PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN KONFIGURASI SILANG PADA FREKUENSI 1842,5 MHz

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

LILA FITRI ARINI AMIN
NIM. 0510630059 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN KONFIGURASI SILANG PADA FREKUENSI 1842,5 MHz

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

LILA FITRI ARINI AMIN
NIM. 0510630059-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing

Pembimbing I	**Pembimbing II**
M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.	**Ir. Endah Budi Purnomowati, MT.**
NIP. 19710609 200002 1 001	**NIP. 19621116 198903 2 002**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN KONFIGURASI SILANG PADA FREKUENSI 1842,5 MHz

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

LILA FITRI ARINI AMIN
NIM. 0510630059 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 02 November 2010

DOSEN PENGUJI

Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.	**Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.**
NIP. 19530714 198203 1 003	**NIP. 19580728 198701 1 001**

Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT.
NIP. 19720630 200003 1 002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., MSc.
NIP. 19710615 199802 1 003

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Hanya karena pertolongan-Nya semata penulis mampu melewati segala kendala yang ada selama penyusunan skripsi ini. Skripsi berjudul ***"Perancangan dan Pembuatan Antena Microstrip Circular Array Empat Elemen Konfigurasi Silang pada Frekuensi 1842,5 MHz"*** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari selama penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Rudy Yuwono, ST., MSc.** selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak **M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.** selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Ali Mustofa ST., MT.** selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak **M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.** selaku dosen pembimbing I dan Ibu **Ir. Endah Budi Purnomowati, MT.** selaku dosen pembimbing II.
4. Bapak **Dwi Fadila K., ST., MT.** selaku Kepala Laboratorium Transmisi dan Gelombang Mikro.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Kedua orang tuaku, **Bapak Moch. Amin** dan **Ibu Nuri Lestari**, kakakku **Mardiani Fauziyah Amin** dan adikku **Indah Ayu Fajarwati** untuk doa, dan dukungannya selama studi hingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Yang tersayang, **Mas Dony Satrio Wijayanto** yang tak pernah bosan memberikan semangat, dukungan dan motivasi selama proses pengerjaan skripsi ini sampai selesai.

8. **Bapak Basuki Riyanto, Ibu Siti Noer Aida, Ardin, Reza dan Kel. Hamid Rusdi K-61** yang telah memberikan banyak bantuan, doa, dan dukungannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Sahabat-sahabatku, Desty, Dina, Sally, Tika terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, *sharing*, serta perhatiannya selama ini.
10. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro angkatan 2005 dan juga senior-senior angkatan 2003 yang selalu ada untuk menghibur, membantu dan menemani selama proses penyelesaian skripsi.
11. Rekan-rekan dan adik-adik asisten Laboratorium Transmisi dan Gelombang Mikro, Mas Yoga, Mbak Tita, Mbak Dina, Mas Afrik, Mas Fendy, Mas Roghib, Fajar, Elsyea dan adik-adik asisten terima kasih atas saran, motivasi, dan kebersamaannya.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Penulis menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, November 2010

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **iii**
DAFTAR GAMBAR ..... **viii**
DAFTAR GRAFIK ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiii**
ABSTRAK ..... **xiv**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Ruang Lingkup 2
1.4 Tujuan 3
1.5 Sistematika Penulisan 3

BAB II DASAR TEORI **4**
2.1 Gambaran Umum 4
2.2 Parameter-parameter Antena 6
2.2.1 Impedansi Terminal Antena 6
2.2.2 Polarisasi 7
2.2.2.1 Polarisasi Linier 7
2.2.2.2 Polarisasi Lingkaran 8
2.2.2.3 Polarisasi Elips 9
2.2.3 Pola Radiasi 9
2.2.3.1 Pola *Isotropic*, *Directional*, dan *Omnidirectional* 10
2.2.3.2 *Lobe* Pola Radiasi dan *Beamwidth* 10
2.2.3.3 Daerah Medan Radiasi 12
2.2.4 Keterarahan (*Directivity*) 14
2.2.5 Penguatan (*Gain*) Antena 15
2.2.6 *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*) 17

2.2.7 *Return Loss* (RL) 18
2.2.8 Lebar Pita (*Bandwidth*) 19
2.3 Antena *Microstrip* 19
2.3.1 Bentuk Umum Antena *Microstrip* 20
2.3.2 Saluran Transmisi *Microstrip* 21
2.3.3 Teknik Pencatuan Antena *Microstrip* 21
2.3.3.1 *Microstrip Line Feed* 22
2.3.3.2 *Coaxial Feed* 22
2.3.3.3 *Aperture Coupling* 23
2.3.3.4 *Proximity Coupling* 24
2.4 Dimensi Antena *Microstrip* 24
2.4.1 Radius Antena *Microstrip Circular* (*a*) 25
2.4.2 Impedansi *Matching* 25
2.4.3 Dimensi Saluran Transmisi 26
2.4.4 Dimensi Saluran *Transformer* 26
2.4.5 Jarak antar Elemen 27
2.5 Antena *Array* 27
2.6 Mode TEM, TE, dan TM 28
2.6.1 Mode TEM (*Transverse Electric and Magnetic*) 28
2.6.2 Mode TE (*Transverse Electric*) 29
2.6.3 Mode TM (*Transverse Magnetic*) 30
2.7 Mode TE dan TM yang Lebih Tinggi 31
2.8 Mekanisme Radiasi pada Antena Kawat Linier 33

BAB III METODOLOGI 37
3.1 Studi Literatur 37
3.2 Pengumpulan Data 37
3.3 Perancangan 38
3.3.1 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi 38
3.3.2 Dimensi Saluran Transmisi 39
3.3.3 Jarak antar Elemen 39
3.4 Simulasi 39

3.5 Pembuatan 40
3.6 Pengukuran 40
3.6.1 Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, dan Perhitungan Koefisien Pantul ... 40
3.6.2 Pengukuran *Gain* Antena 41
3.6.3 Pengukuran Pola Radiasi 41
3.6.4 Pengukuran Polarisasi 41
3.6.5 Perhitungan Keterarahan (*Directivity*) 42
3.6.6 Perhitungan *Bandwidth* 42
3.7 Analisis 42
3.8 Pengambilan Kesimpulan dan Saran 42

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN 43
4.1 Tinjauan Umum 43
4.2 Perancangan Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen 43
4.2.1 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor 43
4.2.2 Perancangan Dimensi Elemen Peradiasi 44
4.2.3 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi 45
4.2.4 Optimasi Elemen Peradiasi Antena *Microstrip* 48
4.2.4.1 Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi (a) 48
4.2.4.2 Optimasi Panjang *Inset Feed* (y_0) 49
4.2.4.3 Optimasi Panjang Saluran Transmisi (L_0) 50
4.3 Perancangan Antena *Array* Empat Elemen 54
4.4 Optimasi Antena *Array* Empat Elemen 58
4.5 Analisis Hasil Simulasi 63
4.6 Pembuatan Antena *Microstrip* 66
4.6.1 Alat-alat dan Bahan yang Digunakan 66
4.6.2 Pencetakan Pola Antena *Microstrip* pada Substrat 67
4.6.3 *Etching* 67

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN 69
5.1 Pendahuluan 69
5.2 Pengukuran *VSWR* 69
5.2.1 Alat-alat yang Digunakan 69
5.2.2 Prosedur Pengukuran 70
5.2.3 Hasil Pengukuran 70
5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran 72
5.3 Pengukuran *Return Loss* dan Perhitungan Koefisien Pantul 73
5.3.1 Alat-alat yang Digunakan 73
5.3.2 Prosedur Pengukuran 73
5.3.3 Hasil Pengukuran 74
5.3.4 Analisis Hasil Pengukuran 75
5.4 Pengukuran *Gain* Antena 76
5.4.1 Alat-alat yang Digunakan 76
5.4.2 Prosedur Pengukuran 77
5.4.3 Hasil Pengukuran 77
5.4.4 Analisis Hasil Pengukuran 78
5.5 Pengukuran Polarisasi 78
5.5.1 Alat-alat yang Digunakan 78
5.5.2 Prosedur Pengukuran 79
5.5.3 Hasil Pengukuran 79
5.5.4 Analisis Hasil Pengukuran 81
5.6 Pengujian Pola Radiasi 81
5.6.1 Alat-alat yang Digunakan 81
5.6.2 Prosedur Pengukuran 82
5.6.3 Hasil Pengukuran 83
5.6.4 Analisis Hasil Pengukuran 87
5.7 Perhitungan Keterarahan (*Directivity*) 87
5.7.1 Cara Perhitungan 87
5.7.2 Hasil Perhitungan 88

5.8 Perhitungan *Bandwidth* 88
5.9 Analisis Parameter Antena 88

BAB VI PENUTUP 90
6.1 Kesimpulan 90
6.2 Saran 91

DAFTAR PUSTAKA 92
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	GSM 1800 *Overview*	4
Gambar 2.2	(a) Polarisasi Linier Vertikal (b) Polarisasi Linier Horizontal	8
Gambar 2.3	(a) *Right Hand Circular Polarization* (b) *Left Hand Circular Polarization*	9
Gambar 2.4	*Lobe-lobe* Pola Radiasi	11
Gambar 2.5	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena	13
Gambar 2.6	Terminal Referensi dan Rugi-rugi Antena	16
Gambar 2.7	Struktur Antena *Microstrip*	20
Gambar 2.8	Macam-macam Bentuk Elemen *Microstrip*	20
Gambar 2.9	Struktur Dasar Saluran Transmisi *Microstrip*	21
Gambar 2.10	*Microstrp Line Feed*	22
Gambar 2.11	Metode *Coaxial Feed*	23
Gambar 2.12	*Aperture Coupling Feed*	23
Gambar 2.13	*Proximity Coupling Feed*	24
Gambar 2.14	Susunan Geometris *Infinitesimal Dipole* dan Gabungan Komponen Medan Listrik pada Permukaan Bola	33
Gambar 2.15	Pola Radiasi Tiga Dimensi pada *Infinitesimal Dipole*	36
Gambar 4.1	Elemen Peradiasi	46
Gambar 4.2	Antena *Microstrip Circular Array* Satu Elemen Peradiasi Setelah Optimasi	51
Gambar 4.3	*Gain Pattern* 3D Satu Elemen Peradiasi	54
Gambar 4.4	Model Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Konfigurasi Silang	54
Gambar 4.5	Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Sebelum Optimasi	56
Gambar 4.6	Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Setelah Optimasi	60
Gambar 4.7	*Gain Pattern* 3D *Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5MHz	63
Gambar 5.1	Rangkaian Pengukuran *VSWR*	70
Gambar 5.2	Tampilan Pengujian *VSWR* pada *Network Analyzer*	72

Gambar 5.3 Rangkaian Pengukuran *Return Loss* 73
Gambar 5.4 Tampilan Pengujian *Return Loss* pada *Network Analyzer* 76
Gambar 5.5 Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena 77
Gambar 5.6 Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena 79
Gambar 5.7 Diagram Polar Polarisasi Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz..... 81
Gambar 5.8 Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena..... 82
Gambar 5.9 Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena..... 82
Gambar 5.10 Pola Radiasi Horizontal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz..... 86
Gambar 5.11 Pola Radiasi Vertikal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz 86

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hasil Simulasi *VSWR* Satu Elemen Sebelum Optimasi 47
Grafik 4.2 Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen Sebelum Optimasi 47
Grafik 4.3 Hasil Optimasi Radius Elemen Peradiasi 49
Grafik 4.4 Hasil Optimasi Panjang *Inset Feed* 50
Grafik 4.5 Hasil Optimasi Panjang Saluran Transmisi 51
Grafik 4.6 Nilai *VSWR* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi 52
Grafik 4.7 Nilai *Return Loss* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi 52
Grafik 4.8 Nilai *Directivity* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi 53
Grafik 4.9 Nilai *Gain* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi..... 53
Grafik 4.10 Hasil Simulasi *VSWR* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen sebelum Optimasi 56
Grafik 4.11 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen sebelum Optimasi 57
Grafik 4.12 Hasil Simulasi *Gain* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen sebelum Optimasi 58
Grafik 4.13 Nilai *VSWR* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi..... 60
Grafik 4.14 Nilai *Return Loss* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi 61
Grafik 4.15 Nilai *Directivity* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi 62
Grafik 4.16 Nilai *Gain* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi 62
Grafik 4.17 Perbandingan Hasil Simulasi *VSWR* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen 64
Grafik 4.18 Perbandingan Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen 64
Grafik 4.19 Perbandingan Hasil Simulasi *Directivity* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen 65

Grafik 4.20 Perbandingan Hasil Simulasi *Gain* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen 65
Grafik 5.1 Grafik Fungsi *VSWR* terhadap Frekuensi 72
Grafik 5.2 Grafik Fungsi *Return Loss* Terhadap Frekuensi 75
Grafik 5.3 Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi 75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi GSM 900, GSM 1800, dan GSM 1900 5

Tabel 4.1 Hasil Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi (a) saat Nilai W_0, y_0, dan L_0 Tetap 48

Tabel 4.2 Hasil Optimasi Panjang *Inset Feed* (y_0) saat Nilai a = 22,6 mm sedangkan W_0 dan L_0 Tetap 49

Tabel 4.3 Hasil Optimasi Panjang Saluran Transmisi (L_0) saat Nilai a = 22,6 mm sedangkan y_0 = 9 mm dan W_0 Tetap 50

Tabel 4.4 Nilai VSWR dengan Optimasi y_0, L_{01}, dan L_{02} 59

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran *VSWR* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen 71

Tabel 5.2 Hasil Pengukuran *Return Loss* dan Perhitungan Koefisien Pantul Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen 74

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran *Gain* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen 78

Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz..... 80

Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz 84

Tabel 5.6 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz 85

Tabel 5.7 Karakteristik Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Hasil Pembuatan 89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Dokumentasi Pengukuran L1-1

Lampiran 2 : Langkah-langkah Simulasi Perancangan Antena dengan *Zeland IE3D*^{TM} L2-1

repository.ub.ac.id

ABSTRAK

LILA FITRI ARINI AMIN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2010, *Perancangan dan Pembuatan Antena Microstrip Circular Array Empat Elemen Konfigurasi Silang pada Frekuensi 1842,5 MHz,* Dosen Pembimbing : M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT dan Ir. Endah Budi Purnomowati, MT.

Perkembangan teknologi komunikasi *wireless* untuk kepentingan komunikasi bergerak terus berkembang. Salah satu aplikasinya adalah GSM (*Global System for Mobile Communication*) sebagai layanan telepon selular. Dalam penerapan komunikasi *wireless* ini, dibutuhkan antena yang berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan dan/atau menerima gelombang elektromagnetik yang didalamnya terkandung sinyal informasi. Salah satu jenis antena yang berkembang saat ini adalah antena *microstrip*.

Pada perancangan dan pembuatan antena digunakan substrat *Epoxy Fiberglass* FR-4 dengan konstanta dielektrik (ε_r) = 4,5. Elemen peradiasi (*patch*) berbentuk *circular* dengan jumlah empat elemen yang disusun konfigurasi silang. Antena hasil perancangan disimulasikan dengan *software* simulator IE3D^{TM}. Setelah memenuhi parameter yang diinginkan, dilakukan fabrikasi antena dan pengukuran terhadap parameter-parameter antena hasil fabrikasi tersebut.

Parameter yang digunakan untuk menilai kerja antena adalah VSWR, *return loss*, *bandwidth*, *gain*, *directivity*, pola radiasi dan polarisasi. Untuk mendapatkan parameter yang diinginkan, dilakukan optimasi dengan mengubah dimensi elemen peradiasi antena dan dimensi saluran transmisi.

Berdasarkan hasil pengukuran antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang pada frekuensi 1842,5 MHz memiliki nilai *return loss* sebesar -19,586 dB dan nilai *VSWR* sebesar 1,234. Untuk nilai *gain* sebesar 3,92 dBi, dengan *bandwidth* sebesar 134 MHz, dengan *directivity* antena sebesar 11,94 dB. Untuk bentuk polarisasi antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang adalah linier, serta bentuk pola radiasinya adalah *unidirectional*.

Kata kunci : Antena *microstrip*, *circular array*, konfigurasi silang, *return loss*, VSWR, *gain*, *bandwidth*, polarisasi, pola radiasi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi komunikasi menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, hal ini terbukti dengan terciptanya peralatan komunikasi yang dapat mengirim informasi yang diinginkan (suara, data/gambar atau video). Informasi tersebut dapat disajikan dalam waktu yang singkat meskipun dalam jarak yang sangat jauh.

Kemajuan teknologi yang paling berkembang akhir-akhir ini adalah komunikasi *wireless*, mulai dari penggunaan komunikasi suara hingga komunikasi data yang juga menggunakan perangkat canggih yang semakin memudahkan pengiriman informasi. Banyak teknologi yang dikembangkan agar perangkat komunikasi yang digunakan dapat lebih mudah, lebih cepat dan lebih praktis dangan kualitas yang semakin baik.

Perkembangan teknologi komunikasi *wireless* untuk kepentingan komunikasi bergerak juga terus berkembang. Salah satu aplikasinya adalah GSM (*Global System for Mobile Communication*) sebagai layanan telepon selular. Teknologi GSM digunakan sebagai basis telekomunikasi selular.

Dalam penerapan komunikasi *wireless* ini, dibutuhkan antena yang berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan dan/atau menerima gelombang elektromagnetik yang didalamnya terkandung sinyal informasi. Kualitas sebuah antena sangat mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima. Oleh karena itu antena sebagai salah satu perangkat telekomunikasi harus didesain dengan dimensi yang kecil, fleksibel, praktis dan tetap berkualitas. Salah satu jenis antena yang berkembang saat ini adalah antena *microstrip*, yang telah diteliti dan dikembangkan secara luas dalam berbagai aplikasi. Antena *microstrip* bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz) sehingga antena *microstrip* dapat digunakan untuk antena telepon selular/*wireless* maupun komunikasi satelit.

Antena *microstrip* merupakan antena yang tersusun atas bagian lapisan tipis konduktor berbahan metal atau logam di atas sebuah substrat yang dapat merambatkan gelombang elektromagnetik, sedangkan pada salah satu sisi lain dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan.

Saat ini antena *microstrip* dengan susunan konfigurasi silang yang telah dikembangkan memiliki elemen peradiasi *rectangular* (persegi panjang) dengan pengaplikasian yang berbeda yaitu sebagai penerima siaran televisi jalur UHF.

Perancangan dan pembuatan antena *microstrip* pada skripsi ini akan menggunakan substrat FR-4 dengan elemen peradiasi berbentuk lingkaran (*circular*) dengan empat elemen yang disusun konfigurasi silang. Frekuensi kerja yang direncanakan adalah 1842,5 MHz yang dapat digunakan pada GSM (*Global System for Mobile Communication*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka rumusan masalah dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana model antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang yang akan dibuat ?
2. Berapa ukuran elemen peradiasi dan saluran transmisi antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang sehingga didapatkan performansi yang optimal untuk nilai parameter antena yang meliputi *VSWR, return loss, gain, bandwidth*, pola radiasi dan polarisasi?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan permasalahan yang disebutkan di atas, maka pada penulisan skripsi ini diberikan batasan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Frekuensi kerja antena yang akan dirancang adalah 1842,5 MHz.
2. Antena yang dirancang adalah antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang dengan nilai *VSWR* < 2 dan *Gain* > 3 dBi.
3. Pengukuran parameter antena meliputi *VSWR, return loss, gain, bandwidth*, pola radiasi dan polarisasi.
4. Rumus-rumus yang digunakan adalah rumus dasar perancangan dan pendesainan antena *microstrip circular* dan saluran transmisi.

5. Pembahasan dilakukan pada perhitungan dan pengukuran antena *microstrip circular array* untuk menganalisis performansi kerja antena dengan menggunakan alat ukur *RF Network Analyzer*, *sweep oscillator* dan *spectrum analyzer*.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah merancang dan membuat antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang pada frekuensi 1842,5 MHz.

1.5 Sistematika Penulisan

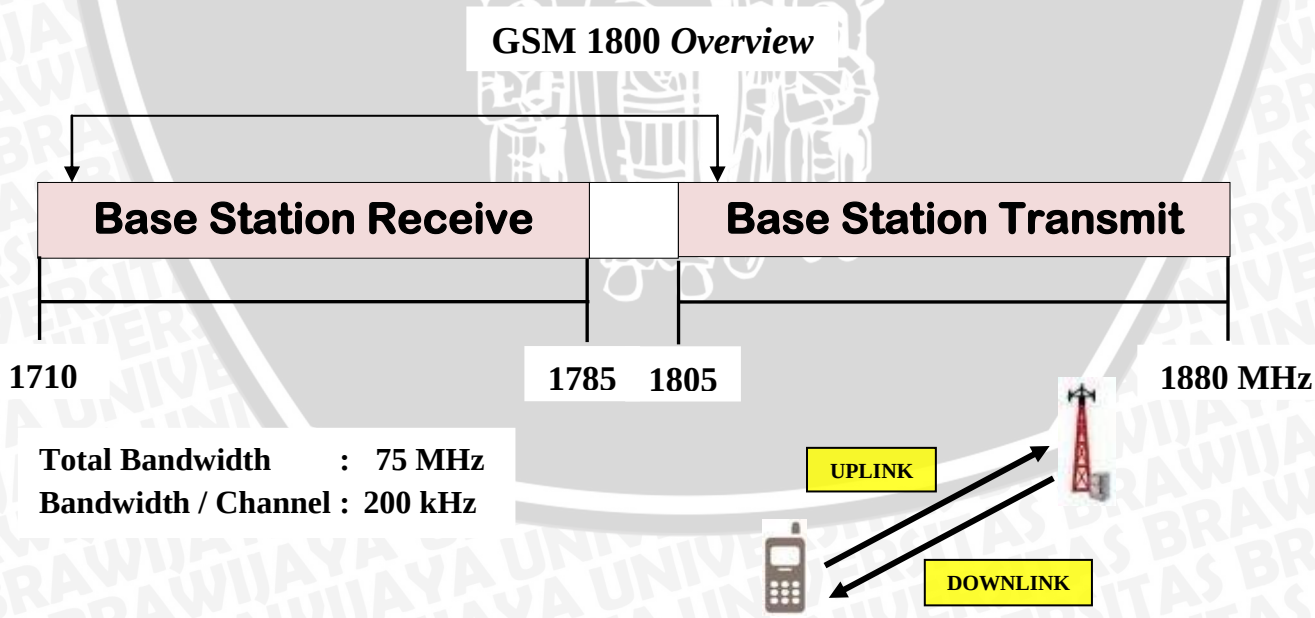
Sistematika penulisan dalam penyusunan skripsi terdiri atas enam bab. Bab I yaitu pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan. Dasar teori yang memuat teori parameter dasar antena dan teori dasar yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan antena *microstrip* diuraikan dalam bab II. Metodologi yang berisi tahapan penyelesaian skripsi yang meliputi studi literatur, perancangan dan pembuatan, pengujian, pengambilan data, dan analisis serta pengambilan kesimpulan akan dijelaskan pada bab III. Bab IV yaitu perancangan dan pembuatan antena *microstrip circular array*, memuat proses perancangan, simulasi dan pembuatan antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang. Pengujian dan analisis yang memuat langkah-langkah pengujian, hasil pengujian serta analisis berdasarkan hasil pengujian diuraikan dalam bab V. Bab VI yaitu penutup, berisi kesimpulan dan saran berdasarkan yang telah dicapai dalam penyelesaian skripsi.

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Gambaran Umum

Antena merupakan instrumen yang penting dalam suatu sistem komunikasi radio. Antena adalah suatu media peralihan antara ruang bebas dengan piranti pemandu (dapat berupa kabel koaksial atau pemandu gelombang/*waveguide*) yang digunakan untuk menggerakkan energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena atau dari antena ke penerima. Berdasarkan hal ini maka antena dibedakan menjadi antena pemancar dan antena penerima (Balanis, 1982 : 17).

Antena yang akan dirancang dalam skripsi ini digunakan untuk aplikasi GSM (*Global System for Mobile Communication*) yang merupakan sebuah teknologi komunikasi selular yang bersifat digital. Teknologi GSM banyak diterapkan pada komunikasi bergerak, khususnya telepon selular (*handphone*). Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu, sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai pada tujuan. GSM dijadikan standar global untuk komunikasi selular sekaligus sebagai teknologi selular yang paling banyak digunakan orang di seluruh dunia.



Gambar 2.1 GSM 1800 *Overview*
Sumber : [www.google.com/ Low Profile Integrated GPS and Cellular Antenna.pdf]

Spesifikasi lengkap mengenai GSM 900, GSM 1800, dan GSM 1900 dapat dilihat di tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi GSM 900, GSM 1800, dan GSM 1900

	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Frekuensi Tx (MHz)	**935 – 960**	**1805 - 1880**	**1930 -1990**
Frekuensi Rx (MHz)	**890 – 915**	**1710 -1785**	**1850 – 1910**
Metode *Multiple Access*	**TDMA/FDMA**	**TDMA/FDMA**	**TDMA/FDMA**
Modulasi	**0.3 GMSK**	**0.3 GMSK**	**0.3 GMSK**
Lebar per Kanal	**200 kHz**	**200 kHz**	**200 kHz**
Jumlah maksimum Kanal (*User*)	**8**	**8**	**8**
Jumlah Kanal Radio	**125**	**375**	**300**
Kecepatan Transmisi	**270 kbps**	**270 kbps**	**270 kbps**
Bandwidth	**25 MHz**	**75 MHz**	**60 MHz**
Duplex Distance	**45 MHz**	**95 MHz**	**80 MHz**

Sumber : www.google.com

Perancangan antena yang baik adalah ketika antena dapat mentransmisikan energi atau daya maksimum dalam arah yang diharapkan oleh penerima. Meskipun pada kenyataannya terdapat rugi-rugi yang terjadi ketika penjalaran gelombang seperti rugi-rugi pada saluran transmisi dan terjadi kondisi tidak *matching* antara saluran transmisi dan antena. Sehingga *matching* impedansi juga merupakan salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam perancangan sebuah antena.

Pada bab ini akan dibahas beberapa teori penunjang untuk perencanaan dan pembuatan antena *microstrip array*, teori dasar dan parameter dasar antena yang akan dihitung dan diukur. Parameter-parameter dasar tersebut meliputi impedansi terminal, polarisasi, pola radiasi, keterarahan, *gain*, *VSWR*, *return loss* (RL), dan *bandwidth.*

2.2 Parameter-parameter Antena

Parameter-parameter antena adalah suatu hal yang sangat penting untuk menjelaskan unjuk kerja suatu antena. Berkaitan dengan penulisan skripsi ini, diperlukan beberapa parameter antena yang akan memberi informasi unjuk kerja suatu antena.

2.2.1 Impedansi Terminal Antena

Impedansi terminal antena perlu diketahui, hal ini untuk keperluan pemindahan daya dari atau menuju antena. Secara umum impedansi terminal antena didefinisikan sebagai impedansi yang ditimbulkan antena pada terminalnya, dapat dituliskan (Balanis, 1982) :

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{2-1}$$

dengan :

Z_A = Impedansi terminal antena (Ω)

R_A = Resistansi terminal antena (Ω)

X_A = Reaktansi terminal antena (Ω)

Daya total yang disuplai ke antena adalah (Balanis, 1982) :

$$P_{in} = I^2 \cdot R_A \tag{2-2}$$

Dengan daya yang dipancarkan :

$$P_{rad} = I^2 \cdot R_{rad} \tag{2-3}$$

dengan :

P_{in} = daya *input* antena (*watt*)

I = arus rms pada terminal antena (*ampere*)

P_{rad} = daya yang diradiasikan antena (*watt*)

Impedansi antena juga dapat diperoleh dari koefisien pantul dengan persamaan sebagai berikut (Edgar Hund, 1989 : 44) :

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \right| \tag{2-4}$$

sehingga diperoleh:

$$Z_{ant} = Z_c \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right) \tag{2-5}$$

dengan :

Z_{ant} = impedansi antena (Ω)

Z_c = impedansi karakteristik (Ω)

Γ = koefisien pantul

2.2.2 Polarisasi

Suatu medan elektromagnetik terdiri atas medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain. Energi dari medan elektromagnetik mengalir bolak-balik dari satu medan ke medan lainnya dengan cara berosilasi. Fenomena ini disebut polarisasi. Polarisasi gelombang teradiasi merupakan sifat gelombang elektromagnet yang menggambarkan vektor medan elektrik yang arahnya berubah terhadap waktu dan besaran relatif dari vektor medan elektrik tersebut.

Polarisasi suatu antena dalam arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi gelombang yang diradiasikan oleh antena. Ketika arahnya tidak diberitahukan, maka polarisasi yang dianggap adalah polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada kenyataannya polarisasi dari energi radiasi bervariasi dengan arah dari pusat antena, sehingga bagian pola yang berbeda mungkin mempunyai polarisasi yang berbeda. Terdapat tiga tipe polarisasi yaitu polarisasi linier, *circular* (lingkaran) dan elips. Polarisasi linier ditentukan oleh posisi dan arah medan elektrik terhadap *ground* atau permukaan bumi sebagai acuan. Ketika medan elektrik sejajar dengan *ground*, maka disebut polarisasi *horizontal* dan disebut polarisasi vertikal apabila tegak lurus dengan *ground*.

2.2.2.1 Polarisasi Linier

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi linier apabila vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik selalu diorientasikan sepanjang garis lurus yang sama pada setiap waktu sesaat. Sebagaimana pada Gambar 2.2, kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki (Balanis, 1997 : 68) :

a. Hanya satu komponen, atau
b. Dua komponen *orthogonal linear* yang sefasa dalam waktu atau berbeda fasa sebesar 180^o (atau kelipatannya).

(a) (b)

Gambar 2.2 a) Polarisasi Linier Vertikal
b) Polarisasi Linier Horizontal
Sumber : Punit, 2004 : 21

2.2.2.2 Polarisasi Lingkaran

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi lingkaran apabila vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk suatu lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki (Balanis, 1997 : 68) :

a. Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
b. Kedua komponen harus mempunyai besaran yang sama, dan
c. Kedua komponen harus mempunyai perbedaan fasa sebesar perkalian ganjil dari 90^o dalam waktu.

Penentuan arah rotasi selalu ditentukan dengan merotasi komponen yang fasanya mendahului terhadap komponen yang tertinggal fasa dan mengamati rotasi medan seolah-olah gelombang tersebut terlihat bergerak menjauh dari pengamat. Jika rotasinya searah jarum jam, maka gelombang terpolarisasi sirkular sesuai kaidah tangan kanan; jika rotasinya berlawanan arah jarum jam, maka gelombang terpolarisasi *circular* menurut kaidah tangan kiri. Rotasi komponen mendahului fasa terhadap komponen tertinggal fasa harus dilakukan sepanjang pemisahan sudut diantara dua komponen yang kurang dari 180^o. Fasa yang lebih besar atau sama dengan 0^o dan kurang dari 180^o akan dianggap mendahului sedangkan yang lebih besar dari atau sama dengan 180^o dan kurang dari 360^o akan dianggap tertinggal. Hal ini dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.3.

(a) (b)

Gambar 2.3 a) *Right Hand Circular Polarization*
b) *Left Hand Circular Polarization*
Sumber : Punit, 2004 : 21

2.2.2.3 Polarisasi Elips

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi elips apabila ujung vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk kedudukan elips dalam ruang. Pada variasi waktu sesaat, medan vektor berubah secara kontinyu seiring waktu dengan cara yang sama untuk menggambarkan tempat kedudukan elips. Arah rotasi ditentukan dengan menggunakan aturan yang sama seperti halnya pada polarisasi lingkaran. Sebagai tambahan untuk mengetahui arah rotasi, gelombang yang terpolarisasi elips juga dinyatakan dengan rasio aksial (*axial ratio*) yang besarnya merupakan perbandingan sumbu *mayor* terhadap sumbu *minor*-nya. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki (Balanis, 1997 : 69) :

a. Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
b. Kedua komponen dapat memiliki besaran yang sama atau berbeda.
c. (1) Jika keduanya memiliki besaran yang berbeda, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh 0^o atau perkalian 180^o (karena akan bersifat linier).
   (2) Jika kedua komponen memiliki besaran yang sama, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh kelipatan bilangan ganjil dari 90^o (karena akan bersifat *circular*).

2.2.3 Pola Radiasi

Karakteristik antena seperti *beamwidth* dan *Front to Back Ratio* (F/B) akan lebih mudah ditentukan bila diketahui bentuk pola radiasinya. Pola radiasi antena didefinisikan gambaran secara grafis sifat-sifat radiasi medan jauh dari antena

sebagai fungsi koordinat ruang (tiga dimensi). Sifat-sifat radiasi ini meliputi intensitas radiasi, kuat medan, dan polarisasi (Balanis, 1982).

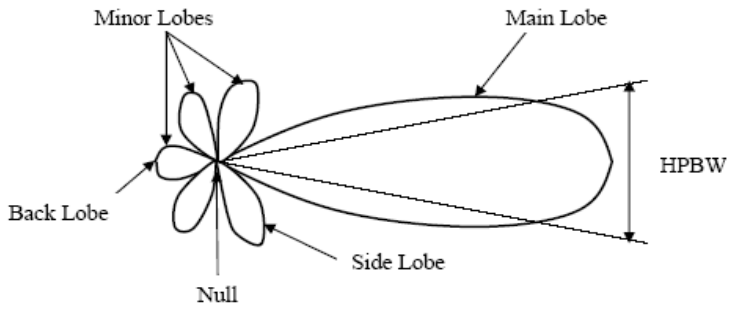
Pola radiasi terjadi karena arus listrik dalam suatu kawat selalu dikelilingi oleh medan magnetis. Arus listrik bolak-balik (*alternating current*) menyebabkan muatan-muatan listrik bebas dalam kawat akan mendapat percepatan, sehingga timbul suatu medan elektromagnetik bolak-balik yang akan berjalan menjauhi antena dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan terbentuklah medan elektromagnetik.

2.2.3.1 Pola *Isotropic, Directional, dan Omnidirectional*

Berdasarkan pola radiasinya, antena terbagi atas beberapa jenis, yaitu antena dengan pola radiasi *isotropic, directional, dan omnidirectional*. Radiator isotropis didefinisikan sebagai hipotesis antena tanpa rugi yang mempunyai radiasi sebanding dalam semua arah. Meskipun pola seperti ini adalah pola ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan, namun seringkali dijadikan acuan untuk menyatakan sifat keterarahan suatu antena. Antena *directional* adalah antena yang mempunyai sifat radiasi atau penerimaan gelombang EM yang lebih efektif pada suatu arah tertentu dibandingkan arah lainnya. Sedangkan antena *omnidirectional* adalah antena yang mempunyai pola *directional* pada suatu bidang tertentu dan pola *non-directional* pada bidang tegak lurus lainnya.

