



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA DIPOLE LIPAT BERBASIS
TEKNOLOGI RFID UNTUK SISTEM MONITORING PASIEN**

SKRIPSI

DONY CANISIUS SIRAIT

08 06 33 08 12

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA DIPOLE LIPAT BERBASIS
TEKNOLOGI RFID UNTUK SISTEM MONITORING PASIEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DONY CANISIUS SIRAIT

08 06 33 08 12

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Dony Canisius Sirait

NPM : 0806330812

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

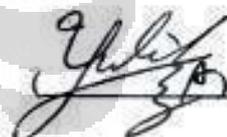
Skripsi ini ditujukan oleh :

Nama : Dony Canisius Sirait
NPM : 0806330812
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Dipole Lipat Berbasis Teknologi RFID untuk Sistem Monitoring Pasien

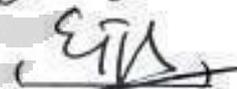
Telah berhasil dipertahankan di dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

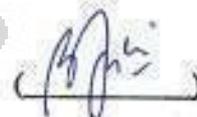
Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc.



Penguji : Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D



Penguji : Basari, ST, M.Eng., Ph.D



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada kesempatan ini pula, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini khususnya kepada:

- (1) Allah Bapa yang telah memberikan berkat dan kekuatan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (2) Dr. Fitri Yuli Zulkifli S.T., M.Sc. selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran, memberikan bimbingan dan materi dalam penyusunan skripsi ini.
- (3) Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D yang telah bersedia meluangkan waktu memberi pengarahan, nasihat, diskusi, bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
- (4) Basari, ST, M.Eng., Ph.D yang telah banyak membantu dalam pemberian materi, menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam penyusunan skripsi ini.
- (5) Bapak, Mama, Vera Finantia, Putri Patricia, Carolus Stefanus, Aridora Melinda dan semua keluarga atas cinta dan dukungannya kepada penulis.
- (6) Teman – teman AMRG (*Antena and Microwave Research Group*), Aditya Inzani, Heri, Dwyana Zakaria, Renita Danarianti, Taufal Hidayat, Yusak Krisnanda, Daniel Nico, Tubagus Tidra Barezna, Muhammad Tauhid Bareno, Muhammad Ichsan yang telah banyak membantu, bekerjasama, bertukar pikiran, dan memotivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (7) Teman-teman kontrakan, ABJAD dan GEROPAS yang telah menyemangati dan memotivasi selama menyelesaikan skripsi ini.
- (8) Teman-teman Elektro UI angkatan 2008 yang selalu memberikan motivasi, semangat dan dukungan.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Depok, 13 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dony Canisius Sirait
NPM : 0806330812
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty –Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**RANCANG BANGUN ANTENA DIPOLE LIPAT BERBASIS
TEKNOLOGI RFID UNTUK SISTEM MONITORING PASIEN**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok

- Pada Tanggal : 13 Juni 2012

Yang menyatakan,



(Dony Canisius Sirait)

ABSTRAK

Nama : Dony Canisius Sirait
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Antena Dipole Lipat Berbasis Teknologi RFID untuk Sistem Monitoring Pasien

Radio Frequency Identification (RFID) adalah sebuah teknologi yang sedang berkembang dan sangat berguna untuk berbagai bidang kehidupan, salah satunya adalah dibidang kesehatan, karena dapat mengurangi kesalahan medis dan meningkatkan kualitas hidup pasien di rumah sakit. Antena *tag* RFID dapat diimplan di tubuh manusia. Penggunaan *tag* dalam tubuh dimaksudkan untuk mengurangi resiko kehilangan *tag*, tidak terlihat dan cocok untuk pasien yang kurang kooperatif. Antena *tag* RFID yang dirancang digunakan untuk aplikasi medis dengan frekuensi 923-924 MHz, dan diimplan dibagian lengan atas manusia. *Tag* RFID diimplan diantara lapisan kulit dan lapisan lemak dari lengan manusia. *Tag* antena memiliki gain sebesar -26,80 dBi.

Antena yang dirancang bangun adalah berupa antena *dipole* lipat yang akan diimplan di dalam tubuh setelah dibungkus dengan silika terlebih dahulu guna mengurangi efek radiasi ke tubuh. Antena setelah disimulasi dengan model lengan manusia di frekuensi 924 MHz memiliki *bandwidth* 862, 85 MHz – 925,04 MHz. Antena juga disimulasikan dengan kondisi dibungkus silika dan mengalami pergeseran frekuensi menjadi 2,69 GHz. Sedangkan simulasi pada kondisi *free space* memiliki frekuensi kerja di 2,94 GHz dengan *bandwidth* 2,92 GHz – 2,945 GHz.

Namun, dalam skripsi kali ini, antena yang dibuat khusus untuk kondisi *free space* dengan spesifikasi yang telah disimulasikan terlebih dahulu dengan simulator CST. Dimensi antena setelah difabrikasi adalah 27,3 x 1,8 x 1,8 [mm]. Antena dipol lipat telah diukur di udara bebas dengan frekuensi kerja 2,94 GHz dengan *bandwidth* 2,91 GHz – 3,1 GHz. Antena *dipole* lipat ini memiliki pola radiasi *omnidirectional* pada bidang YZ dan XY sedangkan pada bidang XZ berbentuk melingkar.

Kata kunci:

Antena, RFID, *tag RFID*, antena implan, antena dipol lipat

ABSTRACT

Name : Dony Canisius Sirait
Study Program: Electrical Engineering
Title : Design of Folded Dipole Antenna Based on RFID Technology
for Patient Monitoring System

Radio Frequency Identification is a developed technology and useful for many applications, one example is for medical applications. RFID technology can reduce medical error and improve the quality of life of patients in the hospital. RFID tag can be implanted in human body. The use of implanted tag is intended to reduce the risk of the tag being lost, it is invisible and ideal for noncooperative patients. RFID tag antenna is designed to be used in medical applications with frequency of 923 -925 MHz and implanted in human's upper arm. The RFID is designed to be tag implanted between layers of skin and fat layer of human arm. The tag antenna has a gain of -26.80 dBi.

