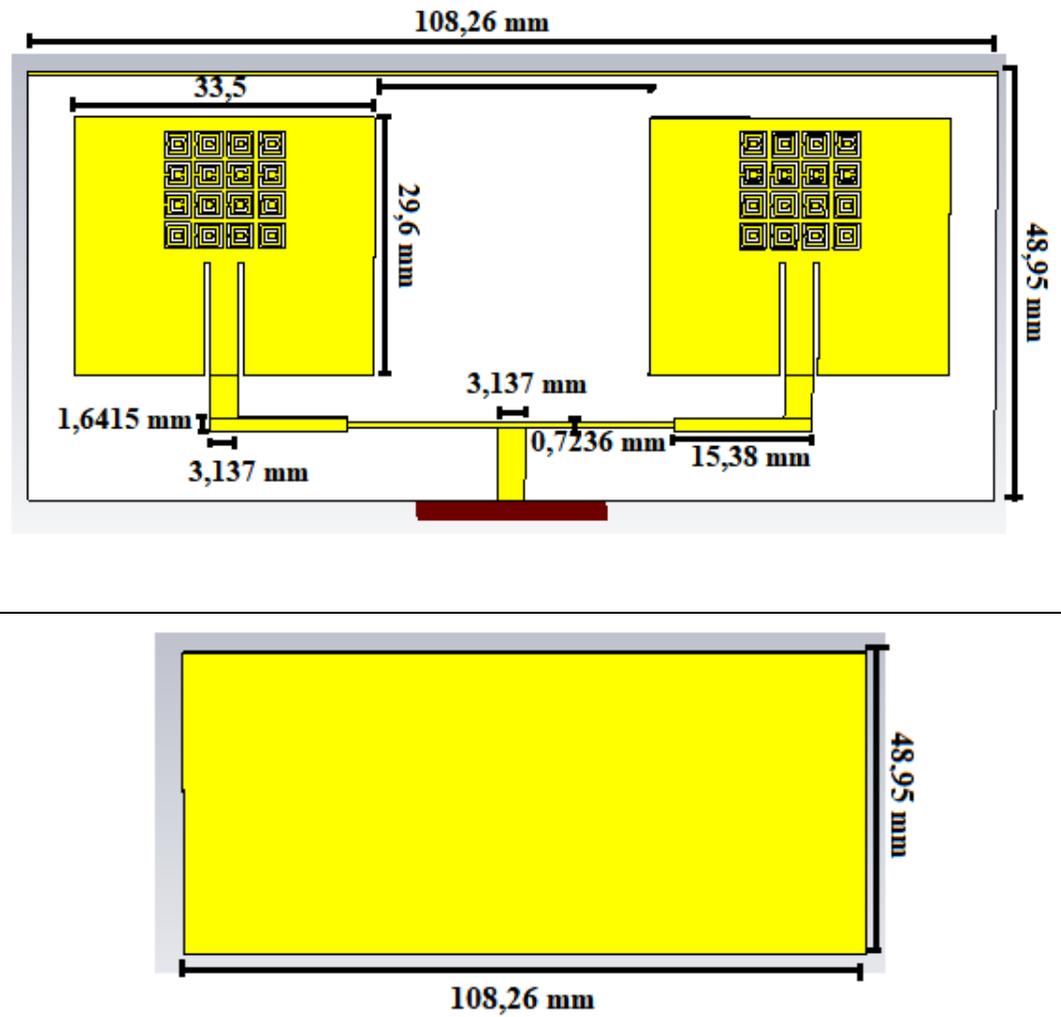
(b)

Gambar 4.18 Gain dari (a) Antena Konvensional, dan (b) array CSRR

Untuk gambar desain dari kedua antenna dapat dilihat pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7 Optimasi Antena Array dan Array CSRR





Tabel 4.8 merupakan hasil perbandingan antara antenna *array* konvensional dengan CSRR pada simulasi.

Tabel 4.8 Hasil Optimasi Antena *Array* dan *Array* CSRR

Antena	Dimensi Elemen (mm)						Parameter Antena					
	Patch		Substrat atau Ground		Inset		Frekuensi Kerja (GHz)	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	$VSWR$	$Gain$ (dB)
	W_p	L_p	$W_{S,G}$	$L_{S,G}$	W_i	L_i						
<i>Array</i>	37	29,7	112,66	68,949	0,6	13	2,3231- 2,3739	2,35	50,8	-22,887	1,154	6,4
<i>Array</i> CSRR	33,5	29,6	108,26	48,95	0,6	13	2,3199- 2,3836	2,3524	63,7	-25,188	1.116	5,7

4.5 Uji Coba Produk Penelitian dan Pengembangan

4.5.1 Fabrikasi Antena

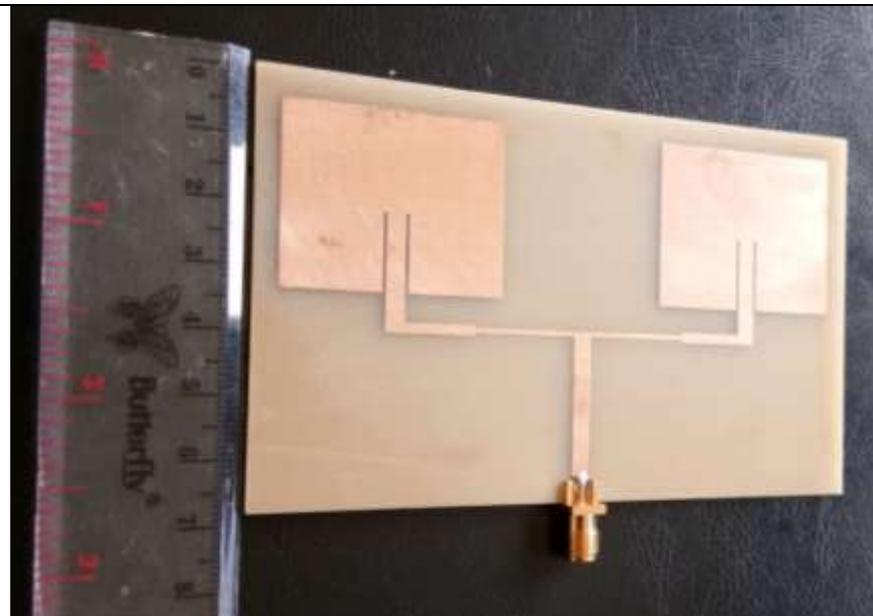
Dimensi antena hasil fabrikasi dihitung dengan menggunakan mistar, dan hasil pengukurannya dirangkum seperti Tabel 4.9. Wujud dari hasil antena fabrikasi dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.9 Dimensi Antena Fabrikasi

