

Teknologi Pengembangan Antena Mikrostrip

Untuk Sistem Komunikasi Nirkabel

**Undang-undang Republik Indonesia Nomor 19 tahun 2002 tentang Hak Cipta
Lingkup Hak Cipta**

Pasal 2

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak Ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Ketentuan pidana

Pasal 72

1. Barang siapa dengan sengaja atau tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Teknologi Pengembangan Antena Mikrostrip

Untuk Sistem Komunikasi Nirkabel

Syah Alam
Indra Surjati



EL-MARKAZI
publish your dream with a book

TIM EDITOR

Teknologi Pengembangan Antena Mikrostrip Untuk Sistem Komunikasi Nirkabel

Penulis

Syah Alam
Indra Surjati

Editor

Dianing Novita Nurmala Putri, S.T., M.Sc.

Cetakan

Pertama, Mei 2021

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

Kulit Muka dan Tata Letak

Nazmia Kurniawati, S.T., M.T.

Sumber Gambar Kulit Muka

Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti

ISBN: 978-623-331-072-7

Penerbit

PENERBIT ELMARKAZI

Anggota IKAPI

Jl.RE.Martadinata RT.26/05 No.43 Pagar Dewa,
Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu 38211

Website: www.elmarkazi.com dan www.elmarkazistore.com

E-mail: elmarkazipublisher@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan penuh kerendahan hati karena hanya dengan berkat, rahmat, dan izin-Nya penyusun dapat merampungkan Buku Monograf untuk sebagai penunjang pada mata kuliah Disain dan Aplikasi Antena (Program S1 Teknik Elektro) dan Antena Modern (Program S2 Teknik Elektro). Buku ini dibuat sebagai bentuk luaran dalam pelaksanaan hibah monograf yang diberikan oleh Lembaga Penelitian Universitas Trisakti tahun anggaran 2020/2021. Buku monograf ini juga merupakan salah satu pelaksanaan atas tridharma perguruan tinggi pada Jurusan Teknik Elektro dan Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti. Isi dari buku ini terkait dengan konsep dasar antena mikrostrip, perancangan serta penerapannya untuk sistem komunikasi nirkabel. Buku ini dapat digunakan sebagai sumber untuk penelitian terkait di bidang antena propagasi khususnya antena mikrostrip untuk keperluan sistem komunikasi nirkabel

Dalam menyusun buku monograf ini penyusun mendapatkan banyak masukan dari beberapa rekan peneliti, baik dari internal maupun eksternal kampus. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pimpinan universitas dan Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk dapat terus berkarya. Semoga buku monograf ini memberikan manfaat bagi para mahasiswa dan peneliti yang menekuni bidang antena propagasi.

Jakarta, Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xv
RINGKASAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Nilai Kebaruan.....	3
BAB II TEORI DASAR	5
2.1 Konsep Dasar Antena Mikrostrip.....	5
BAB III ANTENA MIKROSTRIP PITA LEBAR UNTUK APLIKASI SISTEM KOMUNIKASI BERGERAK.....	15
3.1 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip Pada Frekuensi 1.8 GHz	15
3.2 Perancangan Awal Antena Mikrostrip	16
3.3 Iterasi Desain Awal Antena Mikrostrip.....	25
3.4 Optimasi Bandwidth Pada Antena Mikrostrip.....	27
3.5 Pabrikasi Antena dan Pengukuran.....	36
3.6 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran.....	47
BAB IV ANTENA MIKROSTRIP POLARISASI MELINGKAR UNTUK KOMUNIKASI GELOMBANG MIKRO.....	55
4.1. Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip.....	55
4.2. Simulasi Antena Elemen Tunggal	58
4.3. Desain Antena Elemen Tunggal Dengan Polarisasi Melingkar.	61
4.4. Simulasi Antena Elemen Tunggal Dengan Polarisasi Melingkar	63

4.5.	Analisis dan Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal dengan Antena Metode <i>Truncated Corner</i>	67
4.6.	Desain Antena <i>Array</i> 2 Elemen Dengan Polarisasi Melingkar ..	71
4.7.	Simulasi <i>Array</i> 2 Elemen Dengan Polarisasi Melingkar	73
4.8.	Optimasi Gain Pada Antena Mikrostrip <i>Array</i> 2 Elemen.....	77
4.9.	Analisis dan Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal, Antena Metode <i>Truncated Corner</i> , dan Antena <i>Array</i> 2 Elemen	80
4.10.	Perancangan Antena Mikrostrip <i>Truncated Corner</i> dengan 4 Elemen.	84
4.11.	Simulasi dan Optimasi Perancangan Antena Mikrostrip 4 Elemen	85
4.12.	Perancangan Antena Mikrostrip <i>Truncated Corner</i> 8 Elemen...	89
4.13.	Analisis dan Perbandingan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> 2 Elemen, 4 Elemen, dan 8 Elemen	93
4.14.	Proses Persiapan Pabrikasi Antena Mikrostrip	95
4.15.	Pengukuran Antena Mikrostrip	96
4.16.	Analisis Hasil Pengukuran	107
4.17.	Analisis Keseluruhan	116
	BIODATA PENULIS.....	119
	DAFTAR PUSTAKA.....	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur dasar antena mikrostrip (Surjati, I., 2010)	5
Gambar 2.2 Mikrostrip tampak samping (Alam, S. and Wibisono, I.G.N.Y., 2017)	5
Gambar 2.3 Bentuk Elemen Peradiasi.....	8
Gambar 2.4 Bentuk Pencatu	9
Gambar 2.3 Antena polarisasi sirkular (Pandey, 2019).....	11
Gambar 2.4 Metode Parasitik (Pandey, 2019).....	12
Gambar 2.6. Susunan <i>series feed</i> (Fang, 2017)	13
Gambar 2.7 Susunan <i>parallel feed</i> (Fang, 2017)	13
Gambar 2.8 Penerapan Teknik <i>Slit</i> (Alam, S., Sari, L., Surjati, I. and Onasie, N.,, 2021).....	14
Gambar 3.1 Hasil Verifikasi Desain Antena Mikrostrip dengan PCAAD 17	
Gambar 3.2 Hasil Verifikasi Lebar Saluran Catu Mikrostrip dengan PCAAD	18
Gambar 3.3 Hasil Simulasi Impedansi Antena Mikrostrip dengan PCAAD	19
Gambar 3.4 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip dengan PCAAD..	19
Gambar 3.5 Hasil Simulasi <i>Return loss</i> Antena Mikrostrip dengan PCAAD	20
Gambar 3.6 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Mikrostrip dengan PCAAD	20
Gambar 3.7 Desain Awal Antena Mikrostrip pada <i>AWR MWO 2009</i>	21
Gambar 3.8 Simulasi <i>Return loss</i> Antena Desain Awal pada <i>AWR MWO 2009</i>	23
Gambar 3.9 Simulasi VSWR Antena Desain Awal pada <i>AWR MWO 2009</i>	23
Gambar 3.10 Simulasi Zin Antena Desain Awal pada <i>AWR MWO 2009</i>	24
Gambar 3.11 Simulasi Pola Radiasi Antena Desain Awal pada <i>AWR MWO 2009</i>	24

Gambar 3.12	Simulasi <i>Return loss</i> dari Iterasi Saluran Catu	26
Gambar 3.13	Simulasi VSWR dari Iterasi Saluran Catu	26
Gambar 3.15	Simulasi <i>Return loss</i> Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda	30
Gambar 3.16	Simulasi VSWR Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda	31
Gambar 3.17	Simulasi Impedansi Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda	31
Gambar 3.18	Simulasi Gain Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda	32
Gambar 3.19	Perbandingan Simulasi <i>Return loss</i> Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda	33
Gambar 3.20	Perbandingan Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda	34
Gambar 3.21	Perbandingan Simulasi Impedansi Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda	34
Gambar 3.22	Perbandingan Simulasi Gain Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda	35
Gambar 3.23	Hasil Pabrikasi Antena Mikrostrip Tahap Awal Tampak Depan	37
Gambar 3.24	Hasil Pabrikasi Antena Mikrostrip Tahap Awal Tampak Belakang	37
Gambar 3.25	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i>	38
Gambar 3.27	Hasil Pengukuran VSWR	40
Gambar 3.28	Hasil Pengukuran Impedansi	41
Gambar 3.29	Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi	43
Gambar 3.30	Hasil Pengukuran Pola Radiasi	46
Gambar 3.31	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran <i>Return Loss</i>	47
Gambar 3.32	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR ...	50
Gambar 4.1	Desain Awal Elemen Tunggal Antena Mikrostrip	57
Gambar 4.2	Simulasi <i>Return Loss</i> Antena Elemen Tunggal	58

Gambar 4.3 Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal	58
Gambar 4.4 Simulasi <i>Axial Ratio</i> Antena Elemen Tunggal.....	59
Gambar 4.5 Simulasi Impedansi Antena Elemen Tunggal.....	59
Gambar 4.6 Simulasi Gain Antena Elemen Tunggal.....	60
Gambar 4.7 Desain Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	62
Gambar 4.8 Simulasi <i>Return Loss</i> Antena Elemen Tunggal <i>Truncated Corner</i>	63
Gambar 4.9 Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	64
Gambar 4.10 Simulasi <i>Axial Ratio</i> Antena Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	64
Gambar 4.11 Simulasi Impedansi Antena Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	65
Gambar 4.12 Simulasi Gain Antena Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	65
Gambar 4.13 Perbandingan Simulasi <i>Return Loss</i> Elemen Tunggal Vs <i>Truncated Corner</i>	67
Gambar 4.14 Perbandingan Simulasi VSWR Elemen Tunggal Vs <i>Truncated Corner</i>	68
Gambar 4.15 Perbandingan Simulasi Zin Elemen Tunggal Vs <i>Truncated Corner</i>	68
Gambar 4.16 Perbandingan Simulasi Gain Elemen Tunggal Vs <i>Truncated Corner</i>	69
Gambar 4.17 Perbandingan Simulasi <i>Axial Ratio</i> Elemen Tunggal Vs <i>Truncated Corner</i>	69
Gambar 4.18 Desain Antena Mikrostrip <i>Truncated Corner Array 2</i> Elemen.....	72
Gambar 4.19 Simulasi <i>Return Loss</i> Antenna <i>Truncated Corner Array 2</i> Elemen.....	74
Gambar 4.20 Simulasi VSWR Antena <i>Truncated Corner Array 2</i> Elemen.....	74
Gambar 4.21 Simulasi <i>Axial Ratio</i> Antena <i>Truncated Corner Array 2</i> Elemen.....	75

Gambar 4.22 Simulasi impedansi Antena <i>Truncated Corner Array</i> 2 Elemen.....	75
Gambar 4.23 Simulasi <i>gain</i> Antena <i>Truncated Corner Array</i> 2 Elemen	76
Gambar 4.24 Simulasi <i>return loss</i> dari iterasi jarak d.....	78
Gambar 4.25 Simulasi VSWR dari iterasi jarak d.....	78
Gambar 4.26 Simulasi <i>Axial Ratio</i> dari iterasi jarak d	79
Gambar 4.27 Simulasi <i>Gain</i> dari iterasi jarak d.....	79
Gambar 4.28 Perbandingan Simulasi Return Loss Elemen Tunggal, <i>Truncated Corner</i> dan <i>Array</i> 2 Elemen	81
Gambar 4.29 Perbandingan Simulasi VSWR Elemen Tunggal, <i>Truncated Corner</i> dan <i>Array</i> 2 Elemen	81
Gambar 4.30 Perbandingan Simulasi <i>Axial Ratio</i> Elemen Tunggal, <i>Truncated Corner</i> dan <i>Array</i> 2 Elemen	82
Gambar 4.31 Perbandingan Simulasi <i>Gain</i> Elemen Tunggal, <i>Truncated Corner</i> , dan <i>Array</i> 2 Elemen.....	82
Gambar 4.32 Desain Antena Mikrostrip <i>Truncated Corner</i> dengan <i>Array</i> 4 elemen.....	84
Gambar 4.33 Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> 4 Elemen.....	86
Gambar 4.34 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i> 4 Elemen	86
Gambar 4.35 Hasil Simulasi <i>Axial Ratio</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> 4 Elemen.....	87
Gambar 4.36 Hasil Simulasi Impedansi Antena Mikrostrip <i>Array</i> 4 Elemen.....	87
Gambar 4.37 Hasil Simulasi Gain Antena Mikrostrip <i>Array</i> 4 Elemen....	88
Gambar 4.38 Desain Antena Mikrostrip 8 Elemen dengan Model <i>Plannar Array</i>	89
Gambar 4.39 Simulasi <i>Return Loss</i> Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	91
Gambar 4.40 Simulasi VSWR Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	91
Gambar 4.41 Simulasi <i>Axial Ratio</i> Antena <i>Array</i> 8 Elemen	92
Gambar 4.42 Simulasi Impedansi Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	92
Gambar 4.43 Simulasi Gain Antena <i>Array</i> 8 Elemen	93

Gambar 4.44 Hasil Pabrikasi Awal Antena Mikrostrip <i>Array</i> 8 Elemen ..	95
Gambar 4.45 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i>	97
Gambar 4.46 Hasil Pengukuran VSWR.....	99
Gambar 4.47 Hasil Pengukuran Impedansi	101
Gambar 4.48 Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi	103
Gambar 4.49 Hasil Pengukuran Pola Radiasi.....	105
Gambar 4.50 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran <i>Return Loss</i>	107
Gambar 4.51 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR...	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aplikasi yang digunakan oleh antena microstrip	7
Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat FR4 Epoxy	15
Tabel 3.2 Dimensi Awal Antena Mikrostrip pada Frekuensi 1800 MHz	22
Tabel 3.3 Dimensi Iterasi Saluran Pencatu Antena Desain Awal	26
Tabel 3.4 Hasil Iterasi Dimensi Iterasi Saluran Pencatu Antena Desain	27
Tabel 3.5 Dimensi Antena Mikrostrip Elemen Parasitik dengan Pencatu	29
Tabel 3.6 Hasil Simulasi Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda.....	32
Tabel 3.7 Hasil Keseluruhan Simulasi Desain Antena Parasitik 2 Elemen	35
Tabel 3.8 Spesifikasi Substrat Jenis FR-4 Epoxy Merk NH	37
Tabel 3.9 Spesifikasi Konektor Jenis RP-SMA Merk Rosenberger	38
Tabel 3.10 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> tiap titik frekuensi.....	39
Tabel 3.12 Hasil Pengukuran VSWR tiap titik frekuensi	40
Tabel 3.13 Hasil Pengukuran Impedansi tiap titik frekuensi	42
Tabel 3.14 Hasil Pengukuran Pola Radiasi	44
Tabel 3.15 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran <i>Return Loss</i>	48
Tabel 3.16 Perbandingan <i>Bandwidth</i> Simulasi dan Pengukuran	49
Tabel 3.16 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR	51
Tabel 3.17 Perbandingan Nilai Simulasi dan Pengukuran <i>Gain</i>	52

Tabel 4.29 Spesifikasi Antenna Rancangan.....	54
Tabel 4.1 Spesifikasi Substrat Jenis Arlon LX 217	55
Tabel 4.2 Dimensi Antena Elemen Tunggal	57
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal.....	60
Tabel 4.4 Dimensi Antena Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	62
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal dengan <i>Truncated</i> ..	66
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal dan <i>Truncated Corner</i>	70
Tabel 4.7 Dimensi Antena Elemen Tunggal dengan Metode <i>Truncated Corner</i>	72
Tabel 4.8 Iterasi Pada Jarak Antar Elemen (d).....	77
Tabel 4.9 Hasil Simulasi dari Proses Iterasi Pada Jarak Antar-Elemen (d) pada Frekuensi Kerja 10850 MHz	80
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal, <i>Truncated Corner</i> dan <i>Array 2 Elemen</i>	83
Tabel 4.12 Dimensi Antena Mikrostrip <i>Truncated Corner</i> dengan <i>Array 4 elemen</i>	85
Tabel 4.13 Hasil Simulasi <i>Truncated Corner</i> dengan <i>Array 4 Elemen</i> ..	88
Tabel 4.14 Dimensi Antena Mikrostrip <i>Truncated Corner</i> dengan <i>Array 8 elemen</i>	90
Tabel 4.15 Hasil Simulasi <i>Truncated Corner</i> dengan <i>Array 8 Elemen</i> ..	93
Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi <i>Array 2 Elemen</i> , <i>4 Elemen</i> , dan <i>8 Elemen</i>	94

Tabel 4.17 Spesifikasi Substrat Jenis Arlon LX-217	95
Tabel 4.18 Spesifikasi Konektor Jenis RP-SMA Merk Rossenberger 32K10K-400L5.....	96
Tabel 4.20 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> tiap titik frekuensi.....	97
Tabel 4.21 Hasil Pengukuran VSWR tiap titik frekuensi	99
Tabel 4.22 Hasil Pengukuran Impedansi tiap Titik Frekuensi.....	102
Tabel 4.23 Hasil Pengukuran Pola Radiasi	104
Tabel 4.24 Hasil Pengukuran Gain.....	106
Tabel 4.25 Hasil Perbandingan <i>Return Loss</i>	108
Tabel 4.26 Perbandingan <i>Bandwidth</i> Simulasi dan Pengukuran	110
Tabel 4.27 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR	112
Tabel 4.28 Perbandingan Nilai Simulasi dan Pengukuran <i>Gain</i>	116
Tabel 4.29 Spesifikasi Antena Rancangan.....	117

RINGKASAN

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena modern yang dikembangkan untuk berbagai macam aplikasi, baik untuk sistem komunikasi *broadband* maupun *narrow band*. Keunggulan dari antena mikrostrip adalah memiliki dimensi yang kompak serta fleksibel, sehingga dapat diintegrasikan dengan perangkat elektronika lainnya antara lain *handphone*, televisi, ataupun modem. Perkembangan antena mikrostrip ke depannya akan semakin maju didukung dengan teknologi nirkabel yang membutuhkan antena yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi dan memiliki *bandwidth* yang lebar. Selain itu, keunggulan antena mikrostrip adalah dapat dioptimasi untuk menghasilkan *bandwidth* yang dapat dikontrol dan juga *gain* serta keterarahan yang lebih baik. Buku ini memaparkan beberapa hasil penelitian yang dilakukan terkait pengembangan antena mikrostrip untuk beberapa sistem komunikasi nirkabel, antara lain Wi-Fi dan sistem komunikasi satelit. Dari hasil perancangan dan pengukuran diperoleh kesimpulan bahwa antena mikrostrip dapat berfungsi dan dapat direkomendasikan untuk digunakan sebagai antena penerima pada sistem komunikasi nirkabel. Selain itu, biaya pabrikan yang terjangkau membuat antena mikrostrip dapat dikembangkan sebagai antena masa depan yang *low cost* dan cocok untuk diproduksi secara massal.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Antena mikrostrip adalah antena yang banyak dikembangkan dan digunakan pada perangkat telekomunikasi *modern* salah satunya untuk jaringan *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) dan sistem komunikasi satelit karena memiliki kelebihan di antaranya bentuk yang sederhana, kompak, dan dapat diintegrasikan dengan perangkat elektronika yang lain seperti *handphone*, modem, dan juga televisi (Alam, S. and Wibisono, I.G.N.Y., 2017). Selanjutnya, antena mikrostrip juga dapat bekerja dengan pada frekuensi tinggi, sehingga cocok digunakan untuk sistem komunikasi nirkabel yang memerlukan kecepatan akses data yang tinggi. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengembangkan antena mikrostrip untuk keperluan sistem komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi (Alam, S., Wibisana, I. G. N. Y., & Surjati, I. , 2017), Sistem Komunikasi Bergerak (Alam, S., Sari, L., Surjati, I. and Onasie, N.,, 2021), sistem komunikasi satelit (Alam, S., Surjati, I., Ningsih, Y. K., Sari, L., Syukriati, E., & Safitri, A., 2019). Namun, terdapat beberapa kekurangan pada antena mikrostrip antara lain adalah *bandwidth* yang sempit, penguatan yang rendah, serta keterarahan yang kurang optimal. Peneliti sebelumnya telah banyak melakukan optimasi untuk meningkatkan performansi antena mikrostrip menggunakan beberapa teknik ataupun metode antara lain parasitik (Ding, K., Gao, C., Yu, T., Qu, D., & Zhang, B., 2017), *array* [...], *slit* (Alam, S., Wibisana, I. G. N. Y., & Surjati, I. , 2017), *slot* ataupun dengan melakukan modifikasi bagian pentanahan antena (Alam, S., Ningsih, Y.K., Junfithrana, A.P., Ramza, H., Surjati, I. and Upa, M.,, 2018). Untuk dapat bekerja pada frekuensi yang

diharapkan antena dapat dirancang dan dioptimasi menggunakan bantuan perangkat lunak *Electromagnetic Simulation* dan selanjutnya direalisasikan menggunakan substrat atau bahan PCB (*Printed Circuit Board*) yang telah ditentukan seperti FR-4, RT Duroid ataupun Taconic. Pemilihan jenis bahan juga menentukan karakteristik serta nilai parameter dari antena yang dirancang. Kriteria minimal dari antena yang dirancang adalah memiliki nilai parameter koefisien refleksi (*return loss*) ≤ -10 dB dan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) ≤ 2 pada rentang kerja frekuensi kerja yang ditargetkan (Alaydrus, M., 2015). Selain itu, antena juga harus memiliki penguatan (*gain*) ≥ 1 dB yang berfungsi untuk menguatkan sinyal yang akan dipancarkan ataupun sinyal yang akan diterima (Pandey, 2019). Antena dalam sistem komunikasi nirkabel merupakan komponen penting yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik dan sebaliknya. Untuk itu, antena sangat diperlukan untuk mendukung terlaksananya komunikasi yang lancar antara pemancar dan penerima.

B. Rumusan Masalah

Salah satu permasalahan dari antena mikrostrip adalah memiliki *bandwidth* yang sempit, *gain* yang rendah, serta keterarahan yang kurang optimal, sehingga perlu dilakukan optimasi dengan menggunakan beberapa teknik dan metode. *Bandwidth* yang lebar diperlukan untuk sistem komunikasi pita lebar (*broad band*) yang memerlukan kecepatan tinggi seperti sistem komunikasi 4G atau sistem komunikasi satelit. Selain itu, keterarahan yang baik serta *gain* yang tinggi juga diperlukan agar kualitas sinyal dan komunikasi antara pemancar dan penerima dapat berjalan dengan baik.

C. Nilai Kebaruan

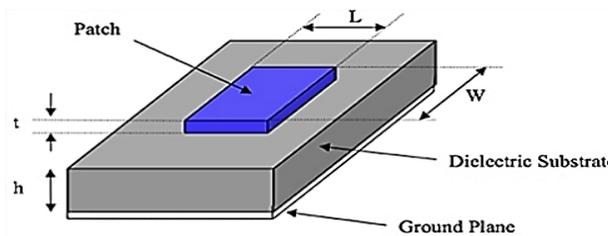
Kebaruan dari penelitian yang dilakukan adalah menghasilkan desain antena mikrostrip yang dapat bekerja pada frekuensi yang digunakan untuk sistem komunikasi 4G dan sistem komunikasi satelit. Selain itu, antena yang diusulkan dan dirancang menghasilkan *gain* yang tinggi serta *bandwidth* yang lebar dengan menerapkan beberapa metode ataupun teknik optimasi. Keunggulan dari antena yang dihasilkan adalah memiliki desain yang kompak serta performansi yang optimal baik dari proses perancangan maupun proses pengukuran di laboratorium.

BAB II

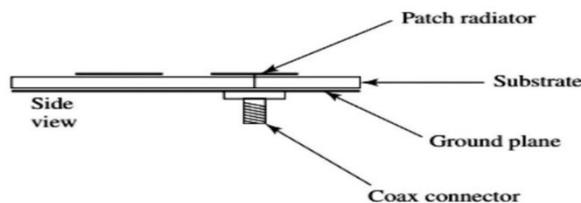
TEORI DASAR

2.1 Konsep Dasar Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel di atas *ground plane* yang di antaranya terdapat bahan substrat dielektrik. Struktur antena mikrostrip pada gambar 2.1 dan 2.2 terdiri dari 3 bagian, yaitu elemen peradiasi (*patch antenna*), saluran transmisi, dan bidang pentahanan atau *ground plane* yang dapat dicetak pada satu atau lebih dielektrik substrat (Alaydrus, M., 2015). Antena mikrostrip banyak digunakan untuk frekuensi gelombang mikro, karena kemudahan dan komparabilitas pada papan cetak sirkuit (PCB), juga mudah difabrikasi dengan satu elemen peradiasi atau lebih dari satu elemen peradiasi (*Array*) (Asaadi, M., & Sebak, A., 2017). Akan tetapi, antena mikrostrip memiliki beberapa kelemahan mendasar yaitu *bandwidth* yang sempit keterbatasan *gain* dan daya yang rendah (Alaydrus, M., 2015).



Gambar 2.1 Struktur dasar antena mikrostrip (Surjati, I., 2010)



Gambar 2.2 Mikrostrip tampak samping (Alam, S. and Wibisono, I.G.N.Y., 2017)

Beberapa keunggulan dari antena mikrostrip dibandingkan jenis antena yang lain (Alam, S. and Wibisono, I.G.N.Y., 2017), yaitu:

1. Dapat terintegrasi langsung dengan komponen aktif atau komponen pasif *Microwave* (MIC).
2. Elemen peradiasi yang diproduksi dalam jumlah banyak dapat dibuat dengan proses *etching* sederhana, sehingga dapat mengurangi biaya dalam pembuatan.
3. Memiliki berat yang ringan dan ukuran yang kecil, sehingga dapat dipasang pada permukaan yang melengkung.
4. Dapat bekerja pada frekuensi ganda dengan tambahan elemen peradiasi (*patch*) yang ditumpuk atau dengan penambahan *stub*.
5. Dapat digunakan untuk *radar cross* yang biasa dipakai pada pesawat terbang atau peluru kendali (*missile*).

Adapun kelemahan yang terdapat pada antena mikrostrip antara lain[6]:

1. Satu elemen peradiasi dengan ketebalan substrat yang tipis (kurang dari $0.02\lambda_0$) umumnya memiliki *bandwidth* yang sempit kurang dari 5%.
2. Antena mikrostrip susun banyak (*array*) umumnya memiliki kerugian nilai "*ohmic*" yang lebih besar dibanding jenis antena yang lainnya. Hal ini dikarenakan pada konstanta dielektrik substrat dan konduktor logam saluran transmisi mikrostrip.
3. Timbulnya gelombang permukaan (*Surface Waves*).
4. *Bandwidth* yang sempit.
5. Penguatan (*gain*) yang kecil.
6. Daya yang rendah.

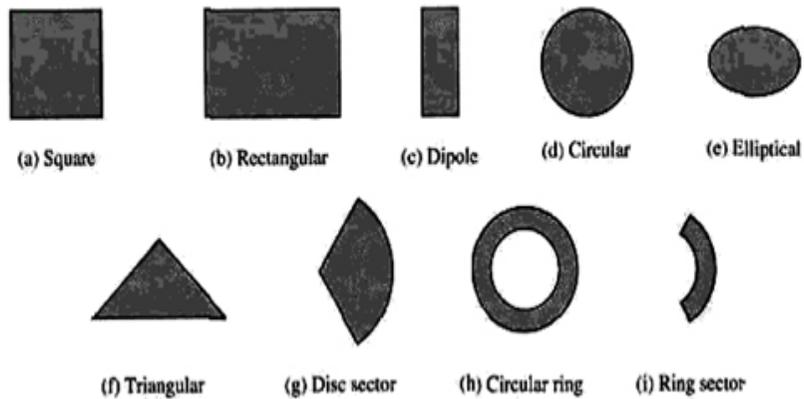
Pada tabel 2.1 antena mikrostrip banyak digunakan untuk sistem telekomunikasi modern antara lain untuk (Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2018).

Tabel 2.1 Aplikasi yang digunakan oleh antena mikrostrip

No.	Sistem telekomunikasi	Frekuensi kerja
1	<i>Global Positioning Satellite</i> (GPS)	1575 MHz 1227 MHz
2	<i>Global System for Mobile Communication</i> (GSM)	890 – 915 MHz & 935 – 960 MHz
3	<i>Wireless Local Area Network</i> (WLAN)	2.40 – 2.48 GHz dan 5 GHz
4	<i>Cellular Video</i>	28 GHz
5	<i>Direct Broadcast Satellite</i>	11.7 – 12.5 GHz

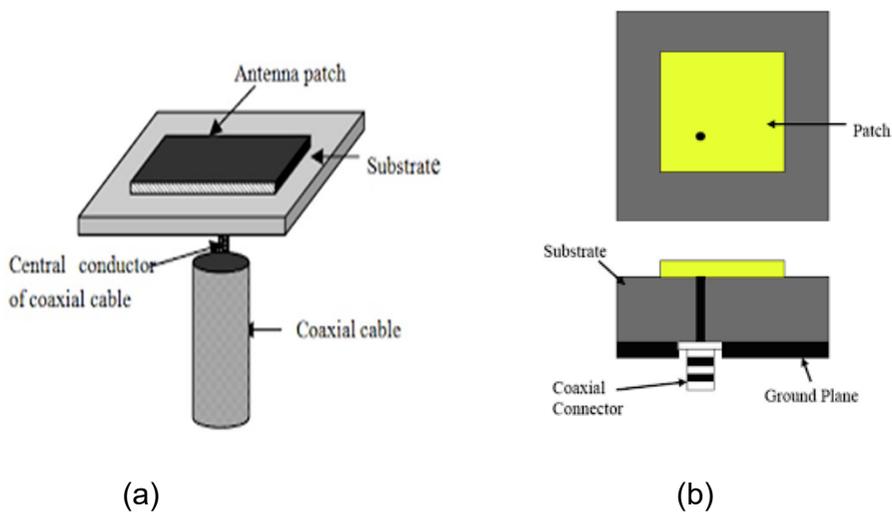
b. Jenis Antena Mikrostrip

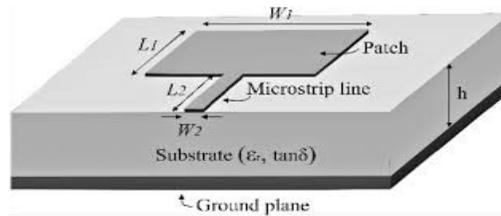
Jenis antena mikrostrip dapat dibedakan dengan penggunaan jenis pencatunya dan juga bentuk dari elemen peradiasinya. Berdasarkan bentuk *patch*, antena dibedakan menjadi beberapa bentuk seperti yang ditunjukkan pada gambar. Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut sebagai *radiator patch* dan terbentuk lapisan logam yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasa digunakan adalah tembaga (copper) dengan konduktivitas $5,8 \times 10^7$ S/m. Ada berbagai macam bentuk elemen peradiasi yang di antaranya adalah bentuk persegi, persegi panjang, garis tipis (*dipole*), lingkaran, elips, segitiga. Dimensi dari masing-masing elemen peradiasi pada antena mikrostrip ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk Elemen Peradiasi

Berdasarkan jenis, saluran pencatu dibedakan menjadi dua yaitu pencatu langsung (*direct feeding*) dan pencatu tidak langsung (*indirect feeding*). Untuk pencatu langsung terdapat beberapa jenis yaitu *probe feed*, *coaxial feed*, dan *microstrip line*. Pencatu langsung diterapkan dengan cara menghubungkan elemen peradiasi langsung dengan konektor keluaran antenna pada satu *layer* (lapisan) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.





(c)

Gambar 2.4 Bentuk Pencatu

(a) Coaxial Feed, (b) Probe Feed, (c) Microstrip Line

Selanjutnya untuk pencatu tidak langsung, elemen peradiasi dari antenna tidak dihubungkan dengan saluran pencatu pada *layer* (lapisan) yang berbeda.

c. Metode Perhitungan Antena Mikrostrip

Untuk mencari dimensi antenna mikrostrip (W dan L), harus diketahui terlebih dahulu parameter bahan yang digunakan, yaitu tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), tebal konduktor (t) dan rugi-rugi bahan (*loss tangen*). Panjang antenna mikrostrip harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka *bandwidth* akan sempit, sedangkan apabila terlalu panjang *bandwidth* akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari antenna mikrostrip (W) impedansi input juga akan berubah.

Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung dimensi dari antenna mikrostrip adalah sebagai berikut (Lee, K. F., Luk, K. M., & Lai, H. W. , 2017).

1) Menghitung lebar *patch* (*Width*):

$$W = \frac{C}{2 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.1)$$

2) Panjang *patch* efektif (L_{eff}):

$$L_{eff} = \frac{C}{2 \cdot f \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.2)$$

3) Panjang *patch* (*Length*):

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.3)$$

4) Panjang tambahan *patch* (ΔL):

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \quad (2.4)$$

5) Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}):

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

6) Panjang *ground plane* (L_g):

$$L_g = 6 \cdot h + L \quad (2.6)$$

7) Lebar *ground plane* (W_g):

$$W_g = 6 \cdot h + W \quad (2.7)$$

8) Menghitung lebar saluran mikrostrip

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.8)$$

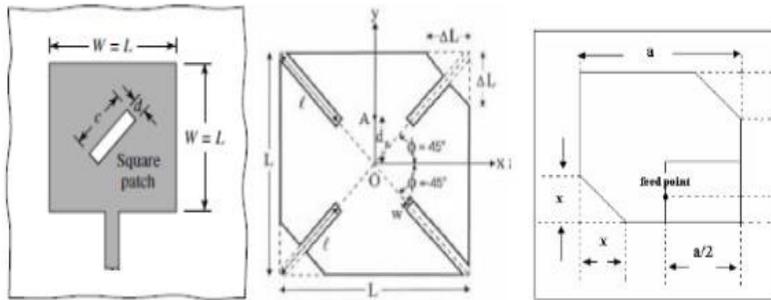
9) Nilai B

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.9)$$

d. Metode Optimasi Antena Mikrostrip

i. Polarisasi Melingkar

Ada beberapa teknik untuk menghasilkan polarisasi melingkar pada sebuah antena mikrostrip seperti multicatuan yaitu catuan yang saling *orthogonal* dan memiliki beda fasa sebesar 90° , dan catuan tunggal. Jika bentuk *patch* dasar dicatu menggunakan catuan tunggal, maka polarisasi yang dihasilkan adalah linier. Maka dari itu, untuk membentuk polarisasinya menjadi sirkular, harus dilakukan modifikasi pada *patch* seperti terlihat pada gambar 2.7 di bawah (Alam, S., Surjati, I., Ningsih, Y. K., Sari, L., Syukriati, E., & Safitri, A., 2019).



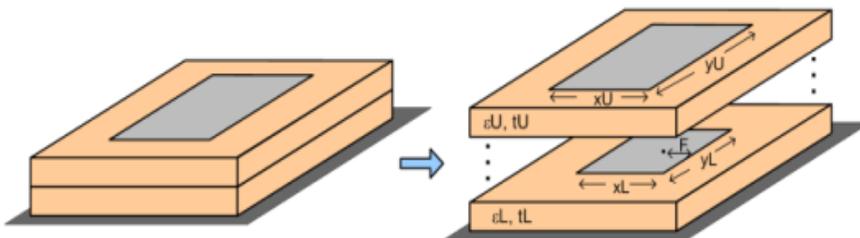
Gambar 2.3 Antena polarisasi sirkular (Pandey, 2019)

Modifikasi pada *patch* biasa disebut dengan teknik perturbasi agar sinyal yang dihasilkan berpolarisasi melingkar [8]. Untuk Teknik perturbasi yang akan digunakan adalah *truncated corner* atau pemotongan tepi pada sudut 45° dan 225° dari sumbu pencatuan.

ii. Metode Parasitik

Teknik *patch* parasitik digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain* antena *patch* Microstrip. Terdapat dua jenis tipe parasitik pada antena mikrostrip yang pertama adalah teknik *coplanar* dan lainnya adalah teknik bertumpuk (*stacked*). Di teknik *coplanar*, ada beberapa beban parasitik yang digabungkan dengan elemen peradiasi di atas satu lapis substrat antena. Salah satu *patch* di antara Radiator *patch* yang berbeda diberikan pencatu disebut *patch* utama. Sedangkan dalam teknik bertumpuk, antena tersusun dari dua substrat atau lebih yang ditumpuk dimana *patch* pada *layer* bawah adalah *patch* utama dan *patch* pada substrat yang di atas adalah *patch* parasitik (Ding, K., Gao, C., Yu, T., Qu, D., & Zhang, B., 2017). Substrat yang digunakan memiliki nilai spesifikasi yang sama. Adapun desain dari parasitik mikrostrip ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini.

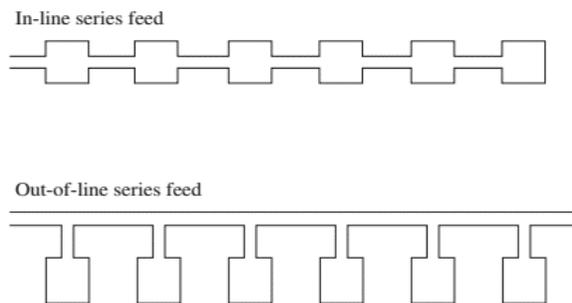
Pemberian beban *parasitik* akan menghasilkan *bandwidth* yang lebar dan meningkatkan nilai *gain* antena, karena disebabkan adanya elemen peradiasi pengganggu yang ditempatkan pada jenis substrat yang sama di *layer* berbeda (Pandey, 2019).



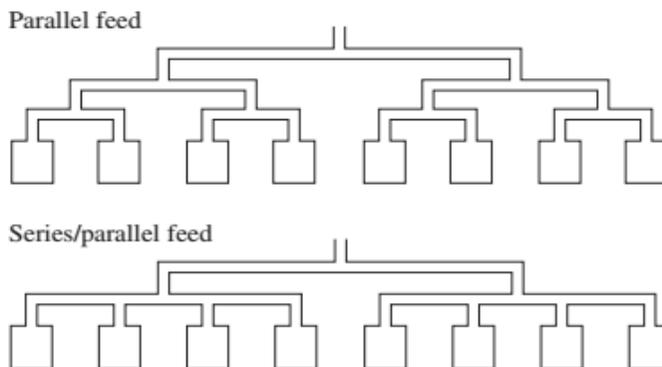
Gambar 2.4 Metode Parasitik (Pandey, 2019)

iii. Metode Array

Penggunaan antena mikrostrip yang membutuhkan tingkat penguatan (*gain*) yang tinggi dan pola radiasi yang terarah pada titik tertentu dapat menggunakan metode perancangan antena secara susun (*array*) (Fang, 2017). Bentuk susunan pada (*array*) terbagi menjadi 2, yaitu pada gambar 2.5 yang merupakan susunan *series feed* dan gambar 2.6 yang merupakan susunan *parallel feed*. Penggunaan teknik *power divider T-Junction* dapat menghasilkan *impedance matching* pada saluran transmisi khususnya untuk perancangan antena susun banyak (*array*)[24].



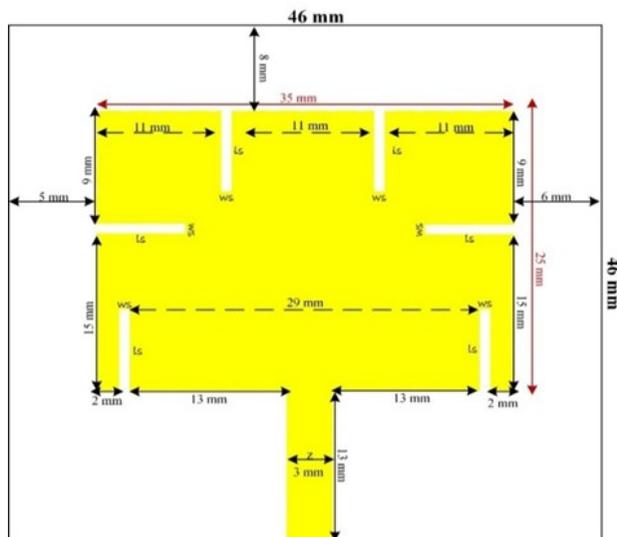
Gambar 2.6. Susunan *series feed* (Fang, 2017)



Gambar 2.7 Susunan *parallel feed* (Fang, 2017)

iv. Metode *Peripheral Slits*

Teknik *peripheral slits* ini memiliki ukuran lebar *slits* (ws) dan panjang *slits* (ls) yang sama antara satu dengan yang lainnya seperti pada gambar 5 di bawah. Pada umumnya untuk lebar *slits* (ws) berkisar antara 1 mm – 6 mm, sedangkan untuk panjang *slits* (ls) dapat diperoleh dari proses optimasi [...]. Efek dari penambahan slit adalah mereduksi dimensi dari antenna dan meningkatkan *bandwidth* dari antenna rancangan.



Gambar 2.8 Penerapan Teknik *Slit* (Alam, S., Sari, L., Surjati, I. and Onasie, N., 2021)

BAB III

ANTENA MIKROSTRIP PITA LEBAR UNTUK APLIKASI SISTEM KOMUNIKASI BERGERAK

3.1 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip Pada Frekuensi 1.8 GHz

Pada awal penelitian ini dilakukan penentuan jenis material substrat yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip. Terdapat beberapa jenis material yang dapat digunakan untuk mendesain antena mikrostrip antara lain duroid, FR-4, dan Taconic. Dalam penelitian ini digunakan jenis FR-4, karena mudah ditemukan di pasaran dan juga harganya lebih terjangkau dibanding dengan jenis substrat Taconic dan duroid. Namun, kelemahan dari substrat FR-4 adalah memiliki nilai *loss* yang cukup besar, sehingga memengaruhi nilai efisiensi dari antena mikrostrip menjadi lebih kecil. Pada penelitian ini digunakan FR-4 Epoxy double side merk NH dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat FR4 Epoxy

Jenis Substrat	FR4 (epoxy)
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,3
Konstanta Permeabilitas Relatif (μ_r)	1
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,0265
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm
Konduktifitas Bahan	$5,8 \times 10^7$ S/m

3.2 Perancangan Awal Antena Mikrostrip

Pada penelitian ini, desain awal dari antena mikrostrip yang akan dirancang adalah bentuk persegi panjang dengan nilai panjang (L) dan lebar (W). Desain awal antena mikrostrip dirancang untuk bekerja pada frekuensi 1800 MHz. Untuk memperoleh dimensi antena mikrostrip bentuk persegi panjang dapat menggunakan persamaan (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), dan (2.5).

$$W = \frac{c}{2f\sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \quad (2.1)$$

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad (2.2)$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (2.5)$$

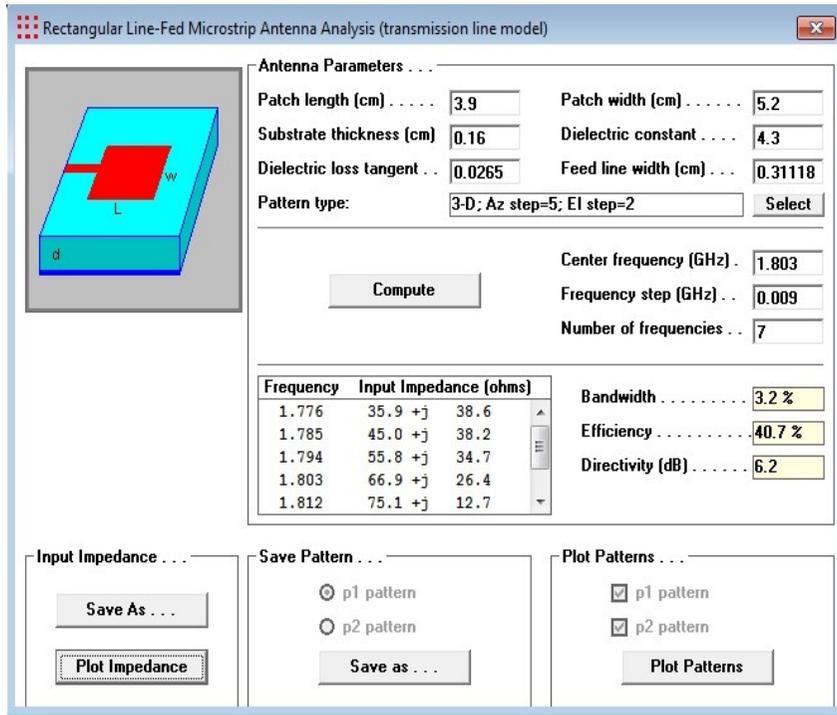
Setelah dilakukan menggunakan persamaan (2.1) sampai dengan (2.5) diperoleh dimensi antena mikrostrip bentuk persegi panjang dengan dimensi lebar (W) sebesar 51.19 mm dan panjang (L) sebesar 39.59 mm, tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan dimensi saluran pencatu antena mikrostrip. Pada penelitian ini jenis saluran pencatu yang digunakan adalah pencatu tidak langsung menggunakan saluran mikrostrip (*microstrip line*) dengan nilai impedansi 50 Ohm. Dimensi lebar saluran pencatu (W_z) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.6) dan (2.7).

$$W_z = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.6)$$

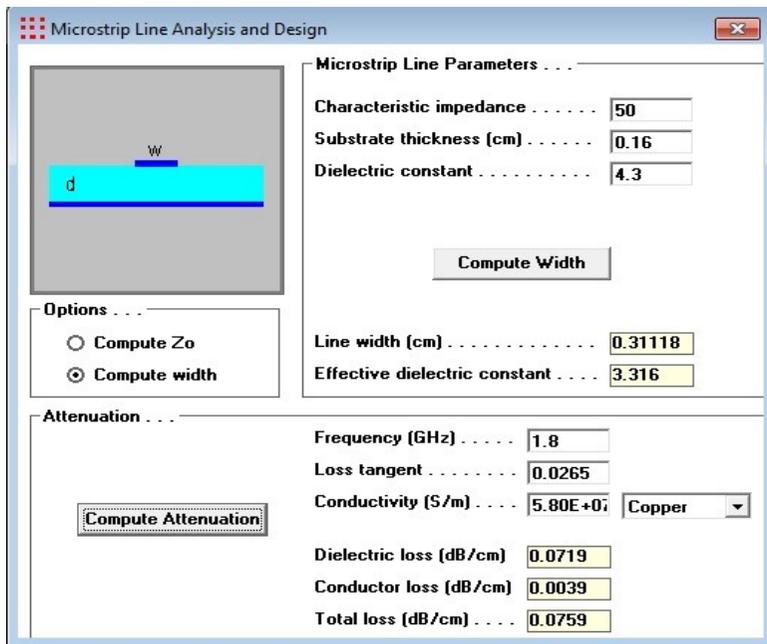
$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (2.7)$$

Dari persamaan (2.6) dan (2.7) diperoleh dimensi lebar saluran

pencatu antenna mikrostrip sebesar 0.31118 cm atau 3.1118 mm. Pada proses perancangan digunakan nilai 3.1 mm. Untuk panjang saluran pencatu antenna mikrostrip akan diperoleh dari hasil iterasi atau *trial* dan *error* pada perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009*. Untuk melakukan pengecekan hasil perhitungan manual dari antenna mikrostrip, maka dilakukan verifikasi dengan menggunakan *software* PCAAD (*Personal Computer Aided Antenna Design*). Hal ini dilakukan untuk mengecek apakah hasil perhitungan dimensi antenna mikrostrip sudah bekerja pada frekuensi kerja 1800 MHz. Hasil verifikasi perhitungan desain awal antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar 3.1, sedangkan gambar 3.2 menunjukkan verifikasi hasil perhitungan lebar saluran pencatu.

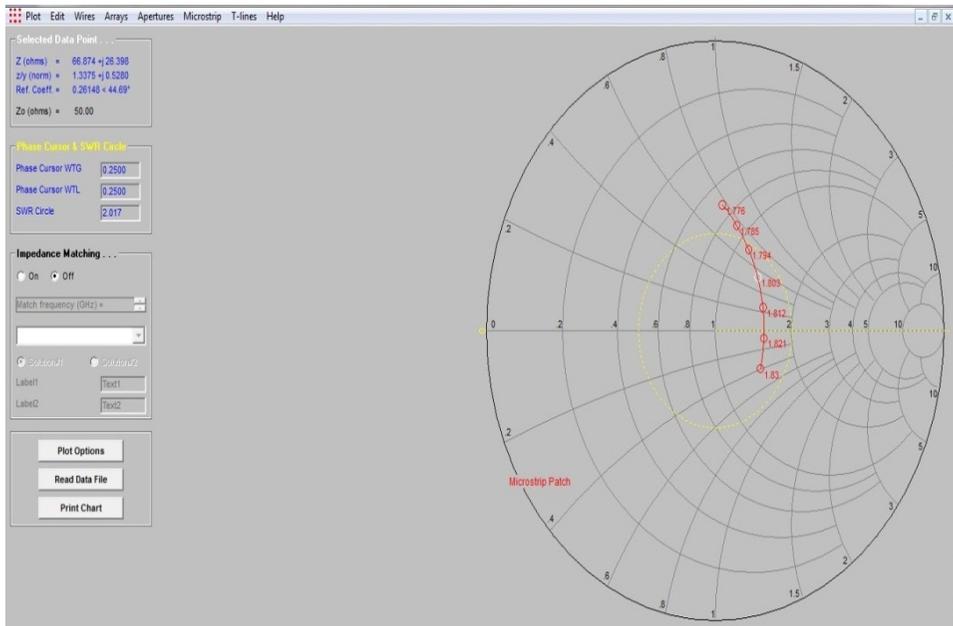


Gambar 3.1 Hasil Verifikasi Desain Antena Mikrostrip dengan PCAAD

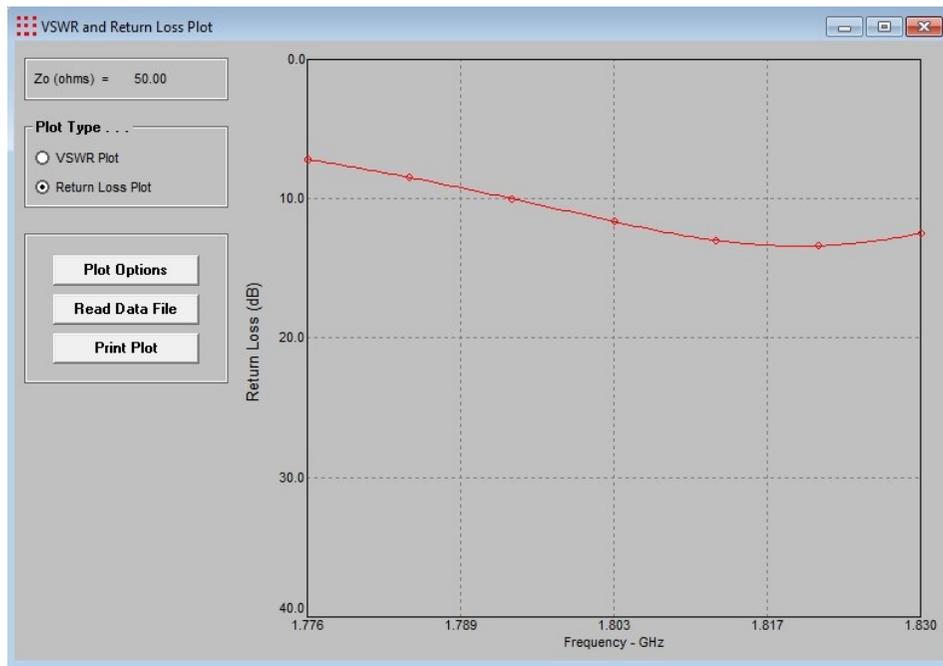


Gambar 3.2 Hasil Verifikasi Lebar Saluran Catu Mikrostrip dengan PCAAD

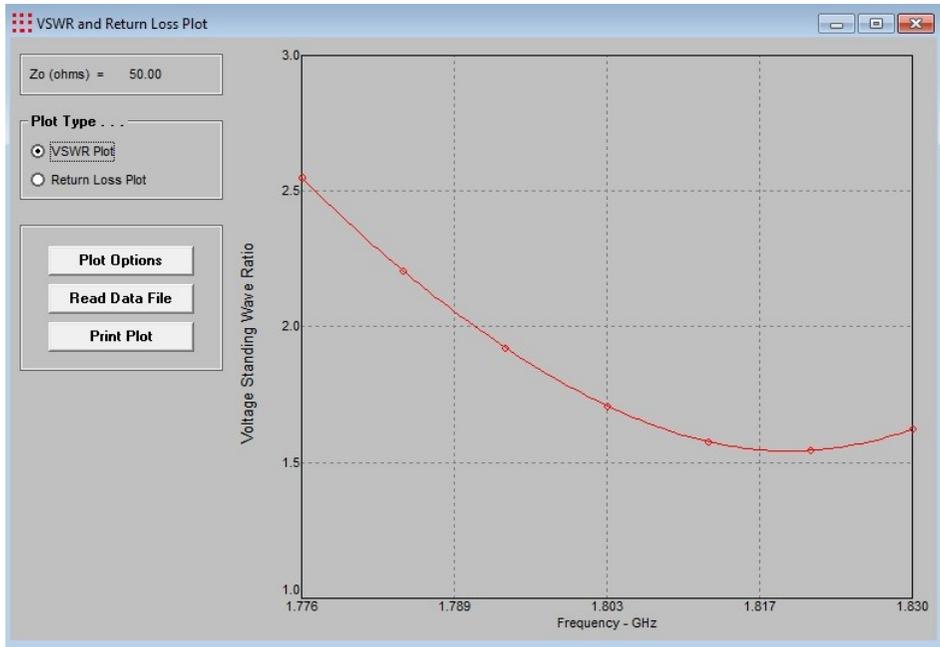
Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dan 3.2 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan desain antenna secara manual telah mendekati dengan frekuensi kerja 1800 MHz, yaitu 1803 MHz dengan dimensi lebar (W) sebesar 5.9 cm dan panjang (L) sebesar 3.9 cm. Untuk hasil verifikasi dimensi lebar saluran catu dapat dilihat pada gambar 3.2 dengan nilai lebar saluran 0.31118 cm atau 3.1 mm. Untuk nilai efisiensi antenna ditunjukkan pada gambar 5.1 yaitu sebesar 40.7 % dengan *bandwidth* 3.2 % dan direktivitas 6.2 dB, sedangkan *dielectric loss* pada antenna dapat dilihat pada gambar 4.2 yaitu total *loss* (dB/cm) adalah 0.0759 dB. Hasil simulasi impedansi, VSWR, *return loss*, dan pola radiasi antenna rancangan pada PCAAD dapat dilihat pada gambar 3.3, gambar 3.4, gambar 3.5, dan gambar 3.6.



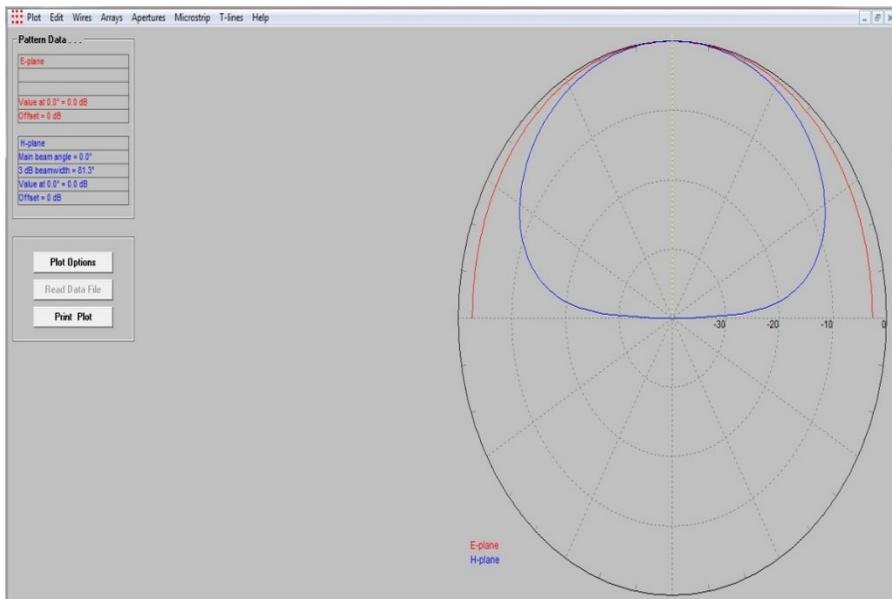
Gambar 3.3 Hasil Simulasi Impedansi Antena Mikrostrip dengan PCAAD



Gambar 3.4 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip dengan PCAAD



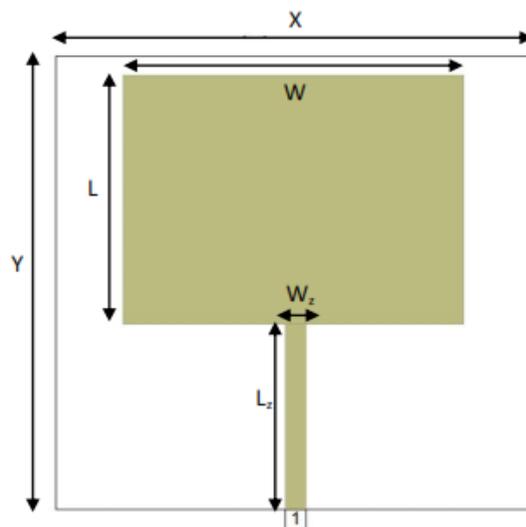
Gambar 3.5 Hasil Simulasi *Return loss* Antena Mikrostrip dengan PCAAD



Gambar 3.6 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Mikrostrip dengan PCAAD

Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dapat dilihat bahwa impedansi dari antenna mikrostrip adalah $68.674 + j26.396 \Omega$, sedangkan pada frekuensi kerja 1803 MHz. Pada gambar 3.4 dan gambar 3.5 dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip hasil rancangan menghasilkan $VSWR \leq 2$ dan $return\ loss \leq -10$ dB pada frekuensi kerja 1800 MHz. Hal ini menunjukkan bahwa antenna mikrostrip yang dirancang telah bekerja dengan baik pada frekuensi yang telah ditetapkan. Pola radiasi bidang E dan H pada antenna mikrostrip ditunjukkan pada gambar 3.6 dengan nilai HPB (*Half Power Beamwidth*) sebesar 81.3° dengan level penerimaan terbaik pada sudut 0° . Dari hasil keseluruhan rancangan awal dengan PCAAD menunjukkan bahwa antenna telah bekerja dan berhasil dirancang untuk frekuensi kerja 1800 MHz.

Setelah desain antenna telah diverifikasi pada PCAAD, tahapan selanjutnya adalah merancang dan menyimulasikan antenna mikrostrip pada software *AWR Microwave Office 2009*. Desain awal antenna mikrostrip pada frekuensi kerja 1800 MHz dapat dilihat pada gambar 3.7.



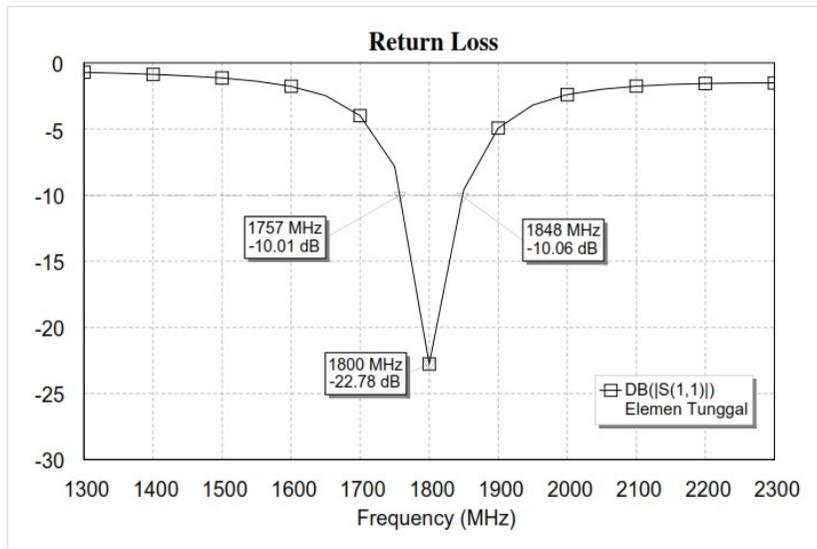
Gambar 3.7 Desain Awal Antena Mikrostrip pada *AWR MWO 2009*

Dari gambar 3.7 dapat dilihat desain antenna yang telah dirancang pada *AWR Microwave Office 2009*. Tabel 3.2 menunjukkan dimensi dari desain awal antenna mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 1800 MHz.

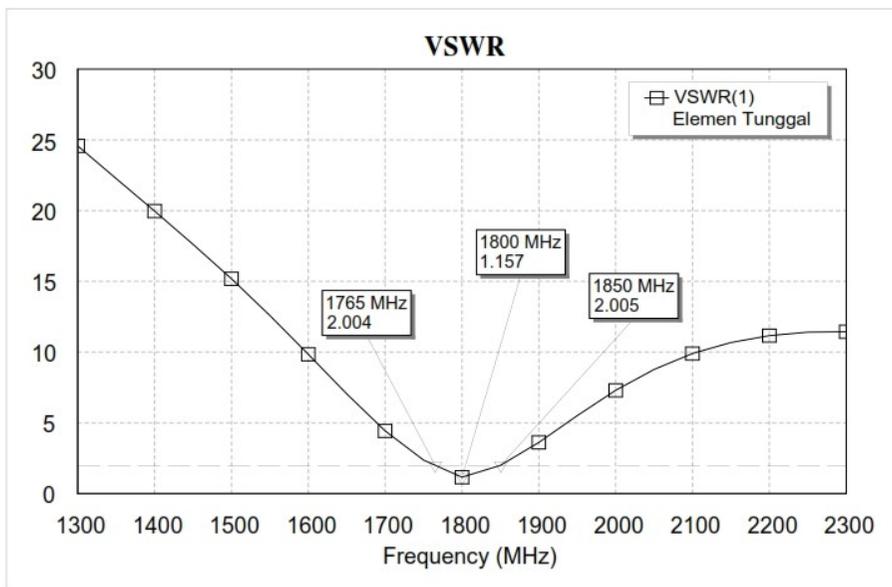
Tabel 3.2 Dimensi Awal Antena Mikrostrip pada Frekuensi 1800 MHz

No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	71 mm
2.	Y	Lebar Substrat	71 mm
3.	W	Lebar <i>Patch</i> Antena	59 mm
4.	L	Panjang <i>Patch</i> Antena	31 mm
5.	W_z	Lebar Saluran Catu	3.1 mm
6.	L_z	Panjang Saluran Catu	29 mm

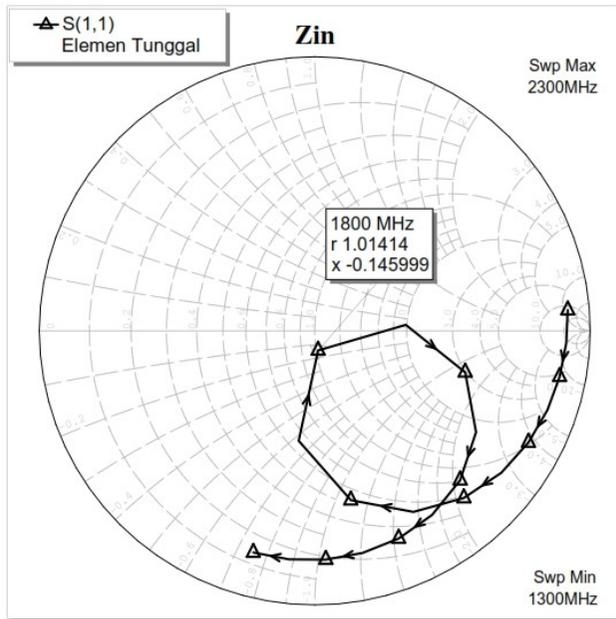
Dari tabel 3.2 dapat dilihat dimensi keseluruhan dari antenna desain awal yang bekerja pada frekuensi 1800 MHz. Selanjutnya adalah melakukan simulasi untuk parameter *return loss*, VSWR, impedansi, dan pola radiasi dari antenna mikrostrip. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software *AWR Microwave Office 2009* dengan rentang frekuensi kerja 1300–2300 MHz. Hasil simulasi antenna hasil rancangan dapat dilihat pada gambar 3.8, gambar 3.9, gambar 3.10, dan gambar 3.11.