The antenna is a folded dipole antenna and will be implanted in the body after is wrapped with silica to reduce the effects of radiation to the human body. The antenna after simulated by the model of the human arm in frequency 924 MHz and has bandwidth 862, 85 MHz - 925.04 MHz. The antenna is also simulated with silica and the frequency shifted to 2.69 GHz. While simulating in free space condition has a frequency in 2.94 GHz with bandwidth at 2.92 GHz - 2.945 GHz.

However, in this research the antenna is made specifically for the conditions of free space with a specification that has been simulated in simulator CST. The antenna dimension is 27.3 x 1.8 x 1.8 [mm]. Folded dipole antenna has been measured in free space with a frequency of 2.94 GHz with bandwidth 2,915 GHz – 3,1 GHz. This dipole antenna has a omnidirectional radiation pattern in XY and YZ plane, but in XZ plane the radiation pattern is circular.

Key Word:

Antennas, RFID, RFID tag, implanted antennas, folded dipole antennas

DAFTAR ISI

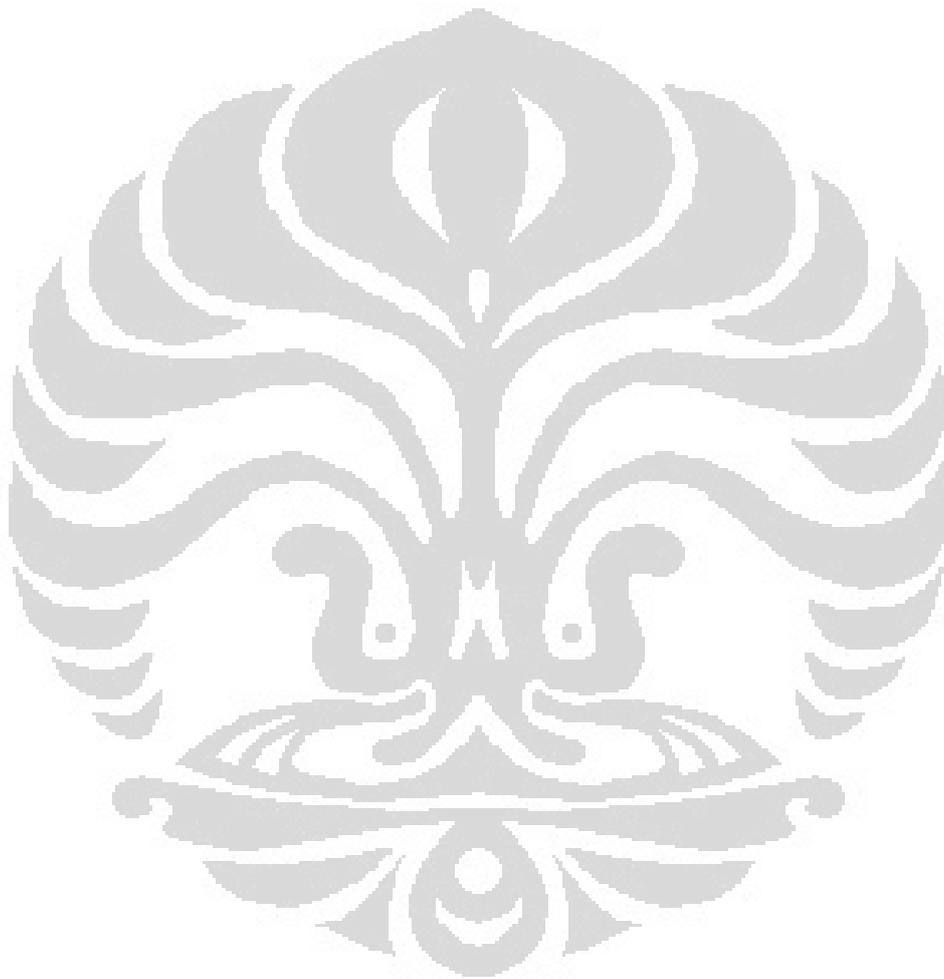
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metode Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. ANTENA RFID IMPLAN	
2.1 Antena	6
2.1.1 Definisi Antena	6
2.1.2 Daerah Medan Radiasi Antena	7
2.1.3 Daerah Fresnel	9
2.1.4 Parameter Antena	10
2.2 Antena Dipole	13
2.3 <i>RFID (Radio Frequency Identification)</i>	14
2.3.1 Definisi RFID	14
2.3.2 Prinsip Kerja RFID	15
2.3.3 Perangkat RFID	16
2.4 Antena Implan	19
2.5 <i>RFID Link Budget</i>	21
2.5.1 Perhitungan <i>Forward Link Budget</i>	23
2.5.2 Perhitungan <i>Reverse Link Budget</i>	23
2.6 Propagasi Gelombang di Berbagai Medium	24
2.6.1 <i>Lossless Medium</i>	24
2.6.2 <i>Lossy Medium</i>	24
3. PERANCANGAN DAN HASIL	
3.1 Perhitungan <i>Link Budget</i>	25
3.2 Perancangan Antena	27
3.3 Tahapan Perancangan	29
3.4 Hasil Perancangan	31