2.2.3.2 *Lobe* Pola Radiasi dan *Beamwidth*

Lebar berkas ½ daya (*half power beamwidth* / HPBW) adalah lebar sudut pada 3 dB dibawah maksimum. Untuk menyatakan lebar berkas biasanya dalam satuan derajat. Pada Gambar 2.4 tampak pola radiasi yang terdiri dari *lobe-lobe* radiasi yang meliputi *main lobe* dan *minor lobe* (*side lobe*). *Main lobe* adalah *lobe* radiasi yang mempunyai arah radiasi maksimum. Sedangkan *minor lobe* adalah radiasi pada arah lain yang sebenarnya tidak diinginkan (Stutzman, 1981: 29).



Gambar 2.4 *Lobe-lobe* pola radiasi
Sumber : Balanis, 1982 : 21

Pola radiasi antena dapat dihitung dengan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu. Maka pola radiasi (*P*) dinyatakan (Balanis, 1982) :

$$P(dB) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_T}(dB) \quad (2\text{-}6)$$

$$P(dB) = 10 \cdot \log P_o - 10 \cdot \log P_T \quad (2\text{-}7)$$

dengan :

P = intensitas radiasi antena pada sudut tertentu (*dB*)

P_o = daya yang diterima antena pada sudut 0^o (*watt*)

P_T = daya yang diterima antena pada sudut tertentu (*watt*)

Sebagian besar antena dirancang untuk mengkonsentrasikan energi pada satu arah tertentu. Ukuran konsentrasi pada *main lobe* tersebut dinamakan *beamwidth*. *Half Power Beamwidth* (HPBW) didefinisikan sebagai sudut antara titik-titik di mana pada titik tersebut pancaran utama dari pola daya adalah setengah daya maksimum. *Beam area* adalah sudut solid dari daya yang diradiasikan antena, yang terdiri dari *main beam area* dan *minor-lobe beam area* dengan rumusan sebagai berikut (Kraus, 1988):

$$\Omega_A \approx \Omega_M + \Omega_m \quad (steradian) \quad (2\text{-}8)$$

dengan :

Ω_A = *beam area* (steradian) atau (radian^2) atau (derajat^2)

Ω_M = *main beam area* (steradian) atau (radian^2) atau (derajat^2)

Ω_m = *minor-lobe beam area* (steradian) atau (radian^2) atau (derajat^2)

dengan mengabaikan *minor lobe*, maka diperoleh : (Kraus, 1988 : 25)

$$\Omega_A \approx \theta_{HP}.\phi_{HP} \quad (steradian) \tag{2-9}$$

atau

$$\Omega_A \approx 3283 \times \theta^o{}_{HP}.\phi^o{}_{HP} (derajat^2) \tag{2-10}$$

dengan:

θ_{HP} = *half-power beam width* pada bidang θ (radian)

ϕ_{HP} = *half-power beam width* pada bidang ϕ (radian)

$\theta^o{}_{HP}$ = *half-power beam width* pada bidang θ (derajat)

$\phi^o{}_{HP}$ = *half-power beam width* pada bidang ϕ (derajat)

Ω_A = *beam area* (steradian) atau (radian^2) atau (derajat^2)

Nilai *F/B* suatu antena merupakan perbandingan daya pada arah pancar terbesar yang dikehendaki (*main lobe*) dengan daya pada arah pancar yang berlawanan dengan *main lobe* (*minor lobe*), sehingga nilai *F/B* adalah:

$$\frac{F}{B} = \frac{P_m}{P_l} \tag{2-11}$$

F/B (dB) = P_m(dBm) – P_l(dBm)

dengan :

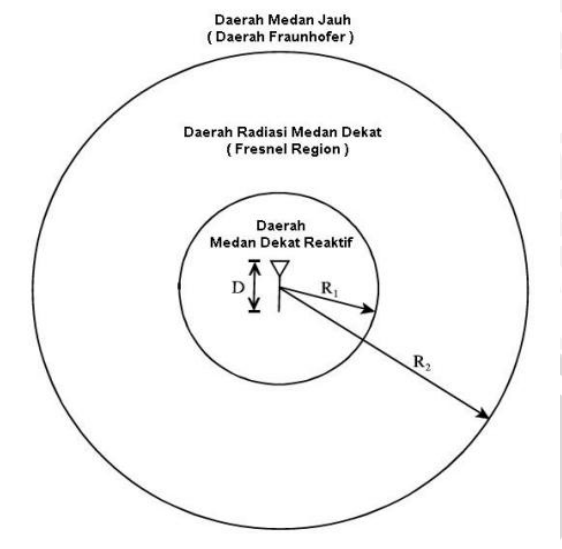
F/B = *Front to Back ratio* (dB)

P_m = daya puncak *main lobe* (dBm)

P_l = daya puncak *back lobe* (dBm)

2.2.3.3 Daerah Medan Radiasi

Daerah medan radiasi suatu antena adalah daerah di mana radiasi antena tersebut masih dapat diterima dengan baik. Daerah medan radiasi ini disebut juga jangkauan sinyal dari suatu antena sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena
Sumber : Balanis, 1982 : 22

dengan $R_1 = 0{,}62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$,

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda}$$

R_1 dan R_2 = jarak medan radiasi (m)

Daerah medan radiasi terbagi menjadi tiga, yaitu :

- *Reactive Near-Field Region* (Daerah Medan Dekat Reaktif)

  Daerah medan dekat reaktif adalah daerah medan yang berada di sekitar antena dimana medan reaktif sangat mendominasi.

  Batas daerah ini:

$$R < 0{,}62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \qquad (2\text{-}12)$$

- *Radiating Near-Field (Fresnel) Region*

  Daerah radiasi medan dekat adalah daerah medan di antara *reactive near field regione* dan *far field region.* Pada daerah ini, medan radiasi sangat berpengaruh dan distribusi medan sudut (*angular field distribution*) bergantung pada jarak dari antena.

  Batas daerah ini:

$$0{,}62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq \text{daerah } Fresnel < \frac{2D^2}{\lambda} \qquad (2\text{-}13)$$

- *Far-Field (Fraunhofer) Region*

Daerah medan jauh (*far field region*) adalah daerah medan antena dengan distribusi medan sudut sangat tidak bergantung pada jarak dari antena.

Batas daerah ini :

$$\frac{2D^2}{\lambda} \leq R < \infty \qquad (2\text{-}14)$$

dengan R = jarak medan radiasi (m)

λ = panjang gelombang (m)

D = dimensi antena (m)

Pola medan pada daerah ini mempunyai komponen-komponen medan saling tegak lurus. Batas maksimum daerah medan jauh ini tak terhingga.

2.2.4 Keterarahan (*Directivity*)

Directivity sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum antena terhadap intensitas radiasi sumber isotropis. Dalam bentuk matematis dinyatakan sebagai : (Balanis, 1982 : 29)

$$D = \frac{U_{mak}}{U_0} = \frac{4\pi\, U_{mak}}{P_{rad}} \qquad (2\text{-}15)$$

dengan :

D = *directivity* (tanpa dimensi)

U_{mak} = intensitas radiasi maksimum (watt/steradian)

U_0 = intensitas radiasi sumber isotropis (watt/steradian)

P_{rad} = daya radiasi total (watt)

Nilai keterarahan sebuah antena dapat diketahui dari pola radiasi antena tersebut, semakin sempit *main lobe* maka keterarahannya semakin baik dibandingkan dengan *main lobe* yang lebih lebar. Nilai keterarahan jika dilihat dari pola radiasi sebuah antena adalah sebagai berikut (Balanis, 1982 : 20) :

$$D = \frac{4\pi_{(steradian)}}{\theta.\phi_{(radian^2)}} \qquad (2\text{-}16)$$

1 steradian = 1 radian^2

$$= \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2)$$

sehingga,

$$D \approx \frac{4\pi\left(\frac{180}{\pi}\right)^{2}_{(derajat^2)}}{\theta^{o}_{HP}\phi^{o}_{HP(derajat^2)}} \approx \frac{41000}{\theta^{o}_{HP}\phi^{o}_{HP}} \quad (2\text{-}17)$$

dengan :

D = *directivity*

θ = *beamwidth* pada pola radiasi vertikal (rad)

ϕ = *beamwidth* pada pola radiasi horizontal (rad)

θ^{o}_{HP} = *beamwidth* pada pola radiasi vertikal (derajat)

ϕ^{o}_{HP} = *beamwidth* pada pola radiasi horizontal (derajat)

Besarnya nilai keterarahan (*directivity*) dalam *decibel* (dB) ditunjukkan oleh persamaan berikut.

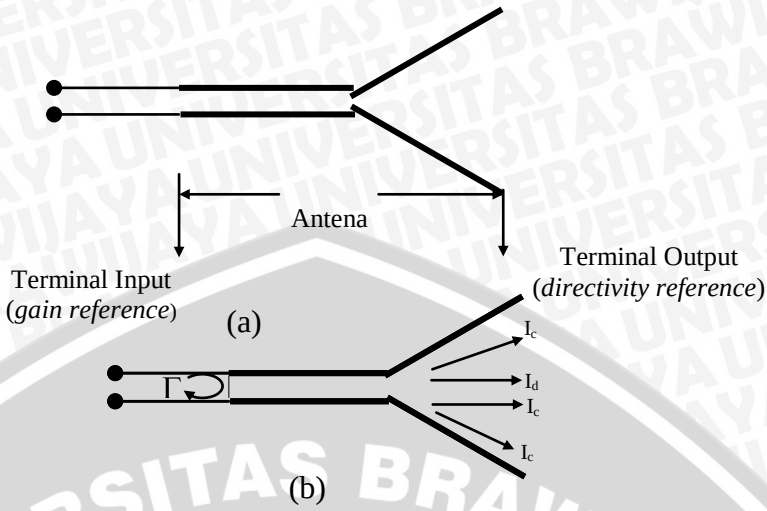
$$D_{(dB)} = 10\log\frac{41000}{\theta^{o}_{HP}\phi^{o}_{HP}} \quad (2\text{-}18)$$

dengan :

$D_{(dB)}$ = keterarahan *(directivity*) (dB)

2.2.5 Penguatan (*Gain*) Antena

Salah satu pengukuran yang penting untuk menggambarkan unjuk kerja suatu antena adalah *gain* (penguatan). Walaupun *gain* antena erat kaitannya dengan *directivity*, *gain* adalah pengukuran yang memperhitungkan efisiensi antena maupun keterarahannya.



Gambar 2.6 Terminal Referensi dan Rugi-rugi Antena
Sumber : Balanis, 1997 : 59

Penguatan antena dalam arah yang ditentukan didefinisikan sebagai 4π dikalikan dengan perbandingan dari intensitas radiasi dengan daya total yang diterima antena dari pemancar yang terhubung kepadanya. Dalam bentuk matematis dinyatakan sebagai : (Balanis, 1982 : 43)

$$G(\theta,\phi) = 4\pi \frac{U(\theta,\phi)}{P_{in}} \qquad (2\text{-}19)$$

dengan :

$G(\theta,\phi)$ = *gain* (tanpa dimensi)

$U(\theta,\phi)$ = intensitas radiasi pada arah (θ,ϕ) (watt/steradian)

P_{in} = daya masukan total yang diterima antena (watt)

Besarnya penguatan maksimum adalah :

$$G_{mak} = 4\pi \frac{U_{mak}}{P_{in}} \qquad \text{(tanpa dimensi)} \qquad (2\text{-}20)$$

Dalam keadaan praktis, tidak semua daya input P_{in} yang diterima antena diradiasikan karena ada faktor kerugian daya misalnya redaman kabel, impedansi tidak sesuai dengan impedansi karakteristik saluran. Bila besarnya daya yang diradiasikan adalah P_{rad}, maka efisiensi radiasinya adalah :

$$e = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \qquad (2\text{-}21)$$

dengan :

e = faktor efisiensi $(0 \leq e \leq 1)$ (tanpa dimensi)

Dengan memasukkan persamaan (2-15) dan persamaan (2-20) ke persamaan (2-21) didapat harga G_{mak} yang dinyatakan dalam *directivity*, yaitu :

$$G_{mak} = eD \quad \text{(tanpa dimensi)} \tag{2-22}$$

Penguatan dalam *decibel* (dB) dirumuskan sebagai :

$$G_{mak}(dB) = 10\log(eD) \tag{2-23}$$

Pada praktiknya pengukuran *gain* dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan (*Gain-comparison Method*) atau *gain transfer mode*. Prinsip pengukuran ini adalah dengan menggunakan antena referensi (biasanya antena *dipole* standar) yang sudah diketahui besarnya nilai *gain* (Stutzman, 1981: 39). Sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis adalah :

$$G = G_{ref}\, x \frac{P_U}{P_R} \tag{2-24}$$

$$G = 1{,}64\, x \frac{P_U}{P_R} \tag{2-25}$$

$$G(dB) = 10\log 1{,}64\, x \frac{P_U}{P_R} \tag{2-26}$$

$$G = 2{,}15 + P_U(dBm) - P_R(dBm) \tag{2-27}$$

dengan

G = *gain* antena uji (*dB*)

G_{ref} = *gain* antena referensi (*dB*)

P_U = daya yang diterima antena uji (*dBm*)

P_R = daya yang diterima antena referensi (*dBm*)

2.2.6 *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR suatu antena merupakan perbandingan antara jumlah tegangan datang dan tegangan pantul dengan selisih antara tegangan datang dan tegangan pantul. Nilai *VSWR* dapat diperoleh dari koefisien pantul dengan persamaan : (Edgar Hund, 1989 : 43)

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2\text{-}28)$$

dengan Γ dapat diperoleh dari persamaan :

$$P_r = \Gamma^2 \cdot P_{out} \quad (2\text{-}29)$$

$$\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_{out}} \quad (2\text{-}30)$$

dengan :

Γ = koefisien pantul

P_r = daya terpantul (*watt*)

P_{out} = daya keluaran (*watt*)

2.2.7 *Return Loss* (RL)

Return loss adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. *Return loss* adalah parameter seperti *VSWR* yang menentukan *matching* antara antena penerima dan *transmitter*.

Koefisien pantul (*reflection coefficient*) adalah perbandingan antara tegangan pantul dengan tegangan datang (*forward voltage*). Antena yang baik akan mempunyai nilai *return loss* dibawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap, dan 10%-nya terpantulkan kembali. Koefisien pantul dan *return loss* didefinisikan sebagai (Punit, 2004 : 19) :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (2\text{-}31)$$

$$RL = -20 \cdot \log \Gamma \quad (dB) \quad (2\text{-}32)$$

dengan :

Γ = koefisien pantul

V_r = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*) (volt)

V_i = tegangan gelombang datang (*incident wave*) (volt)

RL = *return loss* (dB)

Untuk *matching* sempurna antara antena pemancar dan antena penerima, maka nilai Γ = 0 dan RL = ~ yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika Γ = 1 dan RL = 0 dB maka semua daya akan dipantulkan.

2.2.8 Lebar Pita (*Bandwidth*)

Bandwidth antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi antena dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Untuk *broadband* antena, *bandwidth* dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*). Sedangkan untuk *narrowband* antena, maka *bandwidth* antena dinyatakan sebagai persentase dari selisih frekuensi di atas frekuensi tengah dari lebar bidang (Balanis, 1982 : 47).

Untuk persamaan *bandwidth* dalam persen (B_p) atau sebagai rasio *bandwidth* (B_r) dinyatakan sebagai (Punit, 2004 : 22) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2\text{-}33)$$

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (2\text{-}34)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2\text{-}35)$$

dengan :

B_p = *bandwidth* dalam persen (%)

B_r = *bandwidth* rasio

f_u = frekuensi atas (Hz)

f_l = frekuensi bawah (Hz)

2.3 Antena *Microstrip*

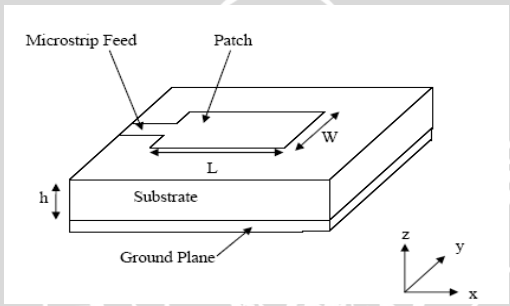
Antena *microstrip* adalah antena yang terdiri atas elemen radiasi (konduktor) yang sangat tipis yang diletakkan di bidang pentanahan (*ground plane*), dimana antara bidang tersebut dengan elemen radiasi (konduktor) dipisahkan oleh substrat dielektrik. Antena *microstrip* bekerja pada alokasi frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz). Karena antena *microstrip* dapat bekerja pada frekuensi UHF, maka dapat digunakan

sebagai alternatif antena penerima *broadcast* TV UHF maupun dalam sistem telepon selular sebagai antena pemancar dan penerima.

2.3.1 Bentuk Umum Antena *Microstrip*

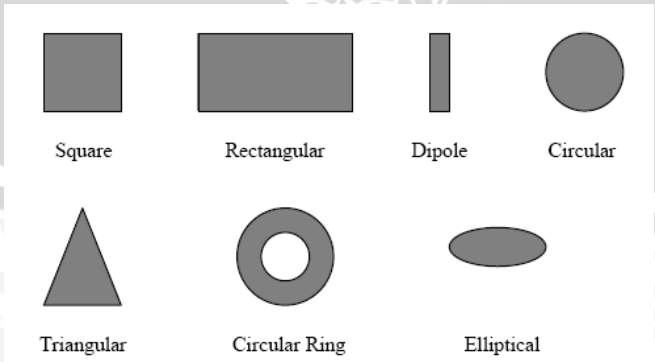
Antena *microstrip* adalah antena yang terdiri dari lapisan peradiasi (*patch*) yang di*ground*kan. *Patch* bisa memiliki berbagai macam bentuk seperti lingkaran, segitiga, kotak atau persegi panjang. Kelebihan antena ini adalah pada segi fisik yang kecil dan ringan.

Dalam berbagai bentuk pada umumnya antena *microstrip* tersusun atas *patch* atau bidang radiasi pada satu sisi dan sisi lain adalah bidang pentanahan (*ground plane*) yang dibatasi oleh substrat tertentu dengan nilai permitivitas tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Struktur Antena *Microstrip*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 40

Antena *microstrip* mempunyai berbagai macam bentuk geometri dalam perancangan biasanya digunakan bentuk-bentuk yang sederhana seperti terdapat dalam Gambar 2.8.

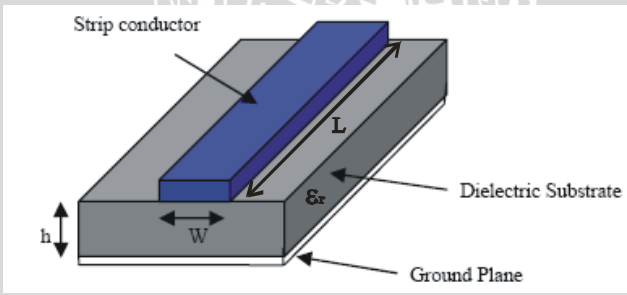


Gambar 2.8 Macam-macam Bentuk Elemen *Microstrip*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 32

Setiap substrat memiliki nilai konstanta dielektrik (ε_r) yang berkisar antara $2{,}2 \leq \varepsilon_r \leq 12$. Untuk performansi antena, pemilihan substrat sangat berpengaruh. Semakin tebal substrat yang digunakan, maka konstanta dielektriknya kecil sehingga *bandwidth* juga akan semakin lebar, tetapi dimensi (lebar) saluran transmisi akan bertambah besar, begitu pula sebaliknya.

2.3.2 Saluran Transmisi *Microstrip*

Saluran transmisi *microstrip* adalah saluran yang digunakan untuk menghubungkan *patch* dengan *feed coaxial*. Antena *microstrip* termasuk jenis antena yang dibentuk dari suatu saluran transmisi. *Microstrip* adalah suatu lapisan konduktor dari tembaga (*metalic strip*) yang sangat tipis, berfungsi untuk merambatkan gelombang, lapisan ini terdapat pada salah satu sisi permukaan substrat dielektrik dan pada permukaan sisi lainnya juga dilapisi konduktor yang berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*) (Liao, 1987 : 142). Lapisan konduktor tembaga yang terletak di atas substrat dielektrik adalah berfungsi sebagai elemen peradiasi (*radiating element*). Struktur dasar saluran *microstrip* terdiri atas panjang strip konduktor *L*, lebar strip konduktor *W*, tinggi substrat dielektrik *h*, dan tebal strip konduktor mikrostrip *t* dengan konstanta permitivitas dielektrik relatif ε_r sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur Dasar Saluran Transmisi *Microstrip*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 39

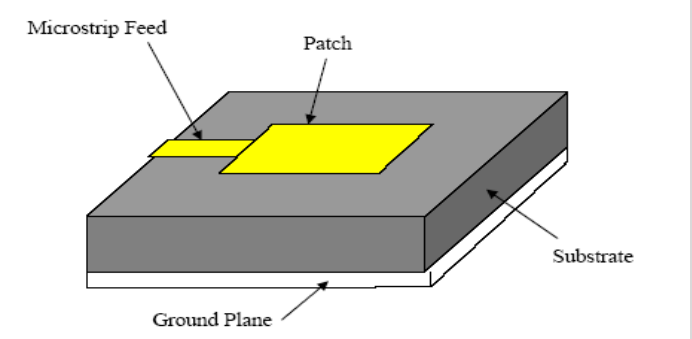
2.3.3 Teknik Pencatuan Antena *Microstrip*

Teknik *feed* atau pencatuan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antara antena *microstrip* dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena *microstrip*. Secara mendasar ada dua cara yaitu dengan kontak langsung maupun kontak tidak langsung

atau tidak bersentuhan. Kontak langsung dilakukan dengan menghubungkan secara langsung saluran *microstrip* dengan elemen *patch* atau saluran transmisi. Sedangkan hubungan kontak tidak langsung menggunakan metode kopel medan listrik untuk mentransfer daya dari saluran ke bagian peradiasi. Ada 4 cara yang biasanya digunakan pada pencatuan antena *microstrip* yaitu *microstrip line, coaxial feed, aperture coupling dan proximity coupling.*

2.3.3.1 *Microstrip Line Feed*

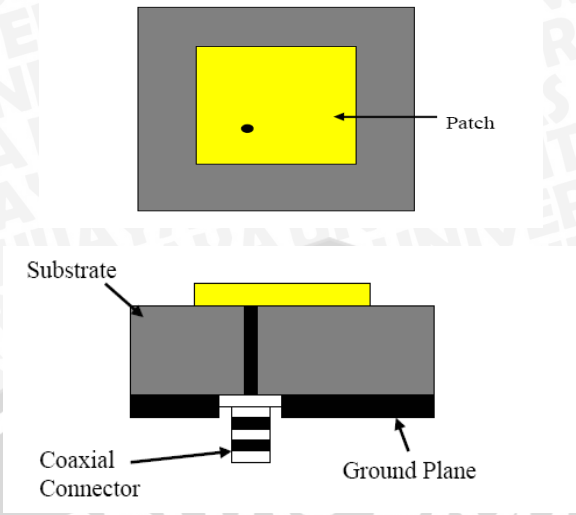
Pada tipe pencatuan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian samping *patch microstrip*. Lebar *strip* konduktor lebih kecil daripada elemen peradiasi antena *microstrip*, dengan mengatur posisi strip konduktor maka impedansi *matching* antena dapat diperoleh tanpa tambahan rangkaian impedansi *matching.*



Gambar 2.10 *Microstrp Line Feed*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004: 34

2.3.3.2 *Coaxial Feed*

Coaxial feed atau *probe feed* adalah teknik yang umum digunakan pada pencatuan antena. Seperti terlihat pada Gambar 2.11 konduktor bagian dalam dari kabel *coaxial* dihubungkan dengan elemen peradiasi dan konduktor bagian luar dari kabel *coaxial* dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).

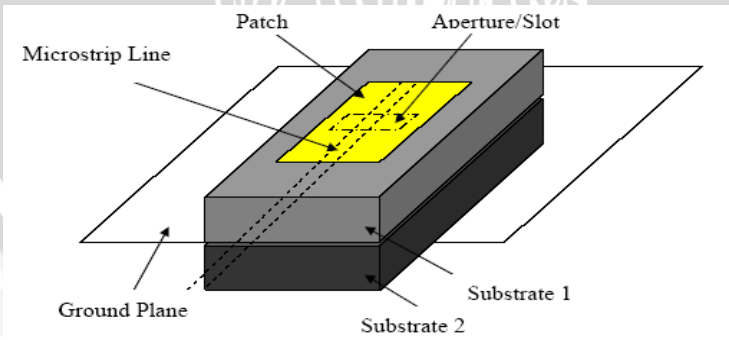


Gambar 2.11 Metode *Coaxial Feed*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 35

Kelebihan dari metode ini adalah pencatuan dapat diletakkan pada letak yang diinginkan untuk mendapatkan *matching* impedansi dari antena. Metode ini mudah dalam pembuatan tetapi mempunyai kelemahan yaitu *bandwidth* antena yang sempit.

2.3.3.3 *Aperture Coupling*

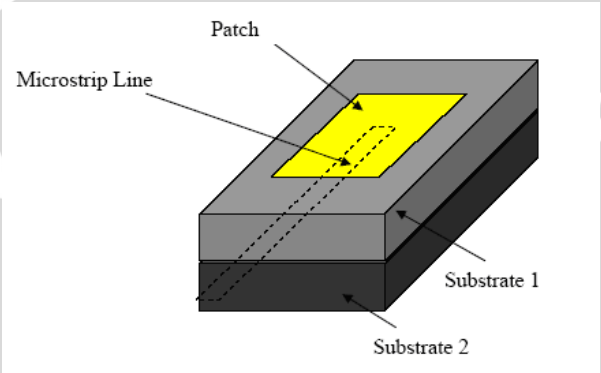
Pada tipe pencatuan ini elemen peradiasi dan bagian pencatu terpisah dengan bidang pentanahan (*ground plane*) seperti pada Gambar 2.12. *Coupling* antara elemen peradiasi antena (*patch*) dan saluran pencatu (*line feed*) dibuat melalui *slot* atau *aperture*. Untuk mengoptimalkan radiasi antara elemen peradiasi dengan saluran pencatu maka dapat digunakan substrat yang berbeda.



Gambar 2.12 *Aperture Coupling Feed*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 36

2.3.3.4 *Proximity Coupling*

Metode ini disebut juga *coupling* elektromagnetik, seperti pada Gambar 2.13 terdapat dua bahan substrat dengan meletakkan saluran pencatu di antara kedua substrat dan bagian elemen peradiasi pada substrat bagian atas. Kelebihan dari metode ini adalah *bandwidth* yang lebih lebar dari pada teknik pencatuan yang lain. Untuk optimasi antena dapat digunakan bahan substrat yang berbeda. *Matching* dapat diperoleh dengan mengatur panjang saluran pencatu dan perbandingan lebar saluran pencatu dengan lebar elemen peradiasi.



Gambar 2.13 *Proximity Coupling Feed*
Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 37

2.4 Dimensi Antena *Microstrip*

Model analisis yang paling populer digunakan adalah model saluran transmisi, model *cavity*, model gelombang penuh (momen, FDTD). Model saluran transmisi adalah model paling sederhana yang memberikan gambaran fisik yang akan digunakan dengan ketelitian yang baik.

Pada model saluran transmisi, antena *microstrip* sebagai perangkat yang memiliki tiga bagian yaitu lebar (*W*), tinggi (*h*), dan panjang saluran transmisi (*L*). *Microstrip* merupakan saluran transmisi yang nonhomogen dan terdiri dari 2 dielektrik yaitu substrat dan udara.

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi kerja (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang di ruang bebas (λ_0), dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \text{ (m)} \qquad (2\text{-}36)$$

Setelah nilai λ_0 diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (m)} \quad (2\text{-}37)$$

2.4.1 Radius Antena *Microstrip Circular* (*a*)

Radius elemen peradiasi *circular* diperoleh dengan menggunakan rumus (Balanis, 1997 : 755) :

$$a = \frac{F}{\left\{1+\frac{2h}{\pi\varepsilon_r F}\left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right)+1{,}7726\right]\right\}^{1/2}} \quad (2\text{-}38)$$

dengan:

a = dimensi radius *circular* (cm)

h = ketebalan substrat (mm)

ε_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

F = fungsi logaritmik elemen peradiasi

Sedangkan fungsi logaritmik dari elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan : (Balanis, 1997 : 755)

$$F = \frac{8{,}791\times 10^9}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2\text{-}39)$$

dengan:

f_r = frekuensi kerja antena (MHz)

ε_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

2.4.2 Impedansi *Matching*

Impedansi masukan tiap elemen peradiasi harus ada kesesuaian dengan impedansi saluran transmisi agar sinyal yang diterima akan maksimum, penyesuaian ini menggunakan impedansi *transformer* ¼ λ dengan persamaan :

$$Z_T = \sqrt{Z_o.Z_L} \quad (2\text{-}40)$$

dengan:

Z_T = impedansi *transformer* (Ω)

Z_0 = impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω)

Z_L = impedansi beban (Ω)

2.4.3 Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi lebar saluran transmisi *microstrip* digunakan persamaan di bawah ini (Liao, 1987 : 140) :

$$W_0 = \frac{\eta}{Z_o} x \frac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (mm)} \qquad (2\text{-}41)$$

dengan :

W_o = lebar saluran transmisi (mm)

η = impedansi karakteristik ruang bebas (120π Ω = 377 Ω)

h = ketebalan substrat (mm)

Z_0 = impedansi karakteristik (Ω)

ε_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

2.4.4 Dimensi Saluran *Transformer*

Untuk menghitung dimensi saluran *transformer microstrip* digunakan persamaan di bawah ini :

$$W_T = \frac{\eta}{Z_T} x \frac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (mm)} \qquad (2\text{-}42)$$

dengan :

W_T = lebar saluran *transformer* (mm)

η = impedansi karakteristik ruang bebas (120π Ω = 377 Ω)

h = ketebalan substrat (mm)

Z_T = impedansi *transformer* (Ω)

ε_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

Karena menggunakan *transformer* ¼ λ, maka panjang *transformer* dapat dicari dengan persamaan (Astoto, 2004 : 23) :

$$L_t = \frac{1}{4}\lambda_d \text{ (mm)} \qquad (2\text{-}43)$$

dengan :

L_t = panjang *transformer* (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* (mm)

2.4.5 Jarak antar Elemen

Jarak antar elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan berikut (Johan L, 2002 : 24) :

$$r \geq 0{,}6\lambda_d \text{ (mm)} \qquad (2\text{-}44)$$

dengan :

r = jarak antar elemen peradiasi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* (mm)

2.5 Antena *Array*

Desain antena dengan penguatan yang tinggi sangat diperlukan untuk komunikasi jarak jauh. Salah satu cara yang lebih praktis adalah dengan membuat antena yang terdiri dari beberapa elemen peradiasi (*array*). Dengan kata lain *array* adalah beberapa elemen antena yang disusun dan saling berhubungan untuk menghasilkan pola radiasi tertentu (Stutzman, 1981 : 108).

Konfigurasi geometris antena *array* terdiri atas linier dan planar. Disebut *array* linier bila pusat pusat elemen *array* terletak pada sepanjang garis lurus. Sedangkan apabila pusat-pusat elemen terletak pada sebuah bidang disebut *array* planar.

Pada antena *array* selain mempunyai keuntungan, juga mempunyai kerugian. Kerugiannya yaitu adanya kopel bersama (*mutual coupling*) yang terjadi antara elemen peradiasi dengan elemen peradiasi yang lain, antara elemen peradiasi dengan saluran transmisi maupun saluran transmisi dengan saluran transmisi yang lain. Tetapi kerugian ini dapat dikurangi dengan mengatur jarak antar elemen peradiasi.

2.6 Mode TEM, TE, dan TM

2.6.1 Mode TEM (*Transverse Electric and Magnetic*)

Dalam mode TEM, komponen E_z dan H_z dihilangkan, dan medan akan melintang (transversal) sepenuhnya. Dapat dinyatakan bahwa $E_z = H_z = 0$ pada persamaan Maxwell (2-45), atau ekivalen dengan persamaan (2-46) atau persamaan (2-47) (Orfanidis, 2004 : 271).

$$\begin{aligned}
&\nabla_T E_z \times \hat{z} - j\beta \hat{z} \times E_T = -j\omega\mu H_T \\
&\nabla_T E_z \times \hat{z} - j\beta \hat{z} \times H_T = -j\omega \in E_T \\
&\nabla_T \times E_T + j\omega\mu \hat{z} H_z = 0 \\
&\nabla_T \times H_T - j\omega \in \hat{z} E_z = 0 \\
&\nabla_T \cdot E_T - j\beta E_z = 0 \\
&\nabla_T \cdot H_T - j\beta H_z = 0
\end{aligned} \tag{2-45}$$

$$\begin{aligned}
E_T &= -\frac{j\beta}{k_c^2}(\nabla_T E_z - \eta_{TE}\hat{z} \times \nabla_T H_z) \\
H_T &= -\frac{j\beta}{k_c^2}\left(\nabla_T H_z + \frac{1}{\eta_{TM}}\hat{z} \times \nabla_T E_z\right)
\end{aligned} \tag{2-46}$$

$$\begin{aligned}
H_T - \frac{1}{\eta_{TM}}\hat{z} \times E_T &= \frac{j}{\beta}\nabla_T H_z \\
E_T - \eta_{TE} H_T \times \hat{z} &= \frac{j}{\beta}\nabla_T E_z
\end{aligned} \tag{2-47}$$

Dari semua sudut pandang, dapat tercapai kondisi $k_c^2 = 0$, atau $\omega = \beta c$. Sebagai contoh, jika bagian kanan dari persamaan (2-47) dihilangkan, konsistensi dari sistem membutuhkan kondisi $\eta_{TE} = \eta_{TM}$, dimana keunggulan persamaan (2-48) berarti $\omega = \beta c$.

$$\eta_{TE}\eta_{TM} = \eta^2, \quad \frac{\eta_{TE}}{\eta_{TM}} = \frac{\omega^2}{\beta^2 c^2} \tag{2-48}$$

Selain itu, juga memiliki arti bahwa η_{TE}, η_{TM} keduanya harus sama dengan impedansi medium η. Kemudian medan listrik dan medan magnet dapat dinyatakan sebagai :

$$H_T = \frac{1}{\eta}\hat{z} \times E_T \tag{2-49}$$

Ini sama halnya dengan kasus gelombang bidang seragam, kecuali medan yang tidak seragam dan memungkinkan memiliki suatu *non-trivial* dependensi *x* dan *y*. Medan listrik E_T ditentukan dari persamaan Maxwell (2-45) lainnya yang menunjukkan:

$$\begin{aligned} \nabla_T \times E_T &= 0 \\ \nabla_T \cdot E_T &= 0 \end{aligned} \tag{2-50}$$

Hal ini diketahui sebagai persamaan medan dari sebuah persamaan permasalahan elektrostatik dua dimensi. Ketika solusi elektrostatik ini ditemukan, E_T (*x*,*y*), medan magnet tercipta dari persamaan (2-49). Variasi lamanya penyebaran medan ini ditunjukkan pada persamaan (2-51), dengan $\omega = \beta c$.

$$\begin{aligned} E(x,y,z,t) &= E(x,y)e^{j\omega t - j\beta z} \\ H(x,y,z,t) &= H(x,y)e^{j\omega t - j\beta z} \end{aligned} \tag{2-51}$$

Akibat hubungan antara E_T dan H_T, vektor Poynting P_z dari persamaan (2-52) akan menjadi (2-53) :

$$P_z = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(E_T \times H_T^*) \cdot \hat{z} \tag{2-52}$$

$$P_z = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(E_T \times H_T^*) \cdot \hat{z} = \frac{1}{2\eta}|E_T|^2 = \frac{1}{2}\eta|H_T|^2 \tag{2-53}$$

2.6.2 Mode TE (*Transverse Electric*)

Mode TE dikarakteristikkan dengan kondisi $E_z = 0$ dan $H_z \neq 0$. Hal ini mengikuti persamaan kedua (2-47) dimana E_T ditentukan sepenuhnya oleh H_T, yaitu $E_T = \eta_{TE} H_T \times \hat{z}$.