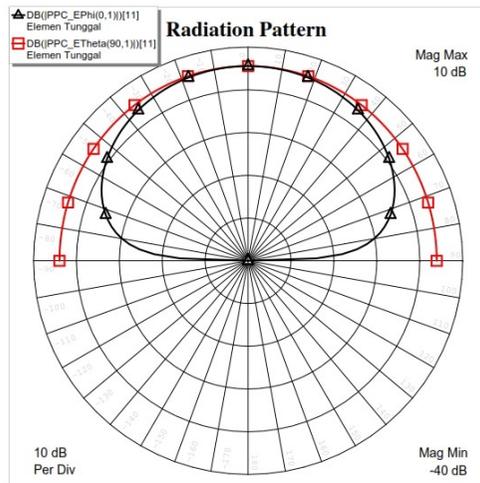
Gambar 3.8 Simulasi *Return loss* Antena Desain Awal pada AWR MWO 2009



Gambar 3.9 Simulasi VSWR Antena Desain Awal pada AWR MWO 2009



Gambar 3.10 Simulasi Zin Antena Desain Awal pada AWR MWO 2009



Gambar 3.11 Simulasi Pola Radiasi Antena Desain Awal pada AWR MWO 2009

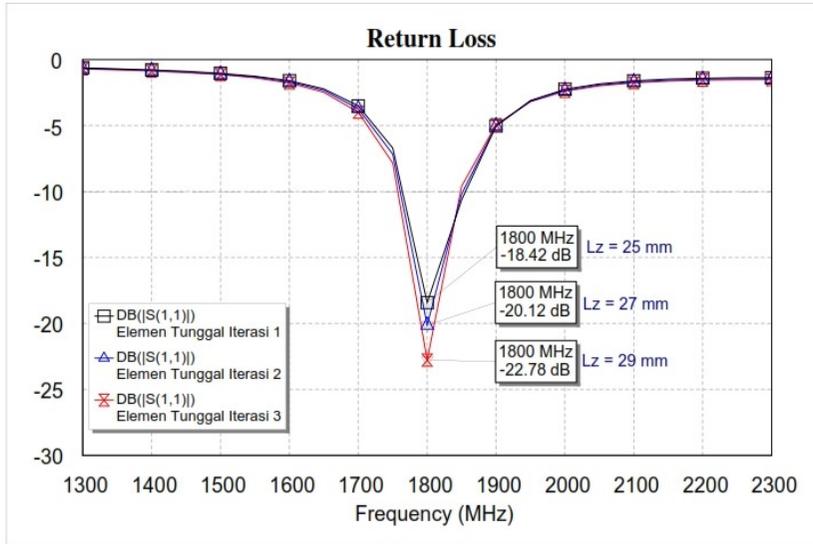
Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar 3.8 dapat dilihat bahwa antenna yang dirancang memiliki nilai *return loss* -22.78 dB pada frekuensi kerja 1800 MHz dan rentang nilai frekuensi kerja dengan *return loss* \leq -10 dB sebesar 91 MHz yaitu 1757 MHz – 1848 MHz. Nilai VSWR dari antenna hasil rancangan dapat dilihat pada gambar 3.9 yaitu 1.157 pada frekuensi kerja 1800 MHz dan rentang frekuensi kerja dengan VSWR \leq 2 sebesar 85 MHz yaitu 1765 MHz – 1850 MHz. Impedansi pada antenna mikrostrip desain awal dapat dilihat pada gambar 3.10 yaitu $1 - j 0.14599 \Omega$ atau jika dikalikan dengan pencatu 50 Ohm menjadi $50 - j 7.2995 \Omega$ pada frekuensi kerja 1800 MHz. Untuk gambar 3.11 menunjukkan pola radiasi pada antenna desain awal yang memiliki bentuk yang sama dengan simulasi pada PCAAAD, yaitu dengan tipikal HPBW *broadside* (pancaran lebar).

3.3 Iterasi Desain Awal Antena Mikrostrip

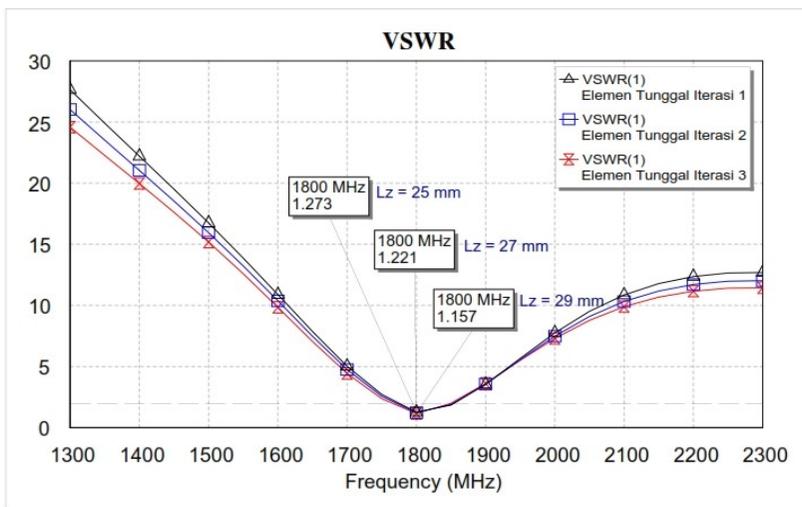
Untuk memperoleh hasil rancangan yang optimal, maka dilakukan proses iterasi dengan melakukan perubahan terhadap panjang dari saluran pencatu pada antenna mikrostrip. Untuk posisi saluran catu pada antenna mikrostrip ditempatkan pada tengah *patch* antenna, sedangkan panjang saluran catu dirubah sampai dengan mendapatkan nilai *return loss* dan VSWR yang optimal. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *return loss* terkecil dengan VSWR yang mendekati nilai 1, sehingga antenna dapat bekerja dengan maksimal dan memiliki impedansi yang mendekati 50 Ohm atau berada dalam kondisi *matched*. Tabel 3.3 menunjukkan dimensi dari iterasi saluran pencatu pada antenna mikrostrip desain awal. Hasil simulasi dari proses iterasi dapat dilihat pada gambar 3.12 dan 3.13.

Tabel 3.3 Dimensi Iterasi Saluran Pencatu Antena Desain Awal

No.	Kondisi	Dimensi Saluran Pencatu
1.	Iterasi 1	25 mm
2.	Iterasi 2	27 mm
3.	Iterasi 3	29 mm



Gambar 3.12 Simulasi *Return loss* dari Iterasi Saluran Catu



Gambar 3.13 Simulasi VSWR dari Iterasi Saluran Catu

Dari gambar 3.12 dan 3.13 dapat dilihat bahwa panjang saluran pencatu memengaruhi nilai *return loss* dan VSWR pada antenna mikrostrip. Hasil terbaik diperoleh pada saat iterasi ketiga dengan panjang saluran pencatu $L_z = 29$ mm menghasilkan nilai *return loss* -22.78 dB dan VSWR 1.157 pada frekuensi kerja 1800 MHz. Hasil keseluruhan pada proses iterasi saluran pencatu dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hasil Iterasi Dimensi Iterasi Saluran Pencatu Antena Desain Awal

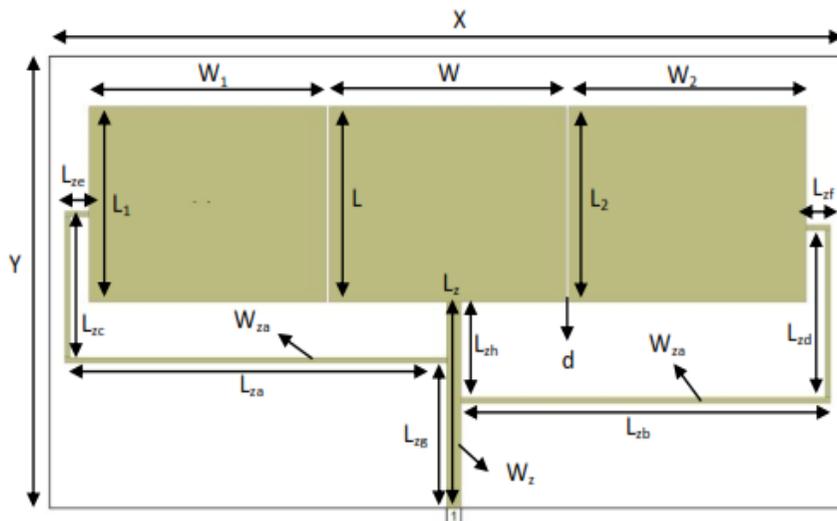
No.	Kondisi	Dimensi Saluran Pencatu	<i>Return loss</i>	VSWR	<i>Bandwidth</i>
1.	Iterasi 1	25 mm	-18.42 dB	1.273	82 MHz
2.	Iterasi 2	27 mm	-20.12 dB	1.221	83 MHz
3.	Iterasi 3	29 mm	-22.78 dB	1.157	85 MHz

Dari tabel 3.4 dapat dilihat bahwa pada iterasi ketiga dengan dimensi $L_z = 29$ mm diperoleh nilai *return loss* dan VSWR terbaik. Untuk perancangan selanjutnya, nilai L_z yang digunakan adalah 29 mm. Tahapan selanjutnya adalah melakukan pembebanan parasitik pada antenna desain awal untuk meningkatkan nilai *bandwidth* pada antenna.

3.4 Optimasi Bandwidth Pada Antena Mikrostrip

Untuk dapat meningkatkan *bandwidth* dan *gain* dari antenna mikrostrip, maka dilakukan penambahan saluran pencatu terhadap beban parasitik 2 elemen yang ditempatkan di bagian tepi *patch* elemen peradiasi. Tujuan dari penambahan saluran pencatu pada elemen parasitik untuk meningkatkan *bandwidth* antenna agar dapat

bekerja dari 1800 – 2300 MHz dengan memanfaatkan efek tepi pada *patch* antenna mikrostrip. Aliran arus pada *patch* antenna mikrostrip paling besar mengalir pada bagian tepi dari *patch* antenna, sehingga menimbulkan efek tepi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan *electromagnetic band gap*, sehingga dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar. Selain itu, penambahan saluran pencatu elemen parasitik juga bertujuan untuk meningkatkan nilai gain pada antenna mikrostrip. Desain antenna mikrostrip 2 elemen parasitik dengan penambahan saluran pencatu dapat dilihat pada gambar 3.14 dan tabel 3.5 .

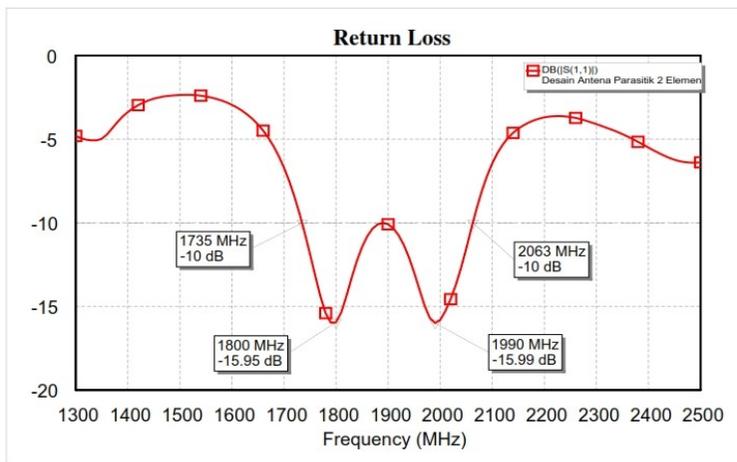


Tabel 3.14 Desain Antena Mikrostrip Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda

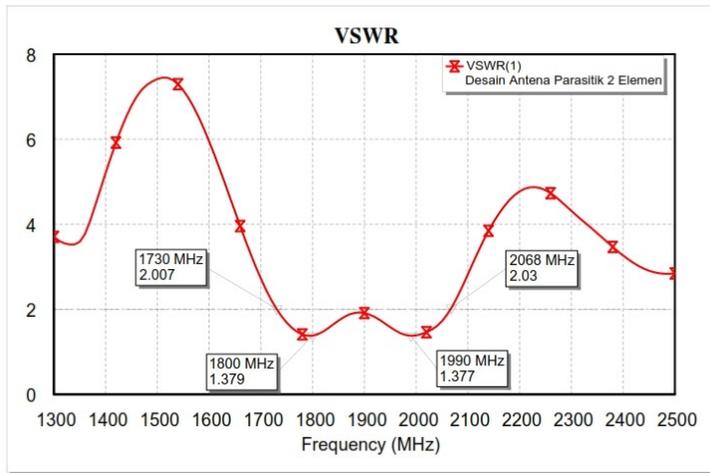
Tabel 3.5 Dimensi Antena Mikrostrip Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda

No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	171 mm
2.	Y	Lebar Substrat	90 mm
3.	W	Lebar <i>Patch</i> Antena	59 mm
4.	L	Panjang <i>Patch</i> Antena	31 mm
5.	W_1	Lebar <i>Patch</i> Elemen Parasitik 1	59 mm
6.	L_1	Panjang Elemen Parasitik 1	31 mm
7.	W_2	Lebar <i>Patch</i> Elemen Parasitik 2	59 mm
8.	L_2	Lebar <i>Patch</i> Elemen Parasitik 2	31 mm
9.	d	Jarak celah elemen parasitik	0.5 mm
10.	W_z	Lebar Saluran Pencatu Utama	3.1 mm
11.	L_z	Panjang Saluran Pencatu Utama	41 mm
10.	W_{za}	Lebar Saluran Pencatu Ganda	1 mm
11.	L_{za}	Panjang Saluran Pencatu Ganda 1	80.9 mm
12.	L_{zb}	Panjang Saluran Pencatu Ganda 2	78.2 mm
13.	L_{zc}	Tinggi Saluran Pencatu Ganda 1	28 mm
14.	L_{zd}	Tinggi Saluran Pencatu Ganda 2	33.3 mm
15.	L_{ze}	Panjang Saluran Pencatu Ganda 1 ke <i>Patch</i> Parasitik	5.2 mm
16.	L_{zf}	Panjang Saluran Pencatu Ganda 2 ke <i>Patch</i> Parasitik	5.2 mm
17.	L_{zg}	Tinggi Saluran Pencatu Ganda 1 ke <i>Patch</i> Peradiasi	28.9 mm
18.	L_{zh}	Panjang Saluran Pencatu Ganda 2 ke <i>Patch</i> Peradiasi	19 mm

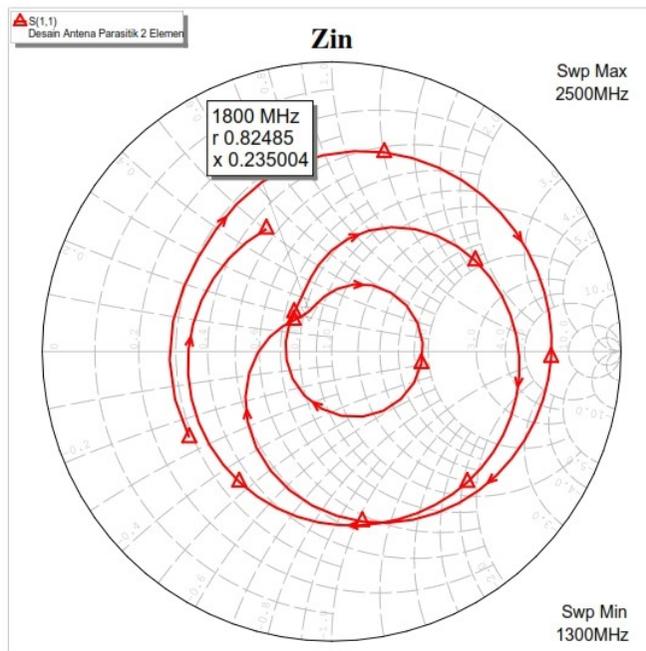
Dari gambar 3.14 dan tabel 3.5 dapat dilihat bahwa antenna elemen parasitik ditambahkan pencatu yang diposisikan di bagian tepi *patch* elemen parasitik. Lebar pencatu ganda yang digunakan adalah 1 mm, sedangkan untuk panjang masing-masing pencatu ganda diperoleh dari hasil optimasi dan iterasi dengan menggunakan AWR Microwave Office 2009. Posisi dan panjang dari saluran pencatu sangat menentukan kinerja dari antenna hasil rancangan. Hasil simulasi dari antenna elemen parasitik dengan menggunakan pencatu ganda dapat dilihat pada gambar 3.15, 3.16, 3.17 dan 3.18 sedangkan keseluruhan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.



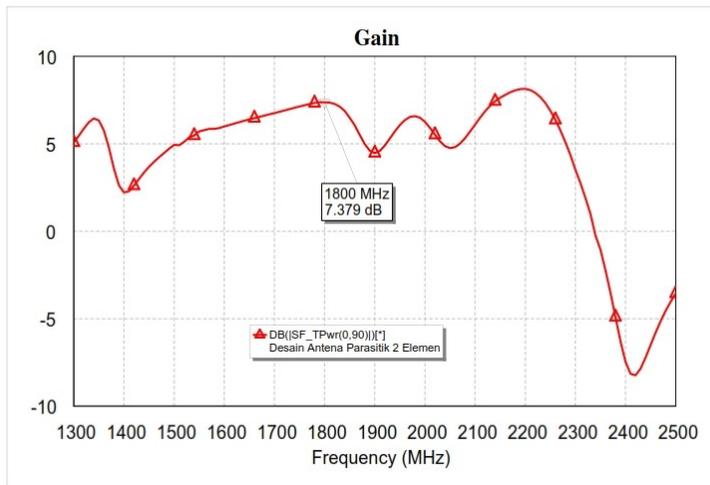
Gambar 3.15 Simulasi *Return loss* Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda



Gambar 3.16 Simulasi VSWR Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda



Gambar 3.17 Simulasi Impedansi Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda



Gambar 3.18 Simulasi Gain Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda

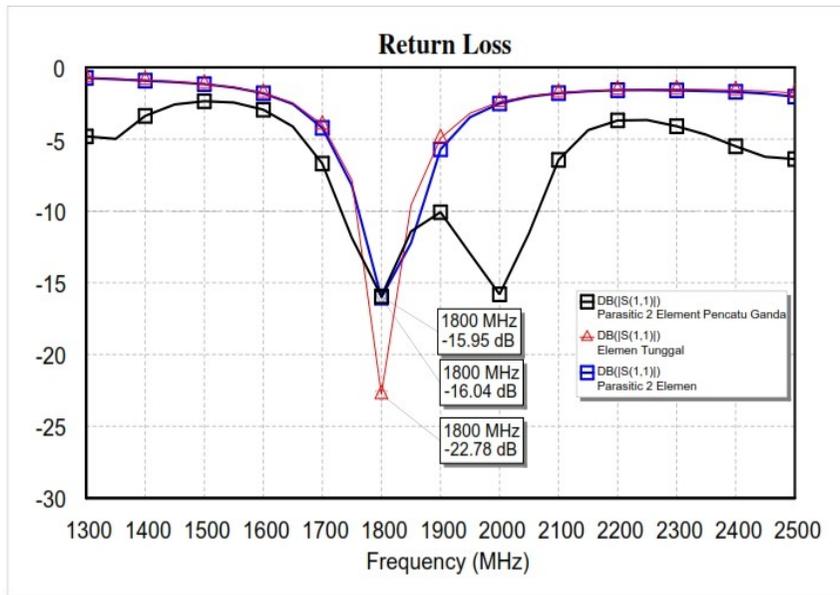
Tabel 3.6 Hasil Simulasi Antena Elemen Parasitik dengan Pencatu Ganda

No.	Parameter	Nilai	Frekuensi Kerja
1.	<i>Return loss</i>	-15.95 dB	1800 MHz
2.	VSWR	1.379	1800 MHz
3.	<i>Bandwidth</i>	328 MHz	1800 MHz
4.	Gain	7.379 dB	1800 MHz
5.	Impedansi	$0.82 + j 0.23 \Omega$	1800 MHz

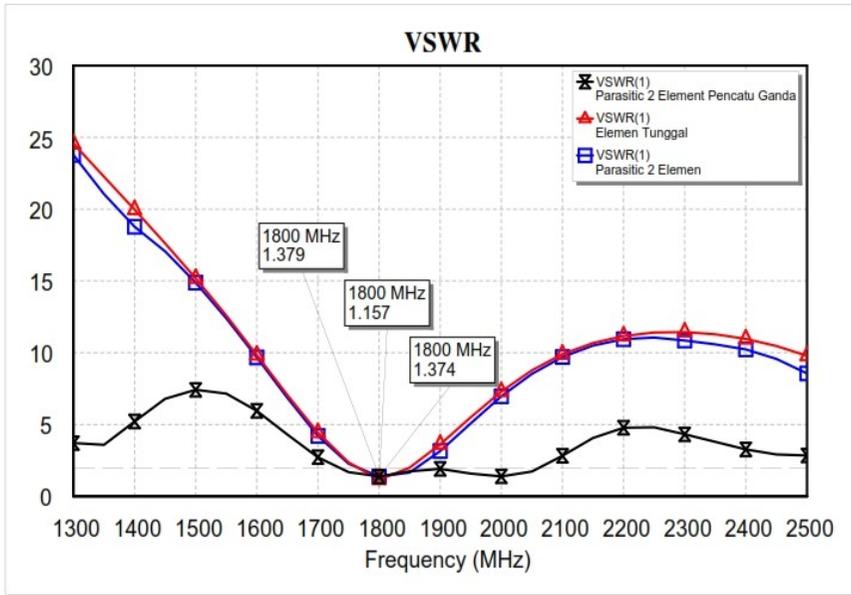
Dari gambar 3.15, 3.16, dan 3.17 dapat dilihat bahwa antena elemen parasitik dengan pencatu ganda telah bekerja pada frekuensi 1800 MHz dengan nilai *return loss* ≤ 10 dB yaitu -15.95 dB, VSWR ≤ 2 yaitu 1.379, dan impedansi $0.82 + j 0.23 \Omega$. Penggunaan pencatu ganda juga menghasilkan *bandwidth* sebesar 328 MHz yaitu pada rentang frekuensi 1735 – 2053 MHz, sedangkan *gain* yang dihasilkan

adalah 7.379 dB seperti yang ditampilkan pada gambar 3.18 dan tabel 4.10. Untuk memperoleh hasil yang optimal, maka dilakukan proses iterasi terhadap ukuran panjang elemen pencatu ganda, karena berdasarkan hasil simulasi elemen tersebut sangat memengaruhi kinerja dari antenna yang dirancang.

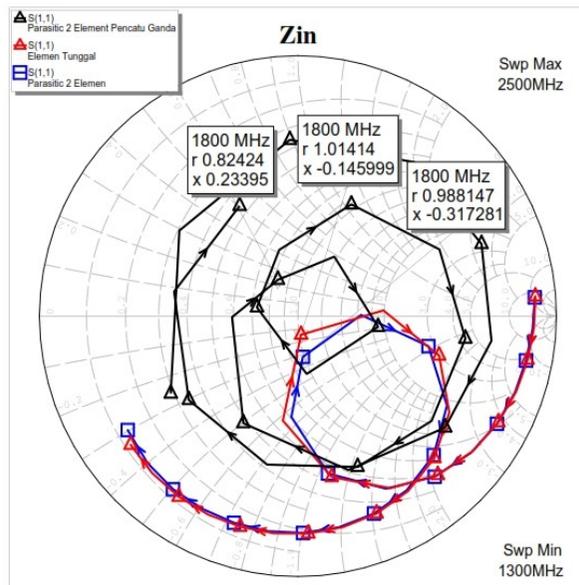
Setelah dilakukan tahapan perancangan dan simulasi antenna dari elemen tunggal, parasitik dengan 2 elemen, dan penambahan pencatu ganda pada elemen parasitik, maka dapat dilakukan analisis perbandingan dari tiap proses. Perbandingan hasil simulasi dari antenna elemen tunggal, elemen parasitik, dan penggunaan pencatu ganda dapat dilihat pada gambar 3.19, 3.20, 3.21, dan 3.22, sedangkan tabel 3.7 menunjukkan keseluruhan perbandingan dari tiap proses perancangan.



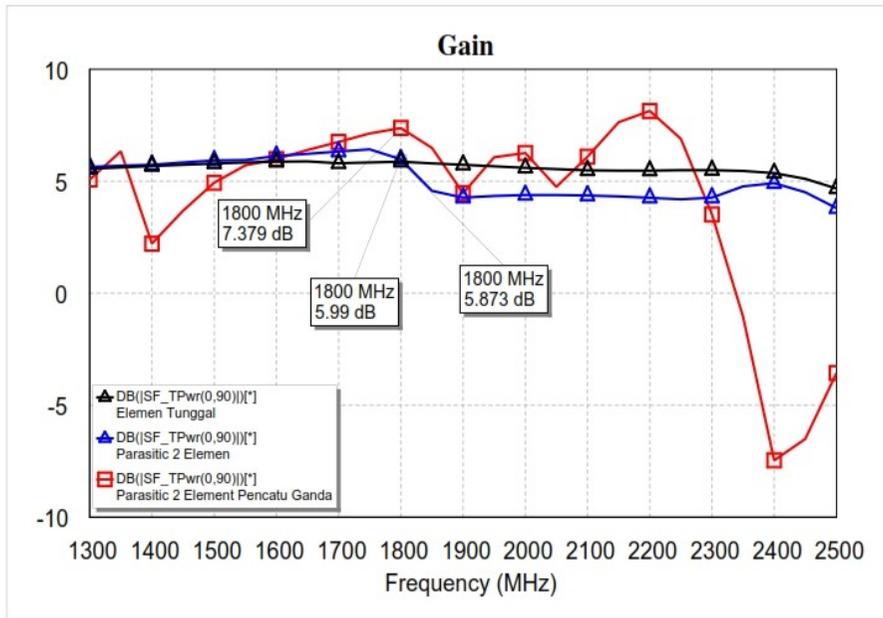
Gambar 3.19 Perbandingan Simulasi *Return loss* Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda



Gambar 3.20 Perbandingan Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda



Gambar 3.21 Perbandingan Simulasi Impedansi Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda



Gambar 3.22 Perbandingan Simulasi Gain Antena Elemen Tunggal, Parastik, dan Pencatu Ganda

Tabel 3.7 Hasil Keseluruhan Simulasi Desain Antena Parastik 2 Elemen

No.	Jenis	Return loss	VSWR	Impedansi	Bandwidth	Gain
1.	Antena Desain Awal	-22.78 dB	1.157	$1.01 - j0.14 \Omega$	85 MHz	5.87 dB
2.	Antena Desain Parastik	-16.04 dB	1.374	$0.98 - j0.31 \Omega$	102 MHz	5.99 dB
3.	Antena Desain Parastik	-15.95 dB	1.379	$0.82 + j 0,23 \Omega$	328 MHz	7.37 dB

dengan
Pencatu
Ganda

Penambahan saluran catu ganda memberikan dampak terhadap nilai *return loss*, *VSWR*, impedansi, dan *bandwidth* dari antenna rancangan seperti yang terlihat pada gambar 3.19, 3.20 dan 3.21. Desain antenna elemen parasitik dengan pencatu ganda menghasilkan *return loss* ≤ 10 dB yaitu -15.95 dB, *VSWR* ≤ 2 yaitu 1.379, impedansi $0.82 + j 0,23 \Omega$, dan *bandwidth* 328 MHz pada rentang frekuensi 1735 – 2053 MHz. *Gain* yang dihasilkan dari antenna elemen parasitik menggunakan pencatu ganda adalah 7.379 dB seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.22.

Dari hasil yang ditunjukkan pada tabel 3.7 dapat dilihat bahwa penggunaan pencatu ganda berhasil meningkatkan *bandwidth* dari 102 MHz menjadi 328 MHz. Selain itu, penggunaan pencatu ganda juga berhasil meningkatkan nilai gain dari 5.99 dB menjadi 7.379 dB.

3.5 Pabrikasi Antena dan Pengukuran

Setelah memperoleh desain dari antenna rancangan, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pabrikasi dan pengukuran dari antenna yang telah dirancang. Pada tahapan ini substrat yang digunakan adalah jenis FR-4 merk NH dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 3.8. Hasil pabrikasi awal dari antenna rancangan dapat dilihat pada gambar 3.23 dan 3.24.

Tabel 3.8 Spesifikasi Substrat Jenis FR-4 Epoxy Merk NH

No.	Parameter	Nilai
1.	Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4.3
2.	Ketebalan (h)	1.6 mm
3.	Rugi-rugi Dielektrik/Loss <i>Tan</i> ($\tan \alpha$)	0.0265
4.	<i>Cooper Cladding</i>	1 Oz, 35 mm
5.	<i>Volume Resistivity</i>	$7.5 \times 10^{10} \text{ W m}$



Gambar 3.23 Hasil Pabrikasi Antena Mikrostrip Tahap Awal Tampak Depan



Gambar 3.24 Hasil Pabrikasi Antena Mikrostrip Tahap Awal Tampak Belakang

Untuk konektor yang digunakan pada antena rancangan adalah jenis RP-SMA Female merk rossenberger 32K10K-400L5 dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 Spesifikasi Konektor Jenis RP-SMA Merk Rosenberger
32K10K-400L5

No.	Parameter	Nilai
1.	<i>Impedance</i>	50 Ohm
2.	<i>Frequency</i>	Up To 12.4 GHz
3.	<i>Insertion Loss</i>	$0.03 \times \sqrt{F}(\text{GHz})\text{dB}$
4.	<i>Insulation Resistance</i>	$5 \times 10^3 \text{ M}\Omega$

Pengukuran *return loss* dilakukan dengan menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer merk ADVANTEST dengan rentang frekuensi kerja 1 GHz – 3 GHz. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium antena dan propagasi di PPET LIPI Bandung. Hasil pengukuran *return loss* dari antena yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 3.25 dan tabel 3.10 di bawah ini.



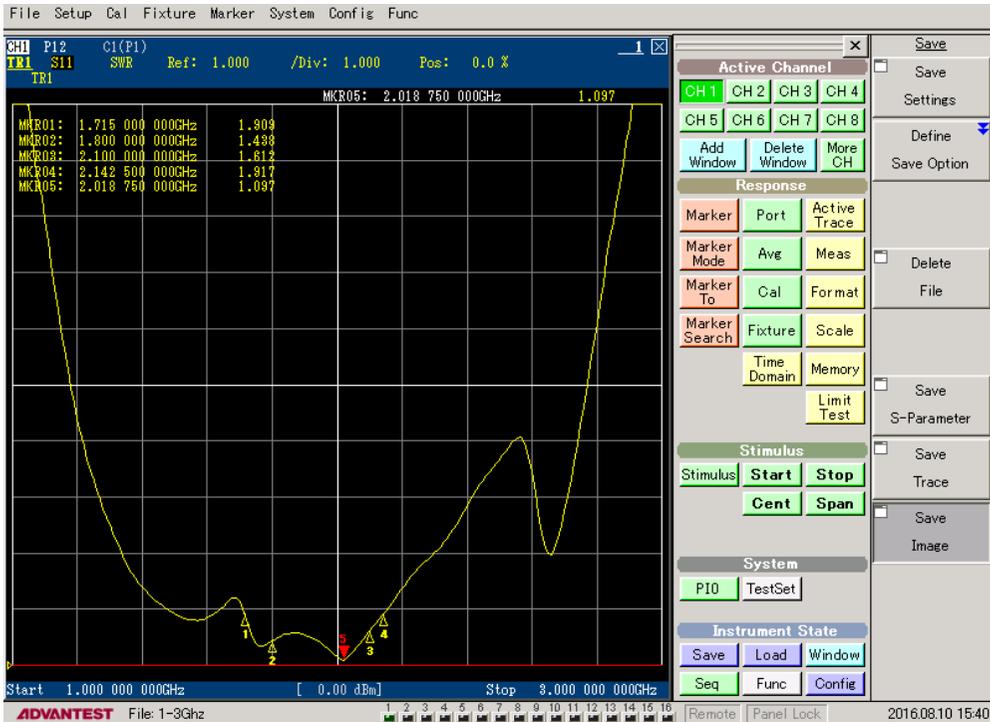
Gambar 3.25 Hasil Pengukuran *Return Loss*

Tabel 3.10 Hasil Pengukuran *Return Loss* tiap titik frekuensi

Frekuensi (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	Frekuensi (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)
1000	-1.218866	2100	-12.60126
1100	-1.952875	2200	-7.849346
1200	-3.263743	2300	-6.012589
1300	-5.107587	2400	-4.629313
1400	-7.762614	2500	-3.784283
1500	-10.05121	2600	-3.980076
1600	-10.52075	2700	-4.758875
1700	-8.779969	2800	-2.467304
1800	-14.90998	2900	-1.648498
1900	-13.39002	3000	-1.275803
2000	-23.49657		

Dari gambar yang ditunjukkan pada gambar 3.26 dan tabel 3.11 dapat dilihat bahwa antenna hasil rancangan memiliki nilai *return loss* -14.90 dB pada frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 427 MHz pada rentang frekuensi kerja 1715 MHz – 2142 MHz. Dari pengukuran yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan antenna telah bekerja pada frekuensi kerja 1800 MHz.