3.5	Hasil Simulasi	33
3.5.1	Antena Diimplan di Lengan Manusia	34
3.5.2	Antena Dibungkus Silika	37
3.5.3	Antena di <i>Free Space</i>	40
4.	PENGUKURAN DAN ANALISIS	
4.1	Bahan Fabrikasi dan Peralatan yang Digunakan	45
4.1.1	Perangkat Keras	46
4.1.2	Perangkat Lunak	46
4.2	Kondisi Pengukuran	47
4.2.1	Perhitungan Jarak <i>Far-Field</i>	47
4.2.2	Perhitungan Ketinggian Antena	48
4.3	Pengukuran Antena <i>Dipole</i> Lipat	48
4.3.1	Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	48
4.3.2	Pengukuran <i>Port</i> Ganda	50
4.4	Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Pengukuran	53
4.4.1	Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	53
4.4.2	Pengukuran <i>Port</i> Ganda	54
5.	KESIMPULAN	57
	DAFTAR REFERENSI	58
	LAMPIRAN A	60
	LAMPIRAN B	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Antena Sebagai Peralatan Transmisi.....	7
Gambar 2.2	Daerah Medan Radiasi Antena	8
Gambar 2.3	Bentuk Pola Radiasi <i>Directional</i>	12
Gambar 2.4	Bentuk Pola Radiasi <i>Omnidirectional</i>	13
Gambar 2.5	Antena Dipole	13
Gambar 2.6	Skema Kerja Perangkat RFID	15
Gambar 2.7	Diagram Skematik Tentang Metodologi yang Digunakan untuk Mendesain Antena Implan	20
Gambar 2.8	Konfigurasi Antena Jika Diimplan di Jaringan Tubuh Manusia	21
Gambar 2.9	Perbedaan Karakteristik Sistem Komunikasi Nirkabel dengan Sistem RFID	22
Gambar 3.1	Diagram Alur Perancangan Antena	29
Gambar 3.2	Konfigurasi Antena	30
Gambar 3.3	Antena Dibungkus Silika	32
Gambar 3.4	Antena Diimplan di Antara Kulit dan Lemak	33
Gambar 3.5	Grafik S11 Antena Implan	34
Gambar 3.6	Grafik Karakteristik Impedansi Antena Implan	35
Gambar 3.7	Pola Radiasi Dua Dimensi Antena Implan	36
Gambar 3.8	Pola Radiasi Tiga Dimensi Antena Implan	36
Gambar 3.9	Gain Antena Implan	37
Gambar 3.10	Grafik S11 Antena Dibungkus Silika	38
Gambar 3.11	Grafik Karakteristik Impedansi Antena Dibungkus Silika ..	38
Gambar 3.12	Pola Radiasi Dua Dimensi Antena Dibungkus Silika	39
Gambar 3.13	Pola Radiasi Tiga Dimensi Antena Dibungkus Silika	39
Gambar 3.14	Gain Antena Dibungkus Silika	40
Gambar 3.15	Grafik S11 Antena di <i>Free Space</i>	41
Gambar 3.16	Grafik Karakteristik Impedansi Antena di <i>Free Space</i>	41
Gambar 3.17	Pola Radiasi Dua Dimensi Antena di <i>Free Space</i>	42
Gambar 3.18	Pola Radiasi Tiga Dimensi Antena di <i>Free Space</i>	42
Gambar 3.19	Gain Antena di <i>Free Space</i>	43
Gambar 4.1	Grafik <i>Return Loss</i> Pengukuran Antena <i>Dipole</i> Lipat	49
Gambar 4.2	Smith Chart Pengukuran Antena <i>Dipole</i> Lipat	50
Gambar 4.3	Bidang Ukur Antena	50
Gambar 4.4	Grafik Pola Radiasi Pengukuran Antena <i>Dipole</i> Lipat pada Bidang -XY	51
Gambar 4.5	Grafik Pola Radiasi Pengukuran Antena <i>Dipole</i> Lipat pada Bidang -YZ	51
Gambar 4.6	Grafik Pola Radiasi Pengukuran Antena <i>Dipole</i> Lipat pada Bidang -XY	53
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan <i>Return Loss</i> Simulasi dengan Pengukuran	54
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Pola Radiasi Antena <i>Dipole</i> Lipat pada Bidang - XZ	54

Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Pola Radiasi Antena <i>Dipole</i> Lipat pada Bidang - YZ	55
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Pola Radiasi Antena <i>Dipole</i> Lipat pada Bidang XY	56



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hasil Perhitungan Parameter <i>Link Budget</i>	27
Tabel 3.2	Pengaruh Dimensi Terhadap Frekuensi Kerja Antena di <i>Free Space</i>	30
Tabel 3.3	Pengaruh Dimensi Terhadap Frekuensi Kerja Antena di <i>Free Space</i>	31



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pemantauan keadaan pasien di rumah sakit masih cenderung menggunakan cara yang konvensional, yaitu dengan cara perawat atau dokter harus mendatangi pasien untuk memeriksa keadaan terkini dari seorang pasien. Kondisi ini merupakan hal yang cukup merepotkan apabila jumlah tenaga medis yang tersedia lebih sedikit dari pada jumlah pasien yang ada di rumah sakit. Untuk mengatasi hal tersebut, sangat dibutuhkan sebuah sistem *monitoring* yang bisa menampilkan keadaan pasien secara *real time*.

Konsep *monitoring* memungkinkan pemantauan pasien tanpa mendatangi tempat pasien. Saat ini *monitoring* yang sudah diaplikasikan di Indonesia adalah monitoring dengan menggunakan kabel. Data pasien yang didapatkan dari alat akan dikirim ke ruang perawat secara periodik melalui jalur kabel menggunakan komunikasi serial RS485. Data pasien diterima dan ditampilkan ke komputer perawat sehingga perawat dapat memantau kesehatan pasien. Apabila terjadi situasi pasien memerlukan penanganan maka alat di ruang perawat akan mengirimkan pesan peringatan berupa *Short Message Service* (SMS) dan data rekam pasien dengan *voice dial up* dengan cara *Frequency Shift Keying* (FSK) ke telepon genggam (*Hand Phone*) dokter [1].