Elemen	Dimensi ($W \times L$)			
	Array (mm)		Array CSRR (mm)	
	Simulasi	Fabrikasi	Simulasi	Fabrikasi
Patch	37×29,7	37×30	33,5×29,6	33×29
Substrat	112,66×68,949	113×69	108,26×48,9 5	108×48

Tabel 4.10 Hasil Fabrikasi Antena Array dan Array CSRR

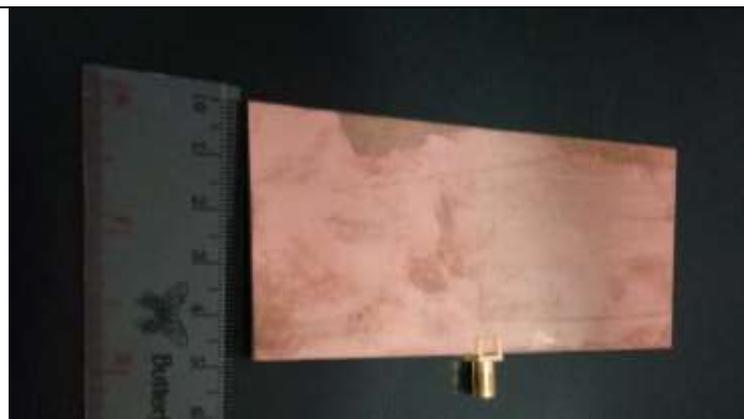
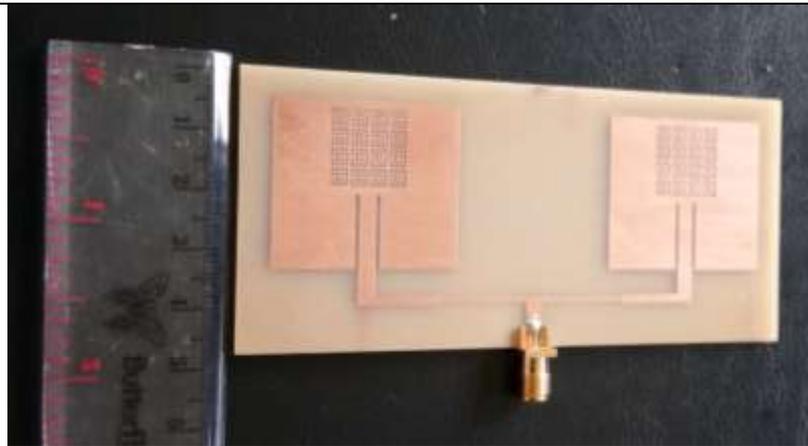
Array