Pengukuran VSWR dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* merk ADVANTEST dengan rentang frekuensi kerja 1 GHz – 3 GHz. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium antenna dan propagasi di PPET LIPI Bandung. Hasil pengukuran *return loss* dari antenna yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 3.27 dan tabel 3.12 di bawah ini.



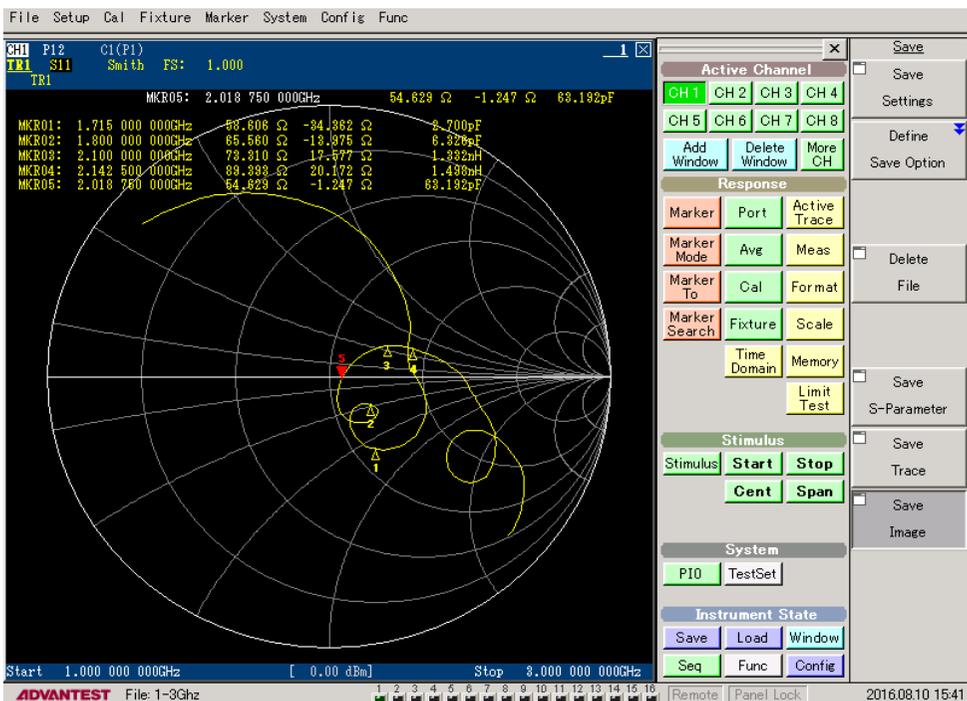
Gambar 3.27 Hasil Pengukuran VSWR

Tabel 3.12 Hasil Pengukuran VSWR tiap titik frekuensi

Frekuensi (MHz)	VSWR	Frekuensi (MHz)	VSWR
1000	14.27579	2100	1.612292
1100	8.93293	2200	2.361754
1200	5.385134	2300	3.003695
1300	3.498617	2400	3.840971
1400	2.384882	2500	4.662892
1500	1.91702	2600	4.44079
1600	1.848297	2700	3.741257
1700	2.14424	2800	7.088074
1800	1.438075	2900	10.56955
1900	1.544665	3000	13.64082
2000	1.143303		

Dari gambar yang ditunjukkan pada gambar 3.27 dan tabel 3.12 dapat dilihat bahwa antenna hasil rancangan memiliki nilai VSWR 1.43 pada frekuensi 1800 MHz dengan bandwidth 427 MHz pada rentang frekuensi kerja 1715 MHz – 2142 MHz. Dari pengukuran yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan antenna telah bekerja pada frekuensi kerja 1800 MHz.

Pengukuran Impedansi dilakukan dengan menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer merk ADVANTEST dengan rentang frekuensi kerja 1 GHz – 3 GHz. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium antenna dan propagasi di PPET LIPI Bandung. Hasil pengukuran *return loss* dari antenna yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 4.45 dan tabel 4.22 di bawah ini.



Gambar 3.28 Hasil Pengukuran Impedansi

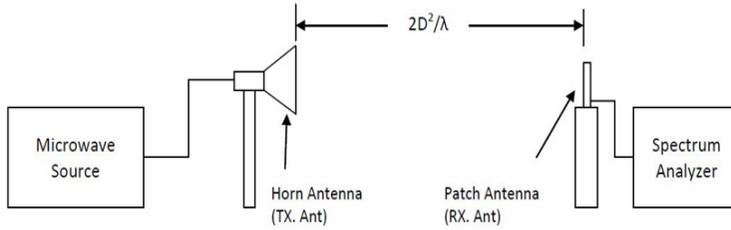
Tabel 3.13 Hasil Pengukuran Impedansi tiap titik frekuensi

Frekuensi (MHz)	Impedansi (Ω)		Frekuensi (MHz)	Impedansi (Ω)	
	Real	Imajiner		Real	Imajiner
1000	-6.63	5.62	2100	2.05	1.13
1100	-4.55	6.56	2200	4.01	0.57
1200	-1.73	6.65	2300	4.99	-0.43
1300	0.93	5.48	2400	5.66	-1.56
1400	2.56	3.19	2500	5.90	-2.65
1500	2.84	1.34	2600	4.97	-3.91
1600	2.98	0.14	2700	5.42	-2.00
1700	2.58	-2.57	2800	6.77	-3.29
1800	1.47	-1.03	2900	6.86	-4.63
1900	1.33	-1.67	3000	6.34	-5.86
2000	0.30	-0.60			

Dari gambar yang ditunjukkan pada gambar 3.28 dan tabel 3.13 dapat dilihat bahwa antenna hasil rancangan memiliki nilai Impedansi (Z_{in}) $1.47 - j1.03 \Omega$ atau $73.5 - j 51.5 \Omega$ jika dinormalisasi dengan impedansi 50 Ohm pada frekuensi 1800 MHz. Dari pengukuran yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan antenna telah bekerja pada frekuensi kerja 1800 MHz.

Pengukuran pola radiasi dari antenna mikrostrip dilakukan di Lab Antena dan Propagasi PPET LIPI Bandung dengan menggunakan perangkat *Function Generator* sebagai pembangkit sinyal dan *spectrum analyzer* sebagai penerima sinyal. Untuk antenna pembanding digunakan jenis *horn* dengan gain 12 dBi. Konfigurasi pengukuran pola radiasi pada antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar 5.46 di bawah ini. Antena yang dirancang diposisikan sebagai antenna penerima yang sudut *azimuth*-nya akan digeser

secara bertahap dari 0^0 sampai dengan 360^0



Gambar 3.29 Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi

Setelah didapatkan hasil pengukuran, maka langkah selanjutnya adalah melakukan normalisasi. Adapun rumus yang digunakan ditunjukkan pada persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$10 \log^{-1} x_1 \quad (3.1)$$

Di mana x = hasil pengukuran daya

Hasil terbaik dari pengukuran adalah pada saat 0 derajat yaitu - 43.85 dBm yang dimulai dari sudut 0^0 .

$$10 \log^{-1} x_1 = - 43.85$$

$$x_1 = \log^{-1} \frac{-43.85}{10}$$

$$x_1 = 4.12 \times 10^{-5}$$

Setelah didapatkan hasil dari sudut 0^0 di atas, maka angka tersebut dijadikan sebagai pembagi untuk hasil besaran lainnya sebagai berikut.

$$= \frac{4.12 \times 10^{-5}}{4.12 \times 10^{-5}}$$

$$= 1$$

Konversi ke dalam fungsi logaritmik dengan menggunakan persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\log 1 = 0 \quad (3.2)$$

Selanjutnya, tahapan normalisasi dilakukan untuk tiap sudut selain sudut referensi yang digunakan dengan menggunakan persamaan 3.3 berikut ini.

$$G = 10 \log x \quad (3.3)$$

Di mana x adalah hasil setelah pembagian daya

Setelah didapatkan nilai 0 pada sudut 0°, maka selanjutnya menghitung pembagi daya dengan menggunakan hasil pengukuran yang didapat pada sudut derajat berikutnya.

Sudut 10 °

$$10 \log^{-1} x_2 = -44.54$$

$$x_2 = \log^{-1} \frac{-44.54}{10}$$

$$x_2 = -3.51 \times 10^{-5}$$

Maka, hasil normalisasi dari pembagi daya pada sudut 0° (referensi) dengan sudut 10 ° adalah:

$$G = 10 \log x$$

$$G = 10 \log (0,85)$$

$$G = 10 \times (0,85)$$

$$G = -0,69 \text{ dB}$$

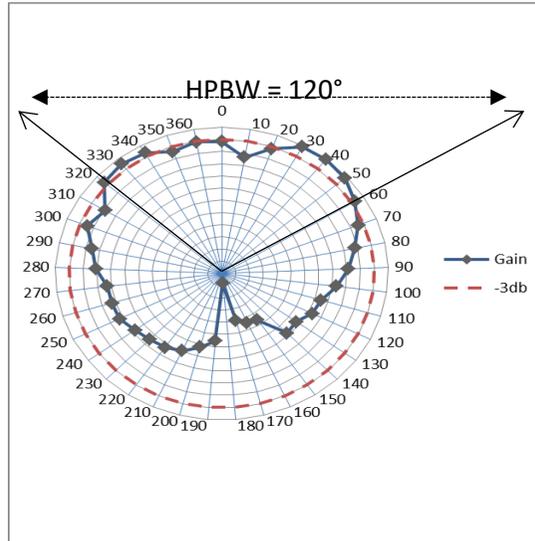
Proses normalisasi dilakukan seterusnya hingga sudut 360°. Hasil perhitungan proses normalisasi dapat dilihat pada Tabel 3.14 di bawah ini.

Tabel 3.14 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Sudut	Level		Normalisasi			
	Penerimaan	Normalisasi	Pangkat	Pembagi	Gain	Batas
0	-25.08	-2.508	0.003	2.22	3.46	-3
10	-28.54	-2.854	0.001	0.45	-3.46	-3
20	-24.98	-2.498	0.003	1.02	0.1	-3
30	-21.79	-2.179	0.007	2.13	3.29	-3

40	-21.49	-2.149	0.007	2.29	3.59	-3
50	-22.03	-2.203	0.006	2.02	3.05	-3
60	-23.67	-2.367	0.004	1.38	1.41	-3
70	-25.65	-2.565	0.003	0.88	-0.57	-3
80	-28.02	-2.802	0.002	0.51	-2.94	-3
90	-30.12	-3.012	0.001	0.31	-5.04	-3
100	-32.49	-3.249	0.001	0.18	-7.41	-3
110	-34.98	-3.498	0.000	0.10	-9.9	-3
120	-35.54	-3.554	0.000	0.09	-10.46	-3
130	-37.47	-3.747	0.000	0.06	-12.39	-3
140	-37.13	-3.713	0.000	0.06	-12.05	-3
150	-43.72	-4.372	0.000	0.01	-18.64	-3
160	-44.25	-4.425	0.000	0.01	-19.17	-3
170	-45.45	-4.545	0.000	0.01	-20.37	-3
180	-55.04	-5.504	0.000	0.00	-29.96	-3
190	-40.87	-4.087	0.000	0.03	-15.79	-3
200	-38.85	-3.885	0.000	0.04	-13.77	-3
210	-36.7	-3.67	0.000	0.07	-11.62	-3
220	-35.62	-3.562	0.000	0.09	-10.54	-3
230	-34.98	-3.498	0.000	0.10	-9.9	-3
240	-34.1	-3.41	0.000	0.13	-9.02	-3
250	-32.79	-3.279	0.001	0.17	-7.71	-3
260	-32.65	-3.265	0.001	0.17	-7.57	-3
270	-32.56	-3.256	0.001	0.18	-7.48	-3
280	-30.19	-3.019	0.001	0.31	-5.11	-3
290	-28.79	-2.879	0.001	0.43	-3.71	-3
300	-26.19	-2.619	0.002	0.77	-1.11	-3
310	-27.91	-2.791	0.002	0.52	-2.83	-3

320	-23.68	-2.368	0.004	1.38	1.4	-3
330	-22.94	-2.294	0.005	1.64	2.14	-3
340	-23.56	-2.356	0.004	1.42	1.52	-3
350	-25.7	-2.57	0.003	0.87	-0.62	-3
360	-24.72	-2.472	0.003	1.09	0.36	-3



Gambar 3.30 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Dari tabel 3.13 dan gambar 3.30 di atas dapat dilihat bahwa antenna yang dirancang menghasilkan pola radiasi *directional*/satu arah dengan sudut berkas pancaran (*Half Power Beam Width*) sebesar 120° dari rentang sudut 320° sampai dengan 60° .

Dari hasil pengukuran antenna mikrostrip yang dilakukan di Lab Antena dan Propagasi LIPI Bandung, diperoleh hasil *gain* antenna sebagai berikut.

$$\text{Gain (pengukuran)} : P_1(\text{Rx}) - P_2(\text{Tx}) + G_{\text{ref}}$$

(3.4)

Di mana:

$P_1(\text{Rx})$ = Saat antenna rancangan sebagai penerima

$P_2(\text{Tx})$ = Saat antenna rancangan sebagai pemancar

$$G_{\text{ref}} = \text{Antena referensi, dimana gain nya tela diketahui } 10 \text{ dB}$$

$$\text{Gain (pengukuran)} = -25.08 \text{ dBm} - (-25.01 \text{ dBm}) + 10 \text{ dB}$$

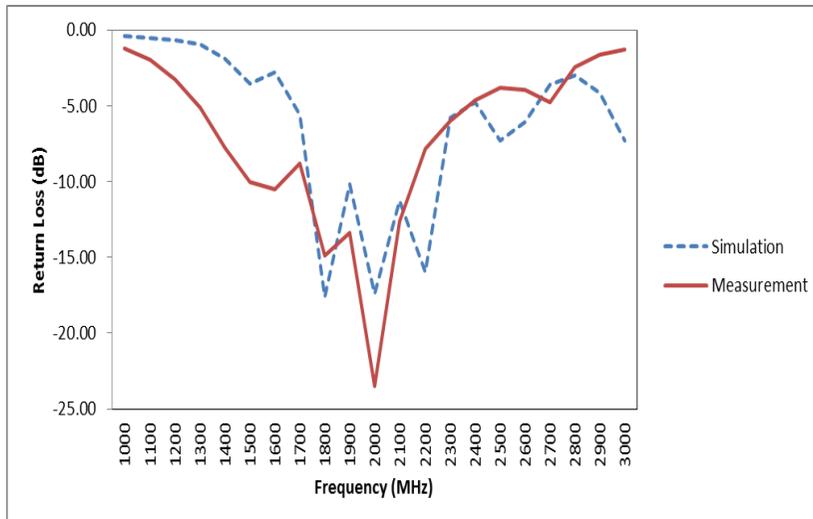
$$= 10.02 \text{ dB}$$

Gain diukur pada frekuensi kerja 1800 MHz dengan power 0 dB dari function generator yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal.

3.6 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran

Dari hasil simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan, maka dapat dianalisis tingkat kesalahan dari parameter antenna yang telah dipabrikasi. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari *return loss* pada antenna yang telah dipabrikasi di frekuensi kerja 1800 MHz dapat dilihat pada gambar 4.48 di bawah ini.

Dari gambar 4.48, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari antenna mikrostrip yang telah dipabrikasi memiliki perbedaan dengan hasil simulasi. Perbandingan secara keseluruhan dari proses simulasi dan pengukuran dari antenna yang telah dipabrikasi dapat dilihat pada tabel 4.25 di bawah ini.



Gambar 3.31 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran *Return Loss*

Tabel 3.15 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran *Return Loss*

Frequency (MHz)	Nilai Return Loss (dB)		Frekuensi Kerja
	Pengukuran	Simulasi	
1000	-1.22	-0.41	1800 MHz
1100	-1.95	-0.50	1800 MHz
1200	-3.26	-0.68	1800 MHz
1300	-5.11	-0.97	1800 MHz
1400	-7.76	-1.91	1800 MHz
1500	-10.05	-3.54	1800 MHz
1600	-10.52	-2.79	1800 MHz
1700	-8.78	-5.62	1800 MHz
1800	-14.91	-17.62	1800 MHz
1900	-13.39	-10.15	1800 MHz
2000	-23.50	-17.42	1800 MHz
2100	-12.60	-11.23	1800 MHz
2200	-7.85	-16.00	1800 MHz
2300	-6.01	-5.81	1800 MHz
2400	-4.63	-4.74	1800 MHz
2500	-3.78	-7.30	1800 MHz
2600	-3.98	-6.08	1800 MHz
2700	-4.76	-3.64	1800 MHz
2800	-2.47	-2.99	1800 MHz
2900	-1.65	-4.13	1800 MHz
3000	-1.28	-7.32	1800 MHz

Dari gambar 3.31 dan tabel 3.15 dapat dianalisis bahwa nilai *return loss* yang diperoleh dari hasil simulasi lebih baik daripada pengukuran. Pada proses simulasi diperoleh nilai *return loss* sebesar -17.62 dB, sedangkan dari hasil pengukuran diperoleh nilai *return loss* sebesar -14.91 dB di frekuensi kerja 1800 MHz. Untuk *bandwidth* yang dihasilkan dari proses pengukuran menjadi lebih sempit dibandingkan dengan proses simulasi. Perbandingan *bandwidth* dari proses pengukuran dan simulasi dapat dilihat pada tabel 3.16 di bawah ini.

Tabel 3.16 Perbandingan *Bandwidth* Simulasi dan Pengukuran

<i>Bandwidth</i> Hasil Simulasi	<i>Bandwidth</i> Hasil Pengukuran
523 MHz (1726 – 2239 MHz)	427 MHz (1715 MHz – 2142 MHz)

Probablity kesalahan dari hasil pengukuran dan simulasi *return loss* dan *bandwidth* dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini.

- Kesalahan (*error*) *relative* nilai *return loss* pada frekuensi 1800 MHz

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{return loss hasil pengukuran} - \text{return loss hasil simulasi}}{\text{return loss hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{-14.91 - (-17.62)}{-17.62} \right| \times 100\% \\ &= \mathbf{15.38\%} \end{aligned}$$

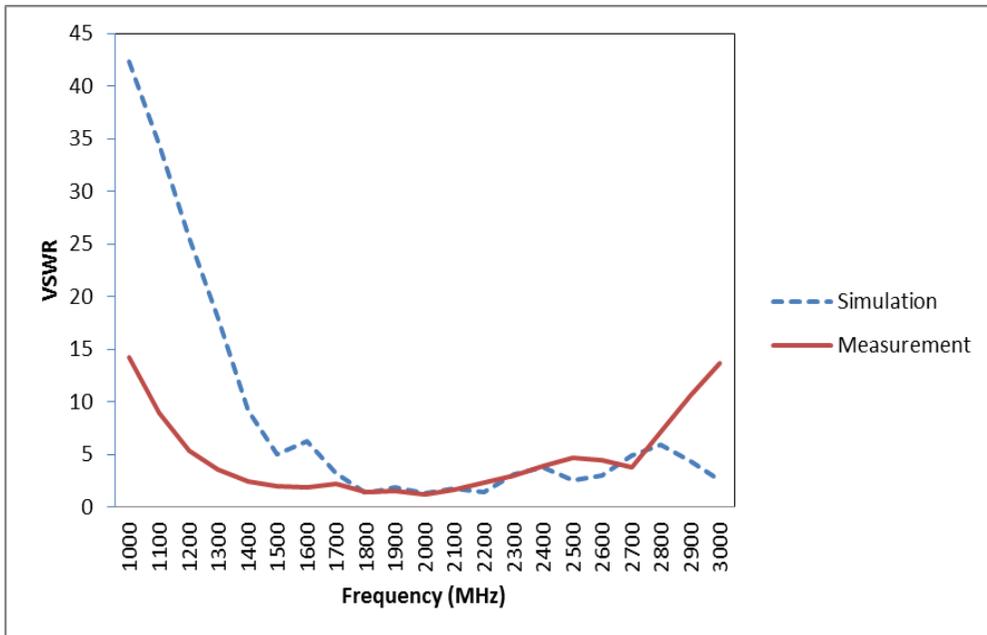
- Kesalahan (*error*) *relative* nilai *impedance bandwidth* antena

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{impedance BW hasil pengukuran} - \text{impedance BW hasil simulasi}}{\text{impedance bandwidth hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{427 - 523}{523} \right| \times 100\% \\ &= \mathbf{18.35\%} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa antena yang dipabrikasi mengalami penurunan nilai *bandwidth* sebesar 18.35 % dari hasil yang diperoleh dari proses simulasi. Hal ini dikarenakan sulitnya untuk mengatur jarak gap (d) antara patch antena pada elemen parasitik, perubahan sedikit saja pada celah *gap* akan menghasilkan *bandwidth* yang berbeda. Antena yang dipabrikasi mengalami pergeseran rentang frekuensi kerja yang juga disebabkan oleh kondisi ketidaksesuaian impedansi antara antena dan konektor serta penggunaan timah yang juga dapat merubah nilai kesesuaian impedansi, sehingga pergeseran frekuensi terjadi. Untuk nilai *return loss* pada proses pengukuran bergeser sampai dengan 15.38% dikarenakan adanya pergeseran nilai rentang frekuensi kerja pada

antena yang dipabrikasi, sehingga frekuensi awal dan akhir mengalami perubahan.

Dari hasil simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan, maka dapat dianalisis tingkat kesalahan dari parameter antenna yang telah dipabrikasi. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari VSWR pada antenna yang telah dipabrikasi di frekuensi kerja 1800 MHz dapat dilihat pada gambar 3.32 di bawah ini.



Gambar 3.32 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR

Dari gambar 3.32 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari antenna mikrostrip yang telah dipabrikasi memiliki perbedaan dengan hasil simulasi. Perbandingan secara keseluruhan dari proses simulasi dan pengukuran dari antenna yang telah dipabrikasi dapat dilihat pada tabel 3.16 di bawah ini.

Tabel 3.16 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR

Frequency (MHz)	Nilai VSWR		Frekuensi Kerja
	Pengukuran	Simulasi	
1000	14.28	42.36	1800 MHz
1100	8.93	34.49	1800 MHz
1200	5.39	25.57	1800 MHz
1300	3.50	17.97	1800 MHz
1400	2.38	9.13	1800 MHz
1500	1.92	4.97	1800 MHz
1600	1.85	6.29	1800 MHz
1700	2.14	3.20	1800 MHz
1800	1.44	1.30	1800 MHz
1900	1.54	1.90	1800 MHz
2000	1.14	1.31	1800 MHz
2100	1.61	1.76	1800 MHz
2200	2.36	1.38	1800 MHz
2300	3.00	3.10	1800 MHz
2400	3.84	3.76	1800 MHz
2500	4.66	2.52	1800 MHz
2600	4.44	2.97	1800 MHz
2700	3.74	4.84	1800 MHz
2800	7.09	5.87	1800 MHz
2900	10.57	4.28	1800 MHz
3000	13.64	2.51	1800 MHz

Dari gambar 3.32 dan tabel 3.16 dapat dianalisis bahwa nilai VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi lebih baik daripada pengukuran. Pada proses simulasi diperoleh nilai VSWR sebesar 1.30, sedangkan dari hasil pengukuran diperoleh nilai VSWR sebesar 1.44 di frekuensi kerja 1800 MHz.

Dari tabel 3.16 dapat dianalisis bahwa nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran lebih baik daripada hasil simulasi. Tingkat kesalahan proses pengukuran jika dibandingkan dengan proses simulasi dapat dihitung sebagai berikut.

- Kesalahan (*error*) *relative* nilai VSWR pada frekuensi 1800 MHz

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{VSWR hasil pengukuran} - \text{VSWR hasil simulasi}}{\text{VSWR hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1.44 - 1.309}{1.30} \right| \times 100\% \\ &= \mathbf{10.38\%} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa untuk nilai VSWR hasil pengukuran lebih baik dari simulasi. Nilai VSWR pada frekuensi kerja 1800 MHz mengalami penurunan sebesar 10.38 % dari hasil simulasi. Hal ini dikarenakan terjadinya pergeseran rentang frekuensi kerja pada antenna mikrostrip yang dipabrikasi, sehingga menyebabkan nilai *return loss* dan VSWR mengalami penurunan. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa antenna telah bekerja dengan baik dan memenuhi kriteria $\text{VSWR} \leq 2$ pada frekuensi kerja 1800 MHz.

Setelah dilakukan proses simulasi dan pengukuran, maka dapat diperoleh perbandingan pada tabel 4.28 sebagai berikut.

Tabel 3.17 Perbandingan Nilai Simulasi dan Pengukuran *Gain*

Gain Hasil Simulasi	Gain Hasil Pengukuran
9.43 dB	10.02 dB

Dari tabel 3.17 dapat dilihat bahwa nilai *gain* pada saat pengukuran mengalami peningkatan dibanding pada saat di simulasi. *Probability* kesalahan dari hasil pengukuran dan simulasi *gain* dan dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini.

- Kesalahan (*error*) *relative* nilai *gain* pada frekuensi 1800 MHz

$$\begin{aligned}
\% \text{ error} &= \left| \frac{\text{Gain hasil pengukuran} - \text{Gain hasil simulasi}}{\text{Gain hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{10.02 - 9.43}{9.43} \right| \times 100 \% \\
&= \mathbf{6.25 \%}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai pengukuran *gain* meningkat 6.25% dibandingkan dengan proses simulasi. Hal ini dikarenakan pada proses simulasi yang ditampilkan hanya nilai *gain* antenna tanpa ada antenna pembanding, sehingga nilainya jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan proses pengukuran di *anechoic chamber*.

Dari hasil keseluruhan proses simulasi, maka dapat dianalisis bahwa antenna hasil pabrikan dapat digunakan untuk sistem komunikasi bergerak dengan frekuensi kerja di 1800 MHz dengan nilai *return loss* -14.91 dB dan VSWR 1.44, sedangkan untuk *gain* diperoleh nilai 10.02 dB. Pada proses pengukuran terjadi penurunan nilai *return loss* sebesar 15.38%, VSWR menurun 10.38%, sedangkan *gain* yang dihasilkan adalah 10.02 dB atau meningkat 6.25% dibandingkan dengan hasil simulasi. Untuk *bandwidth* yang dihasilkan oleh antenna yang telah dipabrikan adalah 427 MHz (1715 MHz – 2142 MHz) yang mengalami penurunan 18.35% jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari proses simulasi. Spesifikasi dari antenna yang telah dipabrikan dapat dilihat pada tabel 4.29 di bawah ini.

Tabel 4.29 Spesifikasi Antenna Rancangan

Frekuensi Tengah	1800 MHz
Rentang Frekuensi Kerja	1715 MHz – 2142 MHz
<i>Bandwidth</i>	427 MHz
Zin	$73.5 - j 51.5 \Omega$
<i>Gain</i>	10.02 dB
Polarisasi	Vertikal
VSWR	1.44
<i>Return Loss</i>	-14.91 dB
HPBW	140°

BAB IV

ANTENA MIKROSTRIP POLARISASI MELINGKAR UNTUK KOMUNIKASI GELOMBANG MIKRO

4.1. Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip

Pada tahapan awal penelitian ini, dilakukan pemilihan jenis material substrat yang digunakan untuk proses perancangan antenna. Terdapat beberapa jenis substrat yang tersedia di pasaran antara lain FR-4 Epoxy, Taconic, ataupun Arlon. Masing-masing jenis substrat memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan spesifikasi dari pabrikan. Untuk memperoleh antenna dengan efisiensi yang maksimal diperlukan jenis material yang memiliki konstanta dielektrik yang kecil serta *loss tangen* yang kecil. Dari keseluruhan substrat yang dijelaskan, nilai konstanta dielektrik dan loss tangen terkecil dimiliki oleh substrat jenis Arlon. Pada penelitian ini digunakan susbtrat jenis arlon LX -217 dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada table 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Substrat Jenis Arlon LX 217

No.	Parameter	Nilai
1.	Konstanta Dielektrik	2.2
2.	Ketebalan	0.787 mm
3.	<i>Loss tangen</i>	0.0009
4	Resistivitas	$2.3 \times 10^8 \text{ M } \Omega / \text{cm}$

Pemilihan jenis substrat Arlon LX 217 dikarenakan kebutuhan penelitian ini untuk menghasilkan antenna dengan *gain* yang

maksimal, sehingga diperlukan substrat dengan *loss tangen* yang kecil. Nilai *loss tangen* substrat Arlon LX 217 sangat kecil yaitu 0.0009, sehingga dapat menghasilkan antenna yang memiliki efisiensi yang tinggi.

Pada penelitian ini, desain awal antenna elemen tunggal menggunakan bentuk persegi empat yang bekerja pada rentang frekuensi kerja 10.750 MHz -10.950 MHz. Untuk memperoleh dimensi antenna dengan bentuk persegi empat dapat menggunakan persamaan (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), dan (2.5). Untuk jenis saluran catu yang digunakan adalah pencatu tidak langsung jenis saluran mikrostrip dengan impedansi masukan 50 Ohm. Untuk memperoleh dimensi saluran pencatu antenna mikrostrip dapat menggunakan persamaan (4) dan (5).

$$W = \frac{C}{2f\sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \quad (2.1)$$

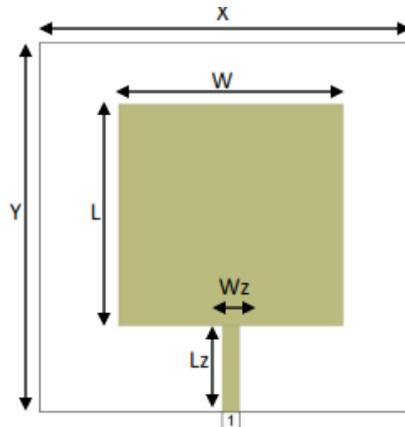
$$L = W \quad (2.2)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_{r\text{eff}} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$W_z = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}. \quad (2.5)$$

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.1) sampai dengan (2.5) diperoleh dimensi W dan L yaitu 9 mm, sedangkan untuk nilai lebar saluran pencatu (W_z) adalah 0.7 mm. Desain awal antenna mikrostrip elemen tunggal dapat dilihat pada gambar 4.1 dan keseluruhan dimensi dapat dilihat pada tabel 4.2.