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini, yaitu pergeseran kecenderungan untuk menggunakan teknologi kabel menjadi teknologi berbasis nirkabel, tentu saja teknik monitoring dengan cara tersebut diatas perlu diimplementasikan secara nirkabel karena dapat mengurangi kesulitan instalasi dan peralatan yang relatif mahal. Untuk menghubungkan perangkat pengirim dan penerima, sebagai pengganti penggunaan kabel, maka perlu adanya antena. Antena adalah alat untuk meradiasikan gelombang radio dan menerima gelombang radio dari pengirim [2].

Ada berbagai jenis antena, salah satunya adalah antena *RFID (Radio Frequency Identification)*. RFID adalah sebuah teknologi yang menggunakan frekuensi radio untuk mengirim data dari sebuah perangkat pengirim yaitu *tag* yang dikenal dengan nama *RFID tag*, ditempatkan pada objek hingga sampai ke sebuah *reader* atau penerima dengan tujuan untuk identifikasi atau pelacakan sebuah objek[3].

Perkembangan teknologi *wireless* khususnya untuk bidang kesehatan saat ini telah menarik banyak perhatian khusus baik dari peneliti akademik maupun peneliti industri karena kebutuhan di dunia (terutama negara-negara maju) dan terkait dengan kenaikan biaya kesehatan dan permintaan sumber daya rumah sakit [4]. Salah satu teknologi yang dimaksud adalah dengan teknologi RFID yang menawarkan solusi yang menjanjikan dalam membangun layanan kesehatan dengan teknologi nirkabel [5] dan berpotensi dalam mengurangi kesalahan medis serta meningkatkan kualitas hidup pasien di rumah sakit [6].

Permintaan atau tuntutan penggunaan antena dengan frekuensi radio saat ini telah berkembang untuk aplikasi bidang kesehatan baik pemanfaatan diluar tubuh manusia maupun didalam tubuh manusia . Kebanyakan penelitian tentang aplikasi antenna RFID di bidang medis masih terpusat untuk menghasilkan *hypothermia* untuk perawatan dan monitoring parameter-parameter fisik seorang pasien [7].

Pada masa lalu, biasanya penanaman *tag* RFID dilakukan pada hewan ternak. Namun, perkembangan saat ini telah memungkinkan untuk penanaman *tag* atau implantasi di dalam tubuh manusia [8]. Penggunaan *tag* dalam tubuh (bukan diluar tubuh) mengurangi resiko kehilangan tag, disamping itu tidak terlihat dan cocok untuk pasien yang kurang kooperatif [9].

Teknologi RFID terdahulu biasanya menggunakan frekuensi rendah untuk aplikasi RFID yang digunakan diluar tubuh maupun didalam tubuh. Meskipun sinyal tidak mengalami atenuasi (redaman) yang cukup berarti akibat dari tubuh manusia, namun sistem yang ada dibatasi oleh jarak yang pendek, dan kecepatan pengiriman data (*data rate*) yang sangat lambat. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, digunakanlah pita frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) yang memiliki

kemungkinan jangkauan atau jarak transmisi yang lebih jauh, kecepatan data yang lebih tinggi meskipun redaman (*loss*) lebih besar terutama pada lapisan-lapisan di dalam tubuh manusia karena sifat material tubuh manusia yang sangat *lossy* [10]. Hal ini merupakan sebuah tantangan teknologi masa depan dalam membangun sebuah sistem komunikasi yang handal meskipun dalam kondisi yang *lossy*.

Tag RFID telah banyak dirancang terutama untuk aplikasi medis. *Tag RFID* yang pernah dirancang berupa antena loop yang bekerja di frekuensi 402 – 405 MHz dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kepala manusia dalam transmisi sinyal frekuensi [16]. Ada juga *tag RFID* yang telah dirancang untuk mengirimkan data-data pasien secara real time seperti suhu, tekanan darah, detak jantung, dan sebagainya. *Tag antenna* tersebut bekerja di frekuensi 951 – 956 MHz untuk aplikasi medis dan ditanam di lengan manusia bagian atas [6]. Namun frekuensi kerja 951 -956 MHz tidak cocok digunakan di Indonesia, karena pita frekuensi RFID yang direkomendasikan oleh pemerintah Indonesia adalah 923 – 925 MHz [11]. Sehingga pada skripsi ini, akan dirancang bangun antena *tag RFID* dengan frekuensi 923 – 925 MHz untuk sistem monitoring pasien.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang antena *tag RFID* implan di frekuensi 923 – 925 MHz pada kondisi di implan, dibungkus silika dan pada kondisi *free space* dan membangun antena pada kondisi *free space*.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada rancang bangun antena RFID untuk di tanamkan kedalam tubuh manusia dengan menggunakan sebuah model simulasi sederhana pada bagian lengan manusia, yaitu diantara lapisan kulit dan lapisan lemak model tersebut pada frekuensi kerja 923 – 925MHz, dengan parameter *voltage standing wave ratio* (VSWR) kurang dari 2. Antena akan diaplikasikan di dalam ruangan pasien dengan jarak antara *tag* (pengirim) dan *reader* (penerima) adalah 10 m dengan *gain* antena sesuai dengan perhitungan link budget.

Namun, dalam skripsi ini, antenna yang difabrikasi adalah antenna dipol lipat yang dimensi dan frekuensi kerjanya diperoleh dari simulasi antenna implant pada kondisi *free space* atau kondisi antenna setelah dikeluarkan dari tubuh dan dilepaskan dari bungkus silika. Antenna diukur dengan melihat parameter *return loss* dan pola radiasi.