Medan H_T ditentukan dari persamaan kedua (2-46). Kemudian semua komponen medan untuk mode TE didapat dari persamaan (Orfanidis, 2004 : 272) :

$$\begin{aligned} \nabla_T^2 H_z + k_c^2 H_z &= 0 \\ H_T &= -\frac{j\beta}{k_c^2}\nabla_T H_z \\ E_T &= \eta_{TE} H_T \times \hat{z} \end{aligned} \tag{2-54}$$

Hubungan antara E_T dan H_T identik dengan gelombang bidang seragam yang menyebar pada arah z, kecuali impedansi gelombang yang digantikan oleh η_{TE}. Vektor Poynting dari persamaan (2-52) kemudian mengambil bentuk seperti di bawah ini :

$$P_z = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(E_T \times H_T^*)\cdot \hat{z} = \frac{1}{2\eta_{TE}}|E_T|^2 = \frac{1}{2}\eta_{TE}|H_T|^2 = \frac{1}{2}\eta_{TE}\frac{\beta^2}{k_c^4}|\nabla_T H_z|^2 \qquad (2\text{-}55)$$

Versi koordinat Cartesian dari persamaan (2-51) adalah :

$$\begin{aligned} &(\partial_x^2 + \partial_y^2)H_z + k_c^2 H_z = 0 \\ &H_x = -\frac{j\beta}{k_c^2}\partial_x H_z \ , \ H_y = -\frac{j\beta}{k_c^2}\partial_y H_z \\ &E_x = \eta_{TE} H_y, \ E_y = -\eta_{TE} H_x \end{aligned} \qquad (2\text{-}56)$$

Dan versi koordinat silinder adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial_\rho}\left(\rho\frac{\partial H_z}{\partial_\rho}\right) + \frac{1}{\rho^2}\frac{\partial^2 H_z}{\partial\phi^2} + k_c^2 H_z = 0 \\ &H_\rho = -\frac{j\beta}{k_c^2}\frac{\partial H_z}{\partial_\rho} \ , \ H_\phi = -\frac{j\beta}{k_c^2}\frac{1}{\rho}\frac{\partial H_z}{\partial_\phi} \\ &E_\rho = \eta_{TE} H_\phi, \ E_\phi = -\eta_{TE} H_\rho \end{aligned} \qquad (2\text{-}57)$$

dimana kita menggunakan $H_T \times \hat{z} = (\hat{\rho}H_\rho + \hat{\phi}H_\phi)\times\hat{z} = -\hat{\phi}H_\rho + \hat{\rho}H_\phi$.

2.6.3 Mode TM (*Transverse Magnetic*)

Mode TM memiliki $H_z = 0$ dan $E_z \neq 0$. Hal ini mengikuti persamaan pertama (2-47) dimana H_T ditentukan sepenuhnya oleh E_T, yaitu $H_T = \eta_{TM}^{-1}\hat{z}\times E_T$. Medan E_T ditentukan dari persamaan pertama (2-46), sehingga semua komponen medan untuk mode TM diperoleh dari persamaan berikut yang sama dengan persamaan (2-54) untuk mode TE (Orfanidis, 2004 : 272) :

$$\begin{aligned} &\nabla_T^2 E_z + k_c^2 E_z = 0 \\ &E_T = -\frac{j\beta}{k_c^2}\nabla_T E_z \\ &H_T = \frac{1}{\eta_{TM}}\hat{z}\times E_T \end{aligned} \qquad (2\text{-}58)$$

Hubungan antara E_T dan H_T identik dengan gelombang bidang seragam yang menyebar pada arah z, tetapi impedansi gelombang sekarang menjadi η_{TM}. Vektor Poynting mengambil bentuk :

$$P_z = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(E_T \times H_T^*)\cdot \hat{z} = \frac{1}{2\eta_{TM}}|E_T|^2 = \frac{1}{2\eta_{TM}}\frac{\beta^2}{k_c^4}|\nabla_T E_z|^2 \qquad (2\text{-}59)$$

2.7 Mode TE dan TM yang Lebih Tinggi

Untuk membuat mode yang lebih tinggi, harus dicari solusi dari persamaan Helmholtz yang dapat difaktorkan dari dependensi x dan y (Orfanidis, 2004 : 275) :

$$H_z(x,y) = F(x)G(y)$$

Kemudian, persamaan (2-56) menjadi :

$$F''(x)G(y) + F(x)G''(y) + k_c^2 F(x)G(y) = 0 \Rightarrow \frac{F''(x)}{F(x)} + \frac{G''(y)}{G(y)} + k_c^2 = 0 \qquad (2\text{-}60)$$

Karena harus sesuai untuk semua x dan y, maka komponen F dan G haruslah konstan, tidak tergantung kepada x dan y. Sehingga penulisannya menjadi :

$$\frac{F''(x)}{F(x)} = -k_x^2 \;,\quad \frac{G''(y)}{G(y)} = -k_y^2 \text{ , atau}$$

$$F''(x) + k_x^2 F(x) = 0 \;,\quad G''(y) + k_y^2 G(y) = 0 \qquad (2\text{-}61)$$

dimana konstanta k_x^2 dan k_y^2 ditentukan dari persamaan (2-60), ditunjukkan sebagai :

$$k_c^2 = k_x^2 + k_y^2 \qquad (2\text{-}62)$$

Solusi paling umum dari persamaan (2-61) yang akan memenuhi batas kondisi mode TE adalah $\cos k_x x$ dan $\cos k_y y$. Sehingga medan magnet longitudinal menjadi :

$$\boxed{H_z(x,y) = H_0 \cos k_x x \cos k_y y} \qquad \text{(mode } TE_{nm}\text{)} \qquad (2\text{-}63)$$

Kemudian selebihnya diikuti dari persamaan (2-56), yaitu :

$$\boxed{\begin{aligned} H_x(x,y) &= H_1 \sin k_x x \cos k_y y \\ H_y(x,y) &= H_2 \cos k_x x \sin k_y y \end{aligned}} \qquad \boxed{\begin{aligned} E_x(x,y) &= E_1 \cos k_x x \sin k_y y \\ E_y(x,y) &= E_2 \sin k_x x \cos k_y y \end{aligned}} \qquad (2\text{-}64)$$

dimana konstanta ditentukan sebagai berikut :

$$H_1 = \frac{j\beta k_x}{k_c^2} H_0 \;,\quad H_2 = \frac{j\beta k_y}{k_c^2} H_0$$

$$E_1 = \eta_{TE} H_2 = j\eta \frac{\omega k_y}{\omega_c k_c} H_0 \quad , \quad E_2 = -\eta_{TE} H_1 = -j\eta \frac{\omega k_x}{\omega_c k_c} H_0$$

Kondisi yang membatasi yaitu pada E_y dimana x diganti dengan a, sedangkan pada E_x dimana y diganti dengan b, seperti ditunjukkan di bawah ini :

$$E_y(a, y) = E_{0y} \sin k_x a \cos k_y y = 0 \quad , \quad E_x(x, b) = E_{0x} \cos k_x x \sin k_y b = 0$$

Kondisi ini membutuhkan $k_x a$ dan $k_y b$ menjadi satu dengan beberapa π :

$$\boxed{k_x a = n\pi \quad , \quad k_y b = m\pi} \Rightarrow \quad k_x = \frac{n\pi}{a} \quad , \quad k_y = \frac{m\pi}{b} \qquad (2\text{-}65)$$

Hal ini terkait erat dengan mode TE_{nm}. Kemudian jumlah gelombang *cutoff* dari mode ini $k_c = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ diambil dari banyaknya nilai :

$$\boxed{k_c = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2}} \qquad (\text{mode } TE_{nm}) \qquad (2\text{-}66)$$

Frekuensi *cutoff* $f_{nm} = \omega_c / 2\pi = c k_c / 2\pi$ dan panjang gelombang $\lambda_{nm} = c / f_{nm}$ adalah:

$$f_{nm} = c\sqrt{\left(\frac{n}{2a}\right)^2 + \left(\frac{m}{2b}\right)^2} \quad , \quad \lambda_{nm} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{n}{2a}\right)^2 + \left(\frac{m}{2b}\right)^2}} \qquad (2\text{-}67)$$

Mode TE_{0m} sama persis dengan mode TE_{n0}, tetapi dengan *x* dan *a* yang digantikan oleh *y* dan *b*. Kelompok mode TM dapat juga dibentuk dengan metode yang sama dari persamaan (2-58).

Dengan anggapan $E_z(x, y) = F(x)G(y)$, didapatkan persamaan yang sama dengan (2-58). Karena E_z paralel dengan semua sisi, harus dipilih solusi sin $k_x x$ dan sin $k_y y$. Kemudian medan listrik longitudinal menjadi :

$$\boxed{E_z(x, y) = E_0 \sin k_x x \sin k_y y} \qquad (\text{mode } TM_{nm}) \qquad (2\text{-}68)$$

Komponen-komponen medan selebihnya bisa dihasilkan dari persamaan (2-58) dan ada kalanya didapati hal yang sama seperti (2-64), kecuali konstantanya ditentukan dalam bentuk E_0 :

$$E_1 = -\frac{j\beta k_x}{k_c^2} E_0 \quad , \quad E_2 = -\frac{j\beta k_y}{k_c^2} E_0$$

$$H_1 = -\frac{1}{\eta_{TM}} E_2 = \frac{j\omega k_y}{\omega_c k_c} \frac{1}{\eta} E_0 \quad , \quad H_2 = -\frac{1}{\eta_{TM}} E_1 = -\frac{j\omega k_x}{\omega_c k_c} \frac{1}{\eta} H_0$$

dimana menggunakan $\eta_{TM} = \eta\beta c/\omega$. Kondisi yang membatasi E_x , E_y adalah sama dengan yang sebelumnya, dan sebagai tambahan, dibutuhkan E_z yang hilang pada semua sisi.

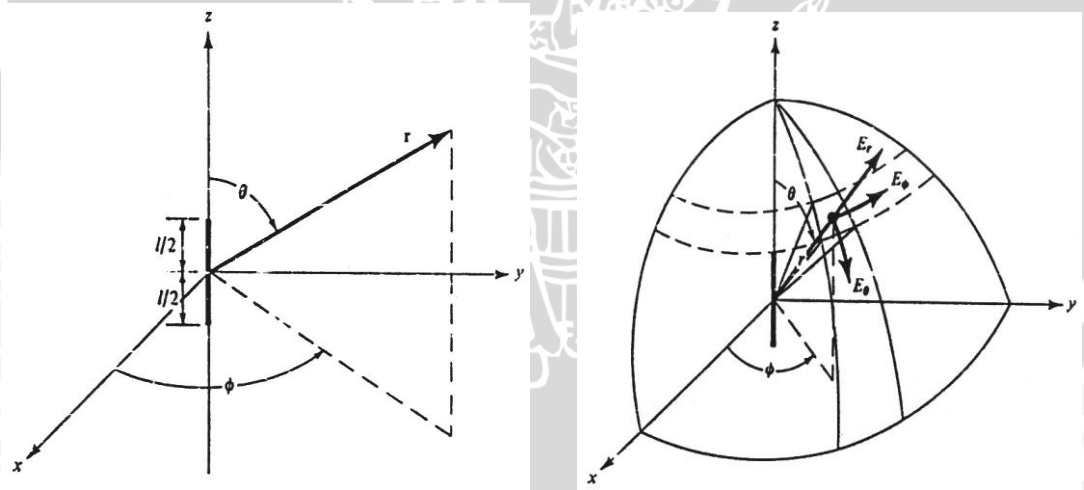
Kondisi ini menunjukkan bahwa k_x , k_y akan diberikan oleh persamaan (2-65), kecuali *n* dan *m* harus *non-zero*. Kemudian frekuensi *cutoff* dan panjang gelombangnya sama dengan persamaan (2-67).

2.8 Mekanisme Radiasi pada Antena Kawat Linier

Kawat linier yang sangat kecil (l<<λ) diletakkan simetris dengan sistem koordinat aslinya dan dihadapkan sepanjang sumbu *z,* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14(a). Walaupun dipole yang sangat kecil sulit dilakukan, tetapi mereka dapat digunakan untuk menggambarkan antena *capacitor-plate*. *Infinitesimal dipole* mempunyai ukuran yang sangat kecil (l<<λ) dan sangat tipis (a<<λ). Arus diasumsikan sebagai konstanta dan diberikan persamaan :

$$I(z') = \hat{a}_z I_0 \tag{2-69}$$

dimana I_0 adalah konstanta.



(a) *Infinitesimal dipole* (b) Orientasi medan listrik

Gambar 2.14 Susunan geometris *infinitesimal dipole* dan gabungan komponen medan listrik pada permukaan bola
Sumber : Balanis, 1982 : 134

Saat sumber hanya membawa arus listrik I_e, I_m dan fungsi tegangan F adalah nol (*zero*). Untuk menemukan A, dapat ditulis

$$A(x,y,z) = \frac{\mu}{4\pi}\int_C I_e(x',y',z')\frac{e^{-jkR}}{R}dl' \tag{2-70}$$

dimana (x,y,z) menggambarkan pengamatan koordinat titik, (x',y',z') menggambarkan koordinat sumber, R adalah jarak dari satu titik pada sumber menuju titik pengamatan, dan *path C* mendekati panjang pada sumber. Untuk kasus pada Gambar 2.14 :

$$I_e(x',y',z') = \hat{a}_z\, I_0$$

$x' = y' = z' = 0$ (*infinitesimal dipole*)

$$R = \sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2} = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$$

$= r =$ konstanta

$dl' = dz'$

sehingga,

$$A(x,y,z) = \hat{a}_z \frac{\mu I_0}{4\pi r}e^{-jkr}\int_{-1/2}^{+1/2} dz' = \hat{a}_z \frac{\mu I_0 l}{4\pi r}e^{-jkr} \tag{2-71}$$

Transformasi antara komponen *rectangular* dengan bola diberikan oleh (bentuk matriks) :

$$\begin{bmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta\cos\phi & \sin\theta\sin\phi & \cos\theta \\ \cos\theta\cos\phi & \cos\theta\sin\phi & -\sin\theta \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} \tag{2-72}$$

Untuk kasus ini, $A_x = A_y = 0$, sehingga :

$$\begin{aligned} A_r &= A_z\cos\theta = \frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r}\cos\theta \\ A_\theta &= -A_z\sin\theta = -\frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r}\sin\theta \\ A_\phi &= 0 \end{aligned} \tag{2-73}$$

Untuk menemukan H_A, dapat menggunakan persamaan yang sederhana sebagai berikut:

$$H = \hat{a}_\phi \frac{1}{\mu r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\theta) - \frac{\partial A_r}{\partial\theta}\right] \tag{2-74}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan A_r, A_θ, dan A_Φ ke dalam persamaan H di atas, maka persamaan tersebut akan menjadi :

$$H_r = H_\theta = 0$$
$$H_\phi = j\frac{kI_0 l \sin\theta}{4\pi r}\left[1+\frac{1}{jkr}\right]e^{-jkr} \quad (2\text{-}75)$$

Medan listrik E dapat ditemukan dengan persamaan :

$$E = E_A = -j\omega A - j\frac{1}{\omega\mu\in}\nabla(\nabla\cdot A) = \frac{1}{j\omega\in}\nabla\times H \quad (2\text{-}76)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan A_r, A_θ, dan A_Φ ke dalam persamaan E di atas, maka persamaan tersebut akan menjadi :

$$E_r = \eta\frac{I_0 l\cos\theta}{2\pi r^2}\left[1+\frac{1}{jkr}\right]e^{-jkr}$$
$$E_\theta = j\eta\frac{kI_0 l\sin\theta}{4\pi r}\left[1+\frac{1}{jkr}-\frac{1}{(kr)^2}\right]e^{-jkr} \quad (2\text{-}77)$$
$$E_\phi = 0$$

Komponen medan E dan H dimanapun tetap valid, kecuali pada sumbernya sendiri, dan mereka digambarkan pada Gambar 2.14(b) pada permukaan bola dengan radius r.

Sejak antena teradiasi sebagai daya nyata, untuk *infinitesimal dipole* ditemukan persamaan :

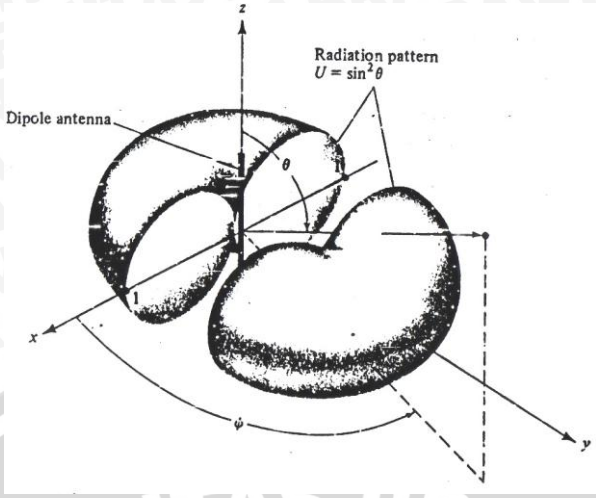
$$P_{rad} = \eta\left(\frac{\pi}{3}\right)\left|\frac{I_0 l}{\lambda}\right|^2 = \frac{1}{2}|I_0|^2 R_r \quad (2\text{-}78)$$

dimana R_r adalah resistansi radiasi. Persamaan di atas disederhanakan menjadi :

$$R_r = \eta\left(\frac{2\pi}{3}\right)\left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 = 80\pi^2\left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \quad (2\text{-}79)$$

untuk medium ruang bebas ($\eta \approx 120\pi$).

Pola radiasi tiga dimensi pada dipole yang sangat kecil (*infinitesimal dipole*) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.15 Pola radiasi tiga dimensi pada *infinitesimal dipole*
Sumber : Balanis, 1982 : 143

Nilai maksimum terjadi saat $\theta = \pi/2$ dan persamaannya menjadi :

$$U_{\max} = \frac{\eta}{2}\left(\frac{kI_0 l}{4\pi}\right)^2 \tag{2-80}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, keterarahan (*directivity*) menjadi :

$$D_0 = 4\pi \frac{U_{\max}}{P_{rad}} = \frac{3}{2} \tag{2-81}$$

dan *maximum effective aperture* menjadi :

$$A_{em} = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) D_0 = \frac{3\lambda^2}{8\pi} \tag{2-82}$$

BAB III
METODOLOGI

Kajian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah mengenai perancangan dan pembuatan antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang pada frekuensi 1842,5 MHz. Adapun metodologi yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini adalah :

3.1 Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka yang berkaitan dengan teknologi antena *microstrip* terutama dalam hal perancangan, pembuatan dan penerapannya di bidang telekomunikasi. Dalam hal ini penerapannya adalah untuk komunikasi *Global System for Mobile Communication* (GSM).

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah berupa data primer dan data sekunder.

a. Data primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil pengukuran di Laboratorium Institut Teknologi Telkom, Bandung. Data tersebut meliputi *VSWR, return loss*, koefisien pantul, *gain,* pola radiasi dan polarisasi.

b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet) dan simulasi yang meliputi perancangan antena, standar frekuensi kerja antena yang akan dikerjakan beserta parameter-parameter antena yang ada meliputi *VSWR, return loss*, koefisien pantul, *gain*, pola radiasi dan polarisasi dari data yang telah ada di literatur ataupun riset sebelumnya. Data sekunder lain yang diperlukan dalam kajian ini adalah :

Spesifikasi dari dimensi substrat, yang meliputi :

1. Bahan substrat yang digunakan adalah Epoxy fiberglass – FR4.
2. Konstanta dielektrik relatif substrat Epoxy fiberglass – FR4.
3. Ketebalan lapisan dielektrik substrat Epoxy fiberglass – FR4.

Spesifikasi dari bahan pelapis substrat (konduktor), yang meliputi :

1. Konduktor yang digunakan adalah tembaga.
2. Konduktivitas tembaga.

3.3 Perancangan

Perancangan antena *microstrip* dilakukan secara matematis berdasarkan pada materi dan referensi yang diperoleh dari hasil studi pustaka. Ada beberapa hal yang dilakukan dalam merancang antena *microstrip* meliputi :

3.3.1 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi kerja (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (λ_0).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad \text{(m)}$$

Setelah nilai λ_0 diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (λ_d) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad \text{(m)}$$

Radius elemen peradiasi *circular* diperoleh dengan menggunakan rumus (Balanis, 1997 : 755) :

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi\varepsilon_r F}\left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1{,}7726\right]\right\}^{1/2}} \quad \text{(cm)}$$

dengan:

a = dimensi radius *circular* (cm)

h = ketebalan substrat (mm)

ε_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

F = fungsi logaritmik elemen peradiasi

Sedangkan fungsi logaritmik dari elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan : (Balanis, 1997 : 755)

$$F = \frac{8{,}791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\varepsilon_r}}$$

dengan:

f_r = frekuensi kerja antena (MHz)

ε_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

3.3.2 Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi lebar saluran transmisi *microstrip* digunakan persamaan di bawah ini : (Liao, 1987 : 140)

$$W_0 = \frac{\eta}{Z_o} x \frac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (mm)}$$

dengan :

W_o = lebar saluran transmisi (mm)

η = impedansi karakteristik ruang bebas (120π Ω)

h = ketebalan substrat (mm)

Z_o = impedansi karakteristik (Ω)

ε_r = permitivitas dielektrik bahan (F/m)

3.3.3 Jarak antar Elemen

Jarak antar elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan berikut : (Johan L, 2002 : 24)

$$r \geq 0{,}6\lambda_d \text{ (mm)}$$

dengan :

r = jarak antar elemen peradiasi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* (mm)

3.4 Simulasi

Hasil rancangan kemudian disimulasikan menggunakan *software* perancangan untuk mengetahui parameter antena. Tahap pra-pembuatan antena ini penting untuk melihat kualifikasi dari hasil rancangan apakah sudah sesuai atau

belum dengan yang direncanakan. Untuk penulisan skripsi ini menggunakan program simulator IE3D.

3.5 Pembuatan

Pembuatan antena dilaksanakan setelah hasil simulasi sesuai dengan hasil yang diinginkan. Pembuatan antena dilaksanakan pada bahan sesuai dengan standar bahan yang ada. Adapun spesifikasi substrat dan bahan konduktor meliputi :

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan *Epoxy Fiberglass* – FR 4

1. Konstanta dielektrik (ε_r) = 4,5
2. Ketebalan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm
3. *Loss tangent* = 0,018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga:

1. Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m
2. Konduktivitas tembaga (σ) = $5{,}8 \times 10^7$ mho m^{-1}
3. Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

3.6 Pengukuran

Untuk mengetahui karakteristik dari antena yang sudah difabrikasi maka dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter antena pada frekuensi kerjanya. Pengukuran ini diperlukan karena hasil dari pengukuran lapangan akan menunjukkan performansi antena yang sebenarnya. Jangkauan frekuensi yang akan digunakan dalam pengukuran adalah 1700 MHz – 2000 MHz. Pengukuran ini meliputi :

3.6.1 Pengukuran *Return Loss, VSWR,* dan Perhitungan Koefisien Pantul

Dari hasil pengukuran *return loss* dapat dihitung nilai *VSWR* dan koefisien pantul antena. Untuk menghitung nilai koefisien pantul antena dan *VSWR* dapat dihitung dengan persamaan :

$$RL = 20\log|\Gamma| \text{ (dB)}$$

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

dengan:

RL = *return loss* (dB)

Γ = koefisien pantul

VSWR = *Voltage Standing Wave Ratio*

Dari perhitungan *VSWR* nantinya dapat diketahui rentang frekuensi dari antena sehingga *bandwidth* antena dapat diketahui. Alat yang digunakan untuk parameter ini adalah *RF Network Analyzer* yang dioperasikan pada jangkauan frekuensi dengan interval tertentu.

3.6.2 Pengukuran *Gain* Antena

Alat yang digunakan adalah *Sweep Oscillator, Spectrum Analyzer*, antena *dipole* λ/2 (sebagai antena referensi) dan antena *horn* (sebagai antena pemancar). Antena ini digunakan sebagai antena standar dengan nilai penguatan yang sudah diketahui sebelumnya. Penguatan antena ini kemudian dibandingkan dengan penguatan antena yang diukur (antena *microstrip*).

3.6.3 Pengukuran Pola Radiasi

Peralatan yang digunakan adalah *Sweep Oscillator, Spectrum Analyzer* dan antena *dipole* λ/2 sebagai antena referensi.

Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antena penerima (antena *microstrip*) mulai dari 0^0 sampai dengan 360^0 dengan antena *dipole* λ/2 tetap pada posisinya. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui pola radiasi antena dari setiap sudut azimut pada bidang horizontal dan elevasi untuk bidang vertikal.

3.6.4 Pengukuran Polarisasi

Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui pola perambatan medan elektrik dari antena yang dibuat. Antena yang diukur diberlakukan sebagai antena penerima dan antena *dipole* λ/2 sebagai antena pemancarnya. Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antena penerima (antena yang diuji) dengan interval sudut tertentu terhadap bidang vertikal sampai 360^0.

Peralatan yang digunakan adalah *Sweep Oscillator, Spectrum Analyzer* dan antena *dipole* λ/2 sebagai antena referensi.

3.6.5 Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

Untuk menghitung *directivity* antena dapat dilakukan setelah didapatkan nilai sudut lebar berkas setengah daya (*half power beamwidth*) untuk pola radiasi. Penghitungan *directivity* ini bertujuan untuk mengetahui keterarahan antena.

3.6.6 Perhitungan *Bandwidth*

Perhitungan ini dilakukan dengan menghitung selisih antara frekuensi atas dan frekuensi bawah pada pengukuran nilai *VSWR* ≤ 2 setelah pengukuran dan plot grafik *VSWR* terhadap frekuensi kerja antena.

3.7 Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap antena yang telah dibuat dengan cara membandingkan parameter-parameter yang diperoleh dari hasil perencanaan dengan parameter-parameter hasil pengukuran. Hasil analisis ini akan digunakan sebagai bahan masukan dalam mengambil kesimpulan.

3.8 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Proses pengambilan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari proses analisis. Pada bagian ini dijelaskan secara singkat tentang hasil yang telah dicapai beserta saran untuk pengembangan selanjutnya.

BAB IV
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN

4.1 Tinjauan Umum

Antena *microstrip* adalah antena yang dibuat di atas bahan substrat tertentu dengan elemen peradiasi terletak di salah satu sisi substrat dan bidang konduktor pada sisi yang lainnya berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Antena *array* dengan teknologi *microstrip*, seperti antena *array* pada umumnya yaitu merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi pada satu bidang. Termasuk diantaranya saluran transmisi sebagai pencatu setiap elemen tersebut.

Pada bab ini akan dijelaskan mekanisme perancangan dan pembuatan antena *microstrip circular array* empat elemen yang pada dasarnya merupakan antena yang disusun dengan struktur konfigurasi silang.

4.2 Perancangan Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen

Dalam perancangan antena *microstrip circular array* empat elemen ini ada beberapa hal yang harus didefinisikan terlebih dahulu. Diantaranya adalah spesifikasi substrat dan mekanisme pencatuan yang akan digunakan. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

4.2.1 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor

Dalam perancangan antena *microstrip* perlu diketahui terlebih dahulu mengenai substrat yang akan digunakan. Pemilihan substrat didasarkan pada batasan frekuensi yang bisa dilewatkan dan juga ketersediaannya di pasaran.

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan *Epoxy fiberglass* – FR 4

Konstanta dielektrik (ε_r) = 4,5

Ketebalan lapisan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm

Loss tangent = 0,018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m

Konduktivitas tembaga (σ) = 5,80 x 10^7 mho m^{-1}

Frekuensi kerja (f_r) = 1842,5 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

Batasan frekuensi kerja yang bisa dilewatkan pada substrat ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$1{,}6\times10^{-3} \le \frac{0{,}3(3\times10^{8})}{2\pi f_r \sqrt{4{,}5}}$$

$$f_r \le 4222{,}37 \ \ MHz$$

dengan demikian substrat jenis FR-4 ini memungkinkan untuk digunakan dalam merancang antena dengan frekuensi kerja 1842,5 MHz.

4.2.2 Perancangan Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi maka terlebih dahulu harus direncanakan nilai frekuensi kerja (f_r) yaitu 1842,5 MHz dengan nilai perambatan di ruang bebas (c) sebesar 3x10^8 m/s. Dengan menggunakan persamaan (2-36) :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \text{ (m)}$$

$$\lambda_0 = \frac{3x10^{8}\, m/s}{1842{,}5x10^{6}/s} = 0{,}1628 \text{ m}$$

Maka panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (m)}$$

$$\lambda_d = \frac{0{,}1628}{\sqrt{4{,}5}} \approx 0{,}0767 \text{ m}$$

Kemudian dihitung besarnya radius (a) elemen peradiasi antena *microstrip* dengan persamaan (2-38) :

$$a = \frac{F}{\left\{1+\frac{2h}{\pi\varepsilon_r F}\left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right)+1{,}7726\right]\right\}^{1/2}} \text{ (cm)}$$

Terlebih dahulu dilakukan penghitungan fungsi logaritmik *F*. Dengan f_r = 1842,5 MHz ; ε_r = 4,5, maka nilai fungsi logaritmik *F* dapat dihitung dengan persamaan (2-39) :

$$F = \frac{8{,}791\times10^{9}}{1842{,}5\times10^{6}\sqrt{4{,}5}}$$

$$= 2{,}249$$

Maka besar radius elemen peradiasi (*a*) untuk frekuensi 1842,5 *MHz* adalah:

$$a = \frac{2{,}249}{\left\{1+\frac{2(1{,}6\times10^{-3})}{3{,}14\times4{,}5\times2{,}249}\left[\ln\left(\frac{3{,}14\times2{,}249}{2(1{,}6\times10^{-3})}\right)+1{,}7726\right]\right\}^{1/2}}$$

$$= 2{,}248 \text{ cm}$$

Jadi untuk elemen peradiasi pada frekuensi 1842,5 MHz dimensinya adalah *a* = 2,248 cm.

4.2.3 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi

Model saluran transmisi yang digunakan dalam perancangan ini adalah model pencatuan langsung menggunakan *inset feed*, sedangkan nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 200 Ω. Desain untuk model *inset feed* didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$y_0 = 0{,}3\times d$$

dengan d adalah diameter elemen peradiasi.

Untuk elemen peradiasi dengan frekuensi 1842,5 *MHz*, didapatkan nilai:

$$y_0 = 0{,}3\times d$$

$$= 0{,}3 \text{ x } 4{,}496 \text{ cm}$$

$$= 1{,}3488 \text{ cm} = 13{,}488 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi *microstrip* dapat digunakan persamaan (2-41) di bawah ini :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Dengan nilai h = 1,6 mm dan ε_r = 4,5 maka diperoleh nilai W_0 (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi :

$$W_0 = \frac{377}{200} x \frac{1{,}6}{\sqrt{4{,}5}} \text{ (mm)}$$

W_0 = 1,421 mm

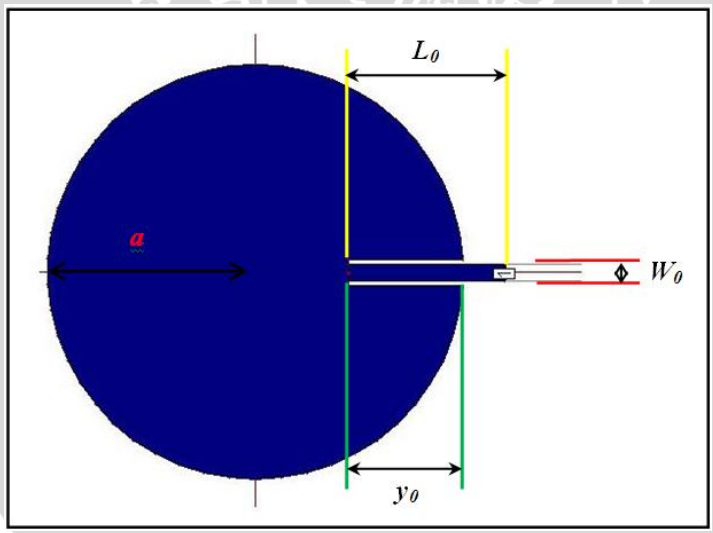
Sedangkan panjang saluran transmisi dihitung dengan persamaan :

$$L_0 = \frac{1}{4}\lambda_d \text{ (m)}$$

Dengan λ_d = 0,0767 m untuk frekuensi 1842,5 MHz, maka panjang saluran transmisi adalah :

$$L_0 = \frac{1}{4} \times 0{,}0767 = 0{,}019175 \text{ m} = 19{,}175 \text{ mm}$$

Sehingga dimensi elemen peradiasi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut :



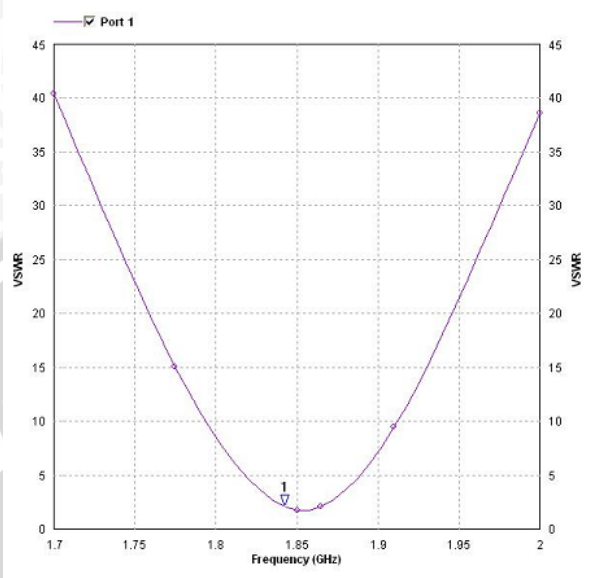
Gambar 4.1 Elemen Peradiasi
Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 4.1 :

a = 22,48 mm ; W_o = 1,421 mm

L_o = 19,175 mm ; y_o = 13,488 mm

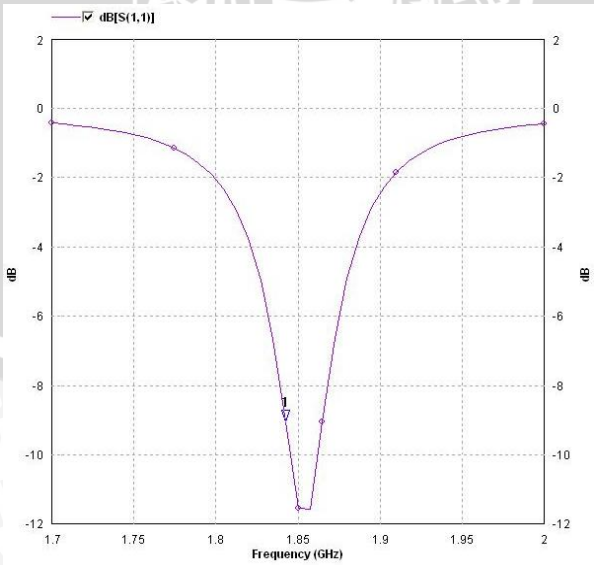
Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan simulator IE3D^{TM}, yang menghasilkan hasil simulasi salah satunya berupa nilai *VSWR* terhadap frekuensi sebagai berikut :



Grafik 4.1 Hasil Simulasi *VSWR* Satu Elemen Sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi pada Grafik 4.1 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 1842,5 MHz antena mempunyai nilai *VSWR* sebesar 2,05763. Untuk nilai *VSWR*, sebuah antena dikatakan bekerja dengan baik jika nilai *VSWR* < 2.

Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Grafik 4.2 berikut.



Grafik 4.2 Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen Sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi

Antena dikatakan bekerja dengan baik jika nilai *return loss* < -10 dB. Dari hasil simulasi pada Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 1842,5 MHz antena mempunyai nilai *return loss* sebesar -9,22103 dB.

Berdasarkan kedua parameter di atas yaitu *VSWR* dan *return loss*, dapat dilihat bahwa antena belum bekerja sesuai dengan yang direncanakan, sehingga diperlukan adanya optimasi pada elemen peradiasi tersebut agar hasilnya dapat optimal.

4.2.4 Optimasi Elemen Peradiasi Antena *Microstrip*

Optimasi dilakukan agar antena dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan yaitu bekerja pada frekuensi 1842,5 MHz. Selain itu optimasi juga diperlukan untuk memperbaiki parameter antena yang telah didapatkan sebelumnya agar antena yang dirancang dapat bekerja lebih optimal.

Optimasi dilakukan dengan mengubah dimensi elemen peradiasi dan dimensi saluran transmisi hingga didapatkan hasil yang optimal pada frekuensi yang direncanakan.

4.2.4.1 Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi (*a*)

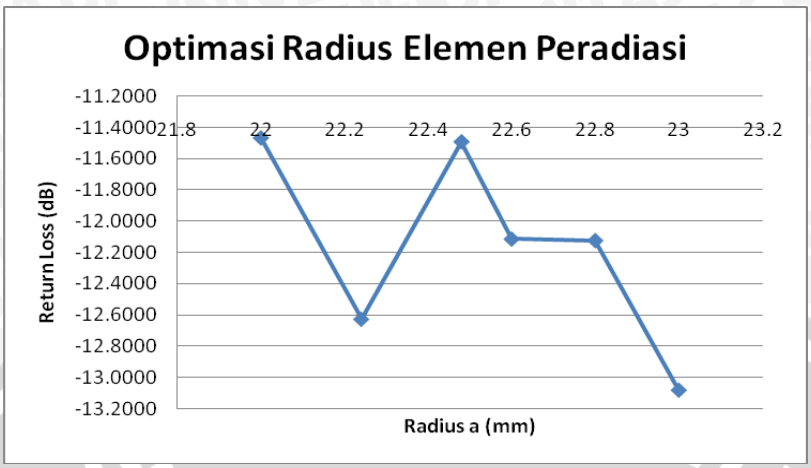
Tabel 4.1 Hasil Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi (*a*) saat Nilai W_0, y_0, dan L_0 Tetap

***a* (mm)**	***Return Loss minimum* (dB)**	**Frekuensi Tengah (MHz)**
22	-11,4685	1895
22,24	-12,6278	1872,8
22,48	-11,4932	1849,4
22,6	-12,1152	1842,8
22,8	-12,1247	1827,2
23	-13,0807	1812,2

Sumber : Simulasi

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa dengan dimensi elemen peradiasi (*a*) = 22,6 mm dengan nilai W_0, y_0, dan L_0 tetap, diperoleh nilai *return loss* -12,1152 dB pada frekuensi tengah 1842,8 MHz. Frekuensi tengah inilah yang paling

mendekati frekuensi tengah yang direncanakan. Berikut ini adalah grafik hasil optimasi radius elemen peradiasi.



Grafik 4.3 Hasil Optimasi Radius Elemen Peradiasi
Sumber : Hasil Simulasi

4.2.4.2 Optimasi Panjang *Inset Feed* (y_0)

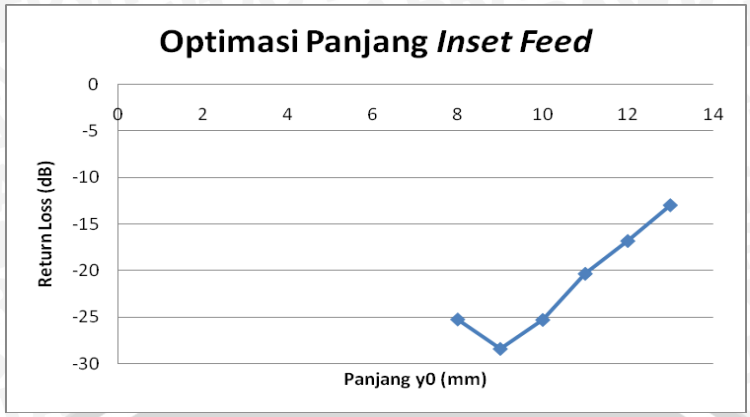
Tabel 4.2 Hasil Optimasi Panjang *Inset Feed* (y_0) saat Nilai a = 22,6 mm sedangkan W_0 dan L_0 Tetap

y_0 (mm)	*Return Loss minimum* (dB)	Frekuensi Tengah (MHz)
13	-12,9738	1842,8
12	-16,8181	1842,8
11	-20,3453	1842,8
10	-25,3095	1842,5
9	-28,4266	1842,5
8	-25,2603	1842,5

Sumber : Simulasi

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa dengan nilai a = 22,6 mm dan y_0 = 9 mm sedangkan W_0 dan L_0 tetap, maka diperoleh hasil *return loss* -28,4266 dB pada frekuensi tengah 1842,5 MHz.

Berikut ini merupakan grafik hasil optimasi panjang *inset feed.*



Grafik 4.4 Hasil Optimasi Panjang *Inset Feed*
Sumber : Hasil Simulasi

4.2.4.3 Optimasi Panjang Saluran Transmisi (L_0)

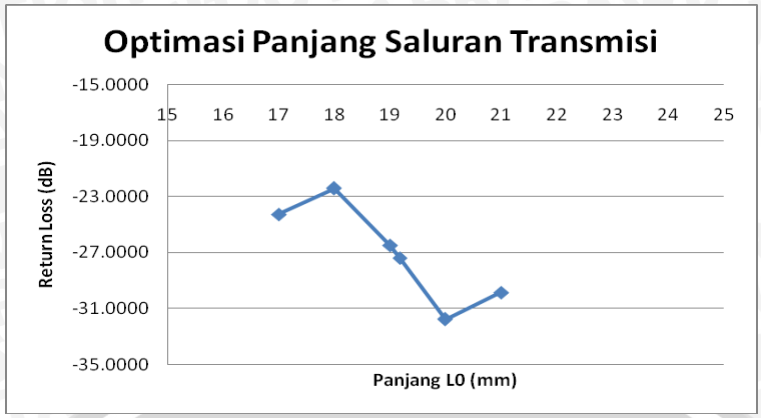
Tabel 4.3 Hasil Optimasi Panjang Saluran Transmisi (L_0) saat Nilai a = 22,6 mm sedangkan y_0 = 9 mm dan W_0 Tetap

L_0 (mm)	*Return Loss minimum* (dB)	Frekuensi Tengah (MHz)
17	-24,2743	1850
18	-22,4198	1850
19	-26,4815	1842,5
19,175	-27,3758	1842,5
20	-31,7792	1842,5
21	-29,8621	1842,5

Sumber : Simulasi

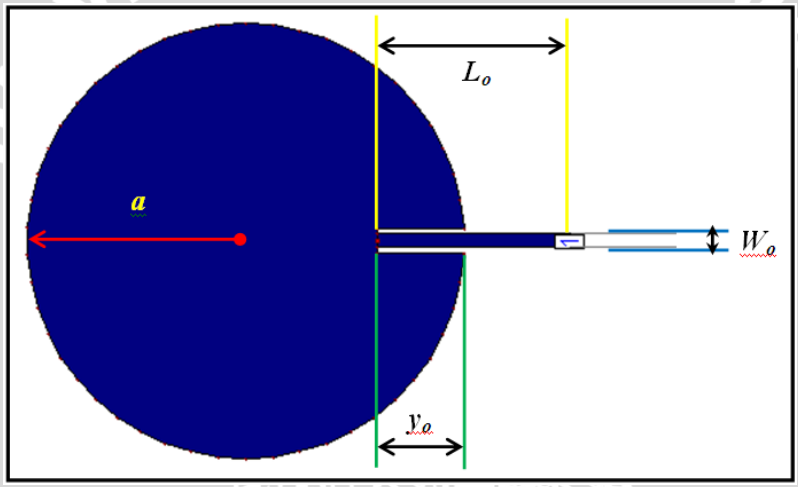
Berdasarkan Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa dengan nilai a = 22,6 mm ; y_0 = 9 mm ; L_0 = 20 mm dan W_0 tetap 1,421 mm, maka diperoleh hasil *return loss* -31,7792 dB pada frekuensi tengah 1842,5 MHz, sehingga nilai inilah yang diambil sebagai hasil akhir optimasi antena *microstrip circular array* satu elemen peradiasi.

Berikut ini merupakan grafik hasil optimasi panjang saluran transmisi.



Grafik 4.5 Hasil Optimasi Panjang Saluran Transmisi
Sumber : Hasil Simulasi

Hasil optimasi :



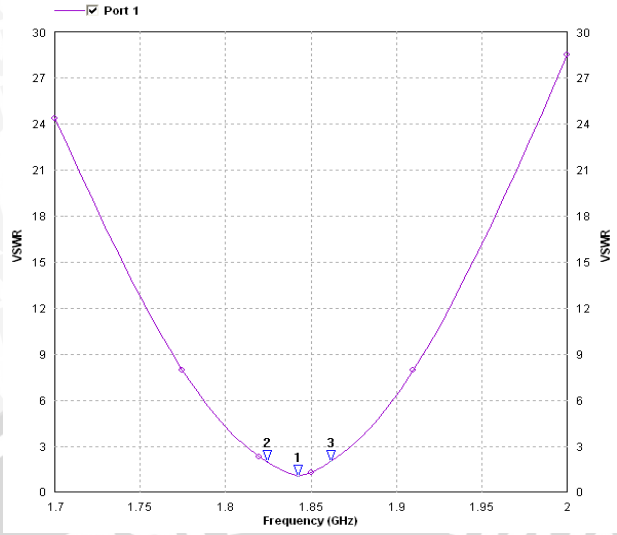
Gambar 4.2 Antena *Microstrip Circular Array* Satu Elemen Peradiasi Setelah Optimasi
Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.2 :

a = 22,6 mm ; W_0 = 1,421 mm

L_0 = 20 mm ; y_0 = 9 mm

Hasil simulasi menggunakan *Zeland IE3D*^{TM} adalah sebagai berikut :

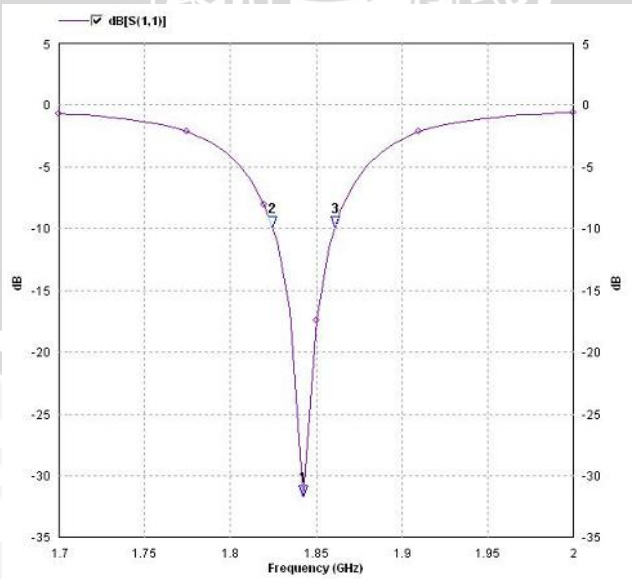


Grafik 4.6 Nilai *VSWR* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari grafik hasil optimasi di atas, dapat dilihat bahwa elemen peradiasi bekerja optimal pada frekuensi 1842,5 MHz dengan nilai *VSWR* sebesar 1,05289.

Dari gambar di atas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai VSWR ≤ 2. Nilai VSWR < 2 dimulai dari 1824,21 MHz sampai 1861,51 MHz, sehingga antena mempunyai *bandwidth* sebesar (1861,51 – 1824,21) MHz = 37,30 MHz. *Bandwidth* yang didapat relatif kecil karena antena hanya berupa elemen peradiasi tunggal.

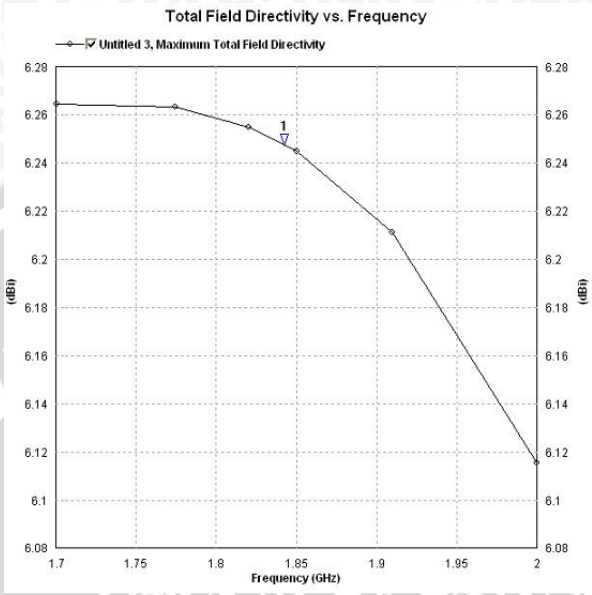
Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Grafik 4.7 di bawah ini.



Grafik 4.7 Nilai *Return Loss* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.7 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi bekerja optimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 1842,5 MHz dengan nilai *return loss* untuk frekuensi 1842,5 MHz sebesar -31,7792 dB.

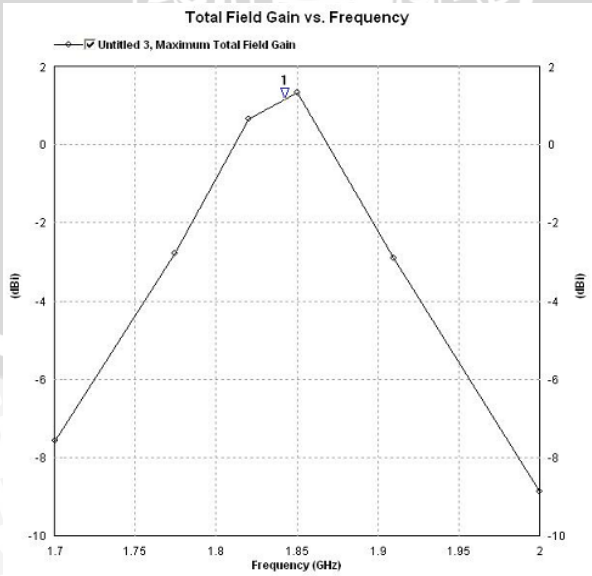
Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada Grafik 4.8 di bawah ini.



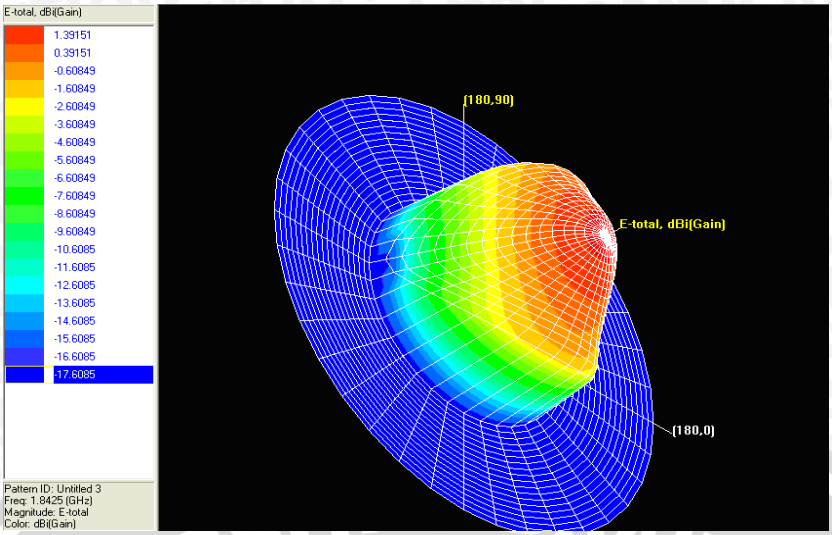
Grafik 4.8 Nilai *Directivity* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.8 di atas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi yang bekerja pada frekuensi 1842,5 MHz memiliki nilai *directivity* sebesar 6,24719 dBi.

Parameter berikutnya yaitu *gain* dapat dilihat pada Grafik 4.9 berikut.



Grafik 4.9 Nilai *Gain* Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

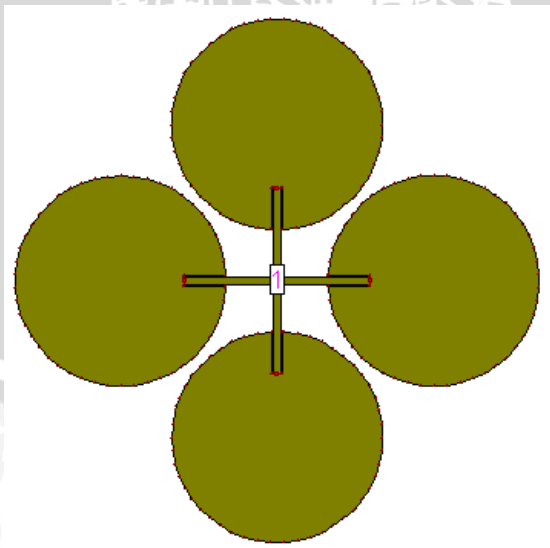


Gambar 4.3 *Gain Pattern* 3D Satu Elemen Peradiasi
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.9 di atas, dapat dilihat bahwa antena *microstrip circular array* dengan satu elemen peradiasi pada frekuensi 1842,5 MHz setelah optimasi memiliki nilai *gain* sebesar 1,14393 dBi.

4.3 Perancangan Antena *Array* Empat Elemen

Saluran transmisi yang direncanakan pada antena *microstrip circular array* ini yaitu *inset feed*. Dengan demikian bentuk antena menjadi seperti pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Model Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Konfigurasi Silang
Sumber : Simulasi

Untuk dimensi elemen peradiasi seperti pada subbab 4.2.4.1, radius *circular* setelah optimasi ialah 22,6 mm, sehingga nilai ini juga yang akan digunakan sebagai dimensi setiap *circular* pada antena *array* empat elemen.

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2-41) di berikut.

$$W_0 = \frac{\eta}{Z_o} x \frac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Pada perencanaan antena *microstrip* ini, direncanakan impedansi total 50 Ω, sehingga nilai impedansi pada setiap saluran transmisi sebesar 200 Ω.

Dengan nilai h = 1,6 mm dan ε_r = 4,5 maka diperoleh nilai W_0 (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi.

Nilai Z_0 = 200 Ω :

$$W_0 = \frac{120\pi}{200} x \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

W_0 = 1,421 mm

Untuk panjang saluran transmisi dihitung dengan persamaan :

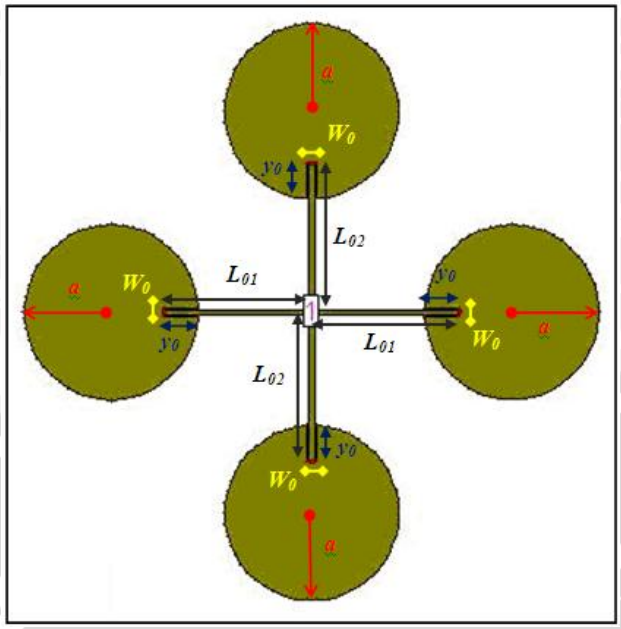
$$L_0 = \frac{1}{4}\lambda_d \text{ (m)}$$

Dengan λ_d = 0,0767 m untuk frekuensi 1842,5 MHz, maka panjang saluran transmisi adalah :

$$L_0 = \frac{1}{4}.0,0767 = 0,019175 \text{ m} = 19,175 \text{ mm}$$

Agar diperoleh nilai distribusi arus yang maksimal, maka jarak antara elemen peradiasi dengan titik catu harus kelipatan ganjil dari ¼ λ_d . Oleh karena itu panjang saluran transmisi L_0 dikalikan 2 untuk mendapatkan nilai panjang saluran transmisi total masing-masing elemen peradiasi sebesar ¾ λ_d . Maka panjang L_0 adalah 38,35 mm.

Gambar 4.5 menunjukkan antena *microstrip circular array* empat elemen sebelum optimasi.



Gambar 4.5 Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Sebelum Optimasi
Sumber : Perancangan

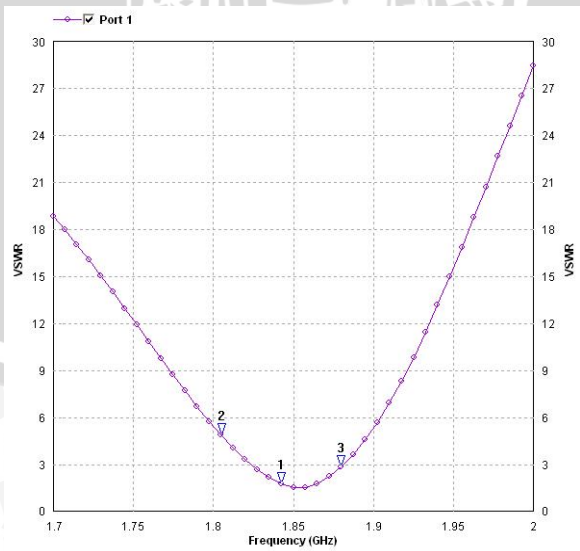
Keterangan Gambar 4.5 :

a = 22,6 mm

y_0 = 9 mm

Z_0 = 200 Ω : W_0 = 1,421 mm, L_{01} = 38,35 mm, L_{02} = 38,35 mm

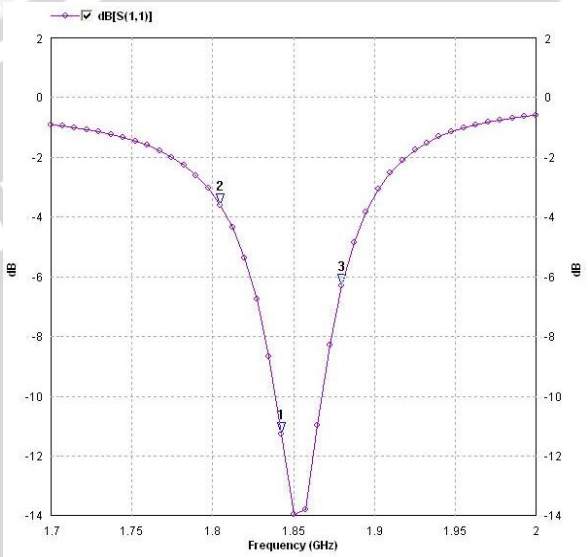
Hasil simulasi dari antena *microstrip circular array* empat elemen sebelum optimasi dapat dilihat pada Grafik 4.10 berikut.



Grafik 4.10 Hasil Simulasi *VSWR* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi

Simulasi pada Grafik 4.10 menunjukkan nilai *VSWR* dari empat elemen peradiasi. Untuk nilai *VSWR*, sebuah antena bekerja dengan baik jika nilai *VSWR* < 2. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 1805 MHz antena mempunyai nilai *VSWR* sebesar 4,87702 dan pada frekuensi 1880 MHz nilai *VSWR* sebesar 2,87823. Sedangkan pada frekuensi tengah 1842,5 MHz, antena mempunyai nilai *VSWR* sebesar 1,75229.

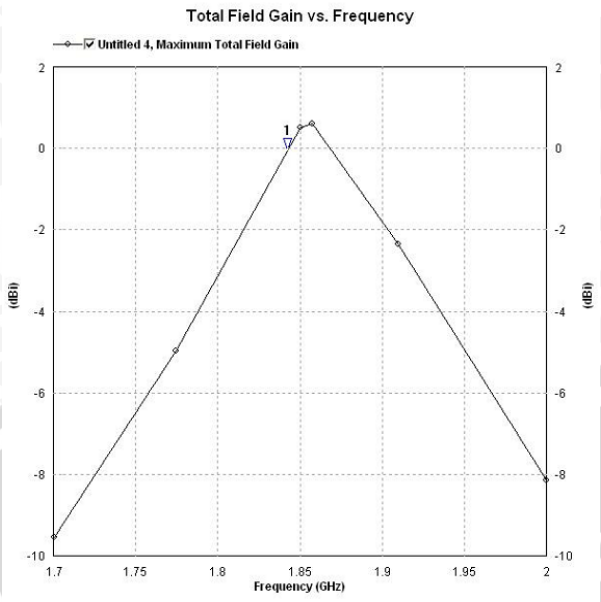
Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Grafik 4.11 berikut.



Grafik 4.11 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.11 menunjukkan nilai *return loss* dari antena *microstrip circular array* empat elemen peradiasi. Antena bekerja dengan baik jika nilai *return loss* < -10 dB. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 1805 MHz antena mempunyai nilai *return loss* sebesar -3,61318 dB dan pada frekuensi 1880 MHz nilai *return loss* sebesar -6,2977 dB. Sedangkan pada frekuensi tengah 1842,5 MHz, antena mempunyai nilai *return loss* sebesar –11,2662 dB.

Sedangkan untuk *gain* dapat dilihat pada Grafik 4.12 berikut.



Grafik 4.12 Hasil Simulasi *Gain* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.12 menunjukkan nilai *gain* dari antena *microstrip circular array* empat elemen peradiasi. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi tengah 1842,5 MHz, antena mempunyai nilai *gain* sebesar –0,0407215 dBi. Sedangkan syarat *gain* sebuah antena harus bernilai positif.

Berdasarkan ketiga parameter di atas yaitu *VSWR*, *return loss*, dan *gain*, dapat dilihat bahwa antena belum bekerja sesuai dengan yang dirancang. Oleh karena itu, maka dilakukan optimasi terhadap antena hasil perancangan di atas.

4.4 Optimasi Antena A*rray* Empat Elemen

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan teori pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi pada perancangan antena *microstrip circular array* kemudian dilakukan optimasi agar antena dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Optimasi dilakukan secara manual dengan mengubah ukuran pada tiga bagian antena yaitu panjang kedalaman *inset feed* (y_0), panjang saluran transmisi antar elemen pada arah horizontal (L_{01}), dan panjang saluran transmisi antar elemen pada arah vertikal (L_{02}) sehingga didapat dimensi yang diinginkan.

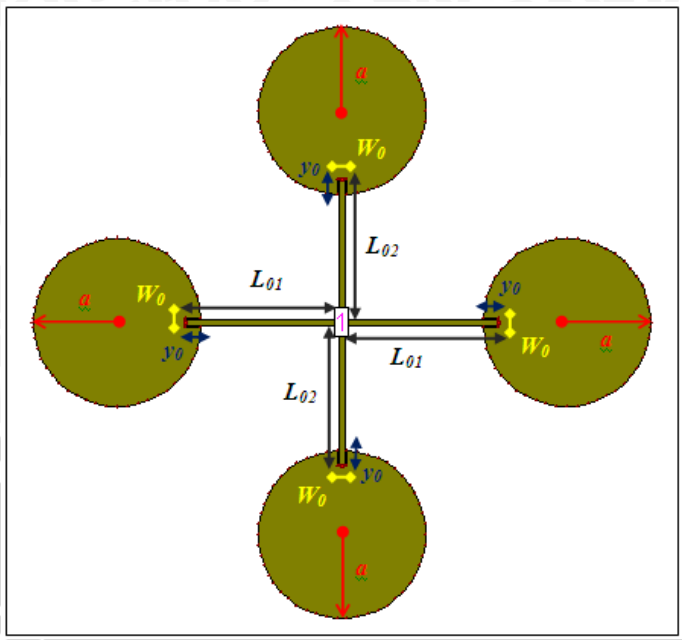
Tabel 4.4 Nilai VSWR dengan Optimasi y_0, L_{01}, dan L_{02}

No.	y_0 (mm)	L_{01} (mm)	L_{02} (mm)	VSWR pada 1842,5 MHz	Frekuensi *lowwer* (MHz)	Frekuensi *upper* (MHz)
1	9	38,35	38,35	1,75229	1838,01	1868,39
2	10	38,35	38,35	1,82602	1839,27	1865,18
3	11	38,35	38,35	1,91046	1840,81	1861,43
4	8	38,35	38,35	1,67327	1836,22	1867,66
5	7	38,35	38,35	1,5825	1834,30	1867,88
6	4	38,35	38,35	1,29255	1827,55	1866,04
7	4	37,5	38,35	1,31517	1828,57	1867,72
8	4	39,5	38,35	1,28168	1826,46	1863,71
9	4	40,5	38,35	1,29039	1825,56	1861,63
10	4	40	38,35	1,28414	1826,01	1862,65
11	4	41	38,35	1,29985	1825,04	1860,62
12	4	42	38,35	1,32767	1824,42	1859,15
13	4	43	38,35	1,37649	1823,16	1856,89
14	4	44	38,35	1,43051	1822,16	1854,80
15	4	42	39	1,35047	1823,37	1857,67
16	4	42	40	1,38923	1822,34	1855,71
17	4	42	42	1,49747	1819,83	1852,19

Sumber : Perancangan

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai maksimum VSWR ialah 1,32767 pada y_0 = 4 mm, L_{01} = 42 mm, L_{02} = 38,35 mm, sehingga nilai inilah yang diambil sebagai hasil akhir optimasi antena.

Hasil akhir dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi setelah optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Setelah Optimasi
Sumber : Perancangan

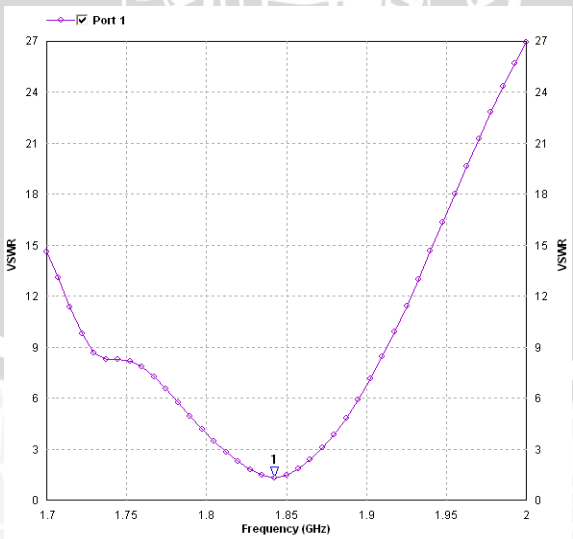
Keterangan Gambar 4.6 :

a = 22,6 mm

y_0 = 4 mm

Z_0 = 200 Ω ; W_0 = 1,421 mm ; L_{01} = 42 mm ; L_{02} = 38,35 mm

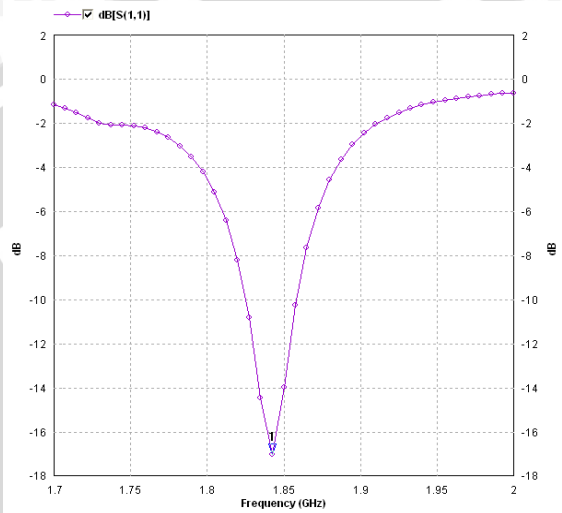
Hasil simulasi dari antena *microstrip circular array* empat elemen setelah optimasi dapat dilihat pada Grafik 4.13 berikut.



Grafik 4.13 Nilai *VSWR* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.13 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi bekerja maksimal pada frekuensi 1842,5 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1,32767. Dari grafik di atas dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai VSWR ≤ 2. Nilai VSWR < 2 dimulai dari 1824,42 MHz sampai 1859,15 MHz, sehingga antena mempunyai *bandwidth* sebesar (1859,15 – 1824,42) MHz = 34,73 MHz.

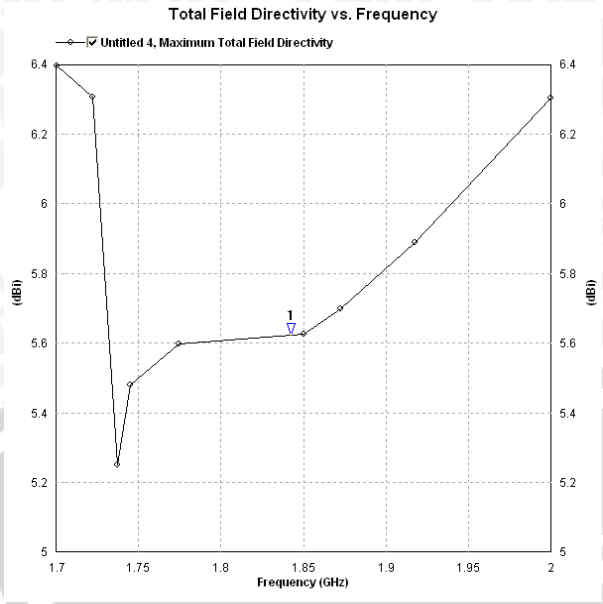
Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Grafik 4.14 berikut.