Gambar 4.1 Desain Awal Elemen Tunggal Antena Mikrostrip

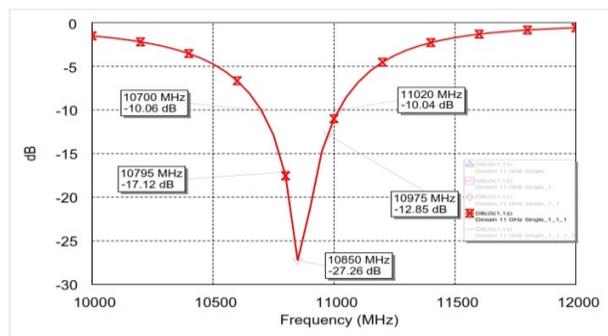
Tabel 4.2 Dimensi Antena Elemen Tunggal

No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	15 mm
2.	Y	Lebar Susbstrat	15 mm
3.	W	Panjang <i>Patch</i>	9 mm
4.	L	Lebar <i>Patch</i>	9 mm
5.	Wz	Lebar Saluran Catu	0.7 mm
6.	Lz	Panjang Saluran Catu	3.5 mm

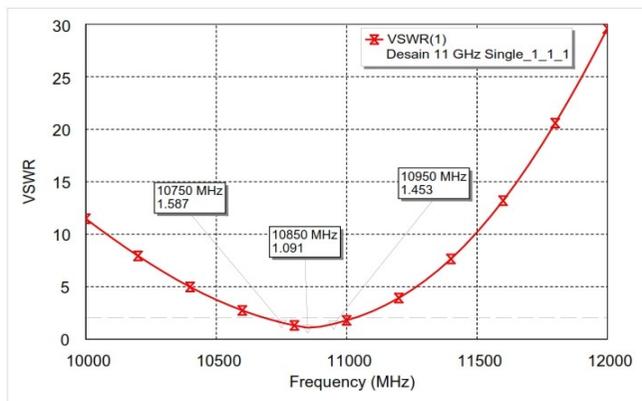
Dari gambar 4.1 dan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa antena mikrostrip elemen tunggal memiliki dimensi substrat dengan $X = 15$ mm dan $Y = 15$ mm. Untuk dimensi *patch* antena mikrostrip berbentuk persegi empat memiliki dimensi $W = L = 9$ mm dengan dimensi lebar dan panjang saluran pencatu 0.7 mm dan 3.5 mm. Setelah diperoleh desain awal ini, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi untuk melihat kinerja dari parameter *return loss*, *VSWR*, impedansi, *Axial Ratio*, dan *gain* pada antena desain awal.

4.2. Simulasi Antena Elemen Tunggal

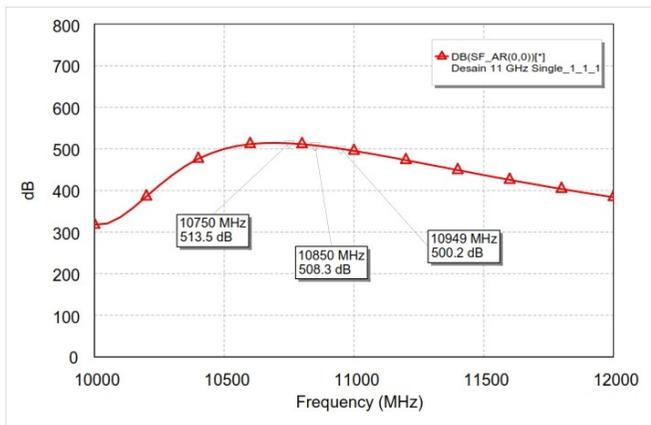
Setelah diperoleh desain awal antenna mikrostrip elemen tunggal, tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi parameter *return loss*, VSWR, impedansi, dan *gain* dengan menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009*. Hasil simulasi dari antenna desain awal dapat dilihat pada gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6. Nilai *return loss* yang diperkenankan adalah ≤ -10 dB, VSWR ≤ 2 , *Axial Ratio* ≤ 3 dB, dan impedansi mendekati 50 Ohm, sedangkan untuk *gain antenna*, elemen tunggal umumnya sekitar 4 – 5 dB. Kecerukhan proses simulasi pada antenna elemen tunggal dapat dilihat pada tabel 4.3.



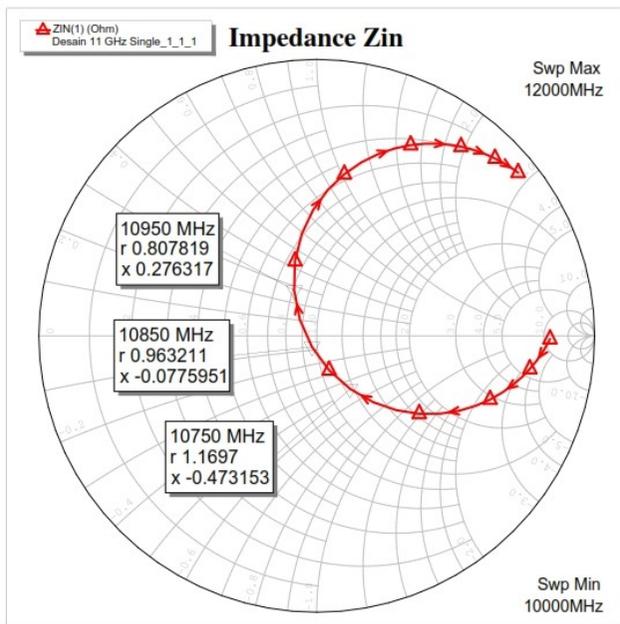
Gambar 4.2 Simulasi *Return Loss* Antena Elemen Tunggal



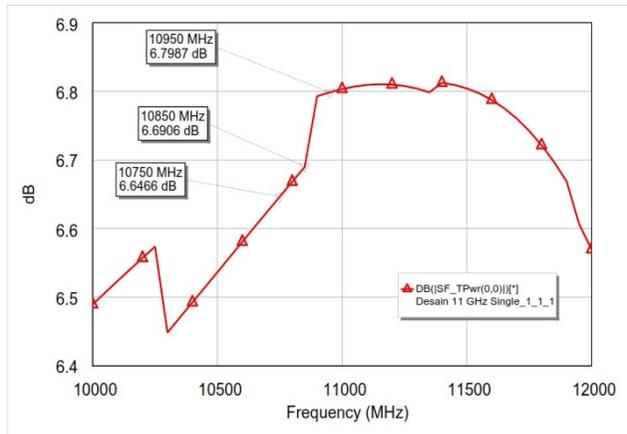
Gambar 4.3 Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.4 Simulasi *Axial Ratio* Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.5 Simulasi Impedansi Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.6 Simulasi Gain Antena Elemen Tunggal

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal

No.	Parameter	Nilai	Frekuensi Kerja
1.	<i>Return Loss</i>	-27.26 dB	10.850 MHz
2.	VSWR	1.091	10.850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	508.3 dB	10.850 MHz
4.	Impedansi	$0.99 - j 0.77 \Omega$	10.850 MHz
5.	<i>Gain</i>	6.69	10.850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	320 MHz	10.700 – 11.020 MHz

Dari gambar 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa antenna desain awal telah bekerja pada rentang frekuensi 10.750 – 10.950 MHz dengan nilai *return loss* ≤ 10 dB yaitu -27.26 dB dan VSWR ≤ 2 yaitu 1.091 pada frekuensi tengah 10.850 MHz. Pada antenna desain awal belum dapat menghasilkan polarisasi melingkar dengan *Axial Ratio* ≤ 3 dB, sedangkan untuk nilai impedansi pada antenna desain awal adalah $0.99 - j 0.77 \Omega$ sudah mendekati nilai impedansi input yaitu 50Ω sesuai gambar 4.5. Gain dari antenna desain awal adalah 6.69 dB

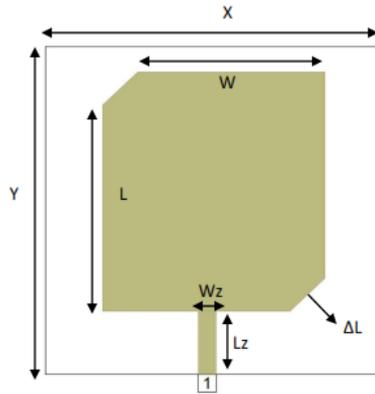
seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Dari keseluruhan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.3, dapat dilihat bahwa antenna desain awal telah berhasil dirancang sesuai dengan target yang ditentukan kecuali polarisasi melingkar. Untuk itu, diperlukan optimasi untuk menghasilkan polarisasi melingkar pada antenna elemen tunggal agar memiliki nilai *Axial Ratio* ≤ 3 dB pada rentang frekuensi kerja 10.750 – 10.950 MHz.

4.3. Desain Antena Elemen Tunggal Dengan Polarisasi Melingkar

Untuk menghasilkan polarisasi melingkar pada antenna elemen tunggal diperlukan metode *Truncated Corner*. Metode *Truncated Corner* dilakukan dengan memotong bagian tepi *patch* antenna elemen tunggal agar terjadi perturbasi pada efek tepi antenna mikrostrip. Arus terbesar yang mengalir pada *patch antenna* terletak pada bagian tepi, sehingga jika bagian tepi dicatkan berdampak akan terjadinya pergeseran nilai frekuensi kerja serta polarisasi melingkar. Dimensi potongan tepi pada *patch antenna* elemen tunggal dapat diperoleh menggunakan persamaan (6), sedangkan sudut potongan adalah 45° terhadap bidang datar *patch antenna*.

$$\Delta L = \frac{1}{8} \times L \quad (4.1)$$

Dari persamaan (4.1) diperoleh dimensi dari potongan tepi ΔL sebesar 1.3 mm yang diterapkan dengan memotong bagian tepi kiri atas dan kanan bawah pada *patch antenna* elemen tunggal. Desain dari antenna elemen tunggal dengan metode *Truncated Corner* dapat dilihat pada gambar 4.7, sedangkan dimensi keseluruhannya dapat dilihat pada tabel 4.4.



Gambar 4.7 Desain Elemen Tunggal dengan Metode *Truncated Corner*

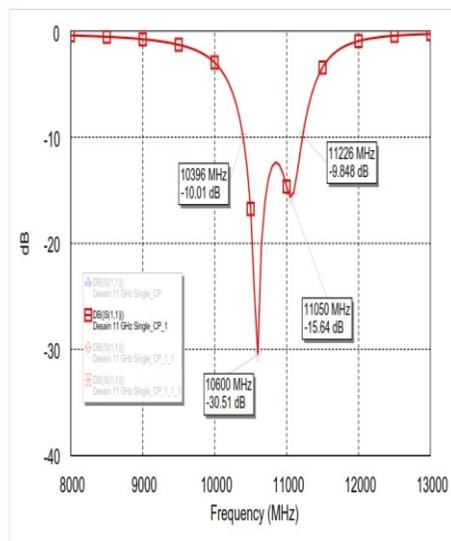
Tabel 4.4 Dimensi Antena Elemen Tunggal dengan Metode *Truncated Corner*

No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	13 mm
2.	Y	Lebar Susbstrat	13 mm
3.	W	Panjang <i>Patch</i>	7.2 mm
4.	L	Lebar <i>Patch</i>	7.2 mm
5.	Wz	Lebar Saluran Catu	0.7 mm
6.	Lz	Panjang Saluran Catu	2.5 mm
7.	ΔL	Panjang dan Lebar Potongan Tepi	1.3 mm

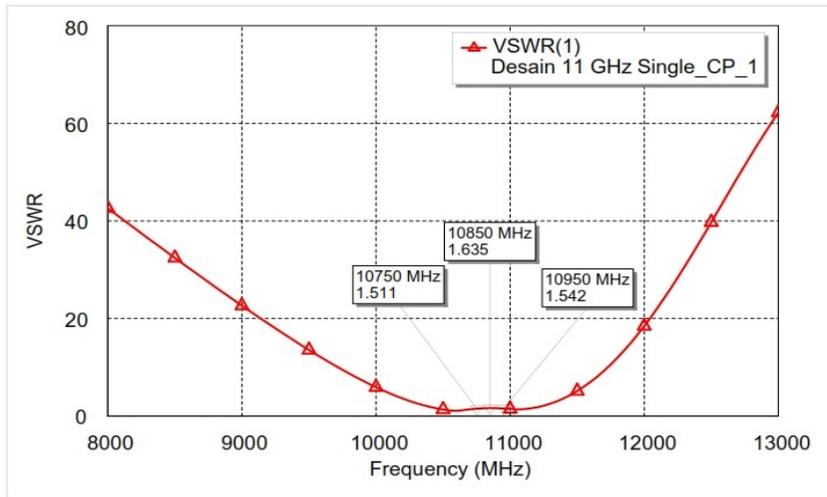
Dari gambar 4.7 dan tabel 4.4 dapat dilihat bahwa antena elemen tunggal yang dikembangkan dengan metode *Truncated Corner* memiliki dimensi $W = L = 7.2$ mm, $Wz = 0.7$ mm, $Lz = 2.5$ mm, dan $\Delta L = 1.3$ mm. Dimensi dari substrat yang digunakan adalah $X = 13$ mm dan $Y = 13$ mm. Tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi untuk melihat kinerja dari antena yang dirancang.

4.4. Simulasi Antena Elemen Tunggal Dengan Polarisasi Melingkar

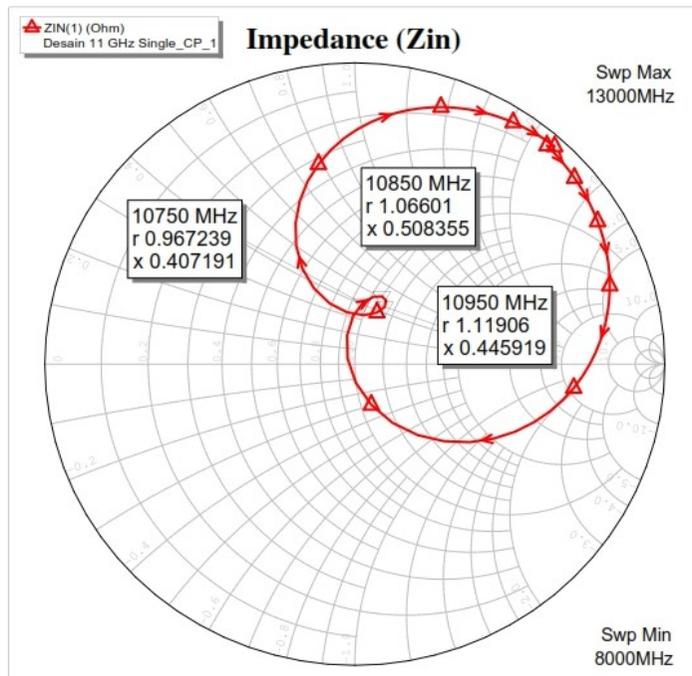
Setelah diperoleh desain dari antenna elemen tunggal dengan metode *Truncated Corner*, maka dilakukan simulasi dengan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009* untuk melihat kinerja dari parameter *return loss*, *VSWR*, impedansi, *Axial Ratio*, dan *gain* dari antenna rancangan. Hasil simulasi dari antenna rancangan dapat dilihat pada gambar 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 dan 4.12 sedangkan keseluruhan dari proses simulasi dapat dilihat pada tabel 4.5.



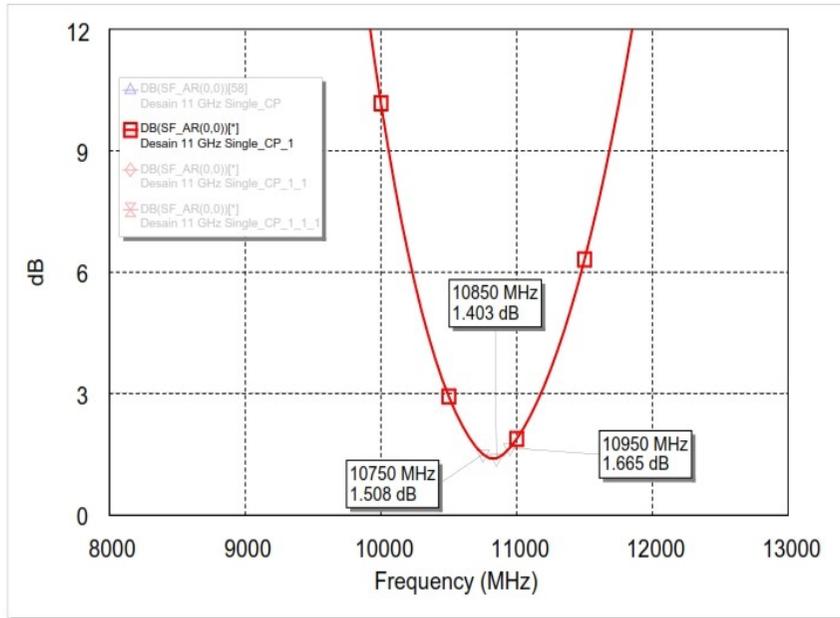
Gambar 4.8 Simulasi *Return Loss* Antena Elemen Tunggal *Truncated Corner*



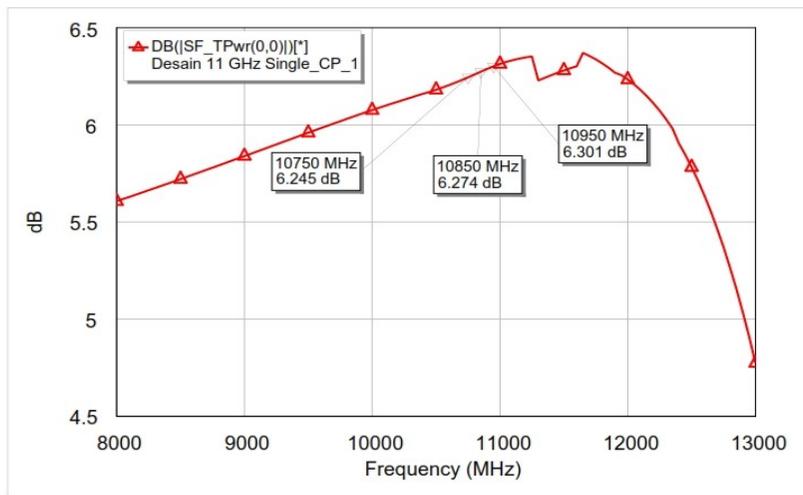
Gambar 4.9 Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal dengan Metode *Truncated Corner*



Gambar 4.10 Simulasi *Axial Ratio* Antena Elemen Tunggal dengan Metode *Truncated Corner*



Gambar 4.11 Simulasi Impedansi Antena Elemen Tunggal dengan



Gambar 4.12 Simulasi Gain Antena Elemen Tunggal dengan Metode *Truncated Corner*

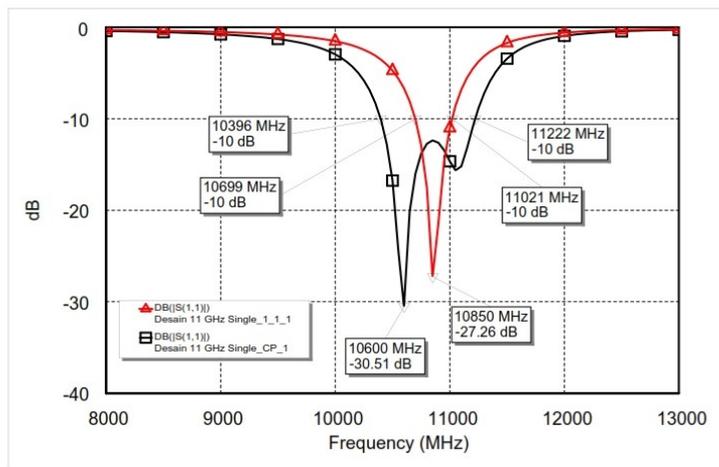
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal dengan *Truncated Corner*

No.	Parameter	Nilai	Frekuensi Kerja
1.	<i>Return Loss</i>	-12.36 dB	10.850 MHz
2.	VSWR	1.635	10.850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	1.403 dB	10.850 MHz
4.	Impedansi	$1.06 - j 0.50 \Omega$	10.850 MHz
5.	<i>Gain</i>	6.27	10.850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	830 MHz	10.396 -11.226 MHz

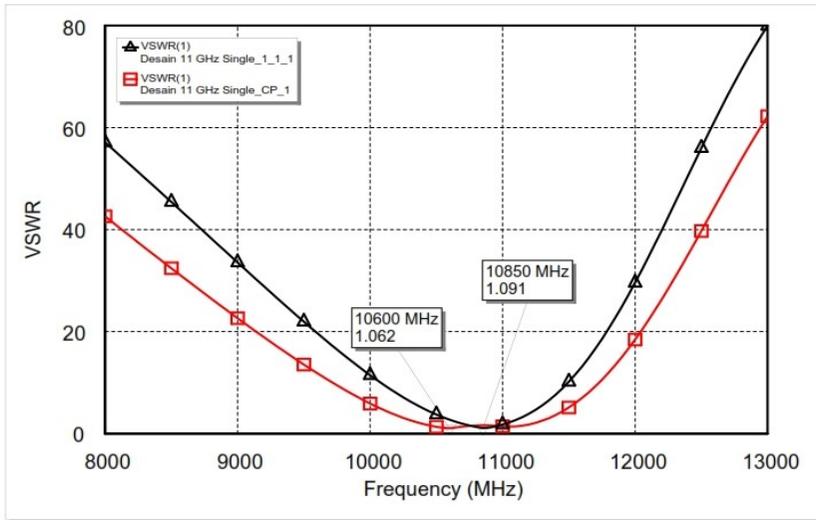
Dari gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat bahwa antena mikrostrip elemen tunggal yang telah dikembangkan dengan metode *Truncated Corner* telah bekerja pada rentang frekuensi kerja 10.750 MHz – 10.950 MHz dengan nilai *return loss* ≤ -10 dB dan VSWR ≤ 2 . Nilai terbaik diperoleh pada frekuensi kerja 10.600 MHz dengan *return loss* -30.51 dB dan VSWR 1.061, sedangkan pada frekuensi kerja 10.850 MHz nilai *return loss* yang didapatkan -12.36 dB dan VSWR sebesar 1.635. Penggunaan metode *Truncated Corner* telah berhasil memunculkan polarisasi melingkar pada antena mikrostrip dengan nilai *Axial Ratio* 1.403 pada frekuensi kerja 10.850 MHz yang ditunjukkan pada gambar 4.10. Impedansi yang dihasilkan dari antena mikrostrip dengan *Truncated Corner* ditunjukkan pada gambar 4.11 yaitu $1.06 - j 0.50 \Omega$, sedangkan gain yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 4.12 adalah 6.24 dB pada frekuensi kerja 10.850 MHz. Selain itu, penggunaan metode *Truncated Corner* juga meningkatkan lebar *bandwidth* antena menjadi 830 MHz.

4.5. Analisis dan Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal dengan Antena Metode *Truncated Corner*

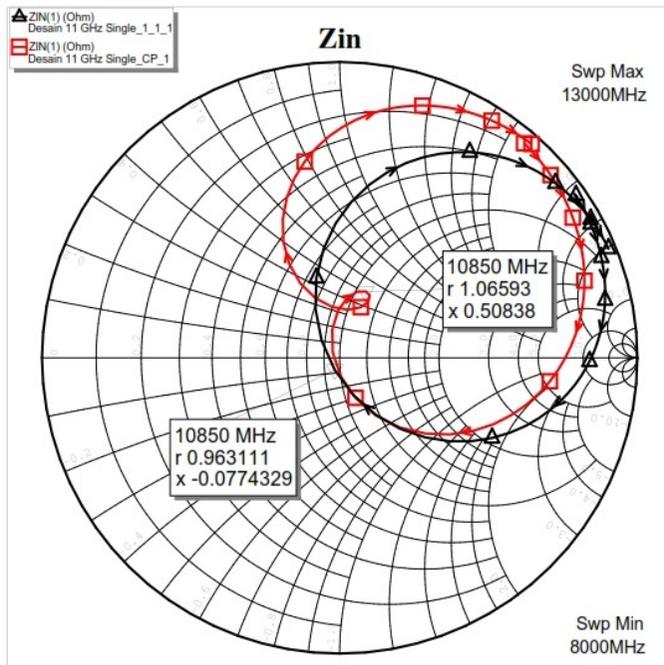
Dari keseluruhan hasil yang diperoleh dapat dibandingkan kondisi sebelum dan sesudah penggunaan metode *Truncated Corner* pada antenna mikrostrip elemen tunggal. Perbandingan dari kedua kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17, sedangkan tabel 4.5 menampilkan profil dari kedua antenna yang dihasilkan.



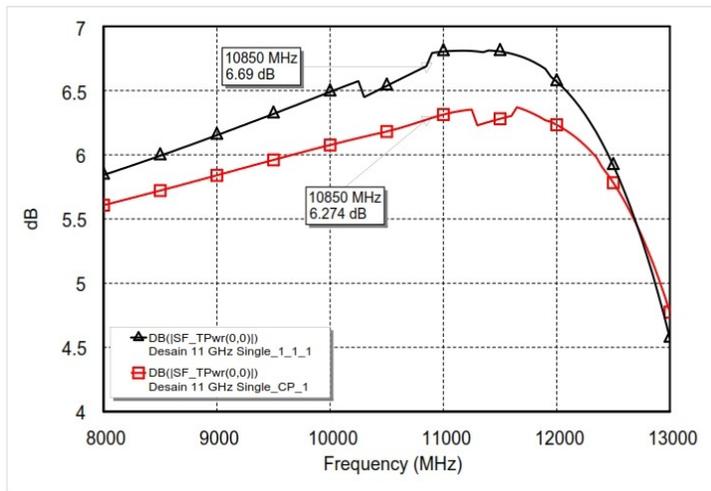
Gambar 4.13 Perbandingan Simulasi *Return Loss* Elemen Tunggal Vs *Truncated Corner*



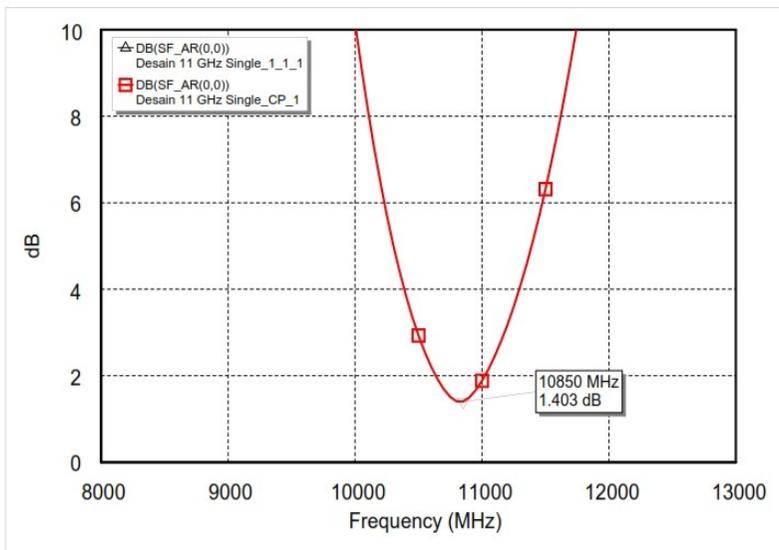
Gambar 4.14 Perbandingan Simulasi VSWR Elemen Tunggal Vs *Truncated Corner*



Gambar 4.15 Perbandingan Simulasi Zin Elemen Tunggal Vs *Truncated Corner*



Gambar 4.16 Perbandingan Simulasi Gain Elemen Tunggal Vs *Truncated Corner*



Gambar 4.17 Perbandingan Simulasi *Axial Ratio* Elemen Tunggal Vs *Truncated Corner*

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal dan *Truncated Corner*

No.	Parameter	Kondisi Antena		Frekuensi Kerja
		Elemen Tunggal	<i>Truncated Corner</i>	
1.	<i>Return Loss</i>	-27.26 dB	-12.36 dB	10.850 MHz
2.	VSWR	1.091	1.635	10.850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	508.3 dB	1.403 dB	10.850 MHz
4.	Impedansi	0.99 – j 0.77 Ω	1.06 – j 0.50 Ω	10.850 MHz
5.	<i>Gain</i>	6.69 dB	6.27 dB	10.850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	320 MHz	830 MHz	10.850 MHz

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa penggunaan penggunaan *Truncated Corner* menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi kerja antena yang pada awalnya 10.850 MHz menjadi 10.600 MHz, sedangkan pada gambar 4.14 dan 4.15 dapat dilihat bahwa pergeseran frekuensi juga terjadi pada nilai VSWR dan impedansi antena. Hal ini disebabkan adanya perubahan dimensi akibat pemotongan bagian tepi pada *patch* antena yang awalnya memiliki dimensi 15 mm x 15 mm menjadi 13 mm x 13 mm, sehingga menyebabkan panjang gelombang yang merambat pada antena juga mengalami perubahan. Namun, penggunaan metode *Truncated Corner* berhasil meingkatkan *bandwidth* dari kondisi awal 320 MHz menjadi 830 MHz seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5, sedangkan *gain* pada antena *Truncated Corner* mengalami penurunan dari kondisi awal 6.69 dB menjadi 6.27 dB seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16. Penurunan nilai *gain* disebabkan karena terjadinya pelebaran *bandwidth* pada antena *Truncated*

Corner, secara teori jika *bandwidth* antena semakin melebar, maka *gain* dan efisiensi dari antena akan menurun akibat area cakupan frekuensi kerja yang melebar. Pemotongan bagian tepi pada *patch* antena berhasil memunculkan polarisasi melingkar di mana pada kondisi sebelumnya antena elemen tunggal memiliki *Axial Ratio* sebesar 508.3 dB dan setelah menggunakan *Truncated Corner* menurun menjadi 1.403 dB pada frekuensi kerja 10.850 MHz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17.

Dari keseluruhan hasil analisis yang dilakukan dari perancangan antena elemen tunggal dan metode *Truncated Corner*, dapat disimpulkan bahwa antena elemen tunggal yang memiliki polarisasi melingkar dengan *Axial Ratio* ≤ 3 dB, *return loss* ≤ -10 dB, *VSWR* ≤ 2 pada rentang frekuensi kerja 10.750 – 10.950 MHz telah berhasil dirancang. Tahapan selanjutnya adalah meningkatkan nilai *gain* dari antena yang nilainya belum sesuai dengan target yang diharapkan, yaitu 12 dB.

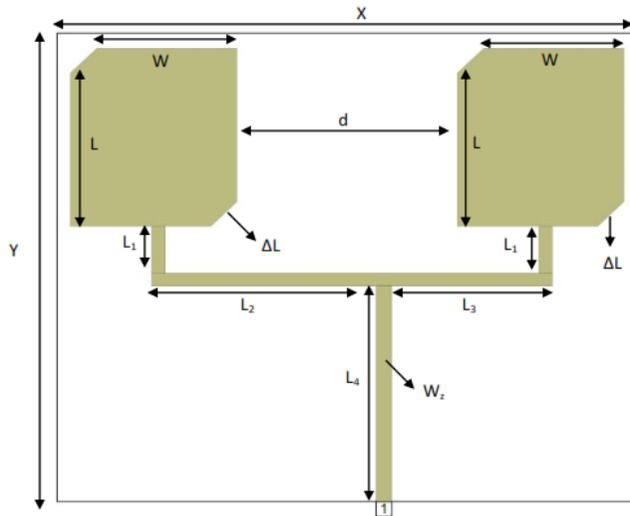
4.6. Desain Antena *Array* 2 Elemen Dengan Polarisasi Melingkar

Setelah diperoleh desain antena mikrostrip elemen tunggal yang memiliki polarisasi melingkar, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan optimasi terhadap nilai *gain* pada antena mikrostrip. Pada penelitian ini metode optimasi *gain* yang digunakan adalah metode *array* dengan susunan seri/sejajar ke samping. Optimasi dilakukan secara bertahap dari kondisi *array* 2 elemen, 4 elemen, dan 8 elemen. Untuk memperoleh jarak antar-elemen (*d*) pada metode *array* dapat menggunakan persamaan (7).

$$d = \lambda/2 \quad (7)$$

Setelah dilakukan proses perhitungan diperoleh nilai *d* = 13.5 mm dengan jumlah elemen yang disusun adalah 2 elemen. Dari proses

optimasi pada perangkat lunak simulasi, jarak optimal antar-elemen adalah $d = 9.4$ mm. Untuk pencatu yang digunakan adalah dengan impedansi 50 Ohm dengan lebar $W_z = 0.7$ mm. Desain dari antenna *truncated array* 2 elemen dapat dilihat pada gambar 4.18, sedangkan pada tabel 4.7 menampilkan ukuran serta keterangan dari dimensi pada antenna mikrostrip *Truncated Corner* 2 elemen.