1.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian dan penulisan skripsi ini adalah :

a. Studi Kepustakaan

Dengan metode ini, penelitian dilakukan mengacu pada bahan-bahan literatur penelitian terkini tentang sistem antenna untuk implan dan permasalahannya. Kami menggunakan referensi jurnal-jurnal penelitian, buku, dan artikel ilmiah yang lain yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya untuk mengetahui *state of the art* teknologi saat ini.

b. Perancangan dengan Perangkat Lunak

Dengan menggunakan perangkat lunak khusus untuk mensimulasikan rancangan antenna, kami bisa melihat dan menentukan parameter-parameter antenna yang diinginkan dan memenuhi spesifikasi yang diharapkan berdasarkan hasil simulasi tersebut.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan makalah ini mengikuti sistematika sebagai berikut ini :

Bab 1 :Pendahuluan

Bagian ini terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Antena RFID Implan

Bagian ini akan mengulas bahasan mengenai teori dasar tentang antena, gambaran umum RFID, dan karakteristik antena dalam tubuh manusia.

Bab 3 Perancangan Antenna dan Simulasi

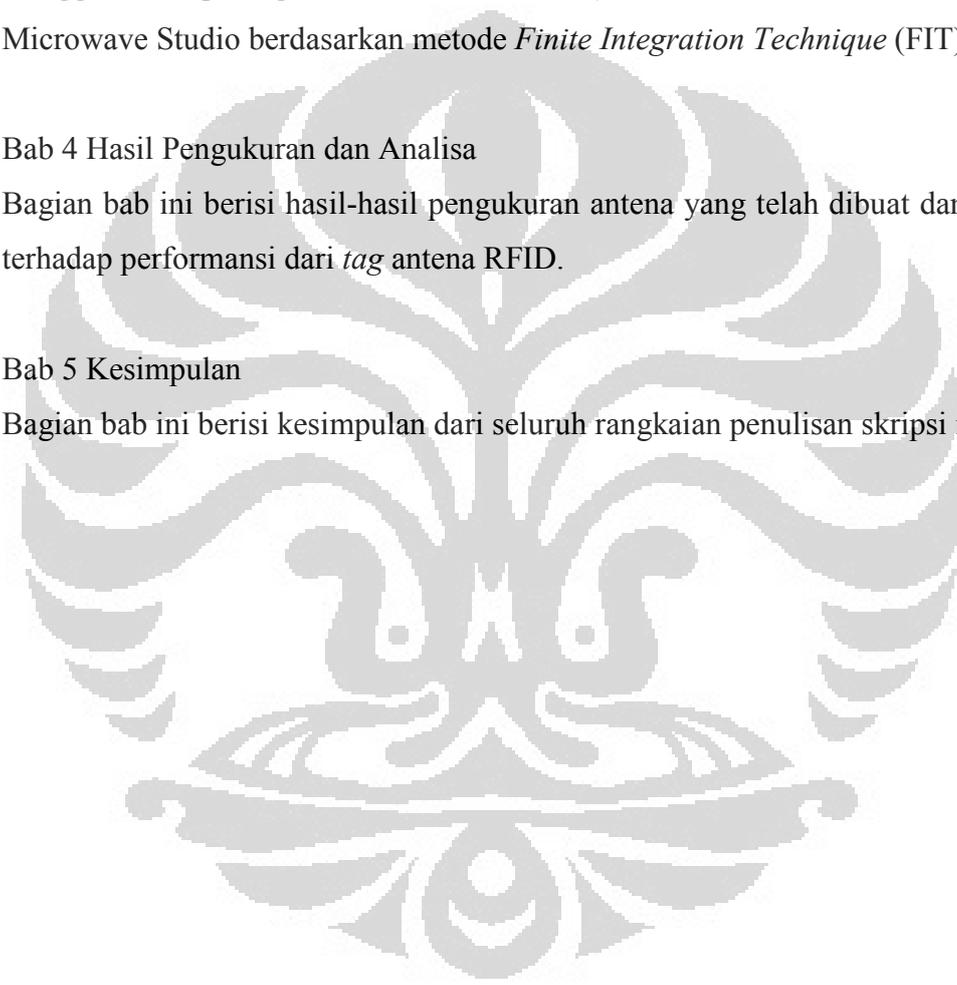
Bagian ini membahas tentang perancangan dan hasil yang diperoleh dengan menggunakan perangkat lunak komersial (*commercial simulation tool*) CST Microwave Studio berdasarkan metode *Finite Integration Technique* (FIT).

Bab 4 Hasil Pengukuran dan Analisa

Bagian bab ini berisi hasil-hasil pengukuran antena yang telah dibuat dan analisa terhadap performansi dari *tag* antena RFID.

Bab 5 Kesimpulan

Bagian bab ini berisi kesimpulan dari seluruh rangkaian penulisan skripsi ini.