Gambar Hasil Fabrikasi

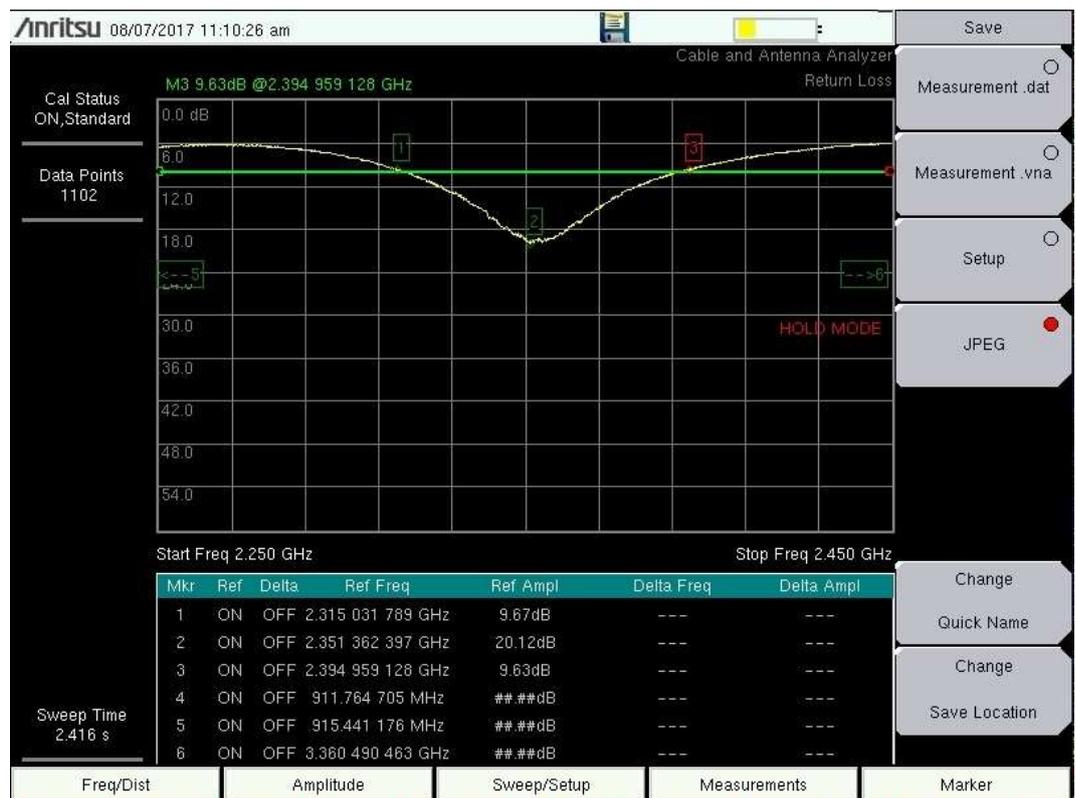


Array CSRR

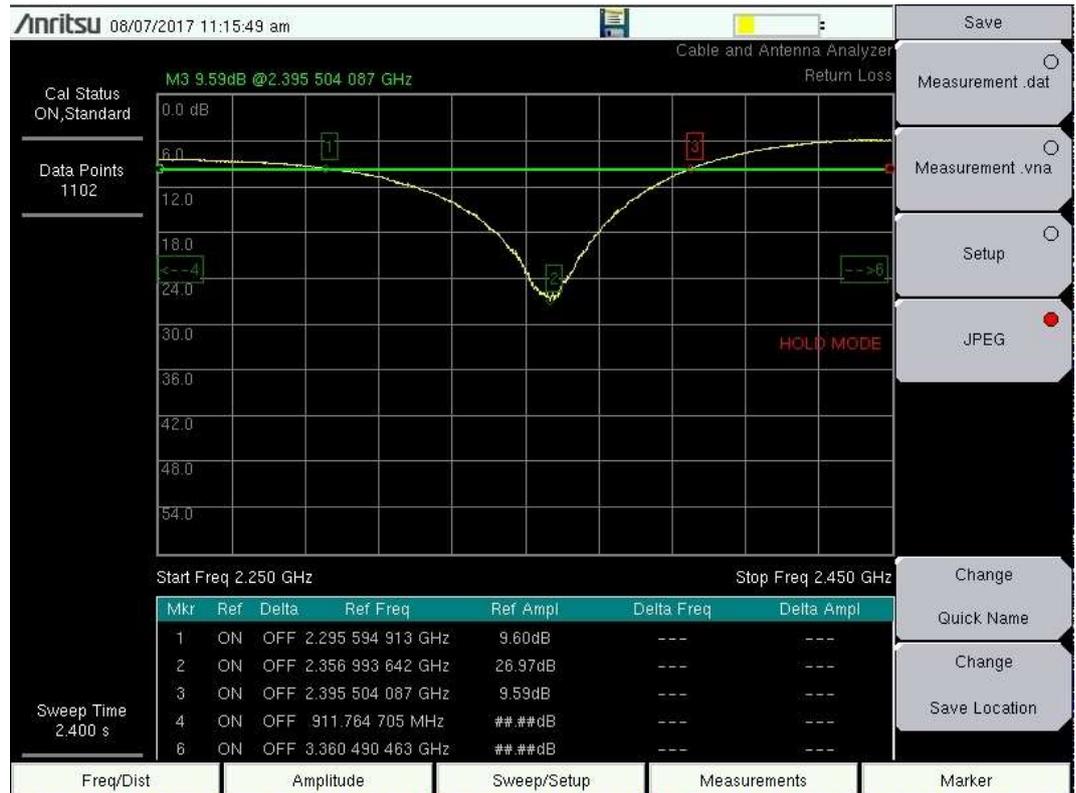


4.5.2 Pengukuran Antena

Network analyzer tidak mampu untuk mengukur besar *gain*, sehingga data hasil *gain* cukup dari hasil simulasi saja. Gambar 4.19 merupakan hasil yang didapat dari pengukuran menggunakan *network analyzer*:



(a)



(b)

Gambar 4.19 Grafik Pengukuran *Return Loss* (a) antena konvensional dan (b) antena *array* CSRR

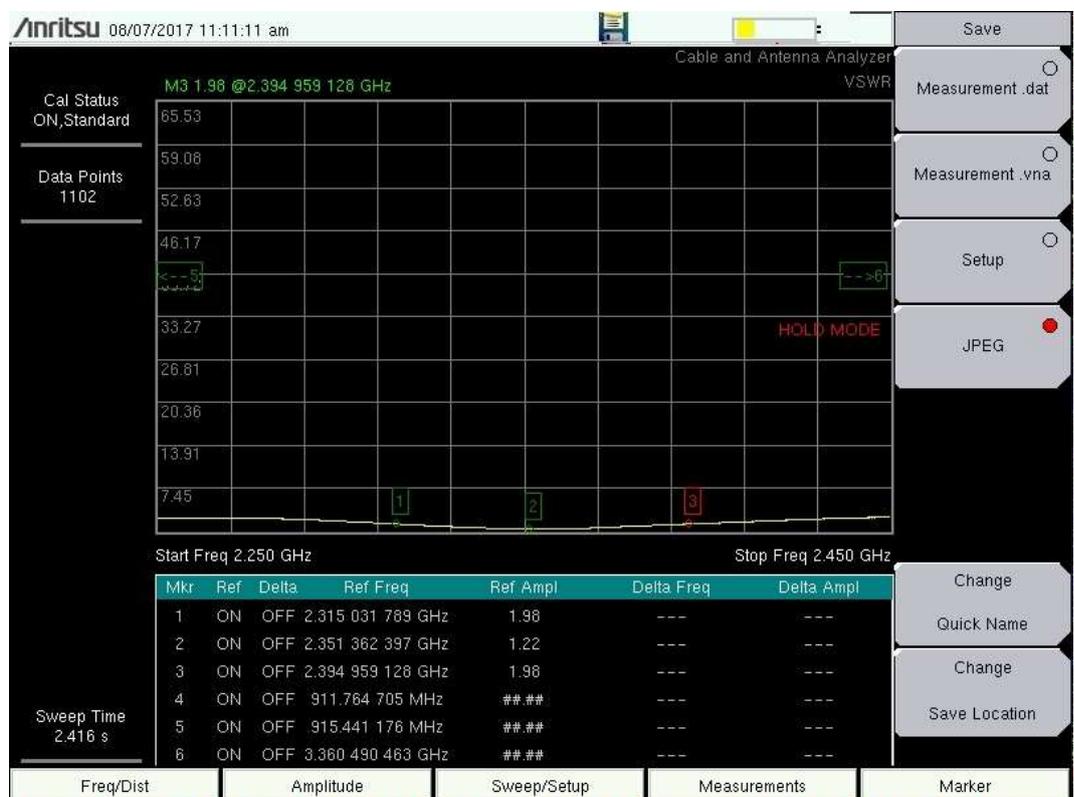
Nilai *Bandwidth* didapat dari persamaan (2.21). Untuk antena konvensional dapat dilihat berdasarkan grafik pada Gambar 4.19(a)

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{2,394 - 2,315}{2,351} \times 100\% \\
 &= 3,36\% \text{ (79 MHz)}
 \end{aligned}$$