Gambar 4.18 Desain Antena Mikrostrip *Truncated Corner Array* 2 Elemen

Tabel 4.7 Dimensi Antena Elemen Tunggal dengan Metode *Truncated Corner*

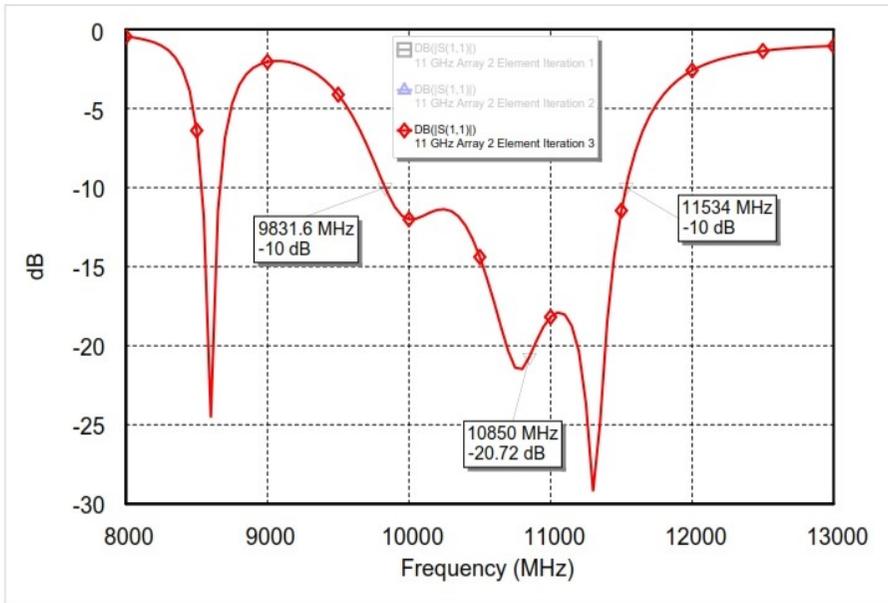
No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	30 mm
2.	Y	Lebar Susstrat	25 mm
3.	W	Panjang Patch	7.2 mm
4.	L	Lebar Patch	7.2 mm
5.	W_z	Lebar Saluran Catu	0.7 mm
6.	L_4	Panjang Saluran Catu	11.5 mm

7.	ΔL	Panjang dan Lebar Potongan Tepi	1.3 mm
8.	L1	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	2.5 mm
9.	L2	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	11.6 mm
10.	L3	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	8.3 mm
11.	d	Jarak Antar Elemen <i>Array</i>	9.4 mm

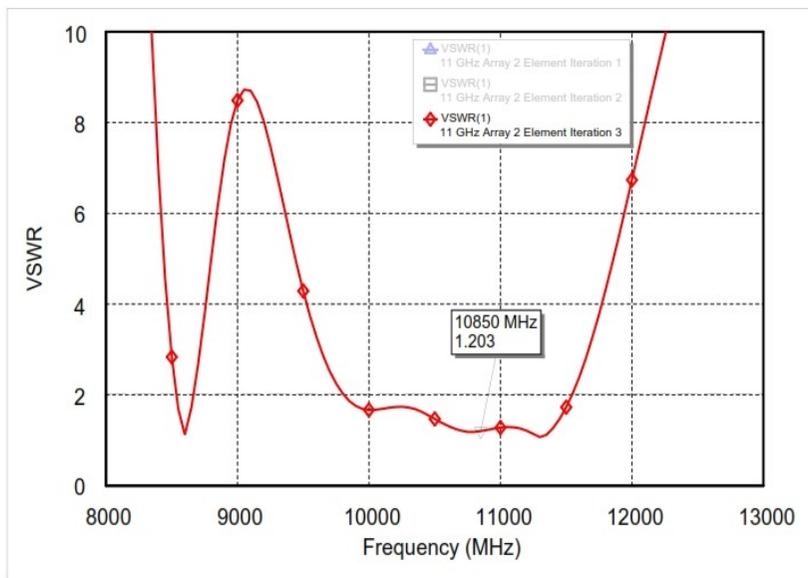
Gambar 4.18 menunjukkan desain dari antena mikrostrip *Truncated Corner* yang di *array* 2 elemen dengan jarak $d = 9.4$ mm seperti yang ditunjukkan pada ukuran dimensi dari antenna pada tabel 4.7. Untuk mengetahui kinerja dari antena yang telah didesain, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009*.

4.7. Simulasi *Array* 2 Elemen Dengan Polarisasi Melingkar

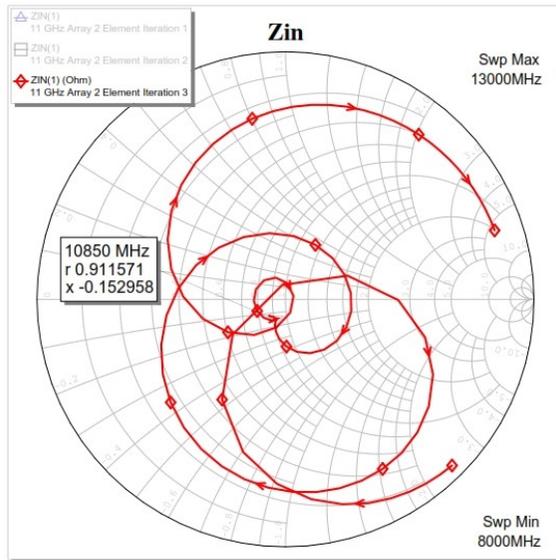
Setelah diperoleh desain dari antena mikrostrip *Truncated Corner* dengan 2 elemen, maka dilakukan tahapan simulasi. Parameter yang disimulasikan adalah *return loss*, *VSWR*, *Axial Ratio*, impedansi, dan *gain* dari antena rancangan. Hasil simulasi dari antena yang telah dirancang dapat dilihat pada gambar 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, dan 4.23.



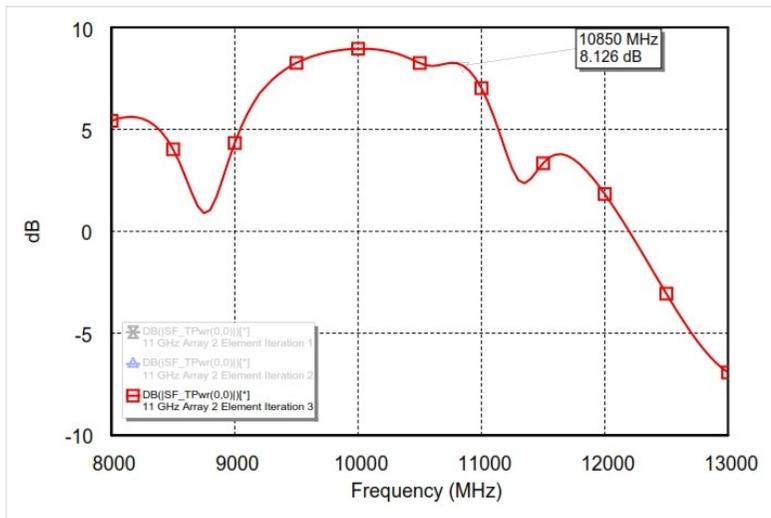
Gambar 4.19 Simulasi *Return Loss* Antena *Truncated Corner Array* 2 Elemen



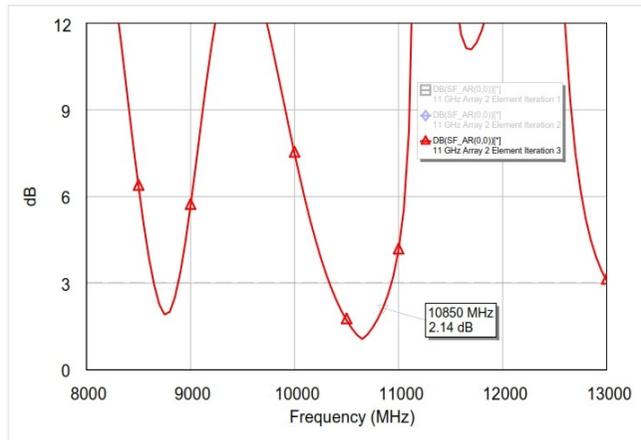
Gambar 4.20 Simulasi *VSWR* Antena *Truncated Corner Array* 2 Elemen



Gambar 4.21 Simulasi *Axial Ratio* Antena *Truncated Corner Array 2* Elemen



Gambar 4.22 Simulasi impedansi Antena *Truncated Corner Array 2* Elemen



Gambar 4.23 Simulasi *gain* Antena *Truncated Corner Array* 2 Elemen

Dari gambar 4.19 dan 4.20 dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip *Truncated Corner* dengan 2 elemen telah bekerja pada frekuensi 10750 – 10950 MHz dengan nilai *return loss* ≤ -10 dB dan VSWR ≤ 2 . *Bandwidth* yang dihasilkan dari antenna *array* 2 elemen adalah 1703 MHz dengan rentang frekuensi kerja (9831 - 11534 MHz). Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip *array* 2 elemen menghasilkan polarisasi melingkar dengan *Axial Ratio* ≤ 3 dB dengan pada frekuensi kerja 10850 MHz. Impedansi antenna *array* 2 elemen ditunjukkan pada gambar 4.22 dengan nilai $0.91 - j 0.152 \Omega$ pada frekuensi kerja 10850 MHz sudah mendekati nilai ideal $1 \pm j 0 \Omega$, sedangkan *gain* yang dihasilkan dari antenna *array* 2 elemen adalah 8.126 dB pada frekuensi kerja 10850 MHz sesuai dengan gambar 4.23. *Gain* dari antenna *array* dapat di optimasi dengan melakukan iterasi jarak antar elemen (*d*) agar dapat menghasilkan penguatan yang maksimal.

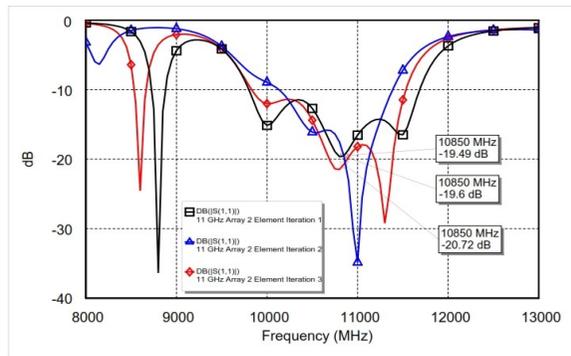
4.8. Optimasi Gain Pada Antena Mikrostrip Array 2 Elemen

Untuk memperoleh gain yang maksimal, maka dilakukan proses iterasi dengan mengatur jarak antar elemen (d). Pada awalnya jarak antar elemen yang sesuai perhitungan adalah 13.5 mm, namun pada saat perancangan awal frekuensi kerja yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diinginkan. Untuk itu, dilakukan proses optimasi dengan mengatur jarak antar-elemen. Pengaturan jarak antar-elemen pada antena *array* dapat dilihat pada tabel 4.8.

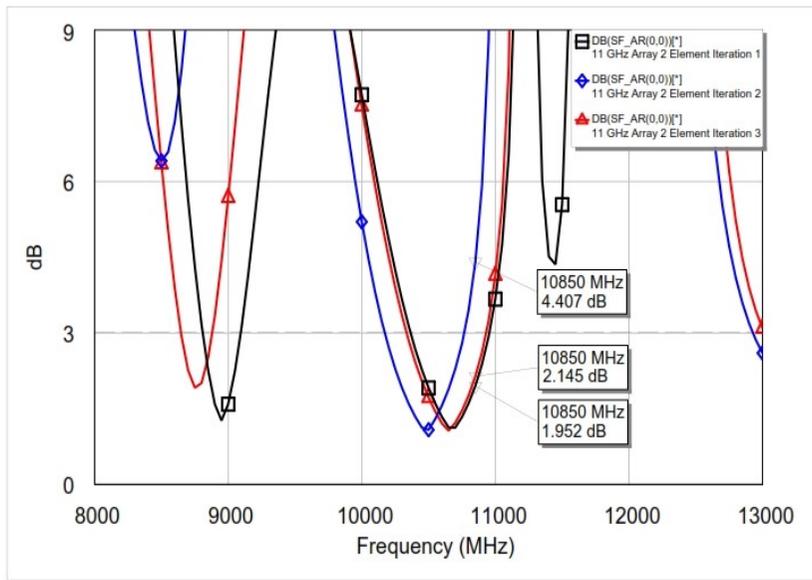
Tabel 4.8 Iterasi Pada Jarak Antar Elemen (d)

No.	Kondisi	Jarak Antar-Elemen (d)
1.	Iterasi 1	8.4 mm
2.	Iterasi 2	11.4 mm
3.	Iterasi 3	9.4 mm

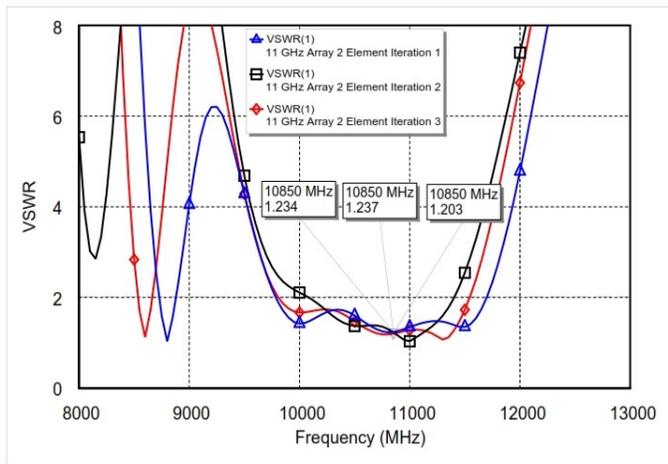
Dari tabel 4.8 diperoleh dimensi iterasi untuk jarak antar-elemen pada antena *array*. Tujuan dari iterasi ini adalah untuk mendapatkan nilai *gain* yang maksimal. Dari hasil simulasi yang dilakukan berdasarkan tabel 4.8, maka diperoleh perbandingan hasil simulasi pada parameter antena seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.24, 4.25, 4.26, dan 4.17 untuk keseluruhan perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.9.



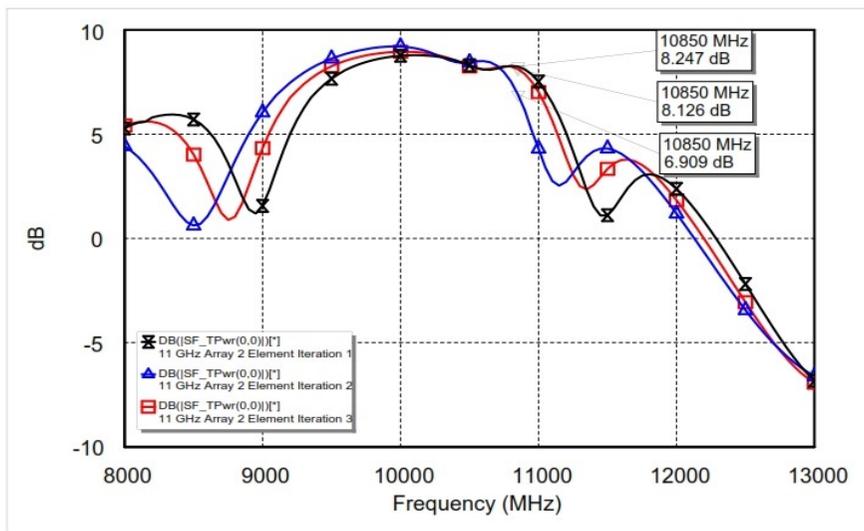
Gambar 4.24 Simulasi *return loss* dari iterasi jarak d



Gambar 4.25 Simulasi VSWR dari iterasi jarak d



Gambar 4.26 Simulasi *Axial Ratio* dari iterasi jarak d



Gambar 4.27 Simulasi *Gain* dari iterasi jarak d

Tabel 4.9 Hasil Simulasi dari Proses Iterasi Pada Jarak Antar-Elemen (d) pada Frekuensi Kerja 10850 MHz

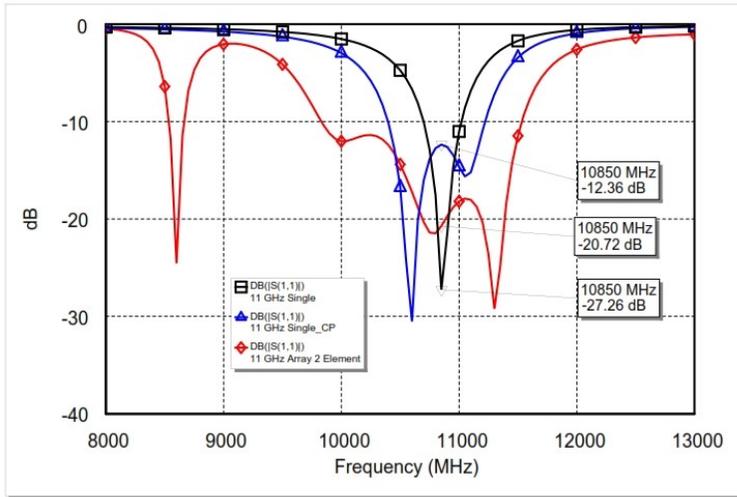
Kondisi	Jarak Antar Elemen (d)	Parameter				
		<i>Return Loss</i>	<i>VSWR</i>	<i>Bandwidth</i>	<i>Gain</i>	<i>Axial Ratio</i>
Iterasi 1	8.4 mm	-19.49 dB	1.237	1883 MHz	8.247 dB	1.952 dB
Iterasi 2	11.4 mm	-19.60 dB	1.234	1254 MHz	6.909 dB	4.407 dB
Iterasi 3	9.4 mm	-20.72 dB	1.203	1703 MHz	8.126 dB	2.145 dB

Dari perbandingan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 4.24 dan 4.25 dapat dilihat bahwa nilai simulasi *return loss* dan *VSWR* terbaik diperoleh pada iterasi 3 dengan *return loss* -20.72 dB dan *VSWR* 1.203 pada frekuensi kerja 10850 MHz dengan *bandwidth* 1703 MHz. Pada gambar 4.26 menunjukkan bahwa nilai *Axial Ratio* terbaik diperoleh pada saat iterasi 1 dengan nilai *Axial Ratio* 1.952 dB, sedangkan simulasi *gain* yang ditunjukkan pada gambar 4.27 menunjukkan bahwa nilai *gain* terbaik diperoleh pada iterasi 2 dengan *gain* 8.247 dB pada frekuensi kerja 10850 MHz. Dari keseluruhan hasil simulasi yang diperoleh pada tabel 4.8, maka proses iterasi yang memenuhi standar dan memiliki nilai optimal adalah iterasi 3 dan untuk selanjutnya jarak antar-elemen yang digunakan adalah $d = 9.4$ mm.

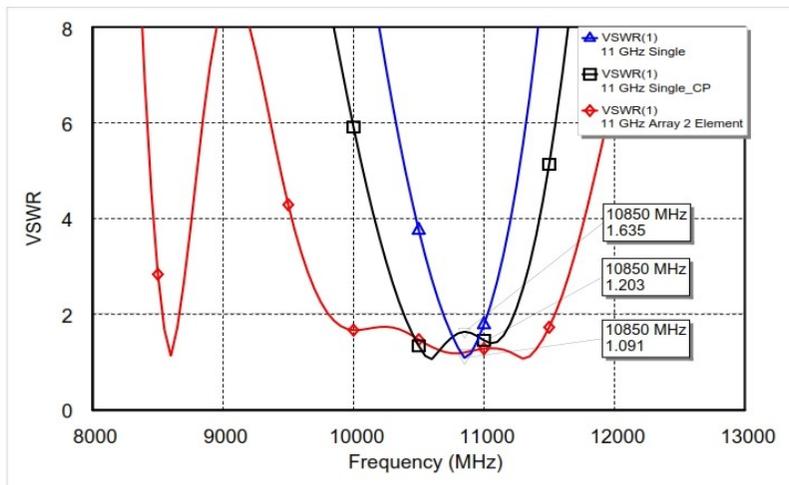
4.9. Analisis dan Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal, Antena Metode *Truncated Corner*, dan Antena Array 2 Elemen

Setelah dilakukan proses perancangan, disain dan simulasi maka dilakukan analisis terhadap hasil yang diperoleh dari tiap tahapan. Perbandingan ini untuk melihat peningkatan kinerja parameter

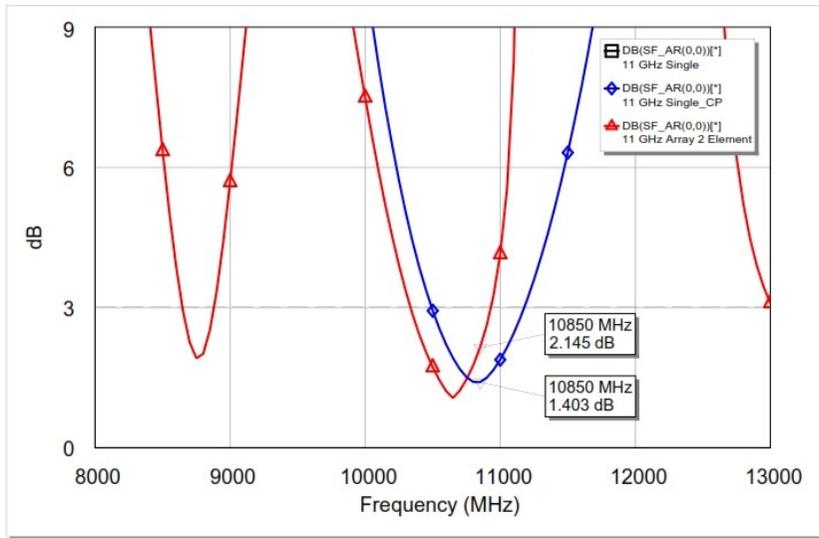
terhadap antenna yang telah didesain dan optimasi. Perbandingan dilakukan terhadap parameter *return loss*, *VSWR*, *Axial Ratio*, *gain*, dan *bandwidth*. Hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.28, 4.29, 4.30, dan 4.31, sedangkan keseluruhan perbandingan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.10.



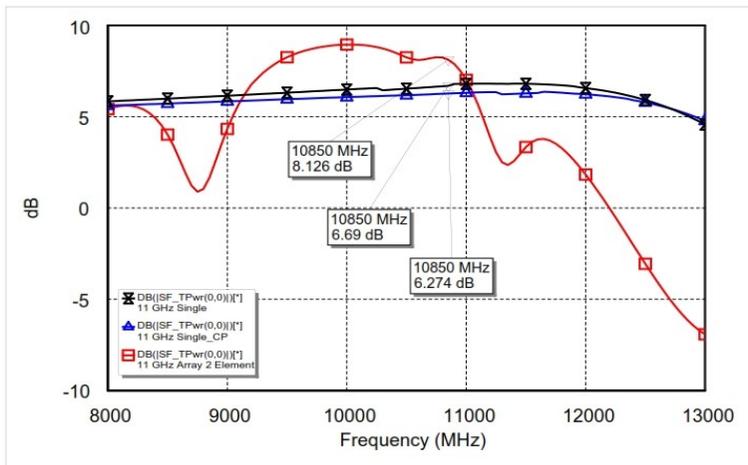
Gambar 4.28 Perbandingan Simulasi Return Loss Elemen Tunggal, *Truncated Corner* dan *Array 2 Elemen*



Gambar 4.29 Perbandingan Simulasi VSWR Elemen Tunggal, *Truncated Corner* dan *Array 2 Elemen*



Gambar 4.30 Perbandingan Simulasi *Axial Ratio* Elemen Tunggal, *Truncated Corner* dan *Array 2 Elemen*



Gambar 4.31 Perbandingan Simulasi *Gain* Elemen Tunggal, *Truncated Corner*, dan *Array 2 Elemen*

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal,
Truncated Corner dan *Array 2* Elemen

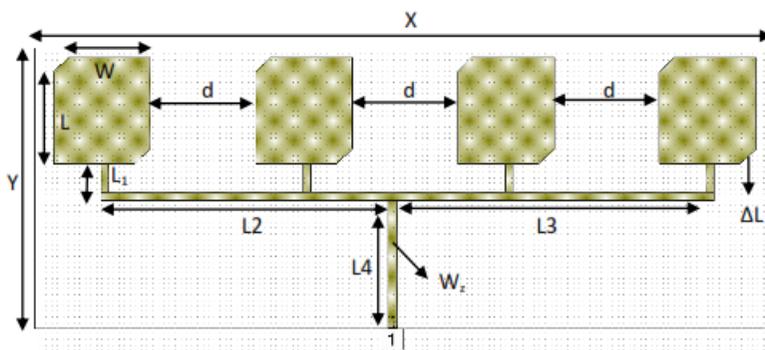
No.	Parameter	Kondisi Antena			Frekuensi Kerja
		Elemen Tunggal	<i>Truncated Corner</i>	<i>Array 2</i> Elemen	
1.	<i>Return Loss</i>	-27.26 dB	-12.36 dB	-20.72 dB	10850 MHz
2.	VSWR	1.091	1.635	1.203	10850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	508.3 dB	1.403 dB	2.145 dB	10850 MHz
4.	Impedansi	0.99 – j 0.77 Ω	1.06 – j 0.50 Ω	0.91 – j 0.15 Ω	10850 MHz
5.	<i>Gain</i>	6.69 dB	6.27 dB	8.126 dB	10850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	320 MHz	830 MHz	1703 MHz	10850 MHz

Dari gambar 4.28 dan 4.29 dapat dilihat profil *return loss* dan VSWR dari ketiga antena yang telah didesain. Nilai *return loss* dan VSWR dari ketiga antena rancangan telah memenuhi standar, yaitu *return loss* ≤ -10 dB dan VSWR ≤ 2 . Antena elemen tunggal awalnya memiliki *bandwidth* 320 MHz, lalu meningkat menjadi 830 MHz ketika dioptimasi dengan *Truncated Corner* dan menjadi 1703 MHz ketika dioptimasi dengan metode *array 2* elemen seperti yang terlihat pada tabel 4.9. Peningkatan *bandwidth* jika dibandingkan dengan metode *Truncated Corner* adalah 105.18%, sedangkan jika dibandingkan dengan elemen tunggal meningkat 432.18%. Untuk nilai *Axial Ratio* dari ketiga antena yang telah didesain sudah memenuhi standar *Axial Ratio* ≤ 3 dB pada frekuensi kerja 10850 MHz, sedangkan nilai *gain* mengalami peningkatan dari antena elemen tunggal 6.69 dB lalu menurun menjadi 6.27 dB pada antena dengan optimasi *Truncated Corner* lalu meningkat menjadi 8.126 dB ketika dioptimasi dengan metode *array 2* elemen seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.30. Peningkatan *gain* antena *array 2* elemen jika dibandingkan dengan

antena elemen tunggal adalah 21.46% dan menjadi 29.6% pada saat antena dioptimasi dengan metode *Truncated Corner* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.31. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa metode *array 2* elemen berhasil meningkatkan nilai *gain* pada desain antena elemen tunggal dan *Truncated Corner*. *Gain* dapat dikontrol dengan mengatur jarak antar-elemen (d) dengan nilai optimal adalah 9.4 mm.

4.10. Perancangan Antena Mikrostrip *Truncated Corner* dengan 4 Elemen.

Setelah diperoleh desain antena mikrostrip dengan 2 elemen, tahapan selanjutnya adalah merancang antena mikrostrip dengan 4 elemen. Tujuan penambahan elemen ini adalah untuk mengoptimasi nilai *gain* dari antena yang telah dirancang sebelumnya. Dimensi dari *patch* antena yang dioptimasi adalah sama dengan desain antena *array 2* elemen. Penambahan elemen dilakukan dengan menambahkan 2 *patch* antena yang ditempatkan di bagian kanan dari 2 elemen yang sebelumnya telah dirancang. Desain antena mikrostrip dengan 4 elemen dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Desain Antena Mikrostrip *Truncated Corner* dengan *Array 4* elemen

Desain dari antenna mikrostrip *truncated corner* yang telah dikembangkan menjadi *array* 4 elemen dapat dilihat pada gambar 4.32 sedangkan dimensi dari tiap parameter antenna dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Dimensi Antena Mikrostrip *Truncated Corner* dengan *Array* 4 elemen

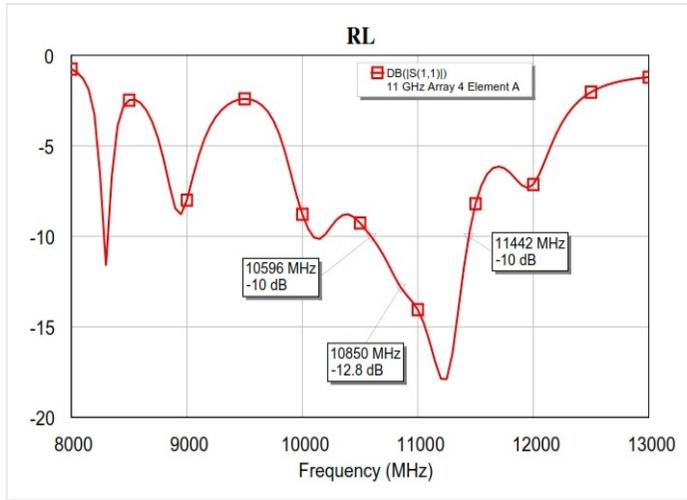
No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	30 mm
2.	Y	Lebar Substrat	25 mm
3.	W	Panjang <i>Patch</i>	7.2 mm
4.	L	Lebar <i>Patch</i>	7.2 mm
5.	Wz	Lebar Saluran Catu	0.7 mm
6.	L4	Panjang Saluran Catu	11.5 mm
7.	ΔL	Panjang dan Lebar Potongan Tepi	1.3 mm
8.	L1	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	2.5 mm
9.	L2	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	25.6 mm
10.	L3	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	28.3 mm
11.	d	Jarak Antar-Element <i>Array</i>	9.4 mm

Setelah diperoleh dimensi dari antenna mikrostrip dengan *array* 4 elemen, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi dan optimasi dengan menggunakan software AWR Microwave Office 2009.

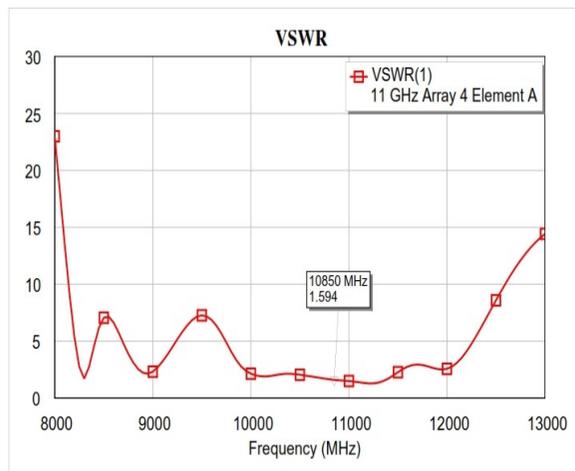
4.11. Simulasi dan Optimasi Perancangan Antena Mikrostrip 4 Elemen

Setelah diperoleh disain dari antenna mikrostrip *Truncated Corner* dengan 2 elemen, maka dilakukan tahapan simulasi. Parameter yang disimulasikan adalah return loss, VSWR, *Axial*

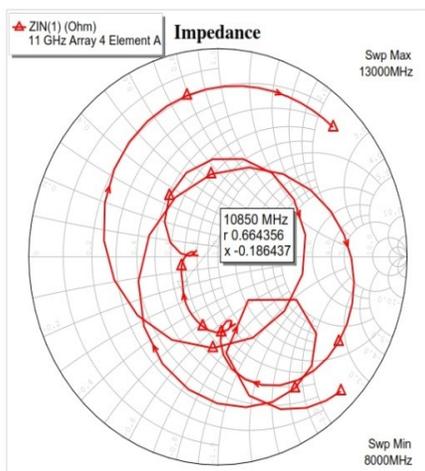
Ratio, impedansi, dan *gain* dari antenna rancangan. Hasil simulasi dari antenna yang telah dirancang dapat dilihat pada gambar 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, dan 4.37. Keseluruhan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.13.