BAB 2

ANTENA RFID IMPLAN

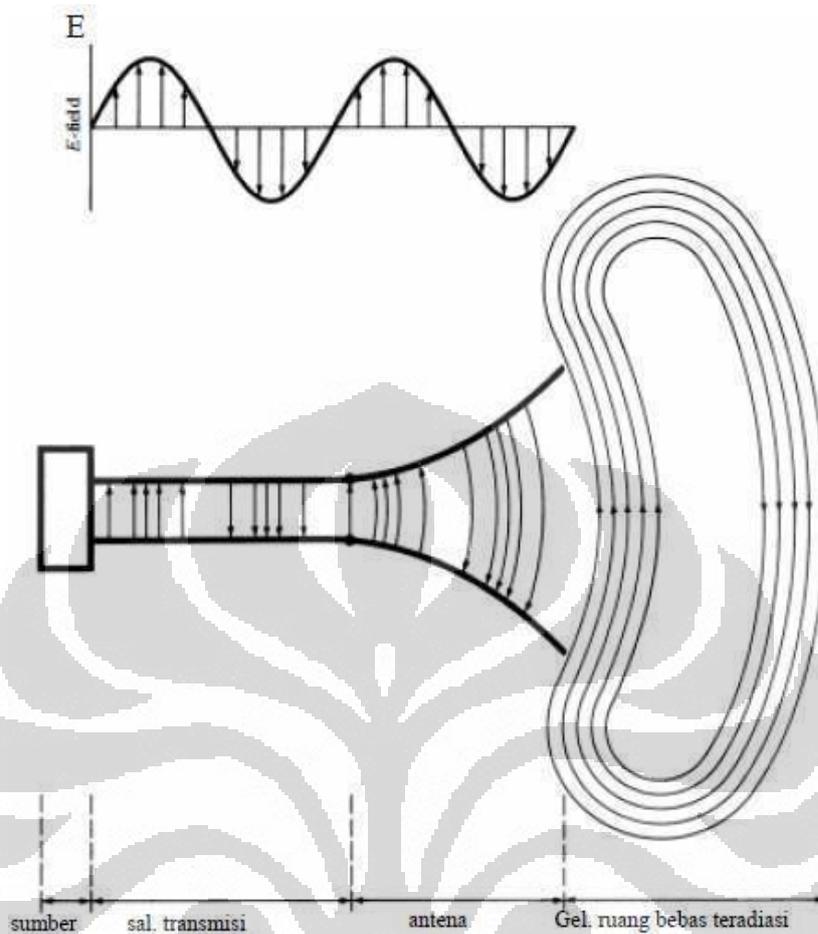
2.1 Antena

2.1.1 Definisi

Definisi antena menurut kamus webster adalah sebuah alat yang terbuat dari bahan metal untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Sedangkan menurut IEEE, antena adalah sebuah alat untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Sehingga secara umum, antena dapat didefinisikan sebagai sebuah atau sekelompok konduktor yang digunakan untuk memancarkan atau meneruskan gelombang elektromagnetik menuju ruang bebas atau menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas. Energi listrik dari pemancar dikonversi menjadi gelombang elektromagnetik dan oleh sebuah antena yang kemudian gelombang tersebut dipancarkan menuju udara bebas. Pada penerima akhir gelombang elektromagnetik dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan antena.

Suatu sumber yang dihubungkan dengan saluran transmisi yang tak berhingga panjangnya menimbulkan gelombang berjalan yang *uniform* sepanjang saluran itu. Jika saluran ini dihubungkan singkat maka akan muncul gelombang berdiri yang disebabkan oleh interferensi gelombang datang dengan gelombang yang dipantulkan. Jika gelombang datang sama besar dengan gelombang yang dipantulkan akan dihasilkan gelombang berdiri murni. Konsentrasi-konsentrasi energi pada gelombang berdiri ini beresilasi dari energi listrik seluruhnya ke energi magnetik total dua kali setiap periode gelombang itu.

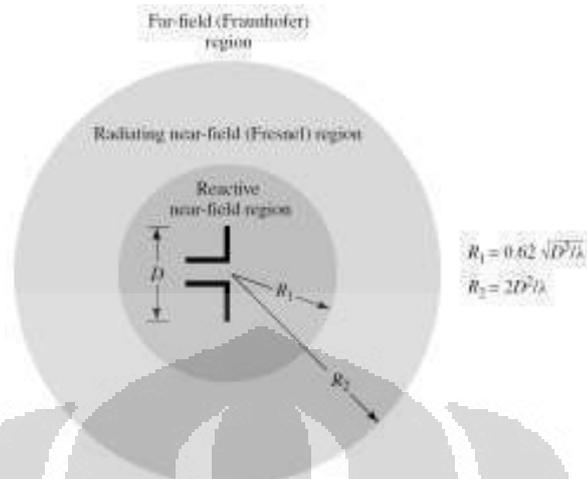
Gambar 2.1 memperlihatkan sumber atau pemancar yang dihubungkan dengan saluran transmisi AB ke antena [2]. Jika saluran transmisi disesuaikan dengan impedansi antena, maka hanya ada gelombang berjalan ke arah B saja. Pada A ada saluran transmisi yang dihubungkan singkat dan merupakan *resonator*. Di daerah antena energi diteruskan ke ruang bebas sehingga daerah ini merupakan transisi antara gelombang terbimbing dengan gelombang bebas [2].



Gambar 2.1 Antena sebagai peralatan transmisi [2]

2.1.2 Daerah Medan Radiasi Antena

Daerah medan radiasi antena merupakan pembatas dari karakteristik gelombang elektromagnetika yang dipancarkan oleh antena. Pembagian daerah di sekitar antena dibuat untuk mempermudah pengamatan struktur medan di masing-masing daerah antena tersebut. Gambar 2.2 menjelaskan tentang daerah-daerah di sekitar antena [2].



Gambar 2.2 Daerah medan radiasi antenna [2]

Ruang-ruang di sekitar antenna dibagi ke dalam 3 daerah, yaitu :

1. Daerah medan dekat reaktif

Daerah ini didefinisikan sebagai bagian dari daerah medan dekat di sekitar antenna, di mana daerah reaktif lebih dominan. Apabila λ adalah panjang gelombang dan D adalah dimensi terluar antenna, untuk kebanyakan antenna batas terluar daerah ini adalah [2]:

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.1)$$

2. Daerah medan dekat radiasi

Daerah ini didefinisikan sebagai daerah medan antenna antara medan dekat reaktif dan daerah medan jauh di mana medan radiasi dominan dan distribusi medan bergantung pada jarak dari antenna. Daerah ini sering juga disebut daerah *Freshnel* dimana [2]:

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (2.2)$$

3. Daerah medan jauh

Daerah medan jauh merupakan daerah antenna di mana distribusi medan tidak lagi bergantung kepada jarak dari antenna. Di daerah ini, komponen medan

transversal dan distribusi angular tidak bergantung pada jarak *radial* di mana pengukuran dibuat. Semua spesifikasi diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di daerah ini, dengan syarat [2] :

$$R > 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (2.3)$$

2.1.3 Daerah Fresnel

Sesuai dengan karakteristik gelombang radio, apabila terdapat objek berupa pohon atau bangunan pada jalur rambat sinyal radio, maka sinyal tersebut akan mengalami penurunan kualitas dan kekuatan sinyal ketika diterima pada sisi *receiver*.