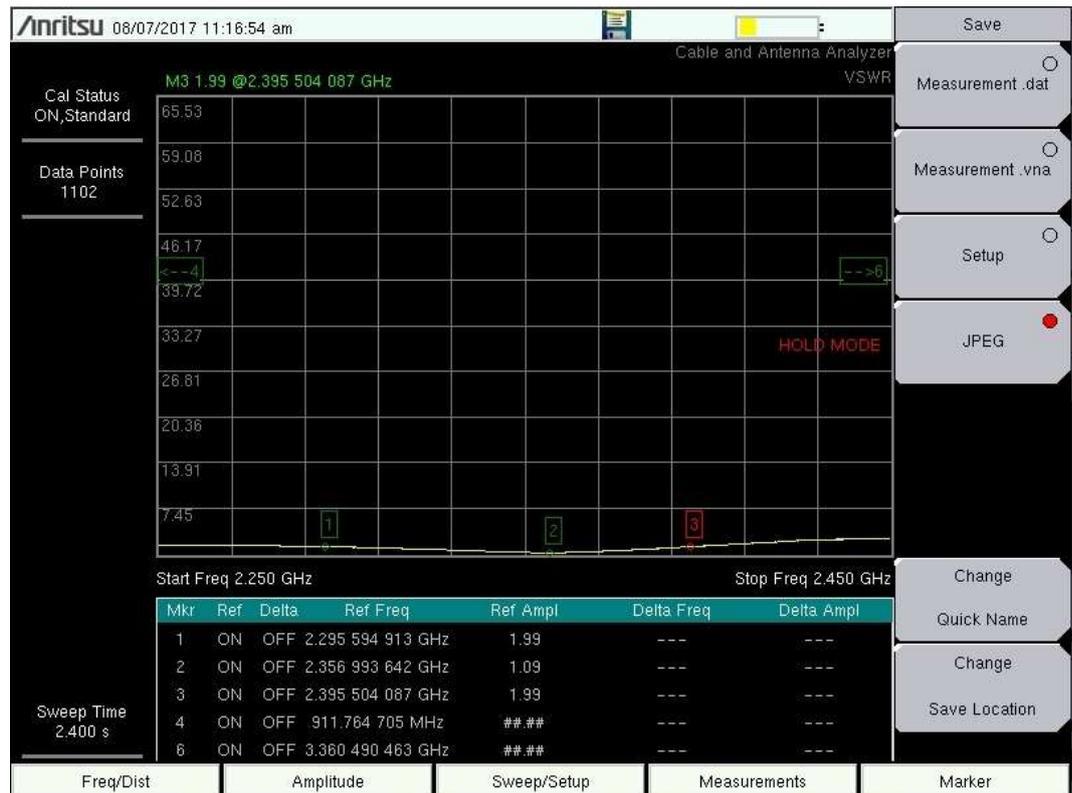
Dan untuk menghitung *bandwidth* dari antena *array* CSRR adalah berdasarkan grafik pada Gambar 4.19(b)

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{2,395 - 2,295}{2,356} \times 100\% \\
 &= 4,24\% \text{ (100 MHz)}
 \end{aligned}$$

Selain *return loss*, frekuensi resonansi (*cut off*) dan *bandwidth*, hasil simulasi performansi antenna juga terdiri dari nilai VSWR sebagai parameter terwujudnya *matching* antar saluran transmisi seperti terlihat pada Gambar 4.20.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Grafik Pengukuran VSWR (a) antenna konvensional dan (b) antenna array CSRR

Hasil pengukuran secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Antena Fabrikasi

Antena	Dimensi Elemen (mm)				Parameter Antena				
	Patch		Substrat atau Ground		Frekuensi Kerja (GHz)	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR
	W_P	L_P	$W_{S,G}$	$L_{S,G}$					
Array	37	30	113	69	2,316-2,411	2,351	79	-20,12	1,22
Array CSRR	33	29	108	48	2,25-2,393	2,356	100	-26,97	1,09

4.6 Analisis Perbandingan Konvensional dan CSRR

Untuk mempermudah analisis hasil simulasi dan pengukuran, data akan disajikan seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Rangkuman Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena

Antena	Dimensi Elemen (mm)				Parameter Antena						
	Patch		Substrat atau		Frekuensi Kerja (GHz)	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	$VSWR$	$Gain^*$ (dB)	
			Ground								
	W_P	L_P	$W_{S,G}$	$L_{S,G}$							
Array	S	37	29,7	112,66	68,949	2,3231-2,3739	2,35	50,8	-22,887	1,154	6,4
	P	37	30	113	69	2,316-2,411	2,351	79	-20,12	1,22	-
Array CSRR	S	33,5	29,6	108,26	48,95	2,3199-2,3836	2,3524	63,7	-25,188	1,116	5,7
	P	33	29	108	48	2,25-2,393	2,356	100	-26,97	1,09	-

Perhitungan keberhasilan reduksi antena *array* CSRR dan keberhasilan peningkatan performansi (*Bandwidth*, *Return Loss*, *VSWR*, *Gain*) antena CSRR dapat dihitung menggunakan kalkulasi (3.1), dan bisa dilihat pada Tabel 4.13 sebagai hasil akhirnya. Perhitungan luas *patch* dan substrat diakumulasi bersama menjadi luas total:

$$Luas_{TOTAL}(m^2) = (L_P + L_S)$$

Berikut kalkulasi untuk menghitung tingkat keberhasilan saat simulasi dan pengukuran:

$$Keberhasilan = \left| \frac{Data\ Array - Data\ CSRR}{Data\ Array} \right| \times 100\%$$

Tabel 4.13 Tingkat Keberhasilan Reduksi Dimensi Antena Array CSRR

Antena	Dimensi Elemen (m^2) ($L_P + L_S$)		Keberhasilan (%)
	Array	Array CSRR	
Simulasi	Array	8866,694	29,049
	Array CSRR	6290,927	
Pengukuran	Array	8907	31,05
	Array CSRR	6141	

Tabel 4.14 berikut merupakan hasil performansi secara keseluruhan.