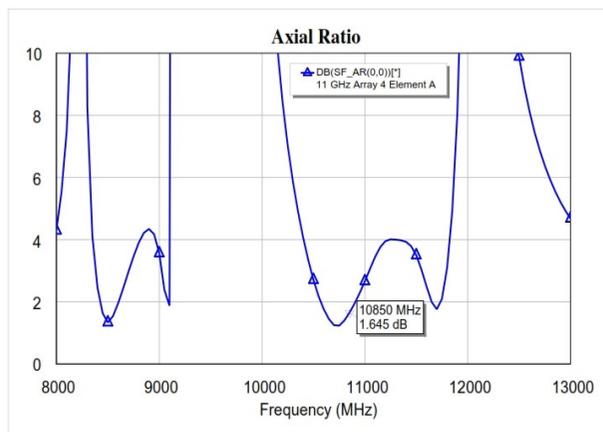
Gambar 4.33 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Mikrostrip Array 4 Elemen



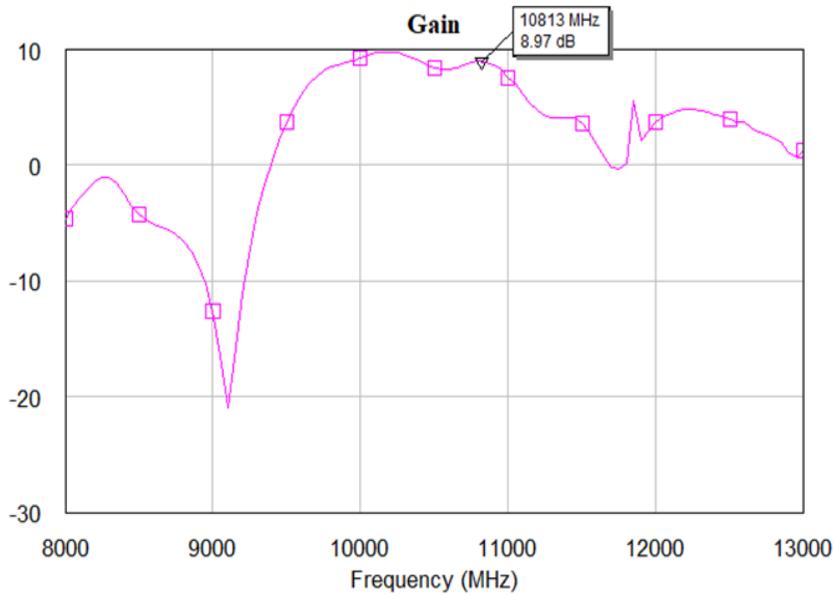
Gambar 4.34 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Array 4 Elemen



Gambar 4.35 Hasil Simulasi *Axial Ratio* Antena Mikrostrip Array 4 Elemen



Gambar 4.36 Hasil Simulasi Impedansi Antena Mikrostrip Array 4 Elemen



Gambar 4.37 Hasil Simulasi Gain Antena Mikrostrip *Array* 4 Elemen

Tabel 4.13 Hasil Simulasi *Truncated Corner* dengan *Array* 4 Elemen

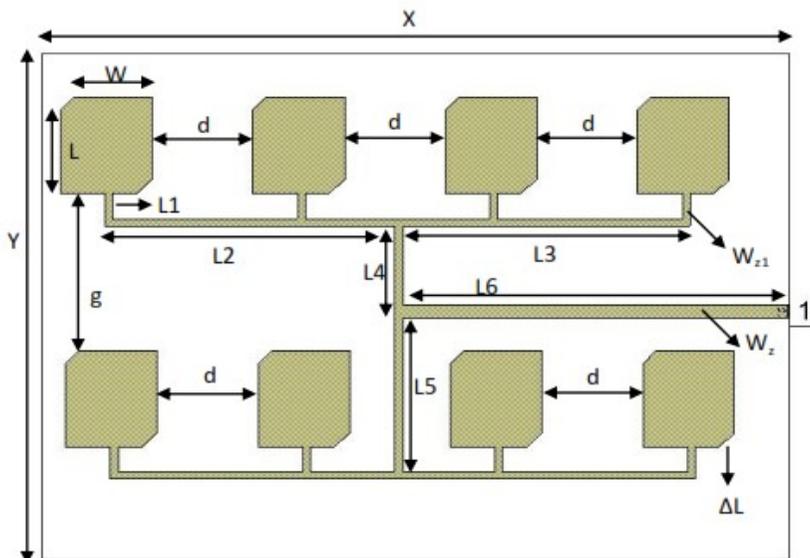
No.	Parameter	Nilai	Frekuensi Kerja
1.	<i>Return Loss</i>	-12.80 dB	10850 MHz
2.	VSWR	1.594	10850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	1.645 dB	10850 MHz
4.	Impedansi	0.66 – j0.18	10850 MHz
5.	<i>Gain</i>	8.97 dB	10850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	846 MHz	10596 – 11442 MHz

Dari tabel 4.13 dapat dilihat bahwa optimasi antena *array* 4 elemen menghasilkan nilai *return loss* -12.80 dB dan VSWR 1.594 pada frekuensi kerja 10850 MHz dengan *bandwidth* 846 MHz (10596 – 11442 MHz). Untuk polarisasi melingkar ditunjukkan dengan nilai *axial ratio* ≤ 3 dB yaitu 1.645 dB pada frekuensi kerja 10850 MHz.

Penggunaan optimasi dengan metode *array* 4 elemen menghasilkan gain 8.97 dB pada frekuensi kerja 10850 MHz.

4.12. Perancangan Antena Mikrostrip Truncated Corner 8 Elemen

Setelah dilakukan proses perancangan antenna mikrostrip *array* 4 elemen, maka tahapan selanjutnya dilakukan perancangan antenna mikrostrip dengan 8 elemen. Pada tahapan ini, antenna mikrostrip dioptimasi dengan dua model yaitu model *plannar array*. Model *plannar array* dilakukan dengan menyusun antenna secara ke bawah. Desain dari antenna mikrostrip *array* 8 elemen dapat dilihat pada 4.38, sedangkan dimensi keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.14.



Gambar 4.38 Desain Antena Mikrostrip 8 Elemen dengan Model *Plannar Array*

Gambar 4.38 menunjukkan model optimasi *array* yang digunakan pada 8 elemen. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk mendapatkan *gain* yang maksimal dari antenna rancangan. Desain

dan dimensi dari antenna mikrostrip *truncated corner* yang telah dikembangkan menjadi *array* 8 elemen dapat dilihat pada tabel 4.14.

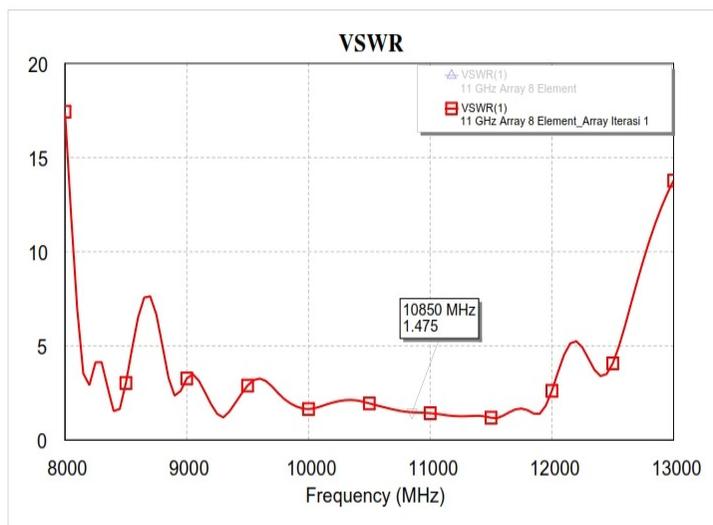
Tabel 4.14 Dimensi Antena Mikrostrip *Truncated Corner* dengan *Array* 8 elemen

No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	X	Panjang Substrat	30 mm
2.	Y	Lebar Substrat	25 mm
3.	W	Panjang <i>Patch</i>	7.2 mm
4.	L	Lebar <i>Patch</i>	7.2 mm
5.	Wz	Lebar Saluran Catu	0.7 mm
6.	L4	Panjang Saluran Catu	7.7 mm
7.	ΔL	Panjang dan Lebar Potongan Tepi	1.3 mm
8.	L1	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	2.5 mm
9.	L2	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	25.6 mm
10.	L3	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	28.3 mm
11.	d	Jarak Antar Elemen <i>Array</i>	9.4 mm
12.	L5	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	15.3 mm
13.	L6	Panjang Saluran Catu <i>Array</i>	36.2 mm
14.	g	Jarak Antar Elemen <i>Array</i>	15.5 mm
15.	W _{z1}	Saluran Catu <i>Array</i>	1.3 mm

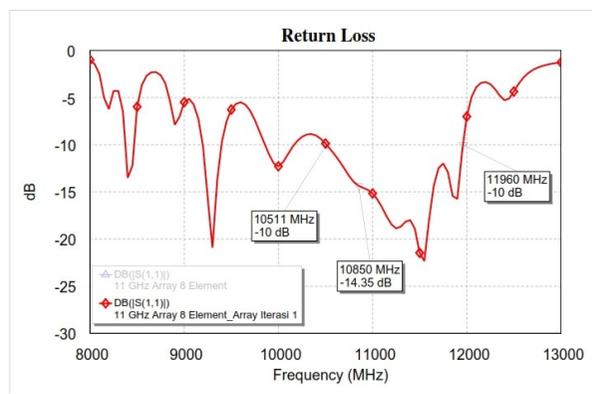
Dari tabel 4.14 dapat dilihat dimensi dari antenna *array* 8 elemen dengan model *plannar* yang dicatu menggunakan mikrostrip *line*. Dimensi dari antenna ini diperoleh dengan simulasi dan optimasi menggunakan perangkat lunak AWR Microwave Office 2009. Setelah dilakukan proses perancangan, maka tahapan selanjutnya adalah

melakukan proses simulasi terhadap parameter return loss, VSWR, *gain*, *axial ratio*, dan impedansi dari antenna rancangan. Target dari penggunaan metode *array* 8 elemen adalah meningkatkan nilai *gain* dari antenna yang dirancang sebelumnya.

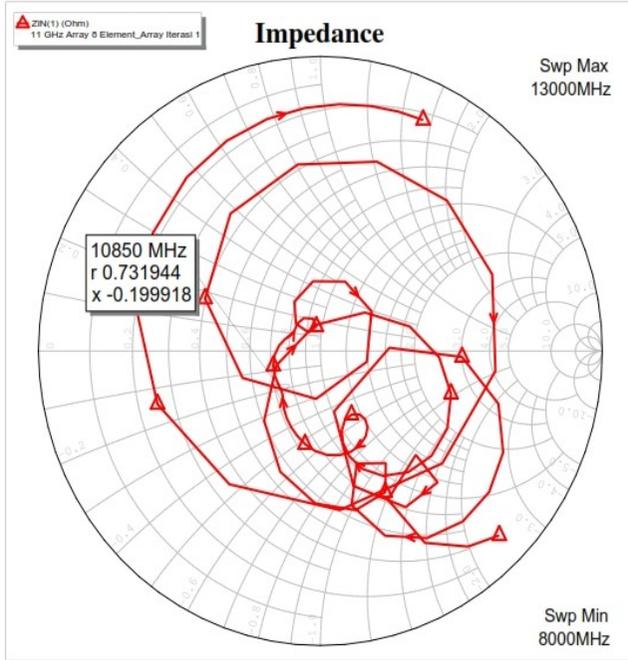
Hasil simulasi dari model antenna yang diusulkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.39, 4.40, 4.41 dan 4.42. Untuk keseluruhan hasil simulasi model antenna *plannar array* 8 elemen dapat dilihat pada tabel 4.15.



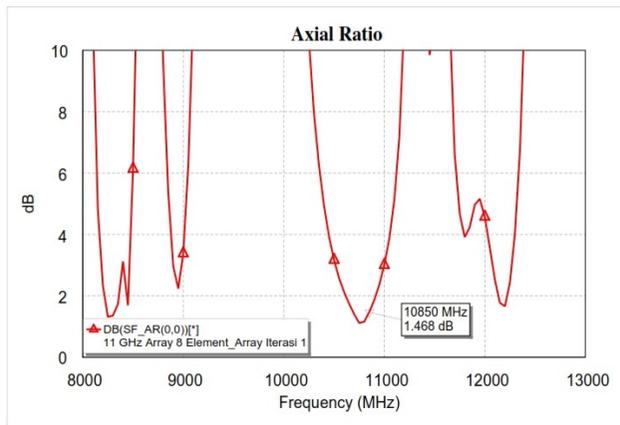
Gambar 4.39 Simulasi *Return Loss* Antena Array 8 Elemen



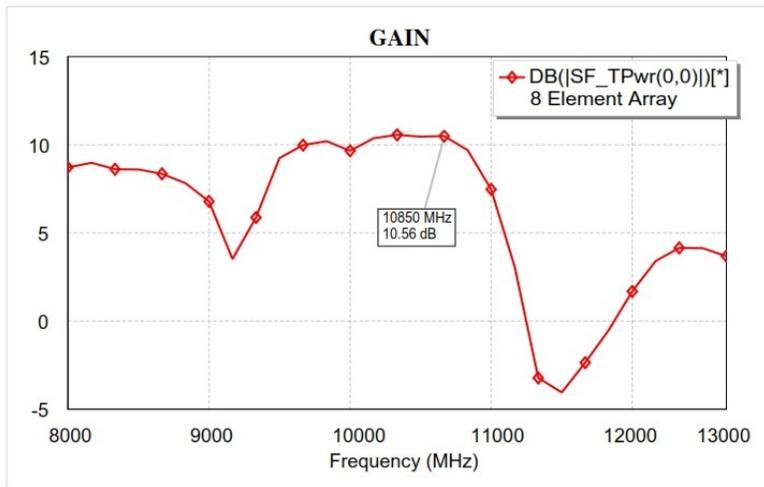
Gambar 4.40 Simulasi VSWR Antena Array 8 Elemen



Gambar 4.41 Simulasi *Axial Ratio* Antena Array 8 Elemen



Gambar 4.42 Simulasi Impedansi Antena Array 8 Elemen



Gambar 4.43 Simulasi Gain Antena Array 8 Elemen

Tabel 4.15 Hasil Simulasi *Truncated Corner* dengan Array 8 Elemen

No.	Parameter	Nilai	Frekuensi Kerja
1.	<i>Return Loss</i>	-14.35 dB	10850 MHz
2.	VSWR	1.475	10850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	1.468 dB	10850 MHz
4.	Impedansi	0.73 – j0.19	10850 MHz
5.	<i>Gain</i>	10.56 dB	10850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	1449 MHz	10511-11960 MHz

4.13. Analisis dan Perbandingan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Array 2 Elemen, 4 Elemen, dan 8 Elemen

Setelah dilakukan proses perancangan dan optimasi antena mikrostrip dengan metode *array* 4 elemen dan 8 elemen, maka dapat diperoleh hasil keseluruhan proses simulasi yang ditunjukkan tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi *Array* 2 Elemen, 4 Elemen, dan 8 Elemen

No.	Parameter	Kondisi Antena			Frekuensi Kerja
		<i>Array</i> 2 Elemen	<i>Array</i> 4 Elemen	<i>Array</i> 8 Elemen	
1.	<i>Return Loss</i>	-20.72 dB	-12.80 dB	-14.35 dB	10850 MHz
2.	VSWR	1.203	1.594	1.475	10850 MHz
3.	<i>Axial Ratio</i>	2.145 dB	1.645 dB	1.468 dB	10850 MHz
4.	Impedansi	0.91 -j 0.15 Ω	0.66 - j0.18	0.73 - j0.19	10850 MHz
5.	<i>Gain</i>	8.126 dB	8.97 dB	10.56 dB	10850 MHz
6.	<i>Bandwidth</i>	1703 MHz	846 MHz	1449 MHz	10850 MHz

Dari hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.16 dapat dianalisis bahwa penggunaan metode optimasi dengan *array* 4 elemen dan 8 elemen berhasil meningkatkan nilai *gain* pada antenna rancangan. Pada saat menggunakan *array* 2 elemen gain yang dihasilkan 8.126 dB lalu meningkat menjadi 8.97 dB pada *array* 4 elemen dan menjadi 10.7 dB pada *array* 8 elemen. Selain itu, optimasi menggunakan metode *array* juga menghasilkan *bandwidth* antenna yang berbeda-beda, pada saat 2 elemen bandwidth yang dihasilkan adalah 1703 MHz, sedangkan pada saat 8 elemen adalah 1449 MHz. Untuk parameter *return loss* dan VSWR dari ketiga antenna hasil optimasi sudah berada pada nilai ≤ -10 dB dan ≤ 2 pada frekuensi kerja 10850 MHz. Untuk polarisasi melingkar dari ketiga antenna yang telah dirancang ditunjukkan dengan nilai *axial ratio* ≤ -3 dB pada keseluruhan hasil simulasi pada antenna *array* 2 elemen, 4 elemen, dan 8 elemen. Dari hasil keseluruhan dapat disimpulkan bahwa

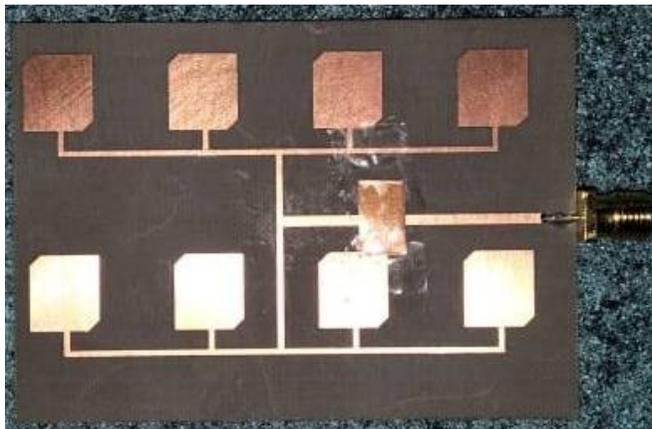
penggunaan metode *plannar array* 8 elemen telah berhasil meningkatkan nilai *gain* dari antenna.

4.14. Proses Persiapan Pabrikasi Antena Mikrostrip

Setelah diperoleh desain antenna dengan menggunakan *array* 8 Elemen, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan proses pabrikasi dari antenna yang telah dirancang. Jenis substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah Arlon LX-217 yang memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.17. Hasil pabrikasi awal dari antenna mikrostrip yang dirancang dapat dilihat pada gambar 4.44.

Tabel 4.17 Spesifikasi Substrat Jenis Arlon LX-217

No.	Parameter	Nilai
1.	Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	2.20
2.	Ketebalan (h)	0.787 mm
3.	Rugi-rugi Dielektrik/ <i>Loss Tan</i> ($\tan \alpha$)	0.0009
4.	<i>Cooper Cladding</i>	1 Oz, 35 mm
5.	<i>Volume Resistivity</i>	2.3×10^5 W m



Gambar 4.44 Hasil Pabrikasi Awal Antena Mikrostrip *Array* 8 Elemen

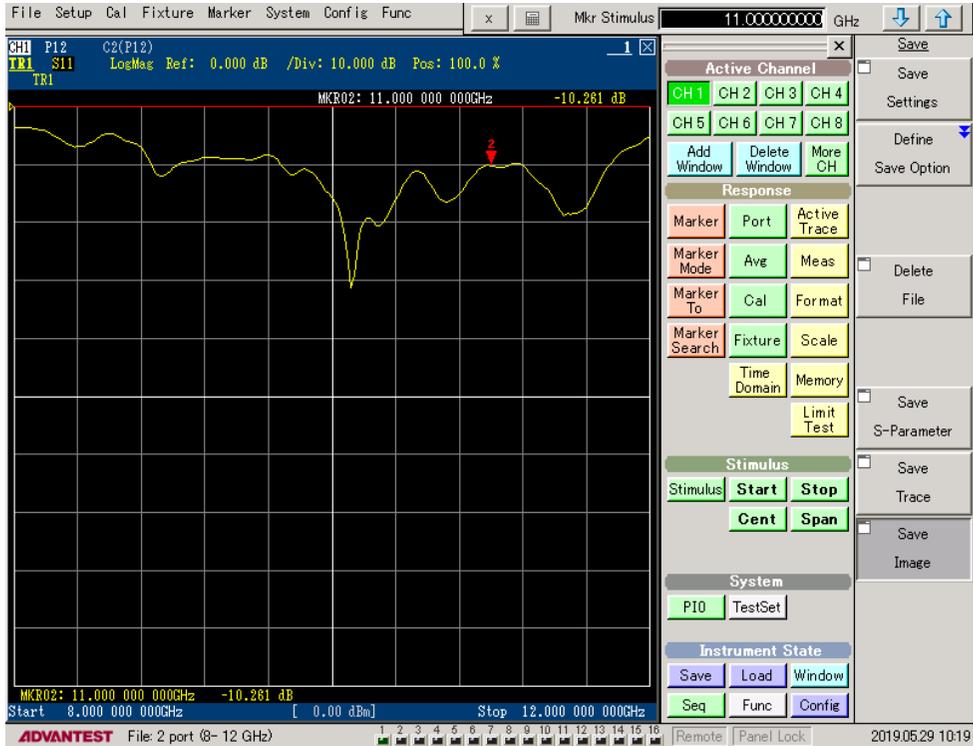
Untuk konektor yang digunakan pada antenna rancangan adalah jenis RP-SMA Female merk rossenberger 32K10K-400L5 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.18 Spesifikasi Konektor Jenis RP-SMA Merk Rossenberger 32K10K-400L5

No.	Parameter	Nilai
1.	<i>Impedance</i>	50 Ohm
2.	<i>Frequency</i>	Up To 12.4 GHz
3.	<i>Insertion Loss</i>	$0.03 \times \sqrt{F} (GHz) dB$
4.	<i>Insulation Resistance</i>	$5 \times 10^3 M\Omega$

4.15. Pengukuran Antena Mikrostrip

Pengukuran *return loss* dilakukan dengan menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer merk ADVANTEST dengan rentang frekuensi kerja 8 GHz – 12 GHz. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium antenna dan propagasi di PPET LIPI Bandung. Hasil pengukuran *return loss* dari antenna yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 4.45 dan tabel 4.20 di bawah ini.



Gambar 4.45 Hasil Pengukuran *Return Loss*

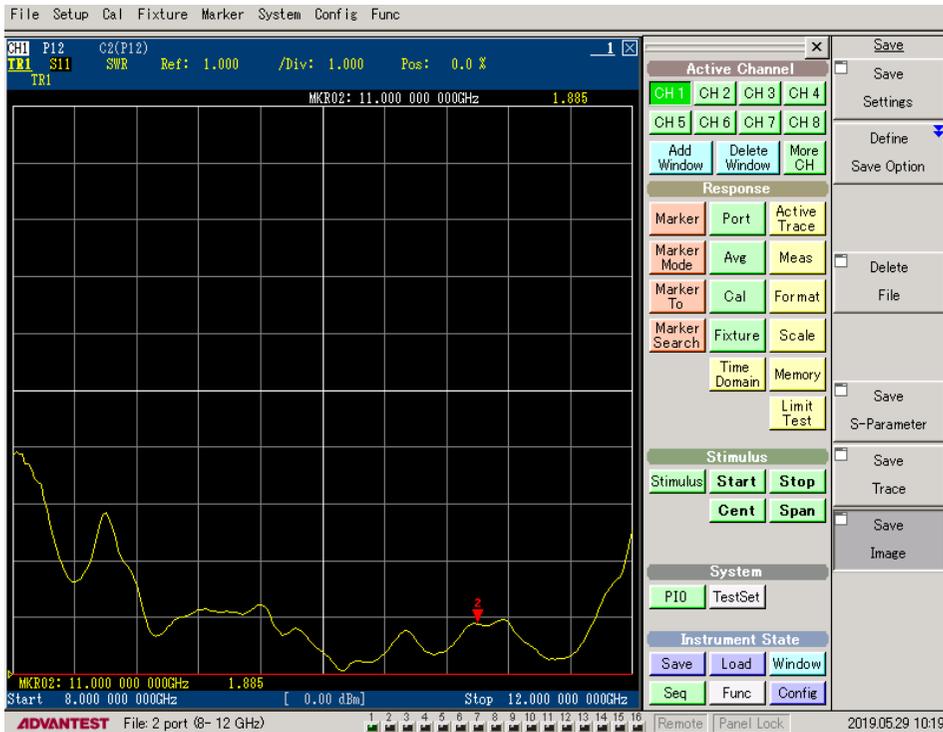
Tabel 4.20 Hasil Pengukuran *Return Loss* tiap titik frekuensi

Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)
8000	-3.637518	10050	-19.25985
8050	-3.621898	10100	-26.98046
8100	-3.747694	10150	-23.83646
8150	-4.034329	10200	-19.91214
8200	-4.344212	10250	-19.88882
8250	-5.228333	10300	-20.5656
8300	-5.897496	10350	-18.26748
8350	-6.74991	10400	-16.07649
8400	-6.956151	10450	-13.03406
8450	-6.52885	10500	-11.57418
8500	-6.021969	10550	-11.31758
8550	-4.942604	10600	-12.55108
8600	-4.618836	10650	-15.30189

8650	-5.267861	10700	-16.38212
8700	-5.930271	10750	-15.98739
8750	-6.458267	10800	-15.02586
8800	-7.170761	10850	-12.92976
8850	-9.934085	10900	-11.52302
8900	-11.71979	10950	-10.33841
8950	-11.62374	11000	-10.26086
9000	-10.61147	11050	-10.51207
9050	-9.615438	11100	-10.22212
9100	-9.539192	11150	-9.773441
9150	-9.305037	11200	-10.05803
9200	-8.845991	11250	-11.91722
9250	-8.819446	11300	-13.03024
9300	-8.96339	11350	-14.38849
9350	-9.007339	11400	-16.31509
9400	-9.018757	11450	-18.80701
9450	-9.122745	11500	-18.54797
9500	-9.158167	11550	-18.1349
9550	-8.574708	11600	-17.28182
9600	-8.456282	11650	-14.35555
9650	-9.311637	11700	-12.04991
9700	-10.75696	11750	-10.27303
9750	-11.70066	11800	-8.293489
9800	-11.18683	11850	-7.198052
9850	-11.09179	11900	-6.841217
9900	-12.10996	11950	-5.881514
9950	-14.48707	12000	-5.061488
10000	-15.75655		

Dari gambar yang ditunjukkan pada gambar 4.45 dan tabel 4.20 dapat dilihat bahwa antenna hasil rancangan memiliki nilai *return loss* -12.92 dB pada frekuensi 10850 MHz dengan *bandwidth* 1500 MHz pada rentang frekuensi kerja 9650 - 11150 MHz. Dari pengukuran yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan antenna telah bekerja pada frekuensi kerja 10850 MHz.

Pengukuran VSWR dilakukan dengan menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer merk ADVANTEST dengan rentang frekuensi kerja 8 GHz – 12 GHz. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium antena dan propagasi di PPET LIPI Bandung. Hasil pengukuran VSWR dari antena yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 4.45 dan tabel 4.21 di bawah ini.



Gambar 4.46 Hasil Pengukuran VSWR

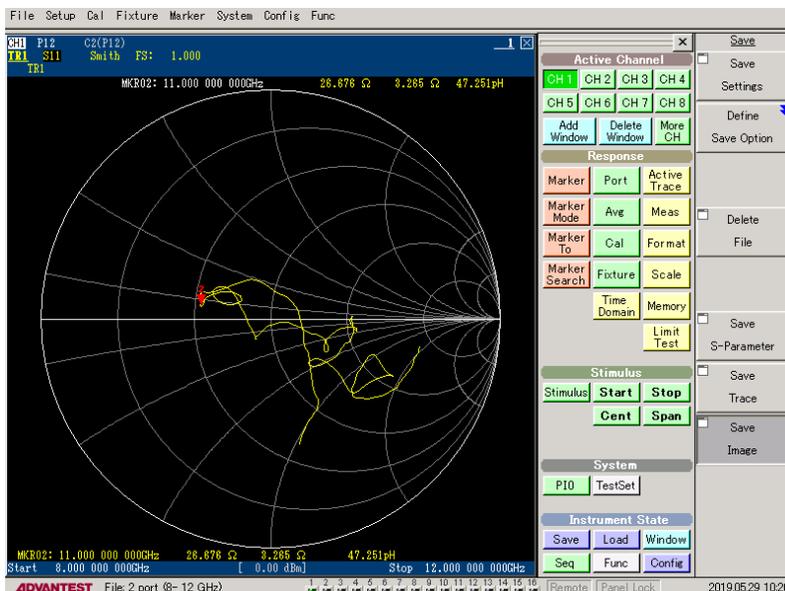
Tabel 4.21 Hasil Pengukuran VSWR tiap titik frekuensi

Frekuensi (MHz)	VSWR	Frekuensi (MHz)	VSWR
8000	4.85	10050	1.24
8050	4.87	10100	1.09
8100	4.71	10150	1.14
8150	4.38	10200	1.22

8200	4.08	10250	1.23
8250	3.42	10300	1.21
8300	3.06	10350	1.28
8350	2.70	10400	1.37
8400	2.63	10450	1.57
8450	2.78	10500	1.72
8500	3.00	10550	1.75
8550	3.61	10600	1.62
8600	3.85	10650	1.41
8650	3.40	10700	1.36
8700	3.04	10750	1.38
8750	2.81	10800	1.43
8800	2.56	10850	1.58
8850	1.94	10900	1.72
8900	1.70	10950	1.87
8950	1.71	11000	1.89
9000	1.84	11050	1.85
9050	1.99	11100	1.89
9100	2.00	11150	1.96
9150	2.08	11200	1.92
9200	2.13	11250	1.68
9250	2.14	11300	1.57
9300	2.11	11350	1.47
9350	2.10	11400	1.36
9400	2.10	11450	1.26
9450	2.08	11500	1.27
9500	2.07	11550	1.28
9550	2.19	11600	1.32
9600	2.21	11650	1.40
9650	2.04	11700	1.67
9700	1.82	11750	2.00
9750	1.70	11800	2.25
9800	1.76	11850	2.55
9850	1.77	11900	2.67
9900	1.66	11950	3.07
9950	1.47	12000	3.53
10000	1.39		

Dari gambar yang ditunjukkan pada gambar 4.46 dan tabel 4.21 dapat dilihat bahwa antenna hasil rancangan memiliki nilai VSWR 1.58 pada frekuensi 10850 MHz dengan *bandwidth* 1500 MHz pada rentang frekuensi kerja 9650 MHz – 11150 MHz. Dari pengukuran yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan antenna telah bekerja pada frekuensi kerja 10850 MHz.

Pengukuran Impedansi dilakukan dengan menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer merk ADVANTEST dengan rentang frekuensi kerja 8 GHz – 12 GHz. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium antenna dan propagasi di PPET LIPI Bandung. Hasil pengukuran impedansi dari antenna yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 4.47 dan tabel 4.22 di bawah ini.