Grafik 4.14 Nilai *Return Loss* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.14 dapat dilihat bahwa antena *microstrip circular array* empat elemen peradiasi bekerja optimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 1842,5 MHz dengan nilai *return loss* sebesar -17,0298 dB.

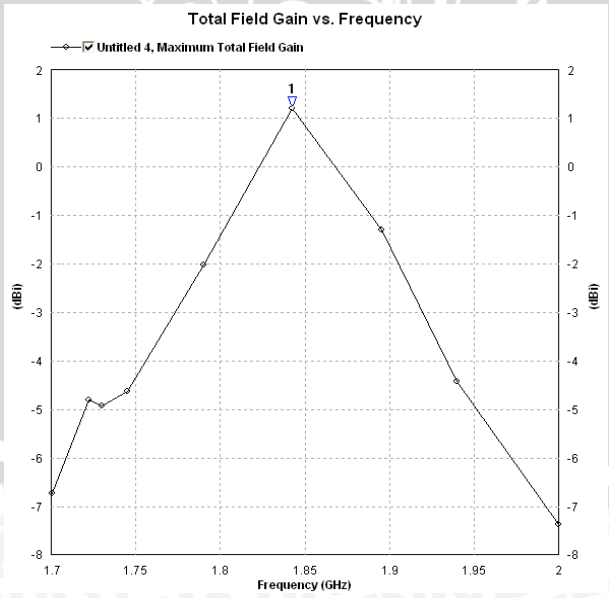
Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada Grafik 4.15 berikut.



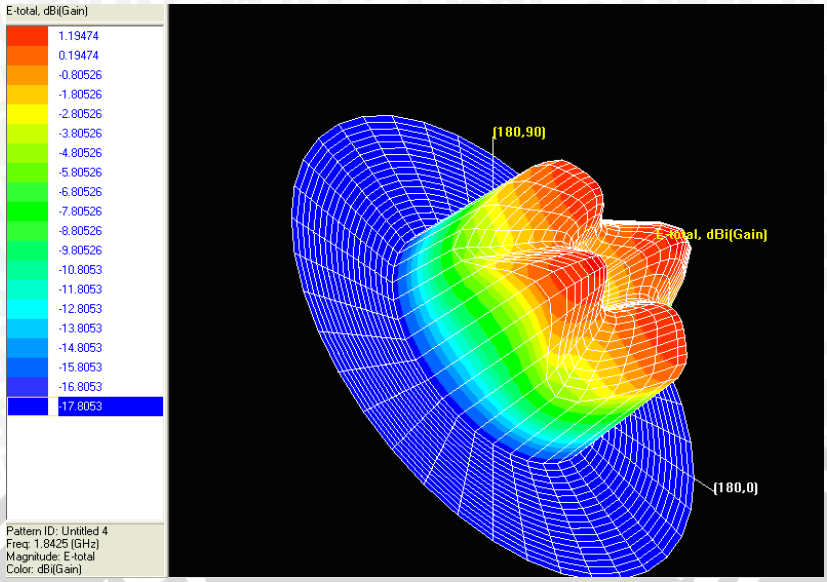
Grafik 4.15 Nilai *Directivity* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.15 dapat dilihat bahwa antena *microstrip circular array* empat elemen peradiasi pada frekuensi 1842,5 MHz memiliki nilai *directivity* sebesar 5,61569 dB.

Parameter berikutnya yaitu *gain* dapat dilihat pada Grafik 4.16 berikut.



Grafik 4.16 Nilai *Gain* Antena *Microstrip* Empat Elemen Peradiasi Hasil Optimasi
Sumber : Simulasi



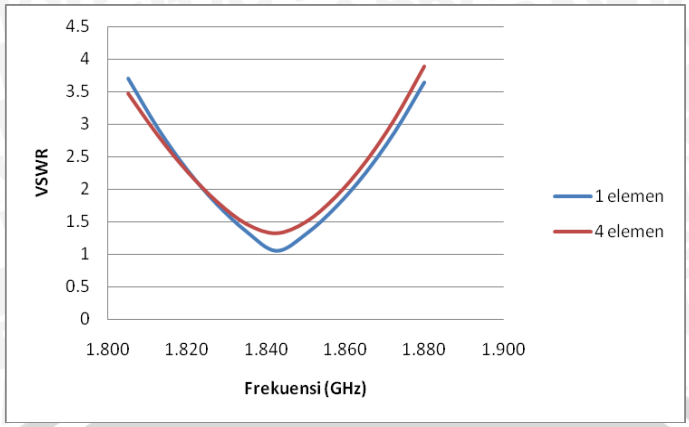
Gambar 4.7 *Gain Pattern* 3D *Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5MHz
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.16, dapat diketahui bahwa *gain* antena pada frekuensi 1842,5 MHz sebesar 1,19474 dBi**.**

4.5 Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada parameter-parameter antena yang meliputi *VSWR, return loss, directivity, gain,* serta perhitungan *bandwidth,* dapat dikatakan bahwa antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan setelah melalui optimasi.

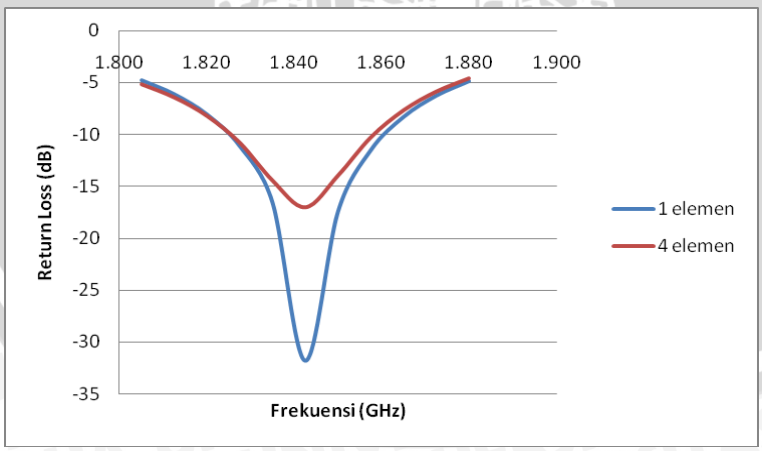
Perbandingan antara performansi hasil simulasi antena *microstrip circular* satu elemen dan *array* empat elemen dapat dilihat dari parameter-parameter di atas, yang pertama yaitu parameter *VSWR* pada Grafik 4.17 berikut.



Grafik 4.17 Perbandingan Hasil Simulasi *VSWR* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen
Sumber : Hasil Simulasi

Grafik 4.17 menunjukkan nilai *VSWR* antena *microstrip circular*. Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa antena dengan jumlah elemen peradiasi yang lebih banyak relatif mempunyai nilai *VSWR* yang lebih besar, dan *bandwidth* yang dihasilkan lebih kecil. Hal ini dikarenakan adanya penambahan jumlah elemen pada antena *microstrip* yang disusun secara konfigurasi silang, sehingga menyebabkan elemen peradiasi yang saling berhadapan bersifat saling meniadakan.

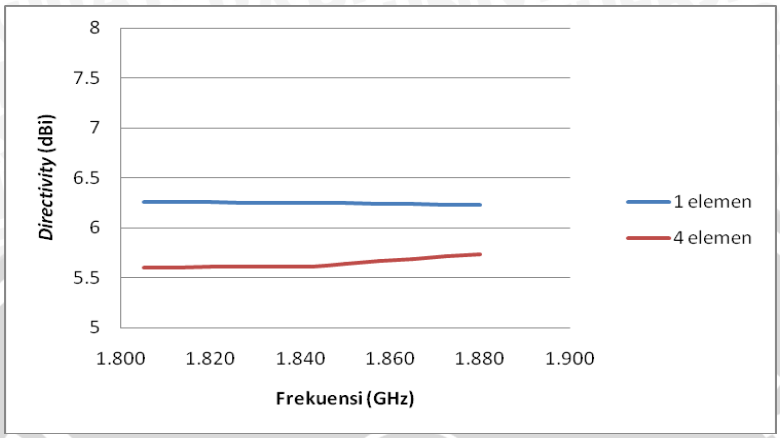
Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi ialah *return loss* pada Grafik 4.18 berikut.



Grafik 4.18 Perbandingan Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen
Sumber : Hasil Simulasi

Dari Grafik 4.18 dapat dilihat bahwa dengan jumlah elemen peradiasi yang lebih banyak menghasilkan nilai *return loss* yang lebih besar, begitu pula sebaliknya.

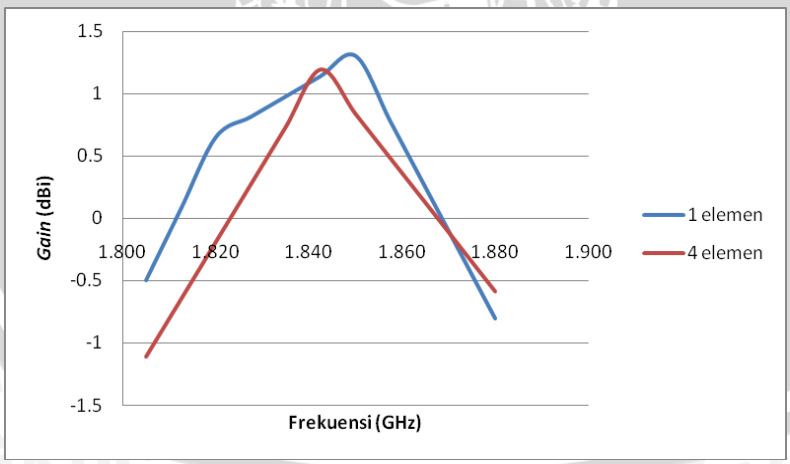
Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi adalah *directivity* pada Grafik 4.19 berikut.



Grafik 4.19 Perbandingan Hasil Simulasi *Directivity* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen
Sumber : Hasil Simulasi

Dari Grafik 4.19 dapat dilihat bahwa dengan jumlah elemen peradiasi yang lebih banyak menghasilkan nilai *directivity* yang lebih kecil, begitu pula sebaliknya.

Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi adalah *gain* pada Grafik 4.20 berikut.



Grafik 4.20 Perbandingan Hasil Simulasi *Gain* Satu Elemen dan *Array* Empat Elemen
Sumber : Hasil Simulasi

Dari Grafik 4.20 dapat dilihat bahwa dengan jumlah elemen peradiasi yang lebih banyak menghasilkan nilai *gain* yang lebih kecil, begitu pula sebaliknya. Hal ini dipengaruhi oleh susunan antena *microstrip* yang disusun secara konfigurasi silang.

Dengan memperhatikan karakteristik antena hasil simulasi berdasarkan keempat parameter di atas, maka dapat dikatakan bahwa antena *microstrip circular array* empat elemen hasil perancangan ini sudah memenuhi beberapa parameter yang diinginkan (GSM 1800) walaupun antena *microstrip* hasil perancangan ini hanya memiliki *bandwidth* yang kecil yaitu 34,73 MHz (*bandwidth* minimal GSM 1800 yaitu 75 MHz). Dengan demikian langkah selanjutnya adalah fabrikasi antena yang desainnya sesuai dengan hasil perancangan di atas.

4.6 Pembuatan Antena *Microstrip*

Pada umumnya teknik pembuatan rangkaian-rangkaian *microstrip* dilakukan dengan mencetaknya di atas substrat tertentu. Pada skripsi ini substrat yang digunakan adalah FR-4 yang sudah dalam bentuk PCB *double layer* dan lapisan konduktornya dari bahan tembaga.

4.6.1 Alat-alat dan Bahan yang Digunakan

Bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan antena *microstrip* ini adalah sebagai berikut :

1. *Layout* rancangan dengan *AutoCAD 2008* dicetak di atas kertas kalkir dengan skala 1:1
2. PCB dengan bahan substrat FR-4 dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga.
3. Jangka sorong
4. Mikrometer
5. Ulano – 133
6. *Screen* T – 180
7. Amplas *waterproof* CC – Cw
8. Gergaji besi
9. Kikir penghalus
10. Konektor antena standar SMA

11. Bor dan mata bor dengan diameter 1 mm
12. Solder dan timah

4.6.2 Pencetakan Pola Antena *Microstrip* pada Substrat

Pola antena *microstrip* yang akan dicetak di atas PCB terlebih dahulu digambar dengan program *AutoCAD 2008*, untuk kemudian dicetak di atas kertas kalkir sebagai *sample layout*. Untuk menghasilkan cetakan *layout* yang bagus lebih baik, gunakan *printer* dengan teknologi laser, agar ketelitian dari dimensi jalur-jalurnya tetap terjaga. Selain itu hasil *layout* dengan kertas kalkir ini harus terjaga kebersihannya, agar kotoran yang mungkin melekat padanya tidak ikut tercetak pada proses pembuatan antena *microstrip* ini.

Sebelum proses pencetakan, lembaran PCB harus dibersihkan dari debu dan kotoran lainnya yang mungkin melekat pada PCB tersebut. Pembersihan dilakukan dengan menggosokkan kompon atau kit, kemudian dicuci dengan menggunakan deterjen agar tidak ada lagi sisa kotoran yang menempel. Kemudian *screen* T–180 dibersihkan dengan air sabun hingga benar–benar bersih, lalu keringkan. Setelah *screen* kering, lapisi dengan ulano–133, pelapisan ini prosesnya dilakukan pada tempat yang tidak terkena cahaya apapun secara langsung (bebas dari sinar *ultraviolet*). Setelah selesai pelapisan tersebut, maka *screen* dikeringkan dengan menggunakan *hairdryer*.

Setelah itu lembar *layout* yang telah dibuat sebelumnya diletakkan di atas *screen* yang telah terlapisi ulano–133 tersebut, untuk selanjutnya disinari dengan cahaya matahari ± 1 menit. Kemudian *screen* tersebut dibawa kembali ke ruang yang tidak terkena sinar secara langsung, untuk proses pembasahan dengan menggunakan air, agar tercetak pola antena *microstrip* pada *screen* tersebut. Selanjutnya *screen* ini dapat digunakan untuk mencetak (menyablon) pola antena *microstrip* yang kita inginkan pada PCB yang kita gunakan.

4.6.3 *Etching*

Setelah tercetak pola antena *microstrip* yang diinginkan, lakukan proses selanjutnya, yaitu proses pelarutan PCB dengan menggunakan larutan yang merupakan campuran $HCl+H_2O_2+H_2O$ dengan perbandingan 1 : 2 : 9 sampai lapisan

konduktor yang tidak diinginkan larut dan hanya tersisa gambar pola antena yang direncanakan.

Proses selanjutnya yang merupakan proses terakhir adalah pelapisan lapisan konduktor antena *microstrip* dengan menggunakan cairan perak nitrat, yaitu dengan cara mencelupkannya ke dalam cairan perak nitrat dalam waktu ± 15 menit, sampai benar-benar seluruh lapisan konduktor telah terlapisi dengan perak. Setelah itu antena *microstrip* ini dicuci dan dibersihkan.

BAB V
PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA *MICROSTRIP CIRCULAR ARRAY* EMPAT ELEMEN

5.1 Pendahuluan

Untuk mengetahui karakteristik antena *microstrip circular array* empat elemen yang telah dirancang dan dibuat, maka dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter antena tersebut terhadap frekuensi kerjanya. Selanjutnya, dari pengukuran parameter-parameter antena yang telah diperoleh akan dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran tersebut.

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan data-data karakteristik parameter dari antena yang telah dirancang dan difabrikasi. Dalam hal ini pengukuran yang dilakukan meliputi :

- Pengukuran *VSWR*
- Pengukuran *return loss*
- Perhitungan koefisien pantul
- Pengukuran *gain* antena
- Pengukuran pola radiasi
- Pengukuran polarisasi
- Perhitungan *bandwidth*
- Perhitungan *directivity*

Pengukuran parameter–parameter tersebut dilakukan di Laboratorium *Microwave* Institut Teknologi Telkom Bandung.

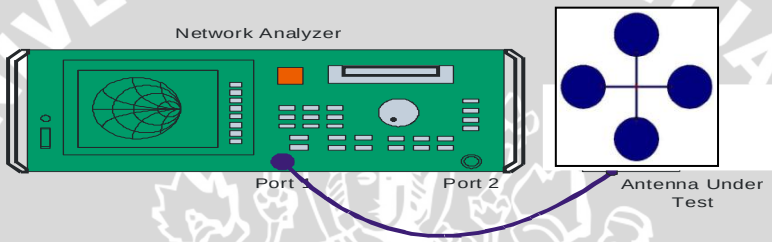
5.2 Pengukuran *VSWR*

5.2.1 Alat-alat yang Digunakan

- *RF Network Analyzer* Agilent 8714ES 300 kHz – 3000 MHz.
- Antena uji (Antena *microstrip circular array* empat elemen).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor N *Female* dan *converter* N *to* SMA.

5.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *RF Network Analyzer* dan tunggu ± 5 menit untuk persiapan pengukuran.
2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *RF Network Analyzer*.
3. Mengkalibrasi alat ukur *RF Network Analyzer* yang telah dihubungkan kabel koaksial RG-58A/U.
4. Menghubungkan ujung lain kabel koaksial RG-58A/U dengan antena uji (antena *microstrip*) sehingga terbentuk rangkaian seperti pada Gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.1. Rangkaian Pengukuran *VSWR*
Sumber : Pengukuran

5. Mengatur alat ukur *RF Network Analyzer* pada range frekuensi 1000 MHz – 3000 MHz.
6. Mencatat nilai VSWR yang ditunjukkan oleh alat ukur *RF Network Analyzer* pada range frekuensi 1700 MHz – 2000 MHz.

5.2.3 Hasil Pengukuran

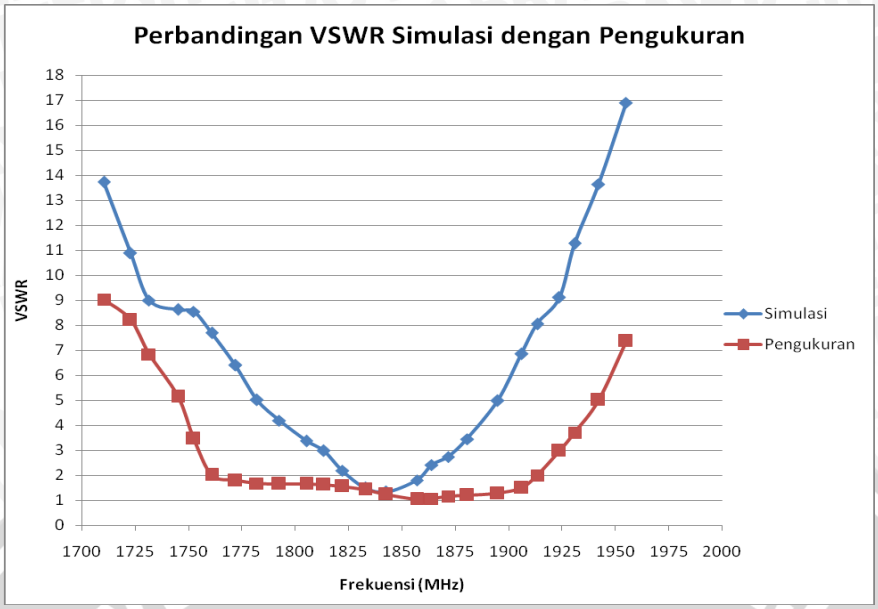
Dengan prosedur pengukuran tersebut, didapat data hasil pengukuran *VSWR* antena *microstrip circular array* empat elemen seperti pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran *VSWR* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen

No.	Frekuensi (MHz)	VSWR
1	1710,35	9,024
2	1722,63	8,215
3	1731,47	6,837
4	1745,10	5,149
5	1752,33	3,458
6	1760,93	2,007
7	1771,85	1,795
8	1782,10	1,678
9	1792,52	1,656
10	1805,20	1,652
11	1813,38	1,631
12	1821,96	1,557
13	1832,67	1,424
14	1842,43	1,234
15	1856,96	1,038
16	1863,78	1,057
17	1871,52	1,156
18	1880,40	1,211
19	1894,67	1,278
20	1905,85	1,497
21	1913,20	2,001
22	1923,58	2,974
23	1930,82	3,706
24	1941,96	5,003
25	1954,78	7,361

Sumber : Hasil Pengukuran

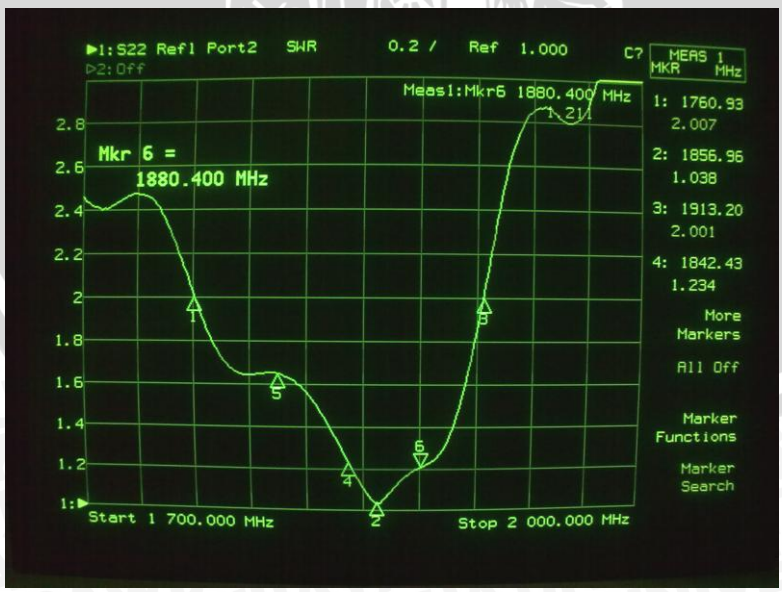
Selanjutnya dari data hasil pengukuran *VSWR* dapat dibuat grafik fungsi *VSWR* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.1 berikut.



Grafik 5.1 Grafik Fungsi *VSWR* terhadap Frekuensi
Sumber : Hasil Pengukuran

5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, antena *microstrip circular array* empat elemen ini memiliki nilai *VSWR* yang berbeda-beda di setiap frekuensinya. Pada frekuensi kerja 1842,43 MHz (mendekati 1842,5 MHz) antena memiliki nilai *VSWR* sebesar 1,234. Ini berarti antena dapat bekerja pada frekuensi kerja yang direncanakan dan masih dalam batas yang diijinkan yaitu *VSWR* < 2.



Gambar 5.2 Tampilan Pengujian *VSWR* pada *Network Analyzer*
Sumber : Pengukuran

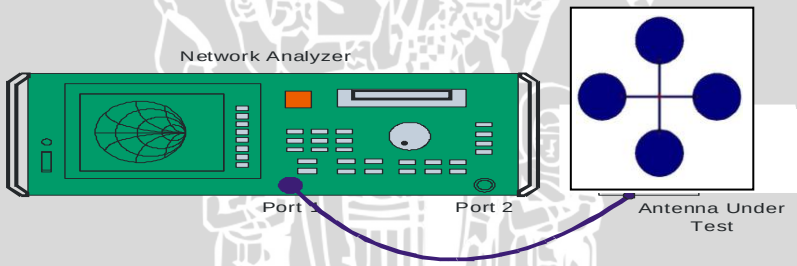
5.3 Pengukuran *Return Loss* dan Perhitungan Koefisien Pantul

5.3.1 Alat-alat yang Digunakan

- *RF Network Analyzer* Agilent 8714ES 300 kHz – 3000 MHz.
- Antena uji (Antena *microstrip circular array* empat elemen).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor N *Female* dan *converter* N *to* SMA.

5.3.2 Prosedur Pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *RF Network Analyzer* dan tunggu ± 5 menit untuk persiapan pengukuran.
2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *RF Network Analyzer*.
3. Mengkalibrasi alat ukur *RF Network Analyzer* yang telah dihubungkan kabel koaksial RG-58A/U.
4. Menghubungkan ujung lain kabel koaksial RG-58A/U dengan antena uji sehingga terbentuk rangkaian seperti pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Rangkaian Pengukuran *Return Loss*
Sumber : Pengukuran

5. Mengatur alat ukur *RF Network Analyzer* pada range frekuensi 1000 MHz – 3000 MHz.
6. Mencatat nilai *return loss* yang ditunjukkan oleh alat ukur *RF Network Analyzer* pada range frekuensi 1700 MHz – 2000 MHz.
7. Dengan persamaan (2-32), diperoleh besarnya koefisien pantul untuk setiap frekuensi yang diukur.

5.3.3 Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran *return loss* dapat dihitung nilai koefisien pantul antena. Perhitungan nilai koefisien pantul dengan persamaan (2-32) adalah sebagai berikut :

f_r = 1842,43 MHz $\qquad RL = 20 \log \Gamma$ (dB)

RL = -19,586 dB $\qquad \Gamma$ = 0,105

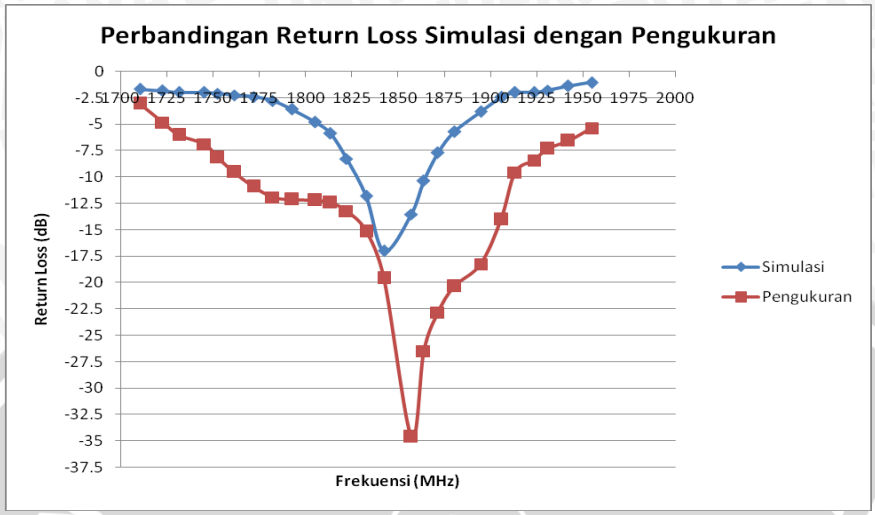
Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *return loss*, maka koefisien pantul antena *microstrip circular array* empat elemen dapat dilihat pada Tabel 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.2. Hasil Pengukuran *Return Loss* dan Perhitungan Koefisien Pantul Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen

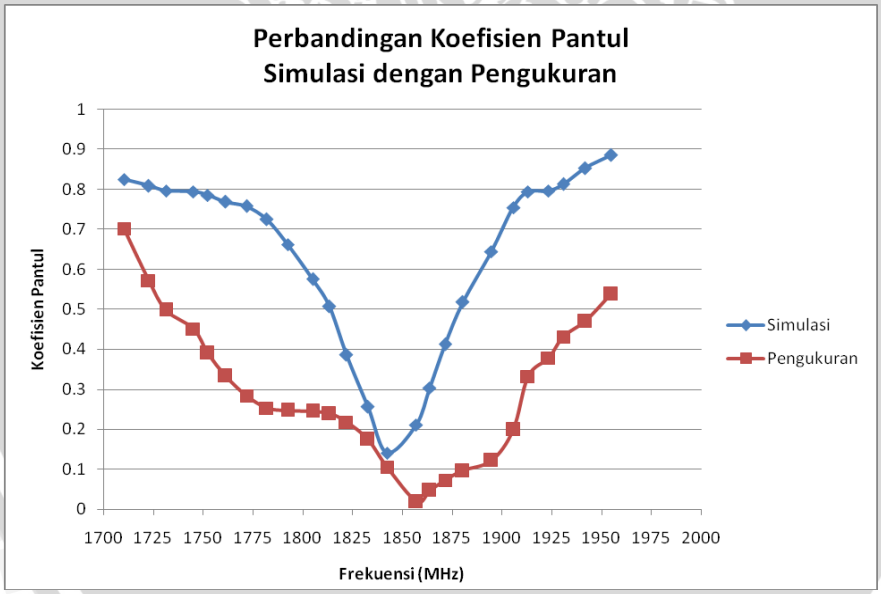
No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss	Koefisien Pantul
1	1710,35	-3,075	0,702
2	1722,63	-4,849	0,572
3	1731,47	-6,052	0,498
4	1745,20	-6,921	0,451
5	1752,33	-8,176	0,390
6	1761,33	-9,558	0,333
7	1771,85	-10,924	0,284
8	1782,10	-11,934	0,253
9	1792,52	-12,148	0,247
10	1805,20	-12,196	0,245
11	1813,38	-12,437	0,239
12	1821,96	-13,237	0,218
13	1832,67	-15,153	0,175
14	1842,43	-19,586	0,105
15	1856,96	-34,624	0,019
16	1863,78	-26,476	0,047
17	1871,52	-22,827	0,072
18	1880,40	-20,356	0,096
19	1894,67	-18,277	0,122
20	1905,85	-14,014	0,199
21	1913,10	-9,566	0,332
22	1923,58	-8,439	0,378
23	1930,82	-7,318	0,431
24	1941,96	-6,563	0,470
25	1954,78	-5,388	0,538

Sumber :Hasil Pengukuran

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *return loss* dan perhitungan koefisien pantul dapat dibuat grafik fungsi terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.2 dan Grafik 5.3 berikut.



Grafik 5.2 Grafik Fungsi *Return Loss* Terhadap Frekuensi
Sumber : Hasil Pengukuran

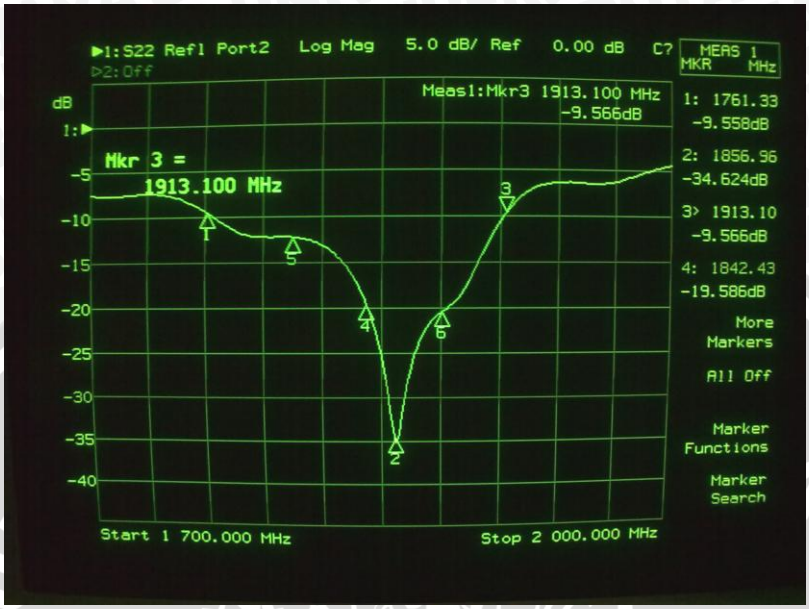


Grafik 5.3 Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi
Sumber : Hasil Pengukuran

5.3.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, antena *microstrip circular array* empat elemen ini memiliki nilai *return loss* yang masih memenuhi parameter kerja. Pada frekuensi kerja 1842,43 MHz (mendekati 1842,5 MHz) antena ini memiliki nilai *return loss*

sebesar –19,586 dB dan koefisien pantul sebesar 0,105. Hal ini berarti antena dapat bekerja pada frekuensi kerja yang direncanakan dan masih dalam batas yang diijinkan yaitu *RL* < -10 dB.



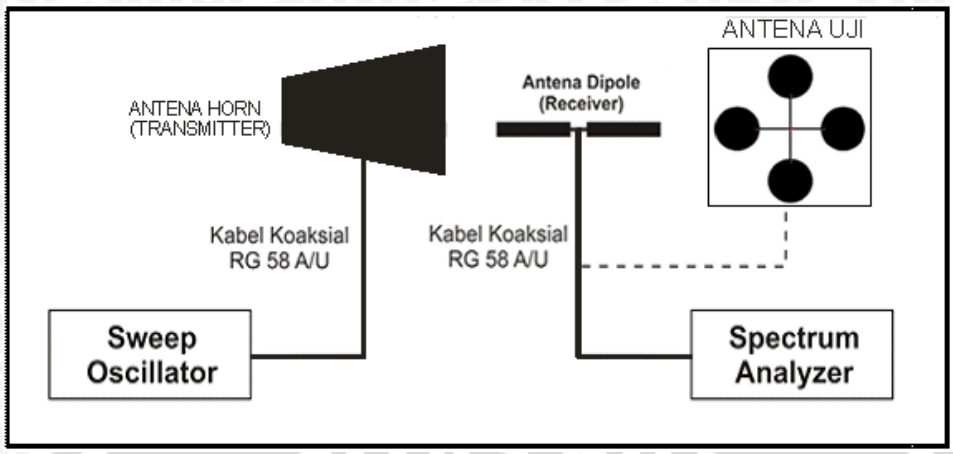
Gambar 5.4 Tampilan Pengujian *Return Loss* pada *Network Analyzer*
Sumber : Pengukuran

5.4 Pengukuran *Gain* Antena

5.4.1 Alat-alat yang Digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B* 1 – 26,5 GHz *Hewlett Packard*.
- *Spectrum Analyzer 8653E* 30 Hz – 26,5 GHz *Hewlett Packard*.
- Satu buah antena standar *dipole sleeve λ/2*.
- Satu buah antena *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor tipe N *Female* dan *converter* N *to* SMA.
- Dua buah tiang penyangga.

5.4.2 Prosedur Pengukuran



Gambar 5.5 Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena
Sumber : Pengukuran

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.5.
2. Antena *horn* dipasang sebagai antena pemancar dan antena *dipole* λ/2 dipasang sebagai antena referensi pada sisi penerima.
3. *Sweep Oscillator* diatur pada frekuensi 1842,5 MHz dan catat daya antena *horn* yang terukur pada *Spectrum Analyzer*.
4. Antena *dipole* λ/2 pada penerima (referensi) diganti dengan antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen) hasil perancangan.
5. Mengulangi langkah 4 dengan masing-masing pengambilan data 10 kali kemudian mencatat daya yang diterima.

5.4.3 Hasil Pengukuran

Pada pengukuran gain antena ini, akan diperoleh parameter-parameter yaitu daya yang diterima antena referensi (P_R), daya antena yang diuji (P_U), dan *gain* antena yang diuji (G_{AUT}). Nilai Gain antena (G) yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan (2-27) di bawah ini :

f_r = 1842,5 MHz
P_R = - 45,22 dBm
P_U = - 43,45 dBm
G_R = 2,15 dBi

$$G_{AUT}(dBi) = G_R(dBi) + 10\log\left(\frac{W_U}{W_R}\right)$$

$$G_{AUT}(dBi) = G_R(dBi) + P_U(dBm) - P_R(dBm)$$

$$G_{AUT}(dBi) = 2{,}15(dBi) - 43{,}45(dBm) - (-45{,}22)(dBm) = 3{,}92\ dBi$$

Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran *Gain* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen

No. Pengukuran	Antena	
	Antena Uji / *Under Test* (dBm)	Antena Referensi (dBm)
1	-42,50	-44,33
2	-42,33	-44,67
3	-43,17	-45,00
4	-44,67	-44,83
5	-44,33	-46,17
6	-43,67	-45,50
7	-42,83	-46,00
8	-44,17	-45,83
9	-43,00	-44,17
10	-43,83	-45,67
Rata-rata	**-43,45**	**-45,22**
Gain (dBi)	**3,92**	**2,15**

Sumber : Hasil Pengukuran

5.4.4 Analisis Hasil Pengukuran

Pada pengukuran ini digunakan antena referensi adalah antena *dipole* λ/2 isotropis dengan nilai *gain* standar 2,15 dBi.