Tabel 4.14 Tingkat Keberhasilan Performansi Antena Array CSRR

Antena		Parameter Antena				
		f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	$VSWR$	$Gain^*$ (dB)
Simulasi	<i>Array</i>	2,35	50,8	-22,887	1,154	6,4
	<i>Array CSRR</i>	2,3524	63,7	-25,188	1,116	5,7
Pengukuran	<i>Array</i>	2,351	79	-20,12	1,22	-
	<i>Array CSRR</i>	2,356	100	-26,97	1,09	-

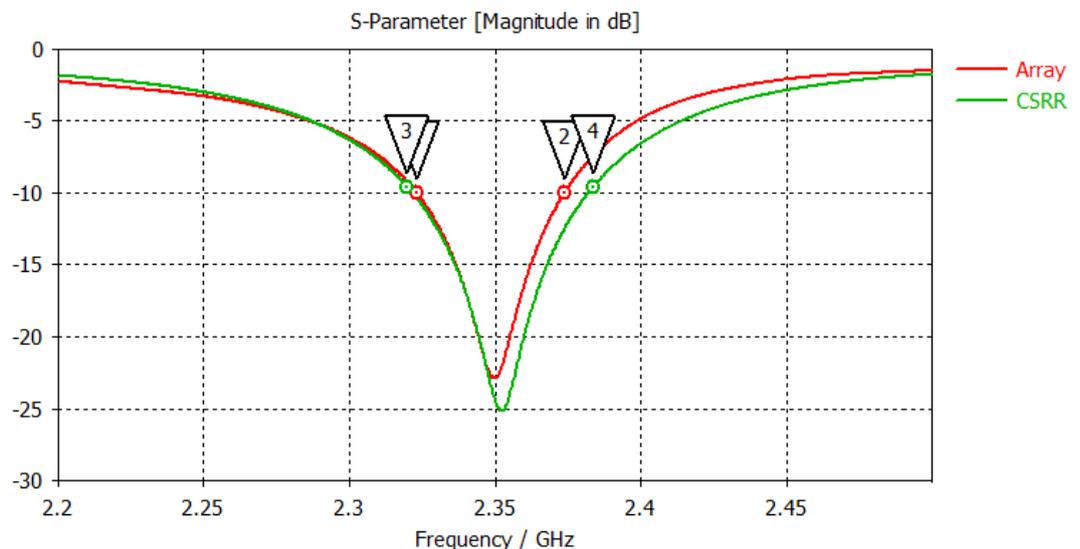
Antena		Keberhasilan (%)				
		f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	$VSWR$	$Gain^*$ (dB)
Simulasi	<i>Array</i>					
	<i>Array CSRR</i>	0,10	25,39	10,05	3,29	10,9
Pengukuran	<i>Array</i>					
	<i>Array CSRR</i>	0,21	26,58	34,04	10,65	-

Seperti terlihat pada tabel dan perhitungan sebelumnya, bahwa kedua antena telah memenuhi syarat minimum spesifikasi, baik saat simulasi ataupun pengukuran yang bekerja pada *range* frekuensi kerja 2,35 GHz. Perbedaan terlihat, dimana performansi antena *array CSRR* dapat dikatakan lebih unggul daripada *array* konvensional. Untuk *bandwidth array CSRR* mengalami peningkatan 25,39% (S) dan 26,58% (P) daripada antena konvensional. Selain itu, *return loss array CSRR* yang lebih tajam sekitar 10,05% (S) dan 34,04% (P) dalam arti

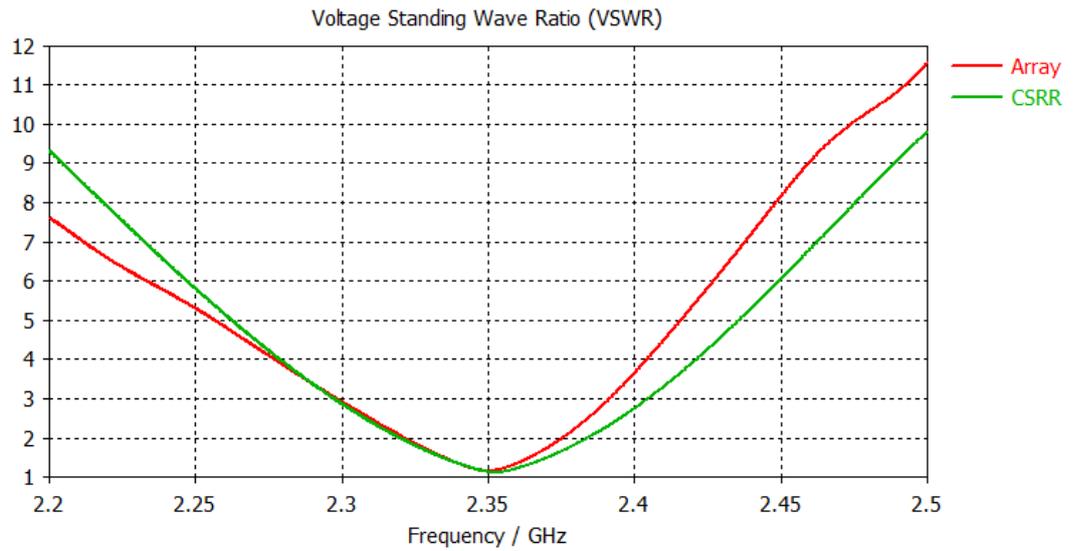
semakin minim gelombang yang dipantulkannya daripada *array* konvensional. VSWR yang semakin mendekati angka ideal yaitu 1 lebih baik 3,29% (S) dan 10,65% (P) daripada *array* konvensional. Berbeda dengan hasil *gain* pada simulasi yang mengalami penurunan performa, namun masih bisa ditoleransi karena masih dalam *range* spesifikasi yang diinginkan. Sehingga dapat diambil kesimpulan, bahwa penambahan struktur CSRR pada antenna dapat meningkatkan performansi.

Selain performansi, terdapat perubahan yang signifikan dalam hal dimensi. Seperti pada Tabel 4.13 , terlihat bahwa antenna dengan tambahan struktur CSRR dapat mereduksi antenna *array* konvensional sebesar 29,049% (S) dan 31,05% (P).

Antena teruji dengan spesifikasi *return loss* dan VSWR yang semakin baik, *bandwidth* yang melebar, dimensi yang mampu tereduksi, dan *gain* yang menurun. Grafik dari performansi saat simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22.