Untuk mengatasi penurunan kualitas sinyal tersebut, jalur sinyal radio harus dibuat dalam kondisi LOS (*Line of Sight*) yaitu kondisi dimana pada jalur sinyal tidak terdapat objek yang menghalangi. Selain harus memenuhi kondisi LOS, maka propagasi juga harus memenuhi syarat bahwa daerah pertama *fresnel* haruslah bebas dari objek penghalang.

Daerah Fresnel merupakan daerah propagasi sinyal yang muncul karena sinyal berpropagasi pada ketinggian tertentu dengan kerapatan udara yang heterogen. Kerapatan udara berbanding terbalik dengan ketinggian, sehingga pada posisi yang semakin tinggi, kerapatan udara akan semakin rendah. Kondisi udara yang heterogen ini menyebabkan sinyal elektromagnet yang berpropagasi akan terefraksi karena adanya perbedaan kerapatan udara sehingga sinyal yang dikirimkan dari pengirim ke penerima akan membentuk pola *ellipsoid*.

Untuk itulah ketinggian dari antenna perlu diatur agar kedua kondisi propagasi tersebut terpenuhi. Ketinggian antenna dapat dihitung berdasarkan nilai radius daerah Fresnel pertama seperti dirumuskan dalam persamaan 2.4.

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

Dengan :

F_1 = jari-jari *Fresnel Zone* pertama

$d_1 + d_2$ = jarak antenna AUT dengan antenna transmitter

f = frekuensi kerja AUT

2.1.4 Parameter Antena

Kinerja dan daya guna suatu antena dapat dilihat dari nilai parameter-parameter antena tersebut [2]. Beberapa dari parameter tersebut saling berhubungan satu sama lain. Parameter-parameter antena yang biasanya digunakan untuk menganalisis suatu antena adalah impedansi masukan, *Voltage Wave Standing Ratio* (VSWR), *return loss*, *bandwidth*, keterarahan, dan penguatan. Namun, parameter antena yang akan dilihat dari antena yang didesain adalah impedansi masukan, *return loss*, penguatan dan pola radiasi.

2.1.4.1 Impedansi masukan

Impedansi masukan adalah perbandingan (rasio) antara tegangan dan arus. Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu.[2]

$$z_{in}(z) = \frac{\tilde{V}(z)}{\tilde{I}(z)} = \frac{V_0^+ [e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}]}{V_0^+ [e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}]} z_0 = z_0 \left[\frac{1 + \Gamma e^{j2\beta z}}{1 - \Gamma e^{j2\beta z}} \right] \quad (2.5)$$

di mana Z_{in} merupakan perbandingan antara jumlah tegangan (tegangan masuk dan tegangan refleksi (V)) terhadap jumlah arus (I) pada setiap titik z pada saluran.

2.1.4.2 Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan, atau dapat juga diartikan sebagai koefisien refleksi yang dinyatakan dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan adanya daya yang hilang akibat tidak *matchingnya* antena dengan saluran transmisi. Besarnya *return loss* dirumuskan dengan [2] :

$$return\ loss = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.6)$$

Nilai dari *return loss* yang paling sering digunakan adalah -10 dB, nilai ini diperoleh untuk nilai $VSWR \leq 2$ sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Namun, untuk keperluan industri, pada umumnya digunakan -14 dB dengan $VSWR \leq 1,5$.

2.1.4.3 Penguatan (*gain*)

Ada dua jenis penguatan (*gain*) pada antenna, yaitu penguatan absolut (*absolute gain*) dan penguatan relatif (*relative gain*). Penguatan absolut pada sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara *isotropic*. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara *isotropic* sama dengan daya yang diterima oleh antenna (P_{in}) dibagi dengan 4π . Penguatan absolut ini dapat dihitung dengan rumus [2] :

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.7)$$

Selain penguatan absolut, ada juga penguatan relatif. Penguatan relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber *isotropic* yang *lossless*. Secara umum dapat dihubungkan sebagai berikut [2] :

$$G = d \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in \text{ lossless}}} \quad (2.8)$$