Pada frekuensi perencanaan antena yaitu 1842,5 MHz, antena memiliki nilai *gain* 3,92 dBi yang berarti lebih besar dari hasil simulasi yaitu 1,19474 dBi. Nilai ini telah memenuhi persyaratan yang diinginkan pada gain antena *microstrip* yang umumnya lebih besar dari 3 dBi.

5.5 Pengukuran Polarisasi

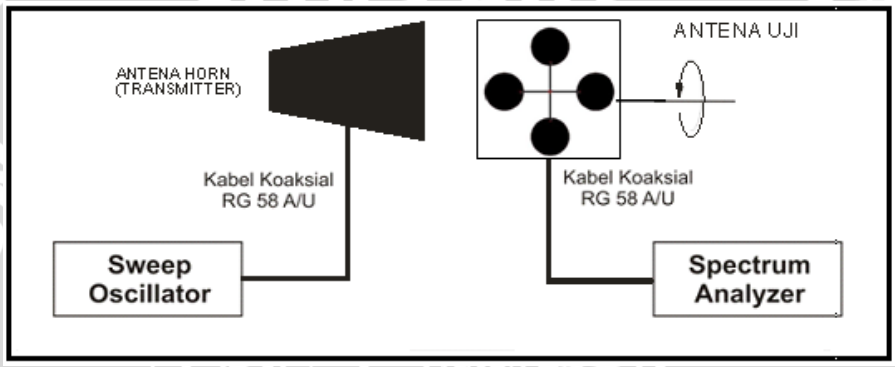
5.5.1 Alat-alat yang Digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B* 1 – 26,5 GHz *Hewlett Packard*.
- *Spectrum Analyzer 8653E* 30 Hz – 26,5 GHz *Hewlett Packard*.
- Satu buah antena *horn* sebagai *transmitter*.

- Antena uji (Antena *microstrip circular array* empat elemen).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor tipe N *Female* dan *converter* N *to* SMA.
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar tiap 10^0.

5.5.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antena *horn* sebagai antena pemancar dengan menghubungkannya ke *Sweep Oscillator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6. Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena
Sumber : Pengukuran

2. Memasang antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen) sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.6.
3. Memposisikan antena pemancar sejajar dengan antena uji, kemudian mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 1842,5 MHz.
4. Memutar antena uji pada sumbu horizontal antena, dari 0^o sampai 360^o dengan interval 10^o, dan mencatat nilai daya diterima yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

5.5.3 Hasil Pengukuran

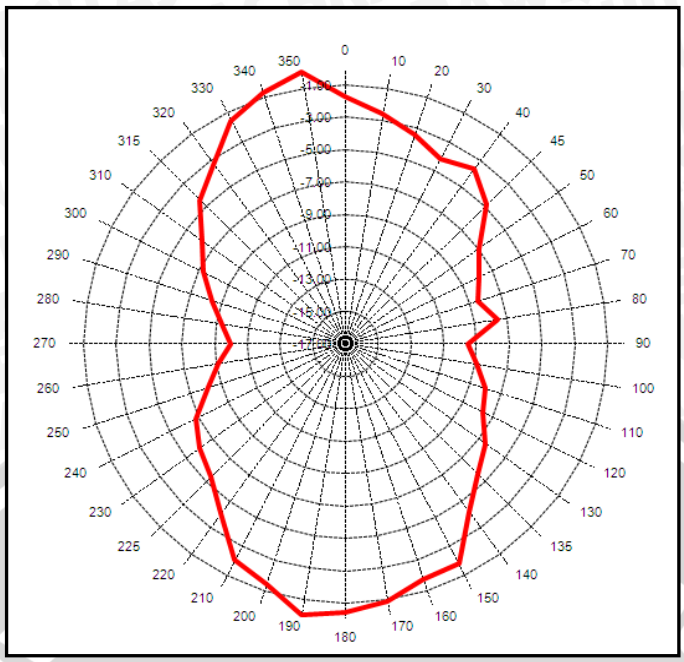
Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antena uji (antena *microstrip* c*ircular array* empat elemen) yang diputar 10^o pada sumbu horizontal. Nilai normalisasi hasil pengukuran

kemudian diubah ke dalam bentuk diagram polar. Data hasil pengukuran polarisasi pada frekuensi 1842,5 MHz terlihat dalam Tabel 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	39,17	39,33	-39,17	-39,33	-39,25	-1,75
10	40,00	40,17	-40,00	-40,17	-40,08	-2,59
20	40,83	41,00	-40,83	-41,00	-40,91	-3,42
30	41,83	41,50	-41,83	-41,50	-41,66	-4,17
40	41,00	41,33	-41,00	-41,33	-41,16	-3,67
45	42,00	42,67	-42,00	-42,67	-42,32	-4,83
50	43,50	45,67	-43,50	-45,67	-44,45	-6,95
60	44,67	46,17	-44,67	-46,17	-45,36	-7,86
70	45,33	46,83	-45,33	-46,83	-46,02	-8,52
80	45,17	45,00	-45,17	-45,00	-45,08	-7,59
90	46,83	47,17	-46,83	-47,17	-47,00	-9,50
100	46,50	46,33	-46,50	-46,33	-46,41	-8,92
110	45,33	45,67	-45,33	-45,67	-45,50	-8,00
120	44,67	45,50	-44,67	-45,50	-45,07	-7,57
130	43,17	44,83	-43,17	-44,83	-43,92	-6,42
135	42,50	43,67	-42,50	-43,67	-43,05	-5,55
140	41,83	41,50	-41,83	-41,50	-41,66	-4,17
150	39,33	39,17	-39,33	-39,17	-39,25	-1,75
160	39,00	39,33	-39,00	-39,33	-39,16	-1,67
170	38,67	38,00	-38,67	-38,00	-38,32	-0,83
180	38,17	37,67	-38,17	-37,67	-37,91	-0,42
190	38,33	36,83	-38,33	-36,83	-37,52	-0,02
200	39,17	38,50	-39,17	-38,50	-38,82	-1,33
210	39,83	39,17	-39,83	-39,17	-39,49	-1,99
220	41,50	41,67	-41,50	-41,67	-41,58	-4,09
225	43,00	42,83	-43,00	-42,83	-42,91	-5,42
230	43,67	43,33	-43,67	-43,33	-43,50	-6,00
240	44,50	44,00	-44,50	-44,00	-44,24	-6,75
250	46,33	45,17	-46,33	-45,17	-45,71	-8,21
260	46,83	46,50	-46,83	-46,50	-46,66	-9,17
270	47,17	47,83	-47,17	-47,83	-47,49	-9,99
280	46,50	47,33	-46,50	-47,33	-46,90	-9,40
290	45,67	46,17	-45,67	-46,17	-45,91	-8,42
300	44,00	45,67	-44,00	-45,67	-44,76	-7,26
310	43,83	43,50	-43,83	-43,50	-43,66	-6,17
315	41,33	42,67	-41,33	-42,67	-41,95	-4,45
320	40,50	41,17	-40,50	-41,17	-40,82	-3,33
330	39,17	39,00	-39,17	-39,00	-39,08	-1,59
340	38,33	38,00	-38,33	-38,00	-38,16	-0,67
350	37,67	37,33	-37,67	-37,33	-37,50	0,00

Sumber : Pengukuran



Gambar 5.7 Diagram Polar Polarisasi Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz
Sumber : Hasil Pengukuran

5.5.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi Tabel 5.4, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antena. Bentuk polarisasi antena yang diuji pada frekuensi 1842,5 MHz dapat dilihat dalam Gambar 5.7 di atas.

Berdasarkan Gambar 5.7, antena ini sudah mendekati polarisasi linier. Walaupun tidak linier sempurna namun dengan memiliki nilai maksimum pada sudut 0^0 dan 180^0 serta minimum pada sudut 90^0 dan 270^0 maka sudah dapat dikatakan antena ini memiliki polarisasi linier. Hal ini sesuai dengan teori bahwa antena *microstrip* memiliki polarisasi linier.

5.6 Pengujian Pola Radiasi

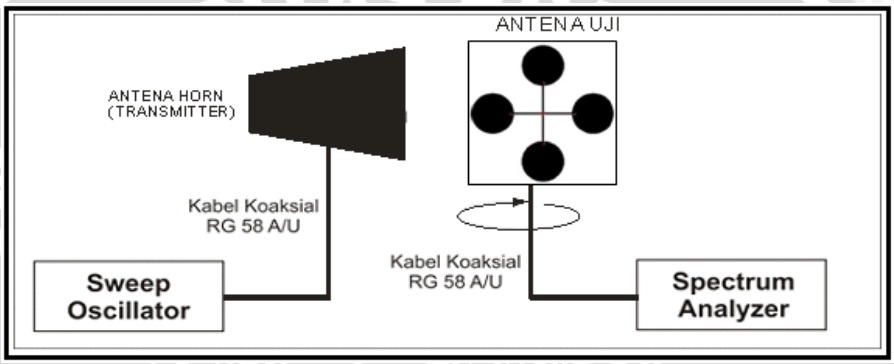
5.6.1 Alat-alat yang Digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B* 1 – 26,5 GHz *Hewlett Packard*.
- *Spectrum Analyzer 8653E* 30 Hz – 26,5 GHz *Hewlett Packard*.
- Satu buah antena *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen).

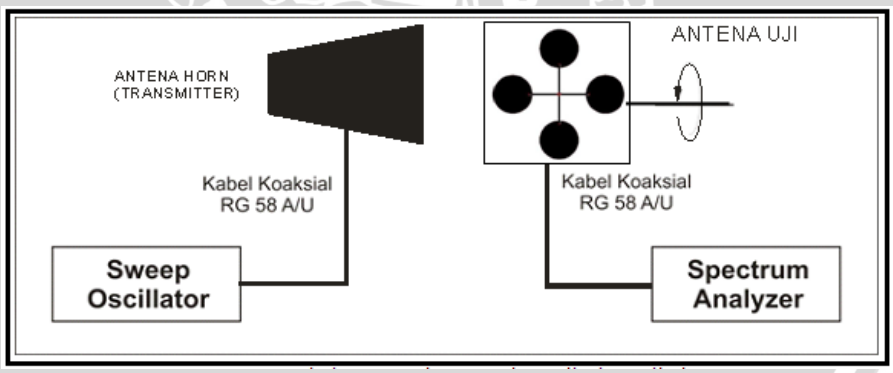
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor tipe N *Female* dan *converter* N *to* SMA.
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar 10^{o}.

5.6.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antena *horn* sebagai antena pemancar dengan menghubungkannya ke *Sweep Oscillator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U dengan jarak ± 4 meter, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.8 Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena
Sumber : Pengukuran



Gambar 5.9 Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena
Sumber : Pengukuran

2. Memasang antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen) sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.
3. Mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 1842,5 MHz.

4. Memutar antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen) secara horizontal, dari 0^o sampai 360^o dengan interval 10^o, dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran untuk mendapatkan nilai pola radiasi horizontal.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.
6. Memutar antena pemancar dan antena uji (antena *microstrip circular array* empat elemen) pada sumbunya sejauh 90^o, untuk mendapatkan nilai pola radiasi vertikal.
7. Mengulangi langkah 4 dan 5.

5.6.3 Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antena uji. Pola radiasi yang diperoleh yaitu pola radiasi horizontal dan pola radiasi vertikal. Data hasil pengukuran pola radiasi horizontal dan pola radiasi vertikal pada frekuensi 1842,5 MHz terlihat dalam Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz

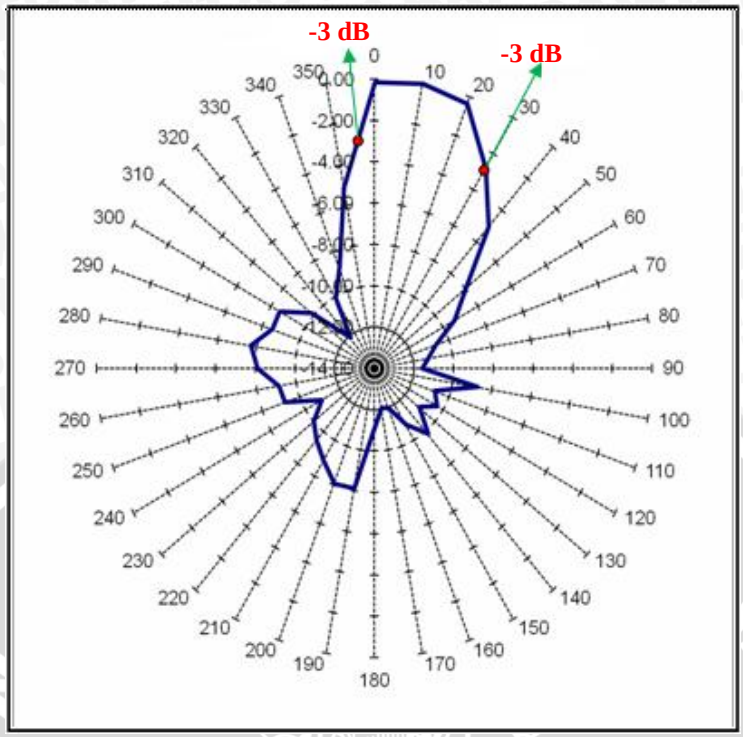
Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	39,67	40,83	-39,67	-40,83	-40,21	-0,15
10	40,50	39,67	-40,50	-39,67	-40,07	0,00
20	39,83	41,17	-39,83	-41,17	-40,45	-0,38
30	42,33	43,50	-42,33	-43,50	-42,88	-2,81
40	44,17	46,33	-44,17	-46,33	-45,12	-5,05
50	47,50	48,67	-47,50	-48,67	-48,05	-7,98
60	49,67	49,17	-49,67	-49,17	-49,41	-9,35
70	50,33	51,33	-50,33	-51,33	-50,80	-1,74
80	52,17	51,83	-51,17	-51,50	-51,33	-1,27
90	51,33	52,00	-51,33	-52,00	-51,65	-1,59
100	47,67	50,33	-47,67	-50,33	-48,80	-8,73
110	50,83	50,83	-50,83	-50,83	-50,83	-10,76
120	50,17	50,67	-50,17	-50,67	-50,41	-10,35
130	50,67	51,67	-50,67	-51,67	-51,14	-11,08
140	50,33	49,50	-50,33	-49,50	-49,90	-9,83
150	50,17	51,83	-50,17	-51,83	-50,92	-10,86
160	51,83	52,17	-51,83	-52,17	-52,00	-11,93
170	51,67	52,67	-51,67	-52,67	-52,14	-12,08
180	50,33	52,33	-50,33	-52,33	-51,22	-11,15
190	48,50	47,83	-48,50	-47,83	-48,15	-8,09
200	48,83	47,50	-48,83	-47,50	-48,11	-8,05
210	49,17	48,67	-49,17	-4867	-48,91	-8,85
220	49,67	49,33	-49,67	-49,33	-49,50	-9,43
230	50,33	49,83	-50,33	-49,83	-50,07	-10,01
240	51,50	52,67	-51,50	-50,50	-50,97	-10,91
250	49,33	49,17	-49,33	-49,17	-49,25	-9,18
260	49,00	49,33	-49,00	-49,33	-49,16	-9,10
270	47,83	48,50	-47,83	-48,50	-48,15	-8,09
280	48,17	47,33	-48,17	-47,33	-47,73	-7,66
290	48,50	48,67	-48,50	-48,67	-48,58	-8,52
300	47,67	49,67	-47,67	-49,67	-48,56	-8,49
310	50,33	49,50	-50,33	-49,50	-49,90	-9,83
320	53,17	51,33	-53,17	-51,33	-52,15	-12,09
330	50,50	49,83	-50,50	-49,83	-50,15	-10,09
340	49,67	48,17	-49,67	-48,17	-48,86	-8,79
350	46,83	44,00	-46,83	-44,00	-45,19	-5,12

Sumber : Hasil Pengukuran

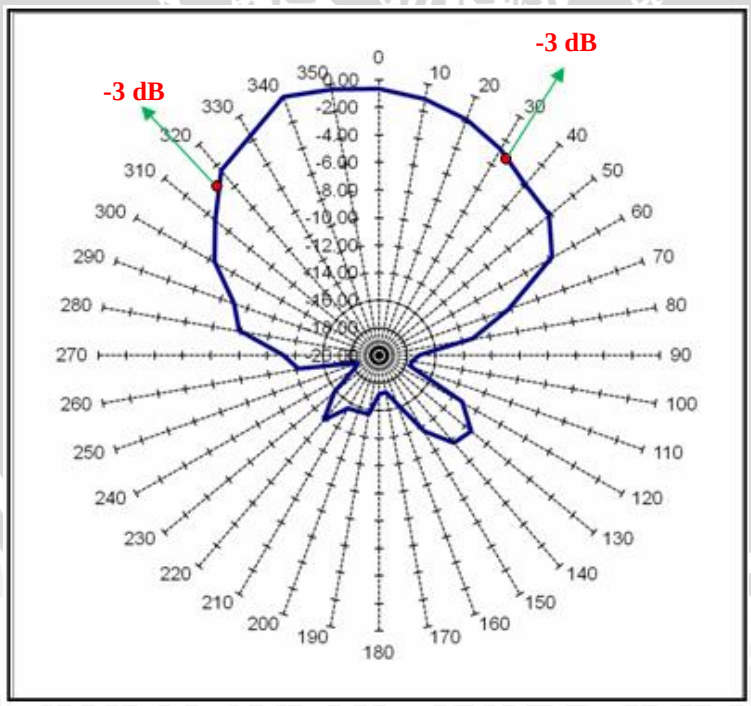
Tabel 5.6 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	39,50	40,50	-39,50	-40,50	-39,97	-0,64
10	39,83	41,17	-39,83	-41,17	-40,45	-1,12
20	40,17	42,33	-40,17	-42,33	-41,12	-1,79
30	41,33	42,83	-41,33	-42,83	-42,02	-2,68
40	42,83	43,50	-42,83	-43,50	-43,15	-3,82
50	43,17	43,83	-43,17	-43,83	-43,49	-4,16
60	45,00	45,17	-45,00	-45,17	-45,08	-5,75
70	48,50	50,83	-48,50	-50,83	-49,51	-10,18
80	52,83	52,33	-52,83	-52,33	-52,57	-13,24
90	56,67	56,17	-56,67	-56,17	-56,41	-17,08
100	56,83	57,00	-56,83	-57,00	-56,91	-17,58
110	57,17	56,83	-57,17	-56,83	-57,00	-17,66
120	52,33	52,67	-52,33	-52,67	-52,50	-13,16
130	51,00	50,50	-51,00	-50,50	-50,74	-11,41
140	50,83	51,17	-50,83	-51,17	-51,00	-11,66
150	52,33	53,67	-52,33	-53,67	-52,95	-13,62
160	55,67	55,33	-55,67	-55,33	-55,50	-16,16
170	57,00	56,17	-57,00	-56,17	-56,57	-17,23
180	56,17	56,83	-56,17	-56,83	-56,49	-17,16
190	54,67	55,33	-54,67	-55,33	-54,99	-15,66
200	53,50	57,17	-53,50	-57,17	-54,96	-15,63
210	55,00	54,67	-55,00	-54,67	-54,83	-15,50
220	52,83	53,50	-52,83	-53,50	-53,15	-13,82
230	55,33	55,00	-55,33	-55,00	-55,16	-15,83
240	57,17	57,33	-57,17	-57,33	-57,25	-17,92
250	57,83	57,67	-57,83	-57,67	-57,75	-18,42
260	53,17	53,83	-53,17	-53,83	-53,49	-14,16
270	52,67	52,17	-52,67	-52,17	-52,41	-13,08
280	50,17	48,33	-50,17	-48,33	-49,15	-9,82
290	49,33	47,50	-49,33	-47,50	-48,32	-8,99
300	45,67	45,83	-45,67	-45,83	-45,75	-6,42
310	43,50	44,67	-43,50	-44,67	-44,05	-4,71
320	41,33	42,33	-41,33	-42,33	-41,80	-2,47
330	40,83	41,00	-40,83	-41,00	-40,91	-1,58
340	39,50	39,17	-39,50	-39,17	-39,33	0,00
350	39,17	40,33	-39,17	-40,33	-39,71	-0,38

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.10 Pola Radiasi Horizontal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz
Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.11 Pola Radiasi Vertikal Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen pada Frekuensi 1842,5 MHz
Sumber : Hasil Pengukuran

5.6.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 dapat digambarkan bentuk pola radiasi antena hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 untuk frekuensi 1842,5 MHz. Berdasarkan Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 tersebut dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antena hasil perancangan (antena *microstrip circular array* empat elemen) adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja.

Berdasarkan Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 diperoleh nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 1842,5 MHz adalah 35^o ($\phi^o_{HP} = 35^o$), dan nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah 75^o ($\theta^o_{HP} = 75^o$).

5.7 Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

Untuk mengetahui nilai keterarahan (*directivity*) antena yang diuji, dapat digunakan data hasil pengukuran pola radiasi.

5.7.1 Cara Perhitungan

Directivity dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$D = \frac{4\pi_{(steradian)}}{\theta.\phi_{(radian^2)}}$$

1 steradian = 1 radian^2

$$= \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2)$$

sehingga,

$$D \approx \frac{4\pi\left(\frac{180}{\pi}\right)^2_{(derajat^2)}}{\theta^o_{HP}\phi^o_{HP(derajat^2)}} \approx \frac{41000}{\theta^o_{HP}\phi^o_{HP}}$$

dengan :

D = *directivity*

θ = *beamwidth* pola radiasi vertikal (rad)

Φ = *beamwidth* pola radiasi horisontal (rad)

θ^o_{HP} = *beamwidth* pola radiasi vertikal (derajat)

ϕ^o_{HP} = *beamwidth* pola radiasi horisontal (derajat)

5.7.2 Hasil Perhitungan

Berdasarkan data hasil pengukuran pola radiasi, diperoleh nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 1842,5 MHz adalah 35^o ($\phi^o_{HP} = 35^o$), dan nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah 75^o ($\theta^o_{HP} = 75^o$). Maka nilai *directivity* antena *microstrip circular array* empat elemen hasil pembuatan adalah :

$$D = \frac{41000}{35^o \cdot 75^o}$$

$$= 15{,}62$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 15{,}62$$

$$= 11{,}94 \text{ dB}$$

5.8 Perhitungan *Bandwidth*

Perhitungan *bandwidth* antena yang diuji dilakukan dengan cara menghitung selisih antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah antena uji. Penentuan frekuensi atas dan frekuensi bawah antena dilakukan dengan cara menentukan frekuensi tertinggi dan terendah antena dimana masih memiliki nilai *VSWR* $\leq$ 2.

Berdasarkan data hasil pengukuran *VSWR* pada frekuensi 1842,5 MHz, antena ini memiliki frekuensi terendah pada frekuensi 1771,85 MHz, dan frekuensi tertinggi pada frekuensi 1905,85 MHz. Sehingga *bandwidth* antena ini adalah:

$B = f_u - f_l$

B = 1905,85 MHz – 1771,85 MHz = 134 MHz

Jadi, antena memiliki *bandwidth* 134 MHz.

Bandwidth antena hasil pengukuran jauh lebih besar daripada *bandwidth* hasil perancangan yang hanya sebesar 34,37 MHz. Perbedaan yang begitu besar ini disebabkan oleh faktor pengukuran yang dilakukan di luar ruangan (*outdoor*), sehingga faktor cuaca juga dapat menyebabkan perubahan dari karakteristik antena.

5.9 Analisis Parameter Antena

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan pada parameter-parameter antena yang meliputi pengukuran *Return Loss, VSWR*, Koefisien Pantul, *Gain*, Pola Radiasi, Polarisasi, *Bandwidth, dan Directivity* antena *microstrip circular array* empat elemen, akhirnya dapat diketahui karakteristik antena sebagai berikut :

Tabel 5.7 Karakteristik Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Hasil Pembuatan

Frekuensi kerja	1842,5 MHz
Return Loss	-19,586 dB
VSWR	1,234
Koefisien Pantul	0,105
Gain	3,92 dBi
Pola Radiasi	*Unidirectional*
Polarisasi	Linier
Bandwidth	134 MHz
Directivity	11,94 dB

Sumber: Hasil Pengukuran

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, dapat dilihat beberapa parameter antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang hasil pembuatan yang meliputi *return loss* dan *VSWR* yang menunjukkan antena sesuai dengan perencanaan, yakni *return loss* < -10 dB dan *VSWR* < 2. Koefisien pantul bernilai 0,105 yang menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal dari antena dapat tersalurkan. Nilai *gain* antena ini sebesar 3,92 dBi. Pola radiasi antena adalah *unidirectional* dengan polarisasinya yang berbentuk linier. *Bandwidth* antena sebesar 134 MHz dengan *directivity* antena sebesar 11,94 dB.

Dengan memperhatikan karakteristik antena hasil fabrikasi, dapat dinyatakan bahwa antena ini bisa digunakan untuk aplikasi GSM 1805 MHz – 1880 MHz, karena nilai *VSWR* dan *return loss* yang sesuai dengan batas yang diijinkan yaitu *VSWR* < 2 dan *RL* < -10 dB, nilai *gain* pun sesuai dengan persyaratan umum antena *microstrip* yaitu di atas 3 dBi. Nilai *bandwidth* sebesar 134 MHz pun lebih besar dari pada *requirement bandwidth* antena untuk aplikasi GSM 1805 – 1880 MHz yang hanya sebesar 75 MHz. Dengan melihat parameter-parameter tersebut dapat dikatakan bahwa antena *microstrip circular array* empat elemen hasil fabrikasi ini dapat bekerja pada frekuensi GSM 1805 MHz – 1880 MHz.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan antena, pembuatan antena, dan pengukuran antena, serta analisis parameter-parameter antena, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Antena *microstrip circular array* yang dibuat memiliki empat elemen peradiasi berbentuk *circular* (lingkaran) dan disusun konfigurasi silang yang menyerupai tanda plus (+), dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 dengan ketebalan 1,6 mm, nilai konstanta dielektrik (ε_r) yaitu 4,5, dan *loss tangent* bernilai 0,018.
2. Dimensi antena *microstrip circular array* empat elemen setelah dilakukan proses optimasi adalah sebagai berikut :

   Elemen peradiasi :

   Radius elemen peradiasi (a) = 22,6 mm

   Panjang kedalaman *inset feed* (y_0) = 4 mm

   Saluran transmisi :

   Impedansi saluran transmisi (Z_0) = 200 Ω

   Lebar saluran transmisi (W_0) = 1,421 mm

   Panjang saluran transmisi antar elemen pada arah horizontal (L_{01}) = 42 mm

   Panjang saluran transmisi antar elemen pada arah vertikal (L_{02}) = 38,35 mm

   Hasil pengukuran antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang antara lain memiliki nilai *return loss* sebesar -19,586 dB, *VSWR* sebesar 1,234, menghasilkan *gain* sebesar 3,92 dBi, pola radiasi bersifat *unidirectional* (dengan $\phi^o_{HP} = 35^o$ dan $\theta^o_{HP} = 75^o$), memiliki polarisasi linier, nilai *directivity* antena *microstrip circular array* ini yaitu 11,94 dB, dan *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 134 MHz.

6.2 Saran

Dalam penyelesaian skripsi ini tentunya tidak lepas dari kekurangan baik dalam perancangan maupun penyajiannya. Oleh karena itu ada beberapa hal yang sekiranya perlu untuk diperhatikan agar mendapat perbaikan di kemudian hari, yaitu:

1. Dalam melakukan pengukuran, untuk mendapatkan hasil yang akurat dapat dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Dalam hal ini disarankan untuk melakukan pengecekan dan kalibrasi dengan cermat dan teliti baik terhadap alat ukur maupun sarana pendukung lainnya.
2. Perancangan antena *microstrip* dapat menggunakan bahan lain dengan nilai konstanta dielektrik (ε_r) dan nilai *loss tangent* yang berbeda agar diperoleh hasil yang optimal. Untuk elemen peradiasi, selanjutnya dapat digunakan model lain dengan bentuk *array* ataupun elemen tunggal yang bekerja dalam *range* frekuensi yang sama agar dapat dilakukan perbandingan performansi antena.
3. Dalam proses pembuatan antena *microstrip*, perlu diperhatikan ketebalan substrat dielektrik dan lapisan tembaga untuk elemen peradiasi yang digunakan, agar didapatkan antena *microstrip* yang dapat bekerja optimal sesuai dengan yang direncanakan.
4. Proses pemasangan konektor pada antena juga memerlukan ketepatan dan keterampilan, agar dalam proses pengeboran dan penyolderan bisa lebih halus karena konektor yang terpasang pada antena sangat mempengaruhi *loss* pada daya yang dicatukan pada saluran transmisi antena.
5. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan riset dengan metode umpan balik untuk mendapatkan formula/rumus penentuan dimensi antena dari hasil simulasi/optimasi agar hasil yang didapatkan sesuai dengan hasil simulasi/optimasi.

DAFTAR PUSTAKA

Balanis, Constantine A. 1982. *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York: Harper and Row Publisher.

Balanis, Constantine A. 1997. *Antenna Theory: Analysis and Design, Second Edition*. John Wiley and Sons, Inc.

Hund, Edgar. 1989. *Microwave Communications*. McGraw-Hill International, New York.

Kraus, John Daniel. 1988. *Antennas*. McGraw-Hill International, New York.

Kusumarini, Fitri. 2008. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Omnidirectional dengan Frekuensi 1800 MHz*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.

Liao, S Y. 1987. *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design, 2nd Edition*. Souders College Publishing, New York.

Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis.

Orfanidis, S. J. 2004. *Electromagnetic Waves and Antennas*. www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa

Pratama, Ariestya Yoga. 2008. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Circular Array Dual Frekuensi*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.

Resmana, Hendri. 2001. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Array Empat Elemen Persegi Panjang Konfigurasi Silang dengan Menggunakan Teknologi Mikrostrip untuk Antena Penerima Televisi Jalur UHF*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.

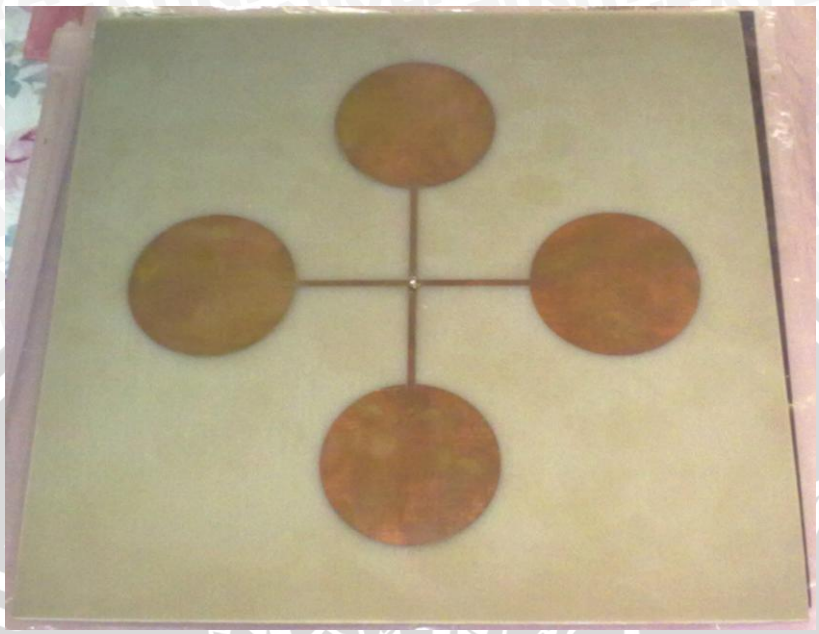
Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.