Gambar 4.47 Hasil Pengukuran Impedansi

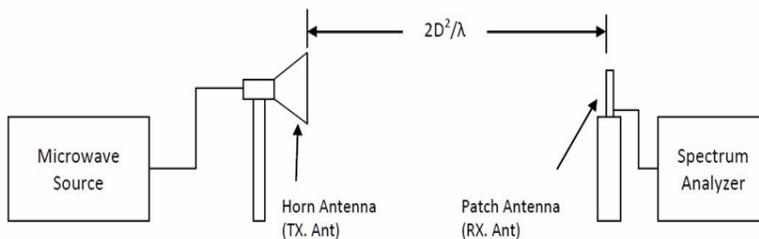
Tabel 4.22 Hasil Pengukuran Impedansi tiap Titik Frekuensi

Frekuensi (MHz)	Impedansi (Ohm)		Frekuensi (MHz)	Impedansi (Ohm)	
	Real	Imajiner		Real	Imajiner
8000	6.467528	-1.202991	10050	1.056503	-0.2638397
8050	6.419294	-1.491541	10100	0.4254571	-0.139327
8100	6.172078	-2.024226	10150	-0.361993	-0.5313609
8150	5.638346	-2.776027	10200	-0.643344	-0.7788099
8200	5.167034	-3.174739	10250	-0.67874	-0.7518265
8250	4.220259	-3.491784	10300	-0.860523	-0.3706622
8300	3.721298	-3.445392	10350	-1.180971	0.3090857
8350	3.643931	-2.803051	10400	-1.40255	0.7077321
8400	3.968976	-2.098173	10450	-1.817123	1.292588
8450	4.454241	-1.548781	10500	-2.236556	1.399065
8500	4.673449	-1.775104	10550	-2.49419	1.078042
8550	5.132568	-2.387513	10600	-2.240617	0.7330086
8600	5.320821	-2.492485	10650	-1.593788	0.640127
8650	4.820108	-2.549089	10700	-1.314537	0.7565137
8700	4.137574	-2.899294	10750	-1.298213	0.9131462
8750	3.507807	-3.209154	10800	-1.426917	1.052336
8800	3.292302	-2.888612	10850	-1.920617	1.185249
8850	2.513884	-1.957887	10900	-2.414517	1.100975
8900	1.928319	-1.735417	10950	-2.950853	0.7367648
8950	1.671262	-2.021751	11000	-3.018211	0.5544701
9000	2.143488	-2.022898	11050	-2.901162	0.6863254
9050	2.882861	-1.617091	11100	-2.935853	0.9392397
9100	3.082971	-1.270698	11150	-3.051606	1.105992
9150	3.336326	-1.045467	11200	-2.91971	1.158689
9200	3.493341	-0.9166633	11250	-2.193713	1.272251
9250	3.597014	-0.4303081	11300	-1.666761	1.482904
9300	3.558533	-0.1807421	11350	-0.836700	1.714743
9350	3.544935	0.03787497	11400	-0.214311	1.51333
9400	3.538366	0.1223222	11450	0.3576353	1.090058
9450	3.498328	0.01119105	11500	0.7438928	0.9185021
9500	3.478889	-0.1906399	11550	1.199081	0.3140437
9550	3.691949	-0.5039618	11600	1.343436	-0.2551004
9600	3.747455	-0.4742013	11650	1.49095	-1.202164
9650	3.403258	-0.3679316	11700	1.707363	-1.822741

9700	2.847142	-0.5424649	11750	1.804823	-2.789675
9750	2.321952	-1.169761	11800	1.963512	-3.310271
9800	2.363197	-1.422713	11850	2.052191	-3.853786
9850	2.513255	-1.208595	11900	1.86291	-4.150323
9900	2.324189	-0.8660106	11950	1.463802	-4.865274
9950	1.771216	-0.6492357	12000	1.269961	-5.437409
10000	1.532111	-0.5561932			

Dari gambar yang ditunjukkan pada gambar 4.47 dan tabel 4.22 dapat dilihat bahwa antenna hasil rancangan memiliki nilai Impedansi (Z_{in}) $-1.92 - j1.18 \Omega$ atau $95 - j 59 \Omega$ jika dinormalisasi dengan impedansi 50 Ohm pada frekuensi 10850 MHz. Dari pengukuran yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan antenna telah bekerja pada frekuensi kerja 10850 MHz.

Pengukuran pola radiasi antenna mikrostrip dilakukan di Lab Antena dan Propagasi PPET LIPI Bandung dengan menggunakan perangkat *Function Generator* sebagai pembangkit sinyal dan *spectrum analyzer* sebagai penerima sinyal. Untuk antenna pembanding digunakan jenis horn dengan gain 12 dBi. Konfigurasi pengukuran pola radiasi pada antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar 4.48 dibawah ini. Antena yang dirancang diposisikan sebagai antenna penerima yang sudut *azimuth*-nya akan digeser secara bertahap dari 0° sampai dengan 360°

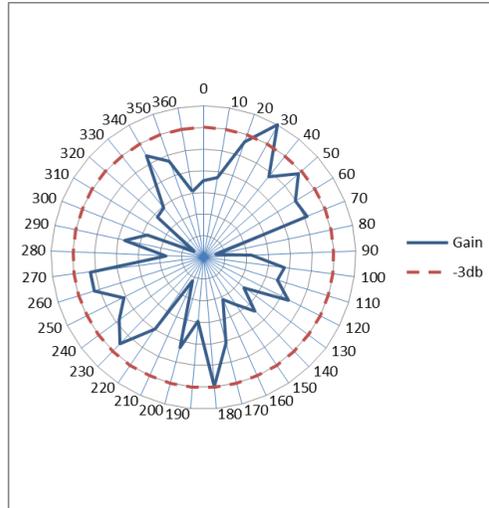


Gambar 4.48 Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi

Hasil pengukuran pola radiasi antena rancangan dar dapat dilihat pada Tabel 4.23 di bawah ini.

Tabel 4.23 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Posisi Sumber Signal	Antena Rancangan		
	Pola Radiasi	Polarisasi	Gain
	Antena 8 Array (dBm)	Antena 8 Array (dBm)	Antena 8 Array (dBm)
0°	-41.51	-41.1	11.66
10°	-40.92	-42.85	12.25
20°	-35.16	-37.64	18.01
30°	-31.17	-36.49	22
40°	-37.77	-40.92	15.4
50°	-34.7	-40.05	18.47
60°	-37.25	-37.85	15.92
70°	-36.8	-47.82	16.37
80°	-50.4	-34.19	2.77
90°	-45.47	-35.49	7.7
100°	-40.93	-37.77	12.24
110°	-41.46	-39.71	11.71
120°	-39.07	-23.61	14.1
130°	-45.18	-36.62	7.99
140°	-41.94	-36.63	11.23
150°	-44.43	-36.07	8.74
160°	-45.79	-37.57	7.38
170°	-39.94	-40.31	13.23
180°	-34.27	-37.42	18.9
190°	-43.3	-48.4	9.87
200°	-39.27	-36.71	13.9
210°	-48.6	-40.77	4.57
220°	-40.17	-38.05	13
230°	-35.59	-41.4	17.58
240°	-37.72	-36.81	15.45
250°	-39.84	-36.21	13.33
260°	-36.44	-38.14	16.73
270°	-36.41	-35.31	16.76
280°	-46.97	-46.04	6.2
290°	-41.03	-41.74	12.14
300°	-43.79	-40.84	9.38
310°	-50.61	-32.96	2.56
320°	-43.7	-33.88	9.47
330°	-43.38	-34.79	9.79
340°	-36.09	-35.25	17.08
350°	-38.06	-37.74	15.11
360°	-42.91	-40.41	10.26



Gambar 4.49 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Dari tabel 4.23 dan gambar 4.49 di atas dapat dilihat bahwa antenna yang dirancang menghasilkan pola radiasi yang ke segala arah (polarisasi melingkar) walaupun belum maksimal level direktivitasnya.

Dari hasil pengukuran gain antenna mikrostrip yang dilakukan di Lab Antena dan Propagasi LIPI Bandung, diperoleh hasil sebagai berikut.

$$Gain: P_1(Rx) - P_2(Tx) + G_{ref} \quad (4.1)$$

Di mana:

$P_1(Rx)$ = Saat antenna rancangan sebagai penerima

$P_2(Tx)$ = Saat antenna rancangan sebagai pemancar

G_{ref} = Antena referensi, di mana *gain*-nya telah diketahui 12 dB

$$Gain \text{ (pengukuran)} = -41.51 \text{ dBm} - (-41.17 \text{ dBm}) + 12 \text{ dB}$$

$$= 11.66 \text{ dB}$$

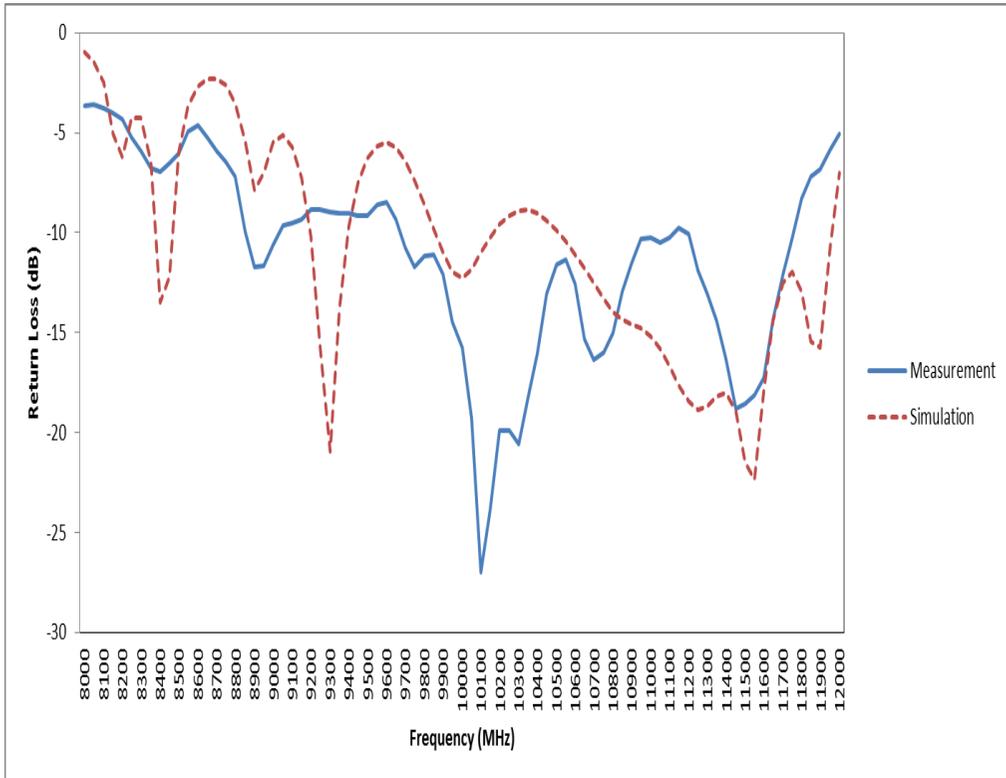
Gain diukur pada frekuensi kerja 10850 MHz dengan power 0 dB dari *function generator* yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal. Keseluruhan proses pengukuran *gain* dapat dilihat pada tabel 4.24 di bawah ini.

Tabel 4.24 Hasil Pengukuran Gain

Posisi Sumber Signal	Antena Rancangan			Antena Referensi (11 GHz)	
	Pola Radiasi	Polarisasi	Gain	Level Antena Ref (dBm)	Gain Antena Ref (dBm)
	Antena 8 Array (dBm)	Antena 8 Array (dBm)	Antena 8 Array (dBm)		
0°	-41.51	-41.1	11.66	-41.17	12
10°	-40.92	-42.85	12.25	-41.17	12
20°	-35.16	-37.64	18.01	-41.17	12
30°	-31.17	-36.49	22	-41.17	12
40°	-37.77	-40.92	15.4	-41.17	12
50°	-34.7	-40.05	18.47	-41.17	12
60°	-37.25	-37.85	15.92	-41.17	12
70°	-36.8	-47.82	16.37	-41.17	12
80°	-50.4	-34.19	2.77	-41.17	12
90°	-45.47	-35.49	7.7	-41.17	12
100°	-40.93	-37.77	12.24	-41.17	12
110°	-41.46	-39.71	11.71	-41.17	12
120°	-39.07	-23.61	14.1	-41.17	12
130°	-45.18	-36.62	7.99	-41.17	12
140°	-41.94	-36.63	11.23	-41.17	12
150°	-44.43	-36.07	8.74	-41.17	12
160°	-45.79	-37.57	7.38	-41.17	12
170°	-39.94	-40.31	13.23	-41.17	12
180°	-34.27	-37.42	18.9	-41.17	12
190°	-43.3	-48.4	9.87	-41.17	12
200°	-39.27	-36.71	13.9	-41.17	12
210°	-48.6	-40.77	4.57	-41.17	12
220°	-40.17	-38.05	13	-41.17	12
230°	-35.59	-41.4	17.58	-41.17	12
240°	-37.72	-36.81	15.45	-41.17	12
250°	-39.84	-36.21	13.33	-41.17	12
260°	-36.44	-38.14	16.73	-41.17	12
270°	-36.41	-35.31	16.76	-41.17	12
280°	-46.97	-46.04	6.2	-41.17	12
290°	-41.03	-41.74	12.14	-41.17	12
300°	-43.79	-40.84	9.38	-41.17	12
310°	-50.61	-32.96	2.56	-41.17	12
320°	-43.7	-33.88	9.47	-41.17	12
330°	-43.38	-34.79	9.79	-41.17	12
340°	-36.09	-35.25	17.08	-41.17	12
350°	-38.06	-37.74	15.11	-41.17	12
360°	-42.91	-40.41	10.26	-41.17	12

4.16. Analisis Hasil Pengukuran

Dari hasil simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan maka dapat dianalisis tingkat kesalahan dari parameter antenna yang telah dipabrikasi. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari *return loss* pada antenna yang telah dipabrikasi di frekuensi kerja 10850 MHz dapat dilihat pada gambar 4.50 di bawah ini.



Gambar 4.50 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran *Return Loss*

Dari gambar 4.50 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari antenna mikrostrip yang telah dipabrikasi memiliki perbedaan dengan hasil simulasi. Perbandingan secara keseluruhan dari proses simulasi dan pengukuran dari antenna yang telah dipabrikasi dapat dilihat pada tabel 4.25 di bawah ini.

Tabel 4.25 Hasil Perbandingan *Return Loss*

Frequency (MHz)	Nilai <i>Return Loss</i> (dB)	
	Pengukuran	Simulasi
8000	-3.637518	-1.00
8050	-3.621898	-1.46
8100	-3.747694	-2.51
8150	-4.034329	-5.05
8200	-4.344212	-6.22
8250	-5.228333	-4.29
8300	-5.897496	-4.29
8350	-6.74991	-6.49
8400	-6.956151	-13.50
8450	-6.52885	-12.20
8500	-6.021969	-5.97
8550	-4.942604	-3.65
8600	-4.618836	-2.69
8650	-5.267861	-2.31
8700	-5.930271	-2.29
8750	-6.458267	-2.62
8800	-7.170761	-3.51
8850	-9.934085	-5.43
8900	-11.71979	-7.89
8950	-11.62374	-7.02
9000	-10.61147	-5.48
9050	-9.615438	-5.12
9100	-9.539192	-5.71
9150	-9.305037	-7.25
9200	-8.845991	-10.18
9250	-8.819446	-15.72
9300	-8.96339	-20.92
9350	-9.007339	-13.76
9400	-9.018757	-9.69
9450	-9.122745	-7.49
9500	-9.158167	-6.27
9550	-8.574708	-5.66
9600	-8.456282	-5.50
9650	-9.311637	-5.74

9700	-10.75696	-6.39
9750	-11.70066	-7.39
9800	-11.18683	-8.60
9850	-11.09179	-9.82
9900	-12.10996	-11.00
9950	-14.48707	-11.97
10000	-15.75655	-12.29
10050	-19.25985	-11.83
10100	-26.98046	-11.01
10150	-23.83646	-10.22
10200	-19.91214	-9.60
10250	-19.88882	-9.17
10300	-20.5656	-8.92
10350	-18.26748	-8.86
10400	-16.07649	-9.02
10450	-13.03406	-9.37
10500	-11.57418	-9.87
10550	-11.31758	-10.46
10600	-12.55108	-11.09
10650	-15.30189	-11.77
10700	-16.38212	-12.53
10750	-15.98739	-13.30
10800	-15.02586	-13.95
10850	-12.92976	-14.35
10900	-11.52302	-14.57
10950	-10.33841	-14.79
11000	-10.26086	-15.17
11050	-10.51207	-15.78
11100	-10.22212	-16.64
11150	-9.773441	-17.61
11200	-10.05803	-18.45
11250	-11.91722	-18.87
11300	-13.03024	-18.69
11350	-14.38849	-18.17
11400	-16.31509	-17.99
11450	-18.80701	-18.94
11500	-18.54797	-21.47

11550	-18.1349	-22.33
11600	-17.28182	-17.94
11650	-14.35555	-14.37
11700	-12.04991	-12.48
11750	-10.27303	-11.99
11800	-8.293489	-12.92
11850	-7.198052	-15.44
11900	-6.841217	-15.75
11950	-5.881514	-10.73
12000	-5.061488	-7.01

Dari gambar 4.51 dan tabel 4.25 dapat dianalisis bahwa nilai *return loss* yang diperoleh dari hasil simulasi lebih baik daripada pengukuran. Pada proses simulasi diperoleh nilai *return loss* sebesar -14.35 dB, sedangkan dari hasil pengukuran diperoleh nilai *return loss* sebesar -12.91 dB di frekuensi kerja 10850 MHz. Untuk *bandwidth* yang dihasilkan dari proses pengukuran mendekati hasil dari proses simulasi. Perbandingan *bandwidth* dari proses pengukuran dan simulasi dapat dilihat pada tabel 4.26 di bawah ini.

Tabel 4.26 Perbandingan *Bandwidth* Simulasi dan Pengukuran

<i>Bandwidth</i> Hasil Simulasi	<i>Bandwidth</i> Hasil Pengukuran
1449 MHz (10511-11960 MHz)	1500 MHz (9850 – 11150 MHz)

Probablity kesalahan dari hasil pengukuran dan simulasi *return loss* dan *bandwidth* dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini.

Kesalahan (*error*) *relative* nilai *return loss* pada frekuensi 10850 MHz

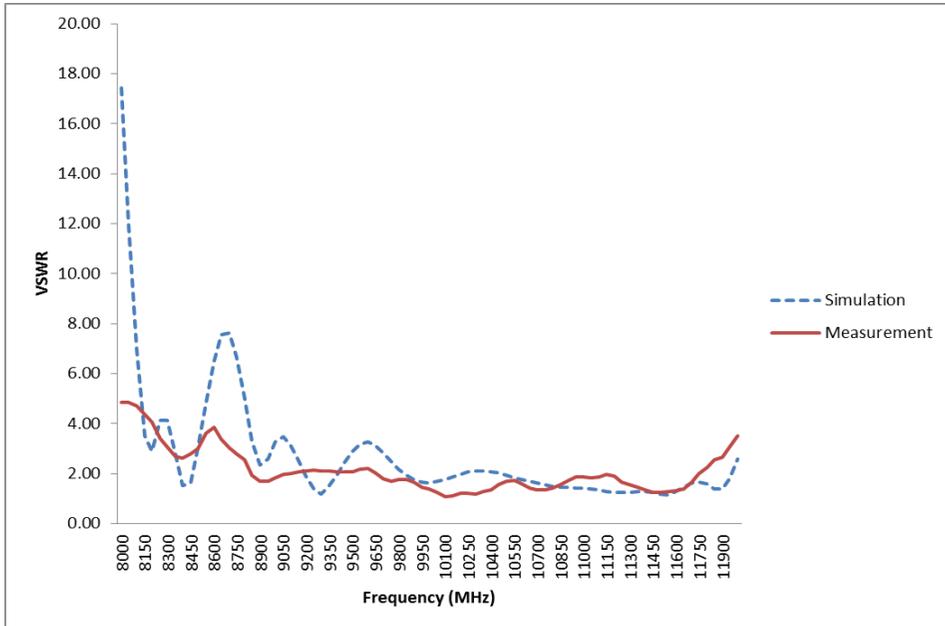
$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{return loss hasil pengukuran} - \text{return loss hasil simulasi}}{\text{return loss hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{-12.92 - (-14.45)}{-12.92} \right| \times 100 \% \\
 &= \mathbf{9.88 \%}
 \end{aligned}$$

Kesalahan (*error*) *relative* nilai *impedance bandwidth* antenna

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{impedance BW hasil pengukuran} - \text{impedance BW hasil simulasi}}{\text{impedance bandwidth hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1500 - 1449}{1499} \right| \times 100 \% \\ &= \mathbf{3.52 \%} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa antenna yang dipabrikasi mengalami peningkatan nilai *bandwidth* sebesar 3.52% dari hasil yang diperoleh dari proses simulasi. Hal ini dikarenakan sulitnya untuk mengatur saluran pencatu dari *patch* antenna pada metode *array* 8 elemen. Perubahan sedikit saja pada dimensi saluran catu antenna mikrostrip menghasilkan *bandwidth* yang berbeda. Antenna yang dipabrikasi mengalami pergeseran rentang frekuensi kerja yang juga disebabkan oleh kondisi ketidaksesuaian impedansi antara antenna dan konektor serta penggunaan timah yang juga dapat mengubah nilai kesesuaian impedansi, sehingga pergeseran frekuensi terjadi. Untuk nilai *return loss* pada proses pengukuran bergeser sampai dengan 9.88% dikarenakan adanya pergeseran nilai rentang frekuensi kerja pada antenna yang dipabrikasi, sehingga frekuensi awal dan akhir mengalami perubahan.

Dari hasil simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan, maka dapat dianalisis tingkat kesalahan dari parameter antenna yang telah dipabrikasi. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari VSWR pada antenna yang telah dipabrikasi di frekuensi kerja 10850 MHz dapat dilihat pada gambar 4.51 di bawah ini.



Gambar 4.51 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR

Dari gambar 4.51 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari antenna mikrostrip yang telah dipabrikasi memiliki perbedaan dengan hasil simulasi. Perbandingan secara keseluruhan dari proses simulasi dan pengukuran dari antenna yang telah dipabrikasi dapat dilihat pada tabel 4.27 di bawah ini.

Tabel 4.27 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR

Frequency (MHz)	Nilai VSWR	
	Pengukuran	Simulasi
8000	4.85	17.44
8050	4.87	11.96
8100	4.71	6.98
8150	4.38	3.53
8200	4.08	2.91
8250	3.42	4.13
8300	3.06	4.13
8350	2.70	2.80

8400	2.63	1.54
8450	2.78	1.65
8500	3.00	3.02
8550	3.61	4.83
8600	3.85	6.52
8650	3.40	7.56
8700	3.04	7.63
8750	2.81	6.68
8800	2.56	5.02
8850	1.94	3.30
8900	1.70	2.35
8950	1.71	2.61
9000	1.84	3.27
9050	1.99	3.49
9100	2.00	3.15
9150	2.08	2.53
9200	2.13	1.90
9250	2.14	1.39
9300	2.11	1.20
9350	2.10	1.52
9400	2.10	1.97
9450	2.08	2.46
9500	2.07	2.89
9550	2.19	3.18
9600	2.21	3.27
9650	2.04	3.14
9700	1.82	2.84
9750	1.70	2.49
9800	1.76	2.18
9850	1.77	1.95
9900	1.66	1.78
9950	1.47	1.67
10000	1.39	1.64
10050	1.24	1.69
10100	1.09	1.78
10150	1.14	1.89
10200	1.22	1.99

10250	1.23	2.07
10300	1.21	2.12
10350	1.28	2.13
10400	1.37	2.10
10450	1.57	2.03
10500	1.72	1.95
10550	1.75	1.86
10600	1.62	1.77
10650	1.41	1.70
10700	1.36	1.62
10750	1.38	1.55
10800	1.43	1.50
10850	1.58	1.47
10900	1.72	1.46
10950	1.87	1.45
11000	1.89	1.42
11050	1.85	1.39
11100	1.89	1.35
11150	1.96	1.30
11200	1.92	1.27
11250	1.68	1.26
11300	1.57	1.26
11350	1.47	1.28
11400	1.36	1.29
11450	1.26	1.25
11500	1.27	1.18
11550	1.28	1.17
11600	1.32	1.29
11650	1.40	1.47
11700	1.67	1.62
11750	2.00	1.67
11800	2.25	1.58
11850	2.55	1.41
11900	2.67	1.39
11950	3.07	1.82
12000	3.53	2.61

Dari gambar 4.51 dan tabel 4.27 dapat dianalisis bahwa nilai VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi lebih baik daripada pengukuran. Pada proses simulasi diperoleh nilai VSWR sebesar 1.47, sedangkan dari hasil pengukuran diperoleh nilai VSWR sebesar 1.58 di frekuensi kerja 10850 MHz.

Dari tabel 4.27 dapat dianalisis bahwa nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran lebih baik daripada hasil simulasi. Tingkat kesalahan proses pengukuran jika dibandingkan dengan proses simulasi dapat dihitung sebagai berikut.

Kesalahan (*error*) *relative* nilai VSWR pada frekuensi 10850 MHz

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{VSWR hasil pengukuran} - \text{VSWR hasil simulasi}}{\text{VSWR hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1.58 - 1.47}{1.47} \right| \times 100\% \\ &= \mathbf{7.36\%} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa untuk nilai VSWR hasil pengukuran lebih baik dari simulasi. Nilai VSWR pada frekuensi kerja 10850 MHz mengalami penurunan sebesar 7.36 % dari hasil simulasi. Hal ini dikarenakan terjadinya pergeseran rentang frekuensi kerja pada antenna mikrostrip yang dipabrikasi, sehingga menyebabkan nilai *return loss* dan VSWR mengalami penurunan. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa antenna telah bekerja dengan baik dan memenuhi kriteria $\text{VSWR} \leq 2$ pada frekuensi kerja 10850 MHz.

Setelah dilakukan proses simulasi dan pengukuran *gain*, maka dapat diperoleh perbandingan pada tabel 4.28 sebagai berikut.

Tabel 4.28 Perbandingan Nilai Simulasi dan Pengukuran *Gain*

Gain Hasil Simulasi	Gain Hasil Pengukuran
10.56 dB	11.66 dB

Dari tabel 4.28 dapat dilihat bahwa nilai *gain* pada saat pengukuran mengalami peningkatan dibanding pada saat disimulasi. *Probability* kesalahan dari hasil pengukuran dan simulasi *gain* dan dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini.

Kesalahan (*error*) *relative* nilai *gain* pada frekuensi 10850 MHz

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{Gain hasil pengukuran} - \text{Gain hasil simulasi}}{\text{Gain hasil simulasi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{11.66 - 10.56}{10.56} \right| \times 100\% \\ &= \mathbf{10.41\%} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai pengukuran *gain* meningkat 10.41% dibandingkan dengan proses simulasi. Hal ini dikarenakan pada proses simulasi yang ditampilkan hanya nilai *gain* antenna tanpa ada antenna pembanding, sehingga nilainya jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan proses pengukuran di *anechoic chamber*.

4.17. Analisis Keseluruhan

Dari hasil keseluruhan proses simulasi, maka dapat dianalisis bahwa antenna hasil pabrikan dapat digunakan untuk sistem komunikasi BATS dengan frekuensi kerja di 10850 MHz dengan nilai *return loss* -12.92 dB dan VSWR 1.58, sedangkan untuk *gain* diperoleh nilai 11.66 dB. Pada proses pengukuran terjadi penurunan nilai *return loss* sebesar 3.52%, VSWR menurun 7.36%, sedangkan *gain* yang dihasilkan adalah 11.66 dB atau meningkat 10.41% dibandingkan dengan hasil simulasi. Untuk *bandwidth* yang

dihasilkan oleh antenna yang telah dipabrikasi adalah 1500 MHz (9850 MHz – 11150 MHz) yang mengalami peningkatan 3.52% jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari proses simulasi. Spesifikasi dari antenna yang telah dipabrikasi dapat dilihat pada tabel 4.29 di bawah ini.

Tabel 4.29 Spesifikasi Antena Rancangan

Frekuensi Tengah	10850 MHz
Rentang Frekuensi Kerja	9850 MHz – 11150 MHz
<i>Bandwidth</i>	1500 MHz
Zin	-1.92 – j1.18 Ω
<i>Gain</i>	11.66 dB
Polarisasi	Melingkar
VSWR	1.58
<i>Return Loss</i>	-12.92 dB
<i>Axial Ratio</i>	1.468 dB

BIODATA PENULIS



Syah Alam lahir di Jakarta pada tanggal 15 April 1986. Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia tahun 2004. Penulis meneruskan studinya ke jenjang pascasarjana di Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti tahun 2010 dan selesai tahun 2012.

Sejak 2014 sampai dengan saat ini penulis adalah dosen tetap yang aktif mengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta. Selain itu, penulis juga masih aktif menjabat sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta mulai dari tahun 2014. Mata kuliah yang diampu antara lain Antena dan Propagasi (S1), Rangkaian Listrik (S1), Sistem Digital (S1). Pada 2018 penulis bergabung dengan Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti dan aktif menjadi asisten professor di bidang antena mikrostrip sekaligus sekretaris program studi di Program Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti. Bidang penelitian yang ditekuni saat ini adalah antena mikrostrip dan telekomunikasi nirkabel



Indra Surjati lahir di Bangkok, Thailand. Meraih gelar Sarjana Teknik (Ir.) Di bidang teknik elektro dan M.Eng (M.T) di bidang Teknik Telekomunikasi dari Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Trisakti tahun 1996. Pada 2004 ia menyelesaikan gelar Ph.D. di Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia. Konsentrasi keilmuan yang ditekuni adalah

bidang telekomunikasi dan mata kuliah yang diampu adalah Rangkaian Listrik (S1), Teknik Telekomunikasi (S1), dan Antena Modern (S2).

Pada 2011 dikukuhkan sebagai Guru Besar Jurusan Teknik Elektro di Trisakti. Minat penelitiannya meliputi antena mikrostrip dan sirkuit gelombang mikro untuk berbagai aplikasi

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S. and Wibisono, I.G.N.Y. (2017). *Pengantar Antena dan Propagasi: Konsep Dasar dan Teori*. DKI Jakarta: UTA Press.
- Alam, S., Ningsih, Y.K., Junfithrana, A.P., Ramza, H., Surjati, I. and Upa, M.,. (2018). Improving Performance and Size Reduction of Truncated Microstrip Antenna Using U Slot for LTE Application. *In 2018 International Conference on Computing, Engineering, and Design (ICCED)* (hal. pp. 193-197). Singapore: IEEE.
- Alam, S., Sari, L., Surjati, I. and Onasie, N.,. (2021). Miniaturisasi Antena Mikrostrip Pencatu Ganda Menggunakan Metode Peripheral Slit. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 15-19.
- Alam, S., Surjati, I., Ningsih, Y. K., Sari, L., Syukriati, E., & Safitri, A. (2019). Design of Truncated Microstrip Antenna with Array 4×2 for Microwave Radio Communication. *2019 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)* (hal. 1-4). Bali: Universitas Indonesia.
- Alam, S., Wibisana, I. G. N. Y., & Surjati, I. . (2017). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Peripheral Slits Linear Array Untuk Aplikasi Wi-Fi. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, pp 18-26.
- Alaydrus, M. (2015). Riset Antena–State of the Art. *InComTech*, 6(1), pp.1-22.
- Ding, K., Gao, C., Yu, T., Qu, D., & Zhang, B. (2017). Gain-Improved Broadband Circularly Polarized Antenna Array With Parasitic Patches. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 1468–1471.
- Gotra, S., Hashim, Z., Pani, S., Tripathy, M. R., & Banwari, A. (2016). C-band microstrip patch linear array antenna for microwave radio relay. *CSI Transactions on ICT*, 4(2), 151-156.
- Pandey, A. (2019). *Practical Microstrip and Printed Antenna Design*. England: Artech House.

- Santiko, A. B., Paramayudha, K., Wahyu, Y., & Wijanto, H. (2016). Design and realization multi layer parasitic for gain enhancement of microstrip patch antenna. *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)* (hal. 1-4). Bali: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Surjati, I. (2010). *Antena Mikrostrip*. DKI Jakarta: Universitas Trisakti.
- System, R. F. (2020, September 07). <http://www2.rfsworld.com>. Diambil kembali dari http://www2.rfsworld.com/RFS_Edition4/pdfs/Microwave_Solid_Antennas_267-322.pdf
- Fang, D. G. (2017). *Microstrip Patch Antennas," Antenna Theory and Microstrip Antennas"*.
- Kementerian Komunikasi dan Informatika. (2018). *Kepdirjen 235 Tahun 2018 Penetapan Pita Frekuensi Radio untuk Uji Coba Penggunaan Teknologi IMT2020*. DKI Jakarta: Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi.
- Ding, K., Gao, C., Yu, T., Qu, D., & Zhang, B. (2017). Gain-Improved Broadband Circularly Polarized Antenna Array With Parasitic Patches. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 1468–1471.