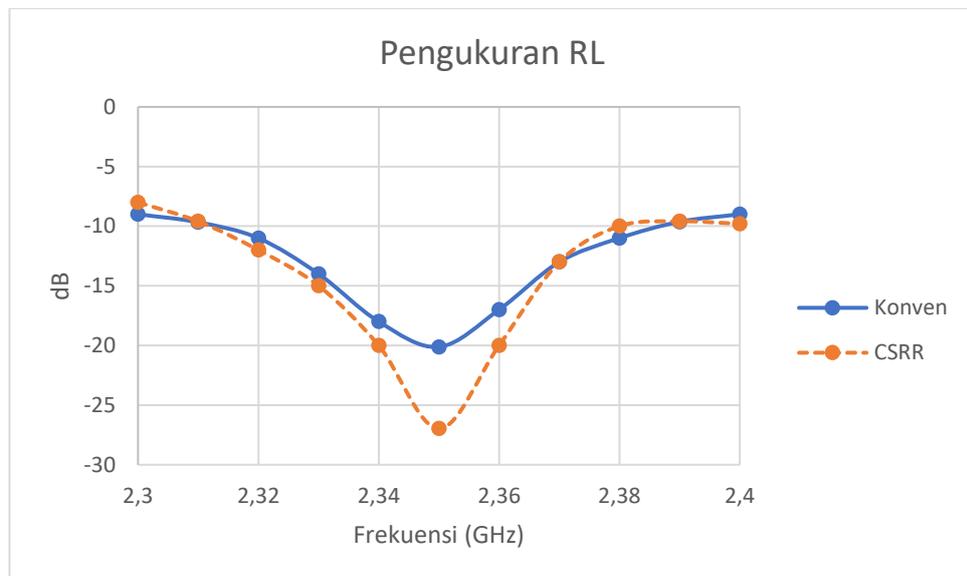
(a)



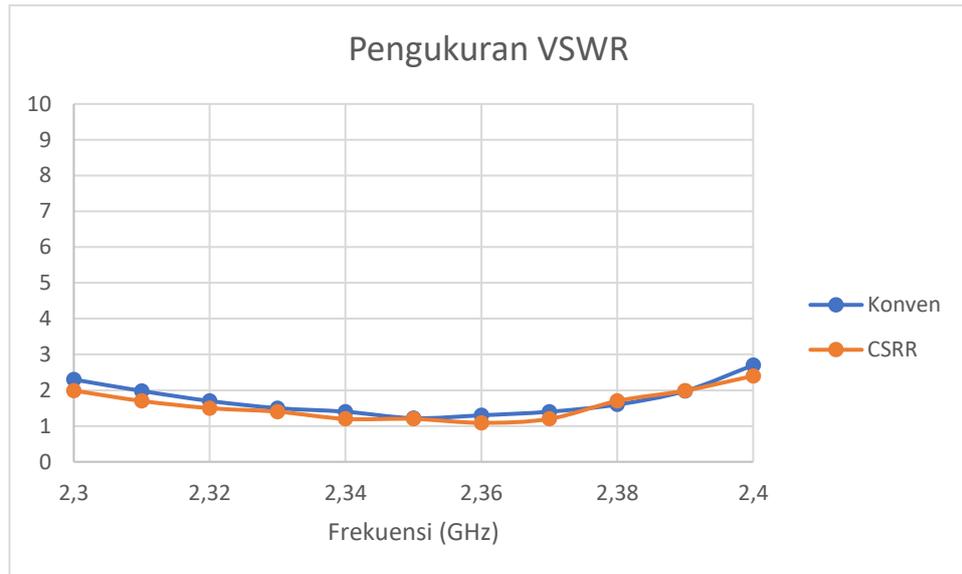
(b)

Gambar 4.21 Grafik Hasil Simulasi Array dan CSRR

(a) Return Loss (b) VSWR



(a)



(b)

Gambar 4.22 Grafik Hasil Pengukuran Array dan CSRR

(a) Return Loss (b) VSWR

Return loss dan VSWR semakin minim (baik) karena faktor dari tingkat *matching*. CSRR yang menjadi bagian dari metamaterial memiliki kelebihan *low loss*. Sehingga, penggunaannya dapat menurunkan koefisien refleksi (gelombang pantul).

CSRR termasuk teknik memberikan slot, pemberian slot pada *patch* memberikan pengaruh terhadap *bandwidth*. Terlihat hasil *bandwidth* CSRR lebih unggul. *Bandwidth* yang semakin meningkat disebabkan karena karakteristik rangkaian yang dapat dijelaskan dengan faktor Q. Selektivitas adalah kemampuan antenna untuk membedakan antara sinyal yang diinginkan dengan sinyal lain. Pada persamaan (2.21) sampai (2.23) terdapat hubungan berbanding terbalik antara Q dan *bandwidth*, dimana L dan C adalah bagian dari Q.

$$Q = \frac{R}{\omega L}$$

$$Q = \omega RC$$

$$BW = \frac{f_r}{Q}$$

Dimensi mampu tereduksi karena dimensi memiliki hubungan dengan f_r seperti pada persamaan (2.9) dan (2.10).

$$W_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

Dan f_r memiliki hubungan dengan L dan C, seperti yang telah dijelaskan pada persamaan (2.30).

$$X_L = X_C$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ketika pada struktur CSRR nilai L diperkecil dan atau C diperbesar, maka f_r akan bergeser ke kiri (mengecil) dari titik tengah. Sehingga diperlukan iterasi untuk mengembalikan f_r ke titik tengah yang sesuai (ke kanan) dengan cara memperbesar frekuensi, dan dapat dilakukan dengan pengurangan dimensi. Sehingga antenna menjadi tereduksi.

Selain karena efektivitas dan direktivitas, *gain* juga dipengaruhi oleh luas antenna. *Gain* menurun dikarenakan luas dari antenna seperti terlihat pada persamaan (2.29)

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$$

Seperti yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya bahwa CSRR berhasil mereduksi dimensi antenna, hal ini menyebabkan luas antenna semakin minim dan menyebabkan *gain* menurun.