Anonymous. www.zeland.com

LAMPIRAN

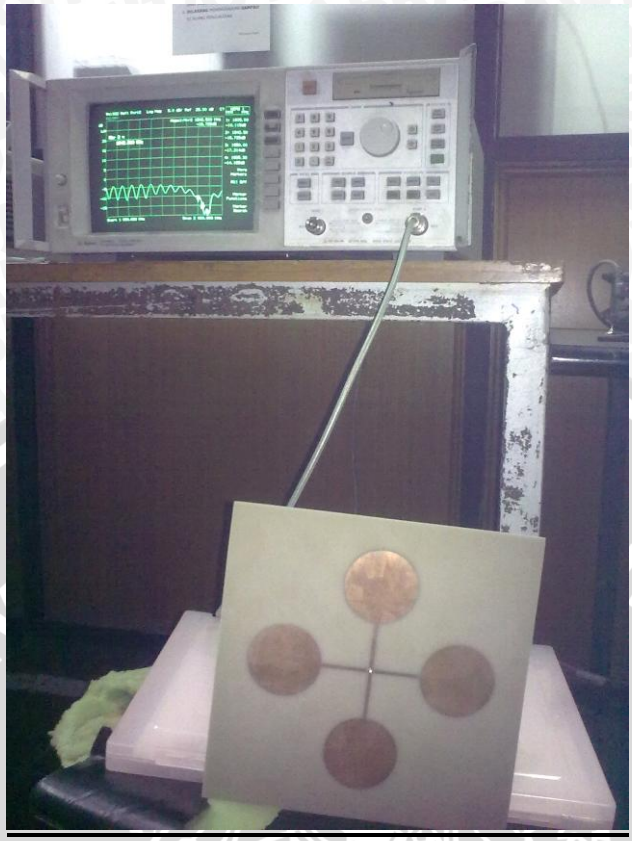
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 1 : Dokumentasi Pengukuran



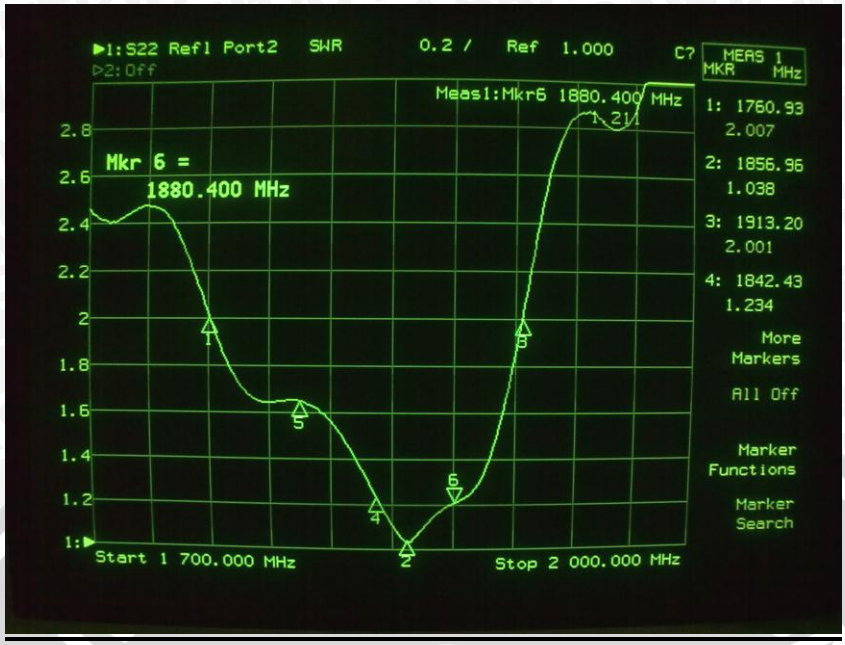
Gambar 1. Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Konfigurasi Silang
Sumber : Hasil Fabrikasi

Gambar 2. *SMA Connector* yang Dipasang pada Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Konfigurasi Silang
Sumber : Hasil Fabrikasi

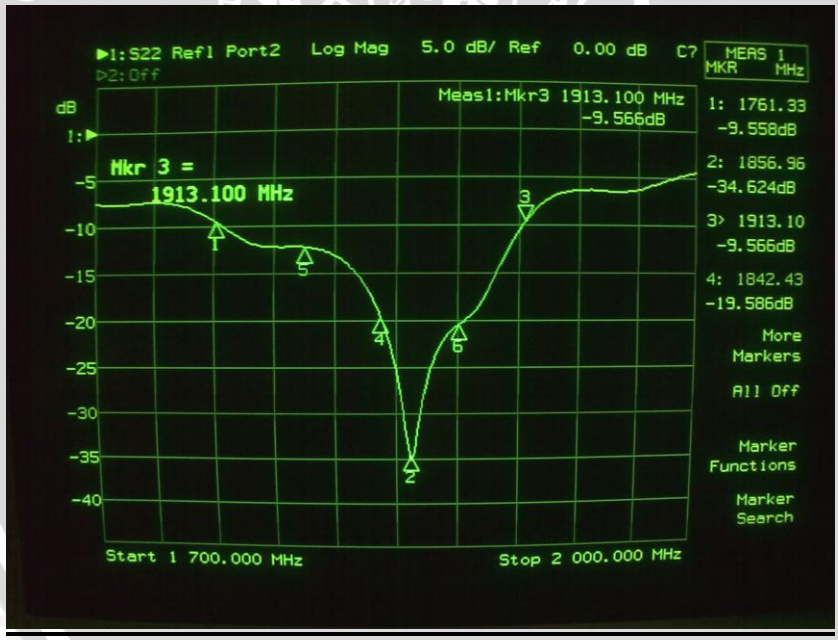


Gambar 3. Antena *Microstrip Circular Array* yang Terhubung dengan *Agilent RF Network Analyzer 8714ES* 300 kHz – 3 GHz
Sumber : Pengukuran

Gambar 4. Pengukuran *Gain*, Polarisasi, dan Pola Radiasi pada *Outdoor*
Sumber : Pengukuran



Gambar 5. Tampilan *VSWR* pada *Network Analyzer*
Sumber : Pengukuran



Gambar 6. Tampilan *Return Loss* pada *Network Analyzer*
Sumber : Pengukuran

Lampiran 2 : Langkah-langkah Simulasi Perancangan Antena dengan Zeland IE3D™

Dalam tahap perencanaan skripsi ini, simulator yang digunakan untuk menyimulasikan perancangan antena yang diinginkan adalah program *Zeland IE3D™*. *Zeland IE3D™* adalah *software* simulator untuk gelombang elektromagnetik dengan menggunakan persamaan Maxwell untuk memecahkan permasalahan gelombang elektromagnetik secara makro. Persamaan Maxwell terdiri dari bentuk diferensial, dimana solusi dari berbagai persamaan tersebut adalah medan listrik dan medan magnet dalam sebuah ruang. Pada praktiknya *IE3D™* dapat digunakan untuk mensimulasikan dan mengoptimasi struktur pada bidang *planar* maupun struktur 3 dimensi secara akurat dan efisien. *(IE3D agif-Manual*, 2006:1)

Secara umum, prosedur simulasi sesuai manual adalah sebagai berikut, (1) Buatlah sebuah model struktur sebagai sebentuk *set polygon* dengan menggunakan MGRID. (2) Tentukan letak *port* pada struktur. (3) Mulai men-*setup* simulasi. (4) Gunakan MODUA dan MGRID untuk menampilkan distribusi arus, pola radiasi, serta parameter-parameter lain yang diinginkan. Tetapi, untuk lingkup yang lebih khusus yakni pembuatan antena *microstrip circular array* empat elemen konfigurasi silang ini, langkah-langkah simulasi adalah sebagai berikut:

Tahap 1 - Pemodelan Elemen Peradiasi (*patch*)

Sebelum kita memulai untuk menyimulasikan *patch* yang akan kita gunakan pada antena yang akan kita buat, kita harus menentukan dahulu parameter-parameter spesifik terkait bentuk *patch* serta bahan yang akan kita gunakan untuk mencetak antena. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

Bahan *Epoxy Fiberglass* – FR 4

Konstanta dielektrik (ε_r) = 4,5

Ketebalan lapisan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm

Loss tangent = 0,018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m

Konduktivitas tembaga (σ) = $5{,}80 \times 10^7$ mho m^{-1}

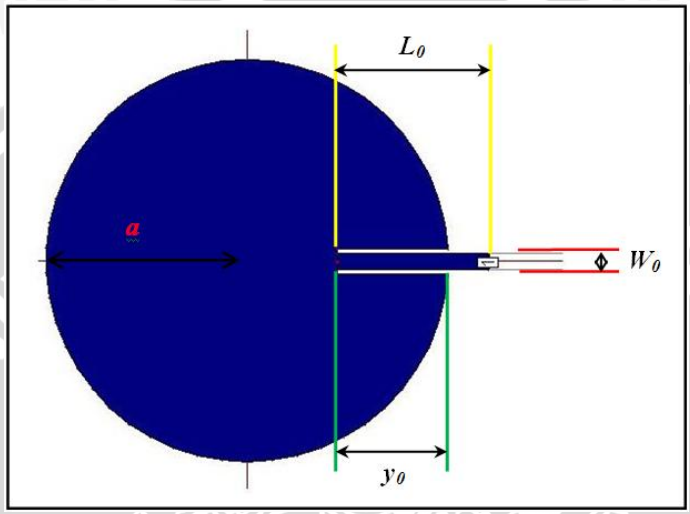
Frekuensi kerja (f_r) = 1842,5 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

Dengan bentuk *patch* tunggal seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, maka nilai untuk masing- masing variabel adalah:

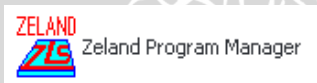
a = 22,48 mm ; y_o = 13,488 mm

L_o = 19,175 mm ; W_o = 1,421 mm

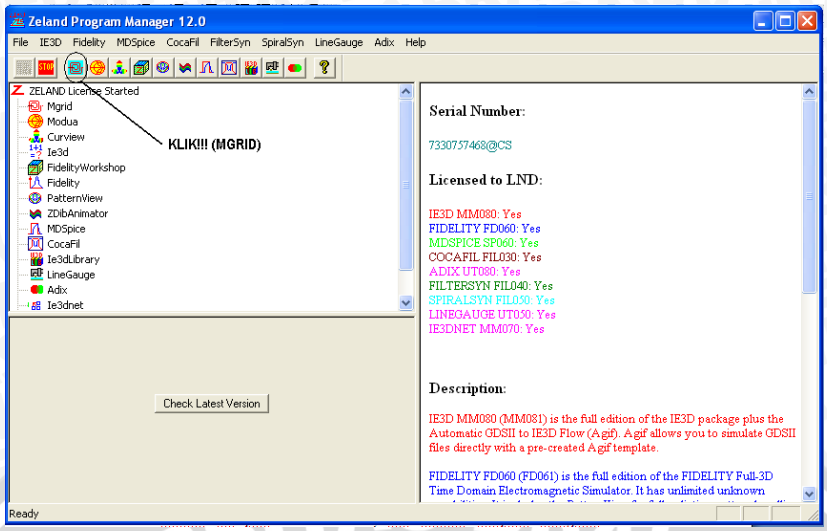


Gambar 1. Elemen Peradiasi
Sumber : Perancangan

Dengan mengasumsikan bahwa program *Zeland IE3D*^{TM} telah terinstal pada komputer anda, maka langkah-langkah lanjut yang harus dilakukan adalah:

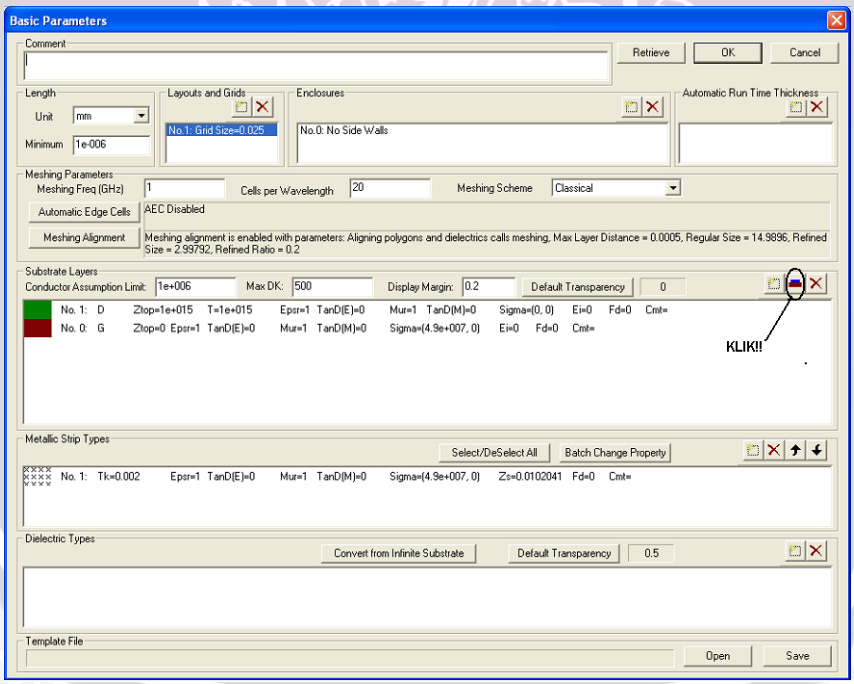
1. Bukalah (tekan) 

2. Klik MGRID pada *window* yang muncul setelah anda membuka *Zeland Program Manager*. Perhatikan Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Tampilan Menu pada *Zeland Program Manager*
Sumber : Zeland Folder

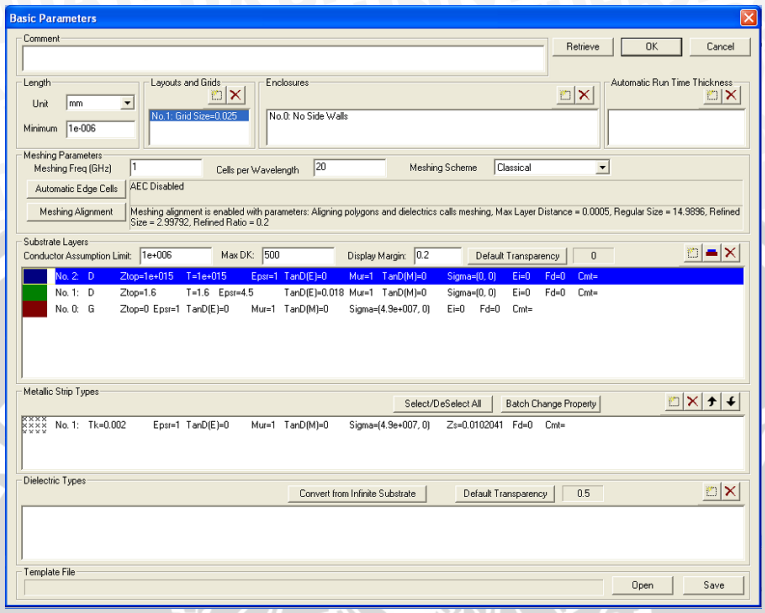
3. Setelah itu pilih *File* → *New*, lalu muncul tampilan mengenai *Basic Parameters* seperti pada Gambar 3. *Basic Parameters* ini digunakan untuk memasukkan nilai-nilai parameter spesifikasi bahan yang akan kita gunakan.



Gambar 3. Tampilan *window Basic Parameters*
Sumber : Perancangan

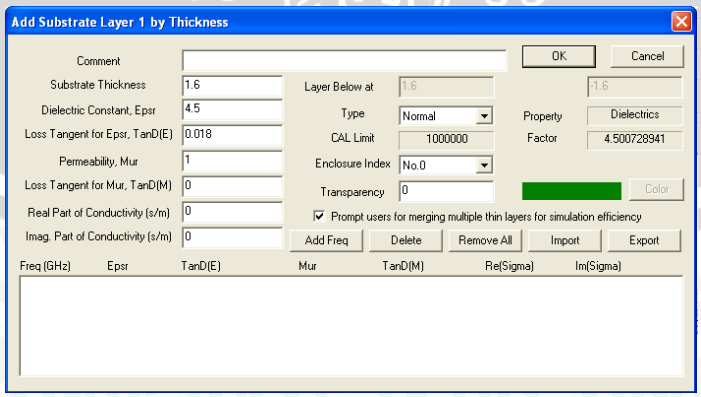
4. Bahan utama FR-4 ada dua (2) lapisan, yakni lapisan konduktor dan *groundplane* (lapisan udara adalah *default layer* pada *Basic Parameters* ini) . Pada Gambar 3 ada dua lapisan pada kolom *Substrate Layers*, yakni berwarna hijau dan merah.

Kedua lapisan itu menyimbolkan masing-masing untuk udara dan *groundplane*. Untuk menambahkan lapisan konduktor, tekan *icon Add Substrate Layer by Thickness* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3, tekan *OK*. Lalu muncul tampilan seperti ditunjukkan oleh Gambar 4 berikut.



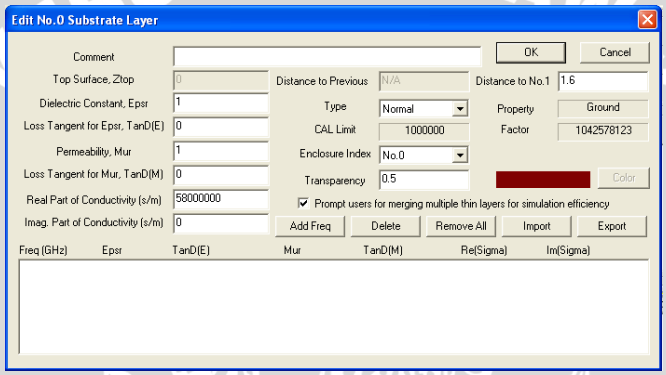
Gambar 4. Tampilan *Basic Parameters* Untuk Tiga Lapisan Bahan FR-4
Sumber : Perancangan

5. Terlihat ada 3 lapisan diatas. Biru untuk udara (perhatikan *Ztop*-nya bernilai sebesar 1e+015), hijau untuk lapisan konduktor (tembaga), sedangkan yang merah untuk lapisan *groundplane*-nya. Untuk meng-*edit* nilai-nilai dari parameter spesifikasi bahan pada tiap lapisan, tekan 2 kali pada tiap lapisan yang diinginkan. Sebagai contoh untuk lapisan konduktor ditekan 2 kali, maka kemudian muncul tampilan seperti Gambar 5 berikut.

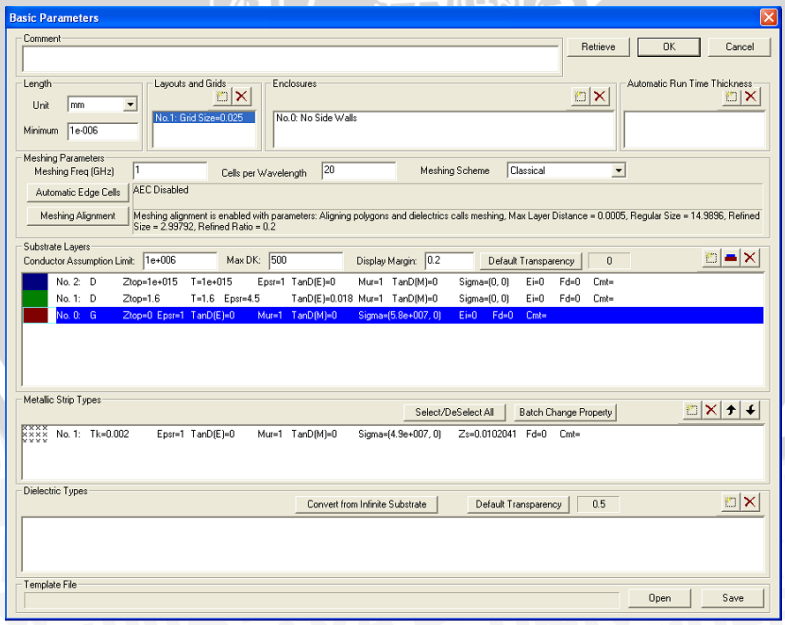


Gambar 5. Tampilan Untuk Mengubah Parameter Lapisan Konduktor
Sumber : Perancangan

6. Terlihat ada variabel-variabel seperti *Top Surface, Dielectric Constant*, serta *Loss Tangent for Epsr* yang masing-masingnya berarti ketebalan bahan (dalam satuan mm), Konstanta Dielektrik, serta *Loss Tangent* untuk bahan yang dimaksud. Untuk simulasi kali ini disesuaikan dengan spesifikasi bahan yang telah tersebut diatas, sehingga setelah semua nilai (untuk lapisan konduktor) dimasukkan maka tampilan akan terlihat seperti Gambar 5. Lalu tekan *OK*.
7. Lakukan langkah yang sama untuk lapisan *groundplane*, tetapi yang diubah hanyalah *Real Part of Conductivity*-nya. Ubahlah menjadi nilai 5.8e+007 sehingga diperoleh tampilan seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Lalu tekan *OK*, dan akan muncul tampilan menu MGRID seperti ditunjukkan oleh Gambar 8.

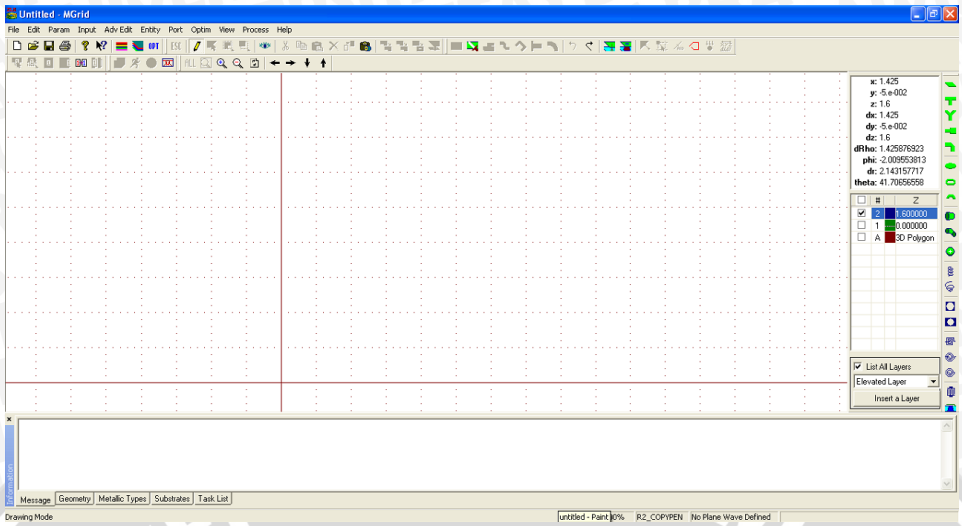


Gambar 6. Tampilan Untuk Mengubah Parameter Lapisan *Groundplane*
Sumber : Perancangan



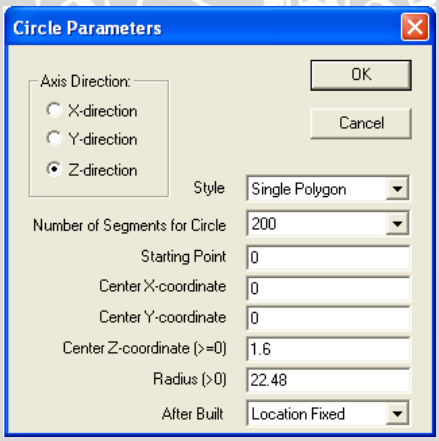
Gambar 7. Tampilan Spesifikasi Semua *Layer* Setelah Diubah
Sumber : Perancangan

Kemudian berikut ini adalah tampilan menu MGRID.



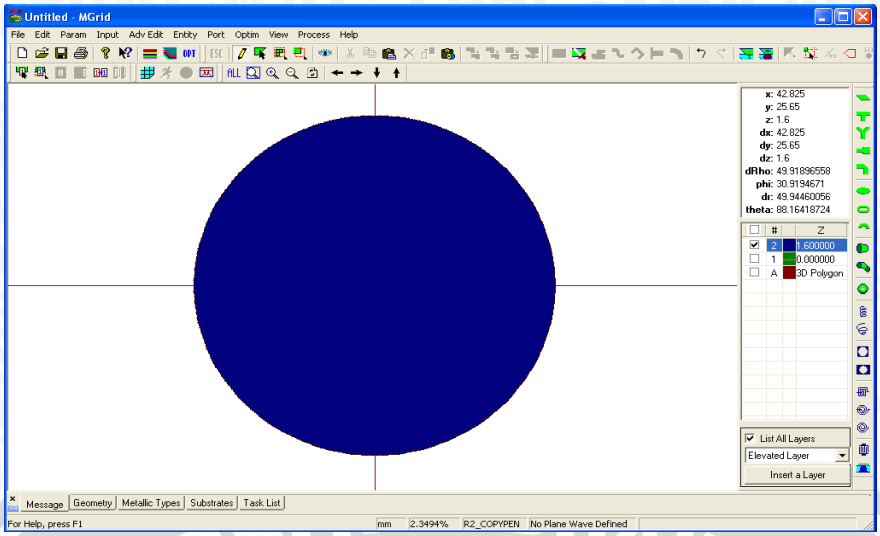
Gambar 8. Tampilan menu MGRID
Sumber : Perancangan

8. Setelah *window* seperti di atas muncul, maka mulailah untuk membuat bentuk antena yang diinginkan. Untuk simulasi kali ini kita menggunakan bentuk *patch* lingkaran (*circle*). Untuk membuatnya, klik *Entity* → *Circle*, masukkan variabel *Radius* (jari-jari) sesuai spesifikasi bahan, pilih *Style* → *Single Polygon,* dan pilih *Number of Segmen for Circle* masukkan nilai 200. Lalu akan muncul tampilan seperti pada Gambar 9.



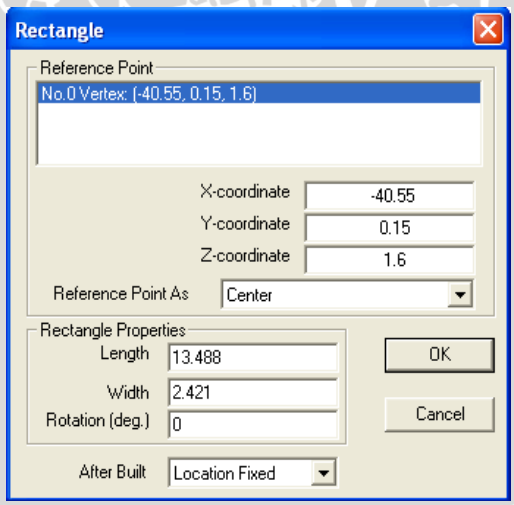
Gambar 9. Tampilan untuk mengubah nilai variabel-variabel *Circle*
Sumber : Perancangan

9. Klik OK lalu akan muncul sebuah *patch* yang berbentuk lingkaran (*circle*) pada *window* MGRID seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



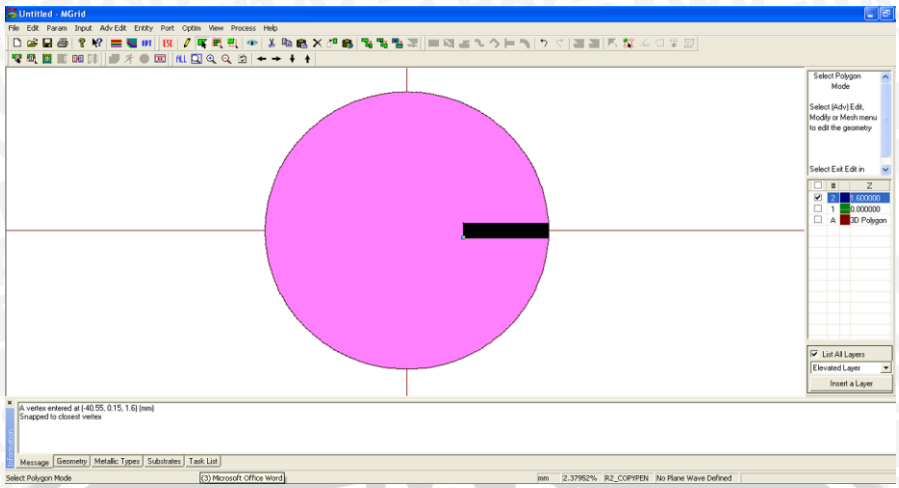
Gambar 10. Tampilan *Patch* Lingkaran (*Circle*)
Sumber : Perancangan

10. Untuk membuat *inset feed*, sebelumnya buat sebuah *patch* persegi untuk membuat "lubang". Untuk membuatnya, klik *Entity* → *Rectangle*, lebar pemotongan disini ditambah 1 mm sebagai jarak antara saluran transmisi dengan sisi luar pemotongan. Dengan memasukkkan nilai y_o = 13,488 mm dan lebar pemotongan (W_o) sebesar 2,421 mm, lalu akan muncul tampilan seperti pada Gambar 11 berikut.



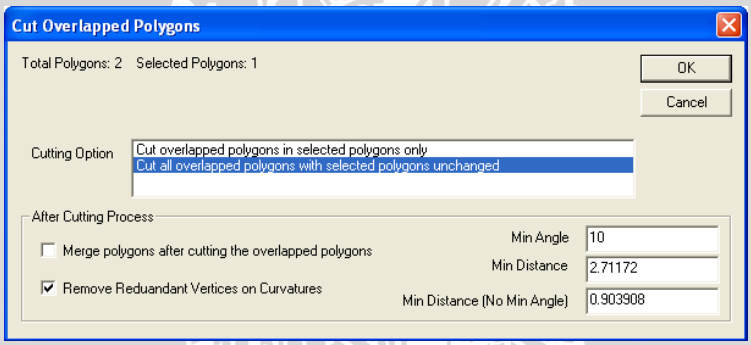
Gambar 11. Tampilan untuk membuat nilai variabel-variabel *Rectangle*
Sumber : Perancangan

Lalu susun dua *patch* seperti pada Gambar 12.

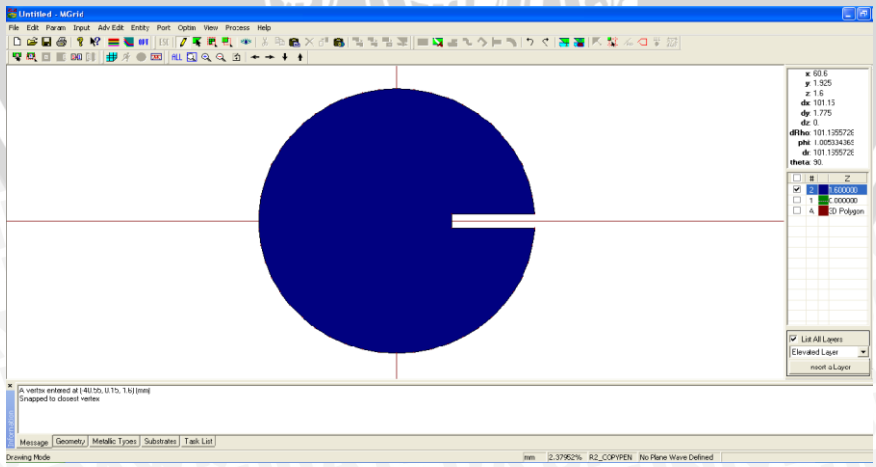


Gambar 12. Tampilan *Patch* Lingkaran (*Circle*) dan *Patch Rectangle*
Sumber : Perancangan

Setelah itu klik *Adv Edit* → *Cut Overlapped Polygons*, pilih *Cutting Option* seperti pada Gambar 13. Setelah itu pilih *patch* persegi dan klik *Delete.* Lalu akan muncul tampilan seperti pada Gambar 14.

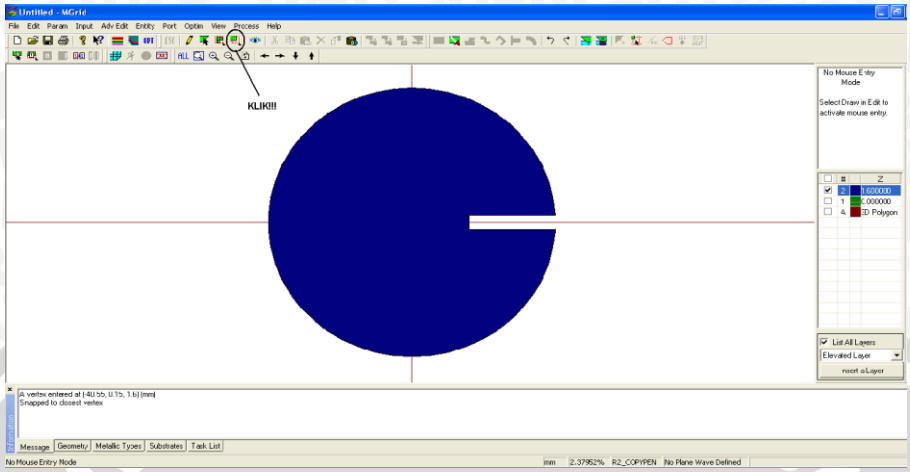


Gambar 13. Tampilan *Cut Overlapped Polygons*
Sumber : Perancangan

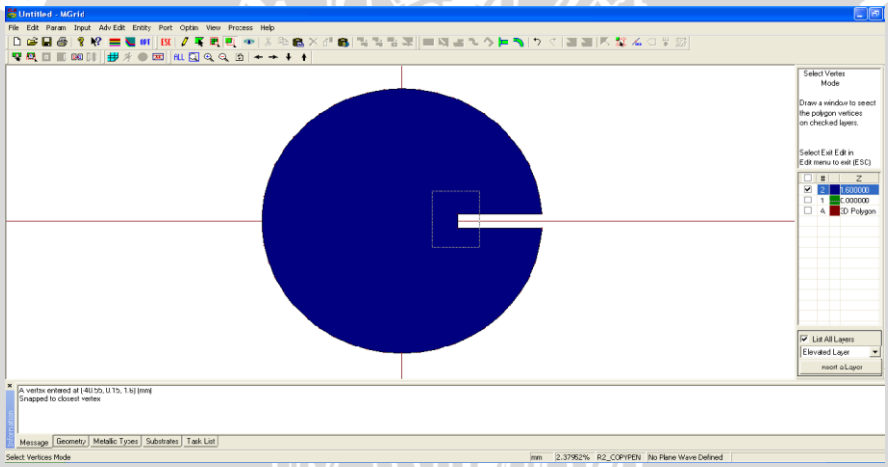


Gambar 14. Tampilan *patch* lingkaran yang terpotong
Sumber : Perancangan

Klik *icon Select Vertices* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15, lalu blok-lah *vertice* (sudut) yang diinginkan. Pengeblokan *vertice* ditunjukkan oleh Gambar 16.

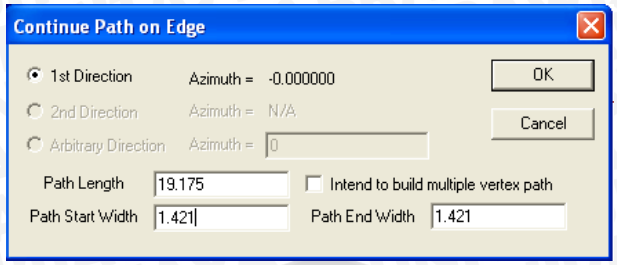


Gambar 15. Tampilan *Patch* Lingkaran
Sumber : Perancangan



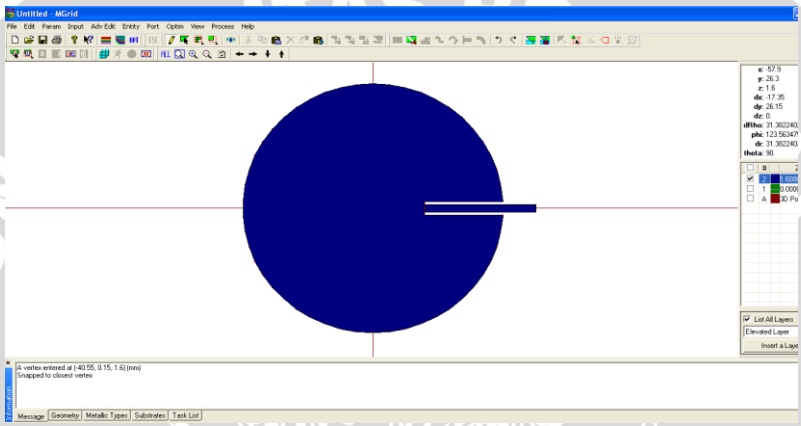
Gambar 16. Cara Memblok *Vertice*
Sumber : Perancangan

11. Setelah *vertice* ter-blok, pilihlah menu ***Adv Edit → Continue Path on Edge***, kemudian akan muncul tampilan untuk memasukkan nilai mengenai kedalaman serta lebar pemotongan. Dengan memasukkkan nilai L_o = 19,175 mm dan lebar pemotongan W_o sebesar 1,421 mm maka didapat tampilan Gambar 17.



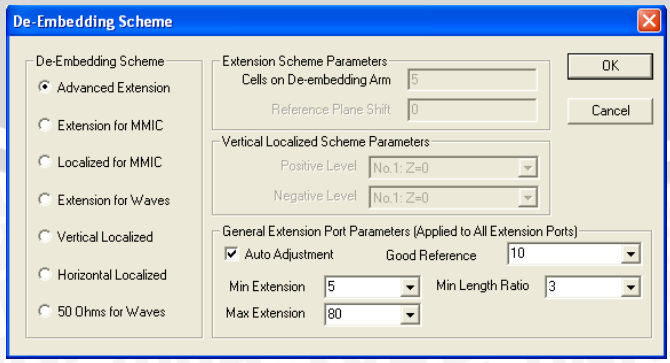
Gambar 17. Tampilan untuk memasukkan nilai panjang dan lebar *path*
Sumber : Perancangan

12. Kemudian bentuk elemen peradiasi (*patch*) yang telah digabungkan dengan saluran transmisi (*path*) menjadi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 18.



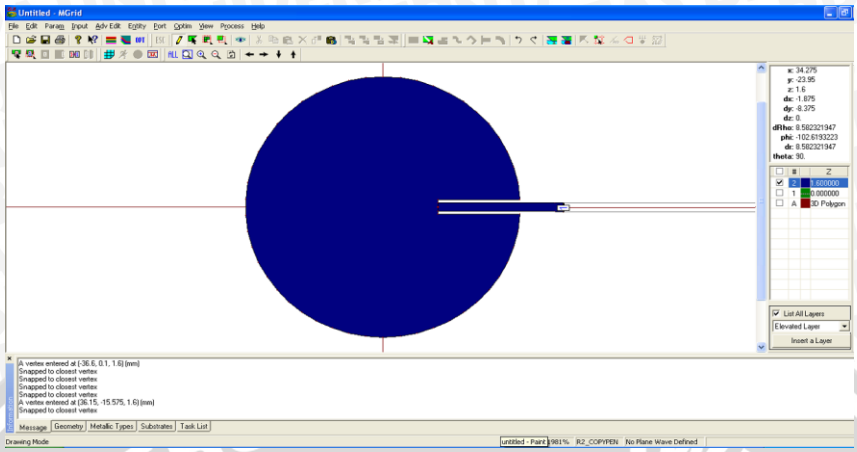
Gambar 18. Bentuk elemen peradiasi setelah digabungkan dengan saluran transmisi
Sumber : Perancangan

13. Setelah *patch* dan *path* terbentuk, maka langkah selanjutnya membuat *port* untuk antena yang kita buat. Untuk mendefinisikan letak *port* maka kita tentukan dulu jenis *port* yang kita gunakan. Untuk simulasi ini kita pilih dulu menu ***Port*** → ***Port For Edge Group***. Lalu muncul tampilan seperti Gambar 19. Sesuaikan pilihan anda dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 19, lalu tekan OK.



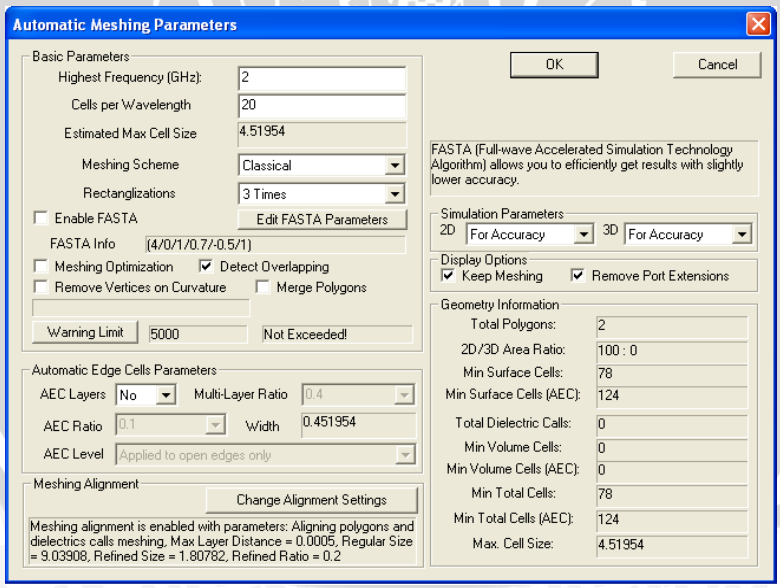
Gambar 19. Tampilan Pilihan Jenis *Port*
Sumber : Perancangan

14. Setelah itu tandailah sisi bawah saluran transmisi seperti saat menandai *vertice*, lalu terbentuklah *port* seperti yang terlihat pada Gambar 20.



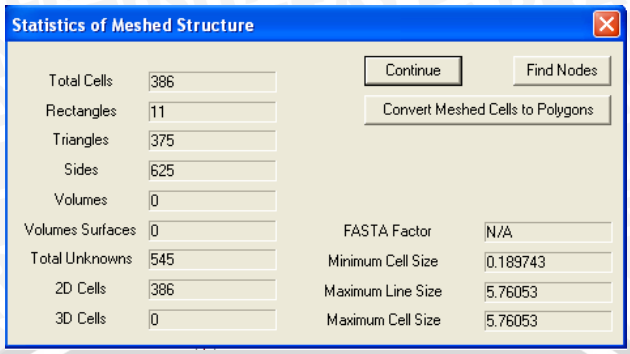
Gambar 20. Tampilan *patch* setelah diberi *port*
Sumber : Perancangan

15. Sebelum disimulasikan mengenai bagaimana performa antena maka geometri ini harus disimpan terlebih dahulu. Setelah itu kita pilih menu ***Port → Exit Port (X)***. Setelah itu pilih menu ***Proccess → Display Meshing***, lalu muncul window ***Automatic Meshing Parameters***. Samakan pengisian variabelnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 21. Lalu klik OK.



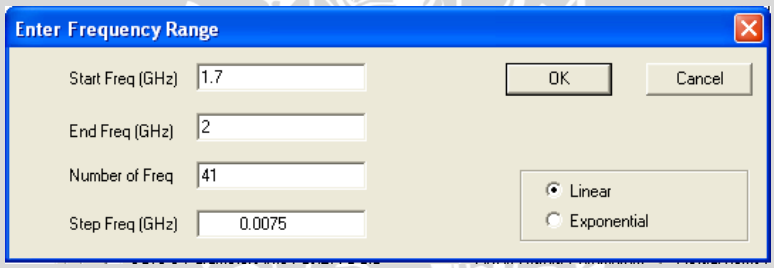
Gambar 21. Tampilan Pengubahan Variabel-variabel *Meshing*
Sumber : Perancangan

16. Kemudian muncul tampilan seperti Gambar 22. Tekan *Continue*.



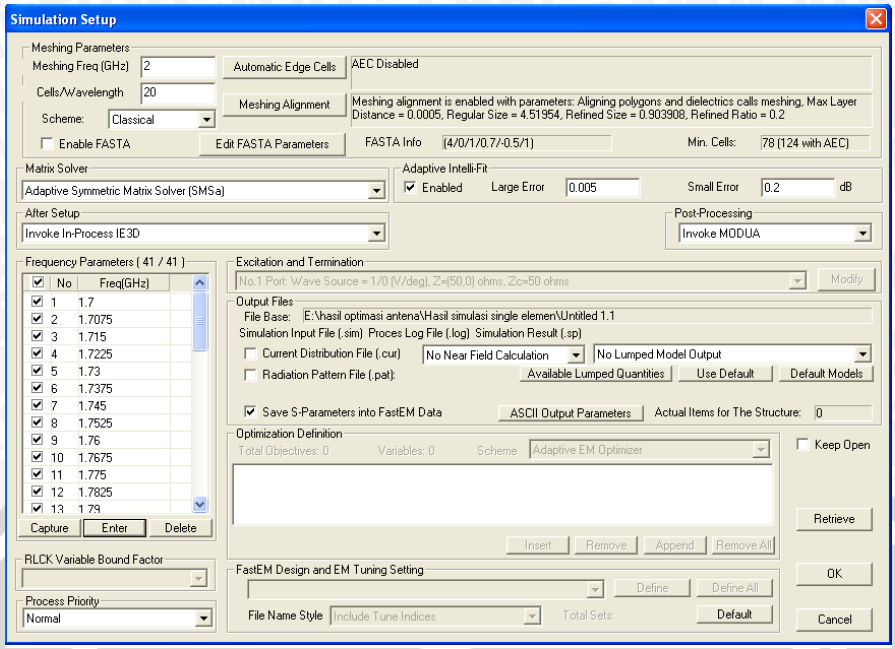
Gambar 22. Variabel-variabel yang Berubah Setelah *Meshing*
Sumber : Perancangan

17. Pilih menu *Proccess* → *Simulate*. Setelah muncul *window Simulation Setup* pilihlah *icon Enter* pada kolom *Frequency Parameters* lalu masukkan nilai-nilai berikut pada *window Enter Frequency Range*. Lihat Gambar 23, kemudian tekan OK.



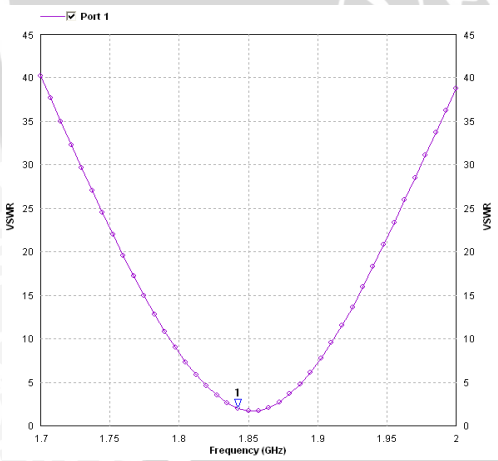
Gambar 23. Tampilan untuk Memasukkan Rentang Frekuensi yang Disimulasikan
Sumber : Perancangan

18. Sehingga *window Simulation Setup* menjadi seperti Gambar 24, dan tekan OK. Centang pada semua *step* frekuensinya, untuk melihat secara detil perubahan grafik keluarannya.

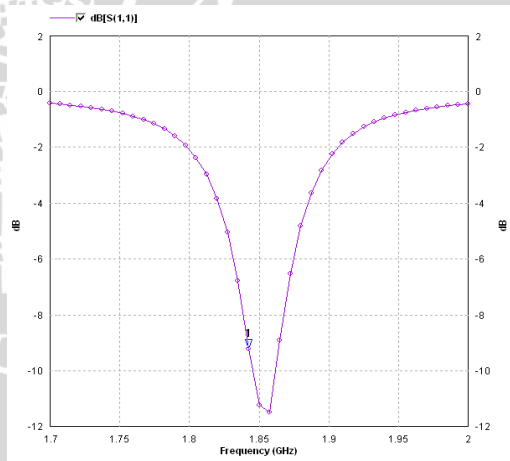


Gambar 24. Tampilan *Window Simulation Setup* setelah Rentang Frekuensi Ditentukan
Sumber : Perancangan

Tunggu sebentar sampai simulasi selesai dan dihasilkan grafik *VSWR* seperti pada Gambar 25 dan grafik *return loss* pada Gambar 26 berikut.



Gambar 25. Grafik *VSWR* Hasil Simulasi Satu Elemen
Sumber : Simulasi



Gambar 26. Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi Satu Elemen
Sumber : Simulasi

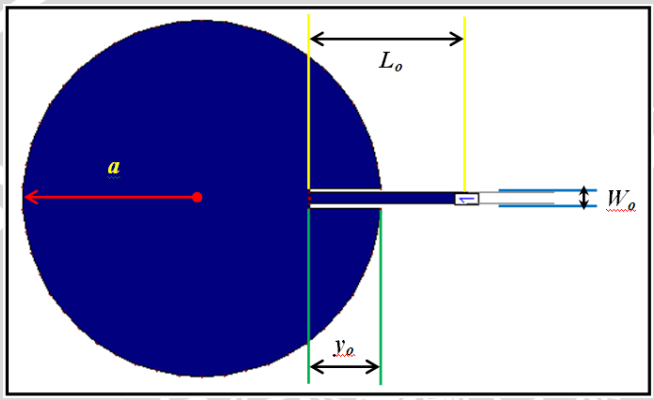
Dari hasil simulasi terlihat bahwa antena belum memenuhi kriteria yang diinginkan, yakni *return loss* bernilai < -10 dB, dan VSWR bernilai < 2. Oleh karena itu harus dilakukan optimasi.

Tahap 2 – OPTIMASI

a. Satu Elemen

Optimasi dilakukan secara manual dengan mengubah radius elemen peradiasi, kedalaman *inset feed*, dan mengubah panjang saluran transmisi. Optimasi dilakukan sama dengan langkah 1-18 dan dicari hasil yang paling sesuai dengan yang direncanakan.

Dari hasil optimasi, didapatkan dimensi optimal dari *patch* adalah sebagai berikut.



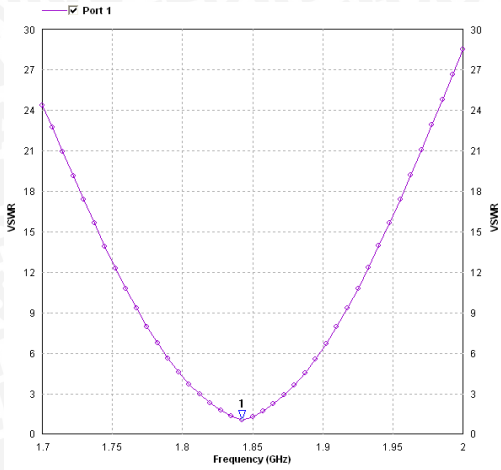
Gambar 27. Elemen Peradiasi
Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 27 :

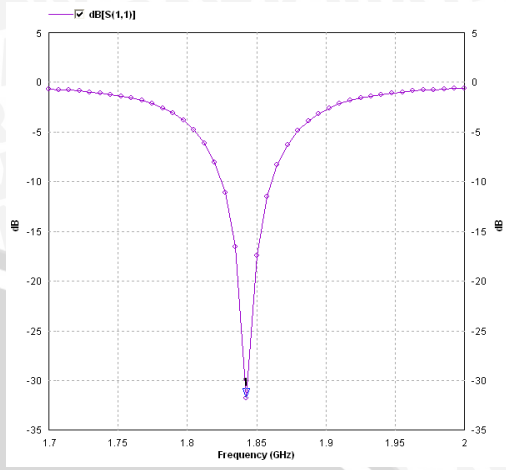
a = 22,6 mm ; W_o = 1,421 mm

L_o = 20 mm ; y_o = 9 mm

Berikut adalah tampilan grafik *VSWR* dan *return loss* hasil optimasi satu elemen.



Gambar 28. Grafik *VSWR* Hasil Optimasi Satu Elemen
Sumber : Simulasi

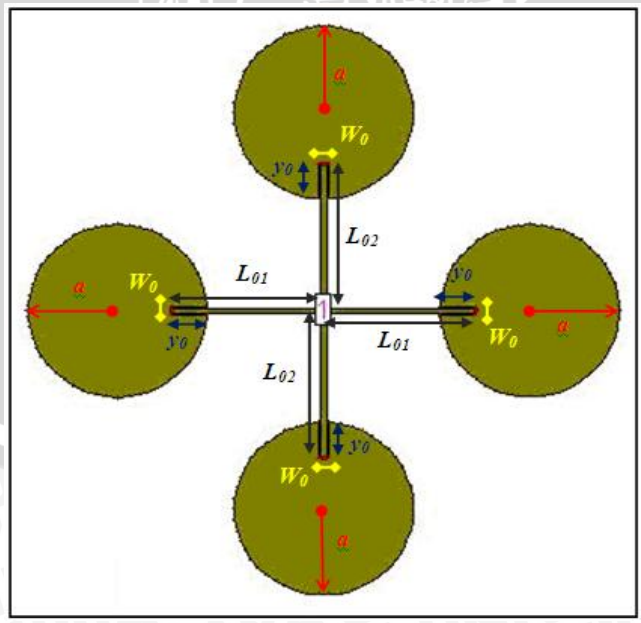


Gambar 29. Grafik *Return Loss* Hasil Optimasi Satu Elemen
Sumber : Simulasi

Dari Gambar 28 dan Gambar 29 dapat dilihat bahwa antena telah memenuhi kriteria sesuai dengan yang direncanakan, yakni mempunyai nilai *return loss* < -10 dB serta *VSWR* < 2. Tetapi *bandwidth* yang didapat belum mencukupi dari *bandwidth* yang diinginkan. Oleh karena itu, perlu dibuat antena *array*.

b. *Array* Empat Elemen

Parameter-parameter hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 30 berikut.

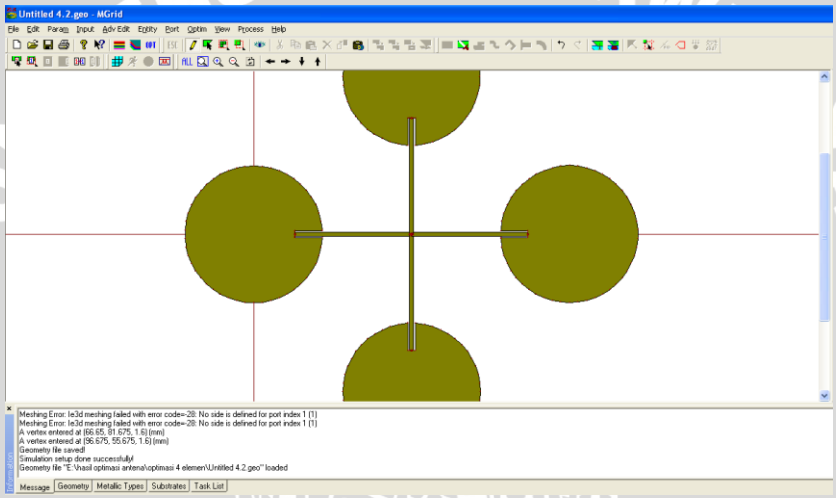


Gambar 30. Antena *Microstrip Circular Array* Sebelum Optimasi
Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 30 :

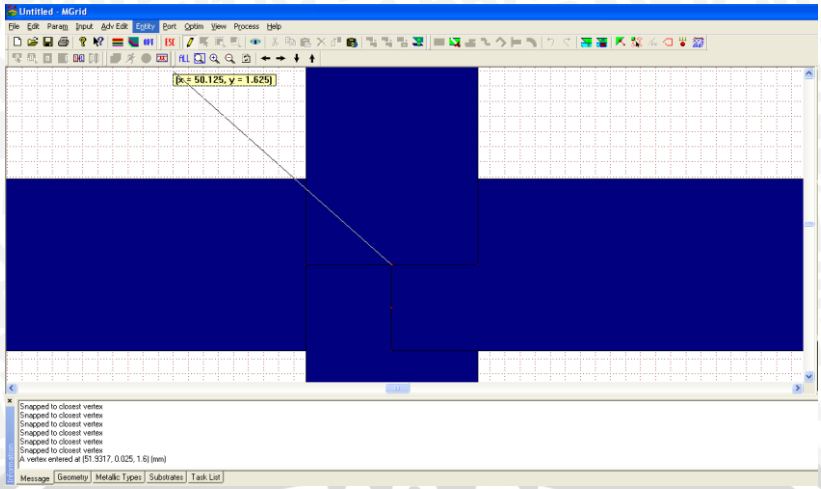
a	= 22,6 mm	W_0	= 1,421 mm
y_0	= 9 mm	L_{01}	= 38,35 mm
Z_0	= 200 Ω	L_{02}	= 38,35 mm

19. Ulangi langkah 1-12, masukkan nilai parameter sesuai dengan nilai yang di atas. Lalu *copy patch* satu elemen beserta saluran transmisinya sebanyak 3 kali kemudian putar (*rotate*) masing-masing sebesar 90^0, 180^0, dan 270^0. Setelah itu atur posisinya dan gabungkan dengan *patch* awal sehingga tampak seperti pada Gambar 31 berikut.

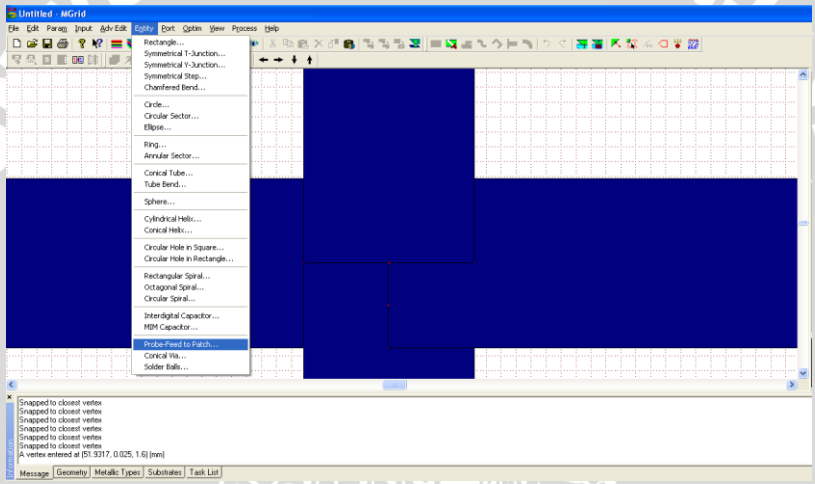


Gambar 31. Tampilan Antena *Microstrip Circular Array* setelah Digabungkan
Sumber : Perancangan

20. Untuk membuat *port*, klik *Draw* lalu arahkan kursor tepat di bagian tengah dari penggabungan keempat elemen peradiasi dan saluran transmisinya, kemudian klik. Pilih *Entity* seperti pada Gambar 32 dan pilih *Probe-Feed to Patch* seperti pada Gambar 33.

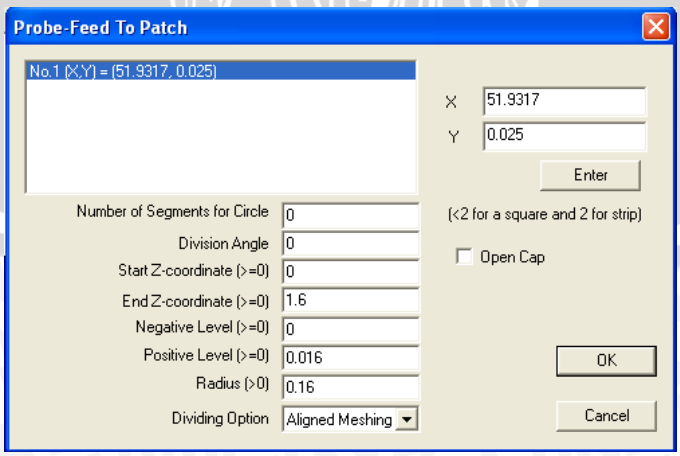


Gambar 32. Tampilan untuk Membuat *Port*
Sumber : Perancangan



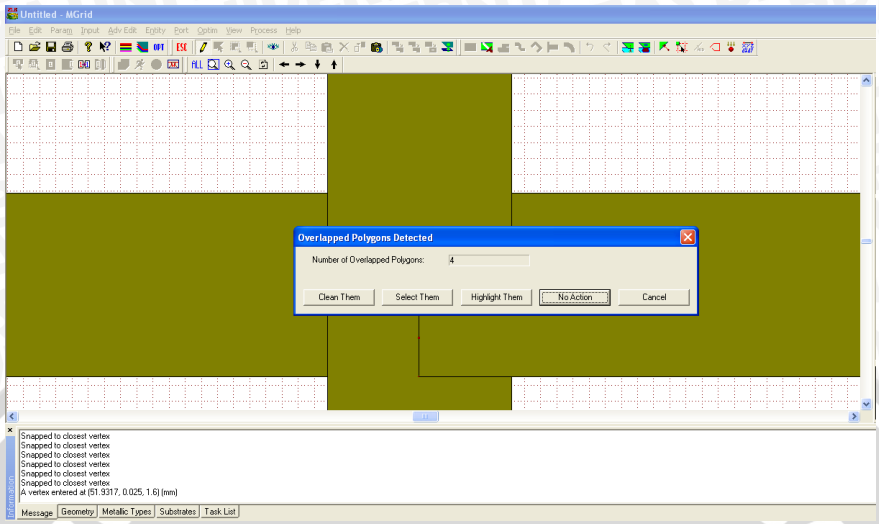
Gambar 33. Tampilan untuk Membuat *Port*
Sumber : Perancangan

Kemudian akan muncul tampilan seperti di bawah ini, lalu klik OK.

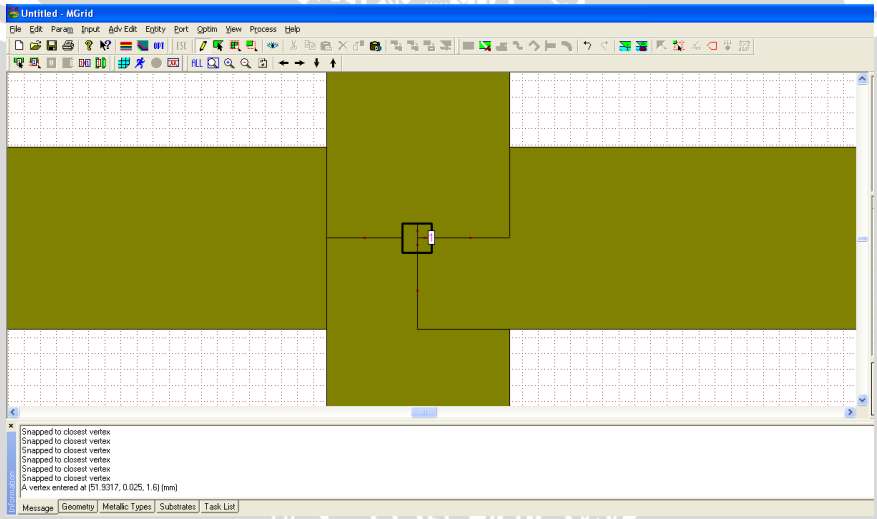


Gambar 34. Tampilan *Probe-Feed To Patch*
Sumber : Perancangan

Setelah itu, akan muncul *box* "*Overlapped Polygons Detected*" seperti pada Gambar 35, pilih *No Action* dan akan muncul *port* seperti pada Gambar 36.

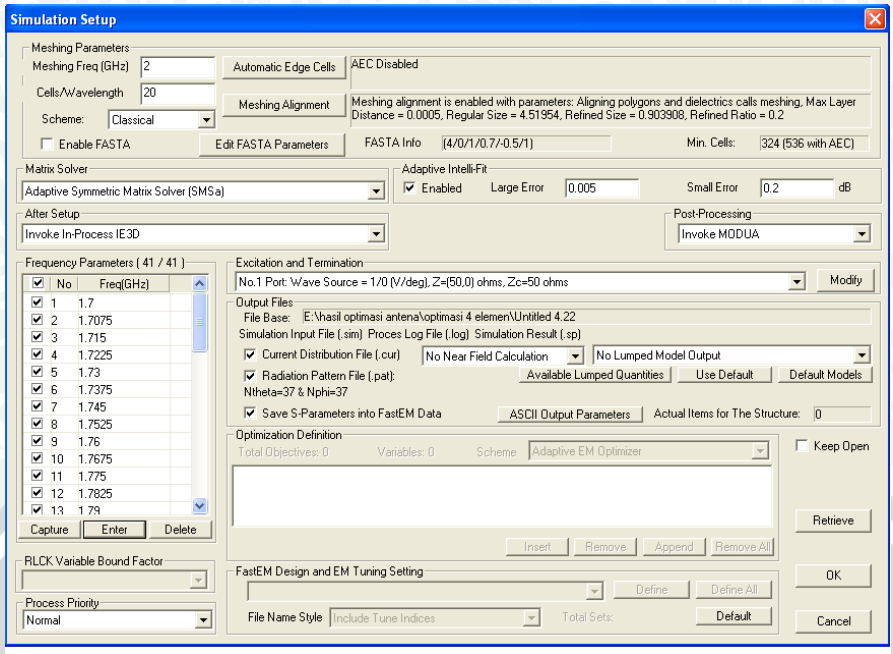


Gambar 35. Tampilan *Overlapped Polygons Detected*
Sumber : Perancangan



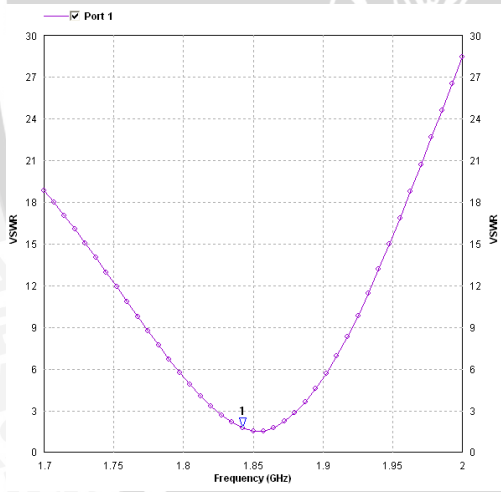
Gambar 36. Tampilan *Port* Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Konfigurasi Silang
Sumber : Perancangan

21. Ulangi langkah 15-18. Untuk langkah 18, yaitu *Simulation Setup*, bagian *Current Distribution File* dan *Radiation Pattern File* berilah tanda cek. Setelah itu klik OK.

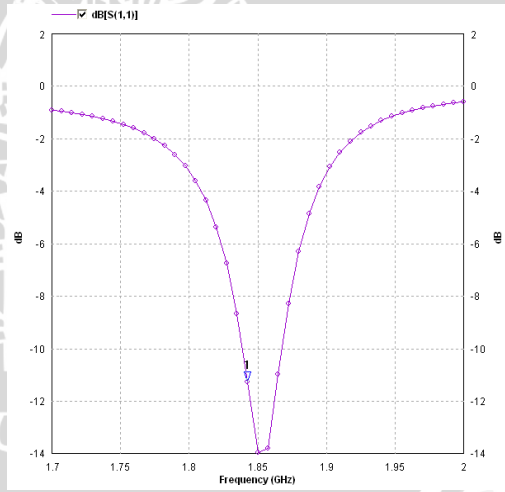


Gambar 37. Tampilan *Simulation Setup*
Sumber : Perancangan

Tunggu sebentar sampai simulasi selesai dan dihasilkan grafik *VSWR* seperti pada Gambar 36 dan grafik *return loss* pada Gambar 37 berikut.



Gambar 38. Grafik *VSWR* Hasil Simulasi *Array* Empat Elemen Sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi



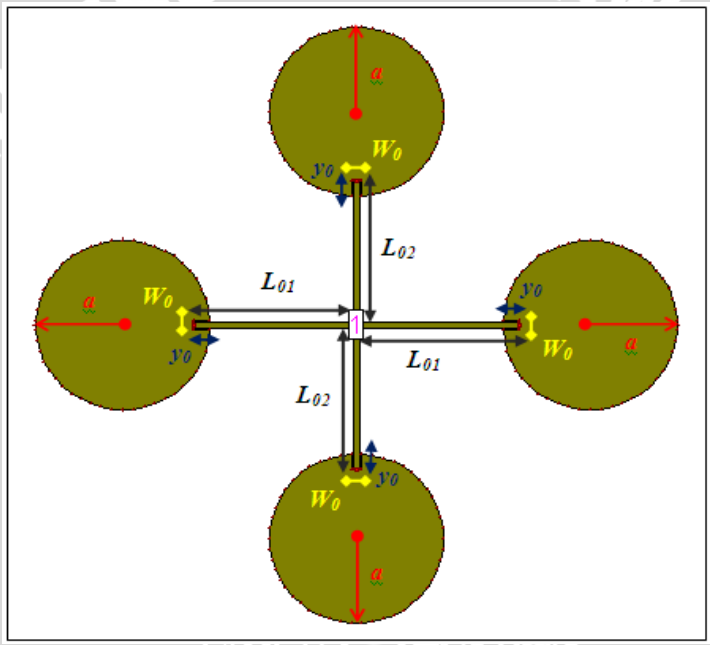
Gambar 39. Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi *Array* Empat Elemen Sebelum Optimasi
Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi terlihat bahwa antena *array* empat elemen belum memenuhi kriteria yang diinginkan, yakni *return loss* < -10 dB, dan *VSWR* bernilai < 2. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi.

Optimasi dilakukan secara manual dengan mengubah ukuran pada tiga bagian antena yaitu panjang kedalaman *inset feed* (y_0), panjang saluran transmisi antar elemen pada arah horizontal (L_{01}), dan panjang saluran transmisi antar elemen pada arah vertikal (L_{02}).

Ulangi langkah 19-21 dengan memasukkan nilai yang berbeda.

Dari hasil optimasi, didapatkan dimensi optimal dari *patch* adalah sebagai berikut.



Gambar 40. Antena *Microstrip Circular Array* Empat Elemen Setelah Optimasi
Sumber : Perancangan

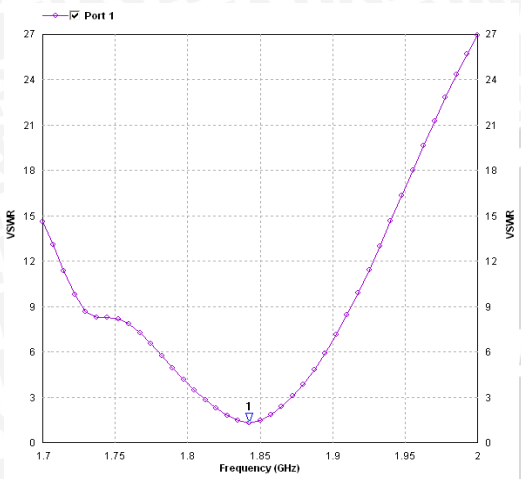
Keterangan Gambar 40 :

a = 22,6 mm

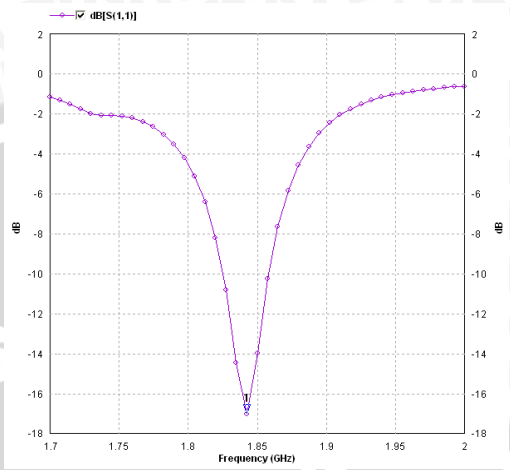
y_0 = 4 mm

Z_0 = 200 Ω ; W_0 = 1,421 mm ; L_{01} = 42 mm ; L_{02} = 38,35 mm

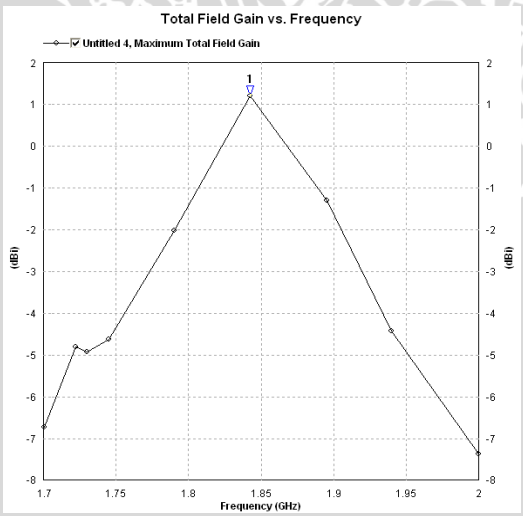
Berikut adalah tampilan grafik *VSWR*, grafik *retun loss*, dan grafik *gain* hasil optimasi *array* empat elemen.



Gambar 41. Grafik *VSWR* Hasil Optimasi *Array* Empat Elemen Peradiasi
Sumber : Simulasi



Gambar 42. Grafik *Return Loss* Hasil Optimasi *Array* Empat Elemen Peradiasi
Sumber : Simulasi



Gambar 43. Grafik *Gain* Hasil Optimasi *Array* Empat Elemen Peradiasi
Sumber : Simulasi

Dari Gambar 41, Gambar 42, dan Gambar 43 dapat dilihat bahwa simulasi antena telah mencapai hasil yang optimal sesuai dengan parameter yang direncanakan.