4.7 Analisis Perbandingan Simulasi dan Pengukuran

Selain akan membahas keberhasilan dimensi dan performansi antara dua antenna, dilakukan juga tahap analisis *error rate* atau kesenjangan yang terjadi antara simulasi dan fabrikasi. Kesenjangan tersebut dapat dicari dengan rumus *error rate* pada persamaan (3.2) dimana hasilnya ditampilkan dalam bentuk persentase seperti pada Tabel 4.15 untuk *error rate* dalam hal dimensi dan Tabel 4.16 untuk performa antenna.

$$Error\ Rate = \left| \frac{Data\ Simulasi - Data\ Pengukuran}{Data\ Simulasi} \right| \times 100\%$$

Tabel 4.15 Error Rate Simulasi dan Pengukuran terhadap Dimensi Antena

Antena	Dimensi Elemen (m^2) ($L_p + L_s$)		Error Rate (%)
	Simulasi	Pengukuran	
Array	8866,694	8907	0,45
	<hr/>		
Array CSRR	6290,927	6141	2,38
	<hr/>		

Tabel 4.16 Error Rate yang terjadi pada Performansi Antena

Antena	Parameter Antena			
	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR
Array	2,35	50,8	-22,887	1,154
	<hr/>			
	2,351	79	-20,12	1,22

<i>Array</i> CSRR	Simulasi	2,3524	63,7	-25,188	1,116
	Pengukuran	2,356	100	-26,97	1,09

		<i>Error Rate (%)</i>			
Antena		f_r (GHz)	<i>BW</i> (MHz)	<i>RL</i> (dB)	<i>VSWR</i>
<i>Array</i>	Simulasi	0,04	55,5	12,08	3,81
	Pengukuran				
<i>Array</i> CSRR	Simulasi	0,10	56,98	7,074	2,329
	Pengukuran				

Pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 terlihat bahwa terdapat kesenjangan antara hasil simulasi dan pengukuran terhadap dimensi dan performansi. Kesenjangan ada yang membaik ataupun mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pengukuran dilakukan pada daerah *fresnel* yang memiliki distribusi medan radiasi yang kurang stabil.

Pengukuran tidak termasuk mengukur *gain* dan pola radiasi, hanya mengukur parameter internal antenna (parameter S11) sehingga tidak membutuhkan pengukuran medan jauh (*far field*). Pengukuran juga tidak membutuhkan antenna referensi seperti dipolee, horn atau antenna lain yang telah diketahui spesifikasinya, cukup dilakukan dengan antenna yang ingin diukur saja (tunggal). Sehingga, tujuan dari pengukuran yang dilakukan adalah mengetahui standar antenna terutama dalam hal *matching*. Hasil simulasi hanya sebagai tolak ukur, karena pada tahap simulasi mengabaikan rugi-rugi, seperti rugi konduktor, kabel, konektor, rugi dielektrik, ataupun rugi karena radiasi lingkungan sekitar. Sedangkan hasil pengukuran pasti mengalami *trial* yang berulang sampai didapatkan hasil yang diinginkan

(penyesuaian lapangan). Terdapat satu hal yang stabil, bahwa hasil simulasi lebih baik dari pengukuran dalam hal garis yang sempurna pada hasil grafik, hal tersebut dikarenakan tahap simulasi mengabaikan rugi-rugi yang telah disebutkan.

Kesenjangan antara perhitungan dan hasil kalkulasi pada simulasi (pengukuran panjang gelombang, impedansi, panjang/lebar, pembulatan angka/aproksimasi) juga bisa mempengaruhi perbedaan hasil. Proses fabrikasi pihak ketiga juga mejadi salah satu faktornya, mulai dari bahan substrat yang tidak memiliki akurasi yang valid dalam hal tebal dan besar nilai ϵ_r . Substrat yang tersedia di *spectra* berbeda 0,3 dengan standar FR-4 pada aplikasi CST.

Dimensi mempengaruhi performansi antenna. Faktor dari fabrikasi dimensi yang kurang presisi juga mempengaruhi pengukuran, karena ukuran dari antenanya dalam skala mm sehingga cukup sulit untuk valid dengan ukuran yang telah disimulasikan.

Sesuai dengan persamaan (2.9) dan (2.10) bahwa dimensi antenna berbanding terbalik dengan frekuensi antenna. Sementara frekuensi mempengaruhi perubahan besar *bandwidth*, *return loss*, dan VSWR.

Kesenjangan yang terjadi masih bisa ditoleransi karena masih dalam *range* spesifikasi yang diinginkan, dan hasil tetap membuktikan bahwa CSRR memiliki pengaruh positif terhadap perubahan dimensi dan performansi antenna

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian aktivitas yang peneliti lakukan, mulai dari pemahaman literatur, desain, fabrikasi dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan metamaterial CSRR pada *patch* memiliki pengaruh yang positif. Pada penelitian ini telah dibuktikan bahwa efektivitas antena mikrostrip *array* CSRR memiliki tingkat kemampuan mereduksi dimensi antena sebesar 31,05%.
2. Antena mikrostrip *array* dengan tambahan metamaterial CSRR dengan dimensi 108×48 mm memiliki performa yang sesuai dengan karakteristik LTE Band 40. Performa tersebut terdiri dari nilai *return loss* sebesar -26,97 dB, VSWR 1,09, *bandwidth* 100 MHz, dan *gain* 5,7 dB yang bekerja pada frekuensi resonansi 2,356 GHz.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran dari peneliti yang diharapkan dapat mempermudah dan memperbaiki peneliti lain yang ingin mengembangkan pembahasan tentang metamaterial CSRR selanjutnya, sebagai berikut:

1. Memahami teori terkait antena, mikrostrip, metamaterial, dan CSRR. Sehingga lebih mudah untuk masuk tahap pengembangan berikutnya.
2. Bisa menggunakan aplikasi CST sebagai aplikasi pendukung utama.
3. Mengetahui spesifikasi bahan yang akan digunakan lebih detail.
4. Memiliki rujukan dari penelitian sebelumnya, sehingga pondasi dalam penelitian bersifat kokoh
5. Memperhatikan lebih detail untuk prosedur pengukuran agar mendapat hasil yang maksimal
6. Dalam melakukan pengukuran, untuk ketepatan dan ketelitian hasil pengukuran disarankan agar pengukuran dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Sehingga diperlukan ruangan khusus untuk pengukuran dan pengujian antena yang disebut *Anechoic Chamber*. Serta diperlukan bahan penyangga antena berupa isolator yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afridi. (2015). Microstrip Patch Antenna - Designing at 2.4 Frequency [jurnal]. *Biological and Chemical Research*, 15, 128-132.
- Alaydrus, M. (2009). *Saluran Transmisi Telekomunikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Alaydrus, M. (2011). *Antena Prinsip & Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Balanis, C. A. (2005). *Antena Theory Analysis And Design*. Canada: Wiley Interscience.
- Bareno, M. T. (2012). *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Array 2 Elemen Dengan Metamaterial untuk Peningkatan Gain Antena pada Frekuensi 2.35 GHz [skripsi]*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Bibiano, D. (2012). *Metamaterial Inspired Improved Antennas and Circuits [thesis]*. Natal, Brazil: Telecommunications, Telecom Paristech.
- Depdiknas. (2008). *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta: Pusat Bahasa.
- Garg, R. (2000). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston: Artech House.
- Hamzidah, N. (2015). Design of Microstrip Patch Antenna Based on Complementary Split Ring Resonator Metamaterial for WiMAX Applications [jurnal]. *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*, 413-417.
- Harsokoesoemo, H. D. (2000). *Pengantar Perancangan Teknik*. Jakarta: Depdiknas.
- Johnson, R. C. (1976). *Antenna Engineering Handbook* (3th ed.). Atlanta, Georgia: McGraw-Hill.
- Khatim. (-). Studi dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO 2x2 Menggunakan Metamaterial untuk Frekuensi LTE 2.6 GHz [jurnal].
- Kraus, J. D. (1997). *Antennas*. New York: Tata McGraw-Hill Ed.
- Kumar, G., & Ray, K. P. (2003). *Broadband Microstrip Antennas*. Boston: Artech House.

- Limaye, A. (2006). *Size Reduction of Microstrip Antennas Using Left-Handed Materials Realized by Complementary Split-Ring Resonators [skripsi]*. Rochester: Fakultas Teknik, Rochester Institute of Technology.
- Moreno, I. (2016). *Patch Antennas Loaded With Different Resonator Elements [thesis]*. Colorado: Fakultas Teknik, University of Colorado Springs.
- Nuansa, G. (2011). *Rancang Banung Antena Mikrostrip dengan Metamaterial CSRR pada Frekuensi 2.6 - 2.7 GHz [skripsi]*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Orfadinis, S. J. (2016). *Electromagnetic Waves and Antennas*. New Brunswick: Rutgers University.
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave Engineering* (4th ed.). Amerika: Wiley Interscience.
- Pratama. (2014). *Perancangan dan Optimasi Kinerja Antena Planar Ultra Wideband Berbasis Metamaterial Menggunakan Substrat FR-4 [skripsi]*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Punit, N. (2004). *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for Use in Wireless/Cellular Devices [thesis]*. Amerika Serikat: Fakultas Teknik, Florida University.
- Rajput. (2014). Enhancement Bandwidth & Gain of Hexagonal Patch Antenna at 1.8 GHz. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) [jurnal]*, 3, 2100-2105.
- Riani. (2016). Perancangan Simulasi Antena Mikrostrip dengan Slot Butterfly untuk Aplikasi Wifi pada Frekuensi Kerja 5.8 GHz Menggunakan CST Microwave Studio [jurnal].
- Sabrina, N. (2014). Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Inset-Fed pada Frekuensi 2.4 GHz untuk Aplikasi Wifi [jurnal].
- Sandi, E., & Djatmiko, W. (2012). *Antena dan Propagasi Gelombang*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.

- Saputro, N. A. (2013). *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Dua Elemen dengan Penambahan Struktur Left-Handed Metamaterial (LHM) [skripsi]*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Seybold, J. S. (2005). *Introduction to RF Propagation*. Canada: Wiley Interscience.
- Sharawi, M. S. (2013). A CSRR Loaded MIMO Antenna System for ISM Band Operation [jurnal]. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, 61, 4265-4274.
- Sugiyono. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surjati. (2010). *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasi*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Suyuti. (2016). Optimasi Gain Antena Mikrostrip berdasarkan Data Geometri Sel Metamaterial CSRR melalui Desain dan Simulasi. *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)* (hal. 131-134). Makassar, 3 Nov 2016: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Tim Penyusun FT UNJ. (2015). *Buku Panduan Skripsi dan Non Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- Utomo, P. (2008). *Teknik Telekomunikasi* (1st ed.). Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Yadav, & Mohanty. (2016). A Metamaterial Inspired UWB Antenna for WLAN Application. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology [jurnal]*, 5, 10798-10805.
- Ying, & Alphones. (2005). Propagation Characteristics of Complimentary Split Ring Resonator (CSRR) based EBG Structure [jurnal]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 47, 409-412.
- Yudha, R. (2016). *Perancangan Microstrip BPF Pada Frekuensi 3,3 GHz Dengan Menggunakan DGS [skripsi]*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Rizqiana Putri Fiyendri, lahir di Jakarta pada tanggal 14 Agustus 1995 dari pasangan Bapak Ir. Endri Meinofriadi, MM. dan Ibu Erdiana Julisfiyany, SH sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Memiliki nama panggilan Ana. Bertempat tinggal di Bumi Mutiara Blok JC 1 No. 6, Bogor (16969). Riwayat pendidikan formal yang sudah ditempuh peneliti dimulai dari Pendidikan TK Islam Al-Fajar Bekasi (2000-2001), Pendidikan Sekolah Dasar di SD Islam Al-Fajar Bekasi (2001-2007), Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 09 Bekasi (2007-2010), Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 11 Bekasi (2010-2013). Hingga akhirnya, pada tahun 2013 peneliti melanjutkan pendidikan formal ke jenjang Perguruan Tinggi di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Konsentrasi Peminatan Telekomunikasi.

Peneliti diterima sebagai mahasiswi melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswi, peneliti pernah aktif di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, BEM Fakultas Teknik, UKO Cabang Badminton, dan *English Club*. Peneliti berhasil lulus menjadi sarjana di tahun 2017.