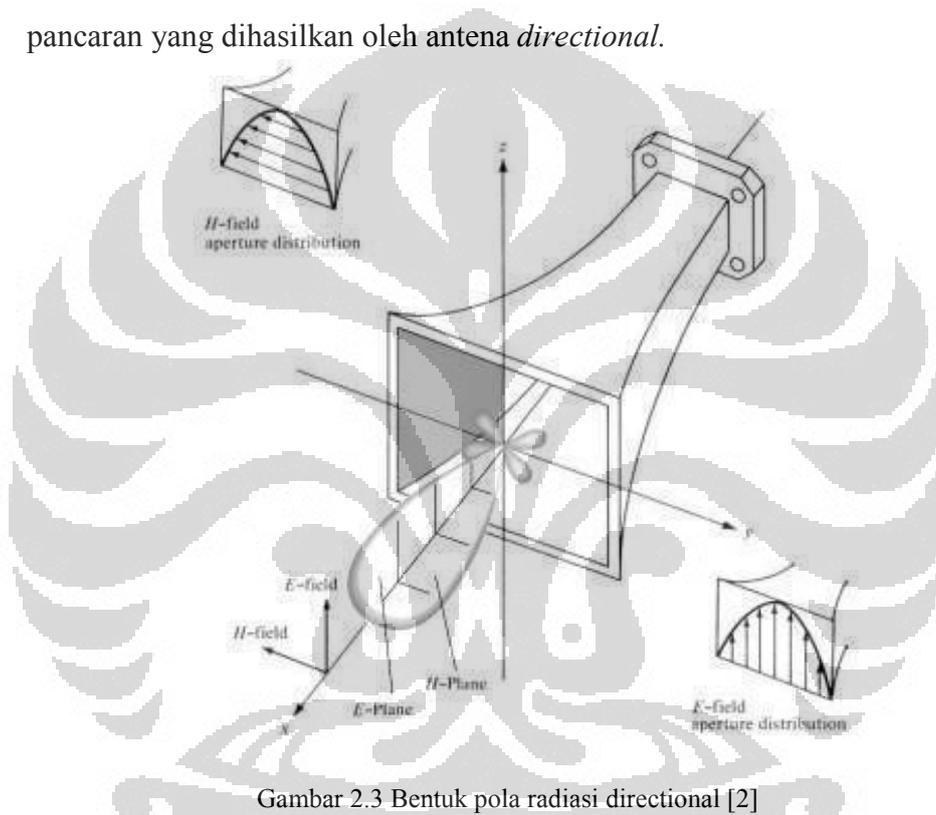
2.1.4.4 Pola radiasi

Pola radiasi pada sebuah antenna didefinisikan sebagai gambaran grafis dari komponen-komponen radiasi sebuah antenna. Pola radiasi biasanya digambarkan dalam daerah medan jauh. Pola radiasi antenna menjelaskan

bagaimana antenna meradiasikan energi ke ruang bebas atau bagaimana antenna menerima energi.

a. Pola radiasi *directional*

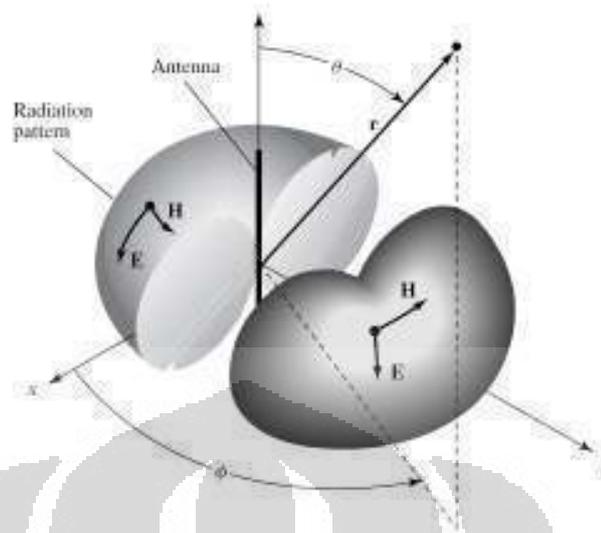
Antena *directional* mempunyai pola radiasi yang terarah dan dapat menjangkau jarak yang relatif jauh. Pola radiasi ini memiliki kemampuan meradiasi dan menerima gelombang elektromagnetik secara lebih efektif pada arah tertentu [2]. Gambar 2.3 merupakan gambaran secara umum bentuk pancaran yang dihasilkan oleh antenna *directional*.



Gambar 2.3 Bentuk pola radiasi directional [2]

b. Pola radiasi *omnidirectional*

Antena *omnidirectional* mempunyai pola radiasi yang digambarkan seperti bentuk kue donat (*doughnut*) dengan pusat berimpit. Antena *Omnidirectional* pada umumnya mempunyai pola radiasi 360° jika dilihat pada bidang medan magnetnya. Gambar 2.4 merupakan gambaran secara umum bentuk pancaran yang dihasilkan oleh antenna *omnidirectional*.

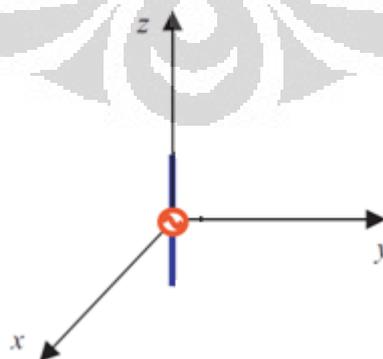


Gambar 2.4 Bentuk Pola Radiasi Omnidirectional [2]

2.2 Antena Dipole

Antena dipole merupakan antena yang termasuk yang tertua, paling sederhana, paling murah dan banyak aplikasinya. Jenis antena dipole yang paling banyak digunakan adalah antena dipole setengah panjang gelombang ($l = \frac{1}{2} \lambda$). Karena resistansi (tahanan) radiasinya yang bernilai 73 ohm dimana sangat dekat dengan 50 ohm atau 75 ohm (karakteristik impedansi saluran transmisi), antena ini sangat mudah dalam hal *matching* dengan saluran transmisi, terutama dalam hal resonansi [2].

Gambar 2.5 menunjukkan sebuah antena dipole yang diletakkan di udara. Titik tengah dari koordinat dipole terletak di *feeding point* dari antena dipole.



Gambar 2.5 Antena dipole

Medan listrik dan medan magnet sepanjang sumbu-y secara teoritis dirumuskan dalam persamaan (2.9) dan (2.10)

$$E_0 \cong jn \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right] \quad (2.9)$$

$$H_\phi \cong j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right] \quad (2.10)$$

dimana I_0 adalah arus maksimum yang masuk ke antena. Arus maksimum yang masuk ke antena dirumuskan oleh persamaan 2.11 dan impedansi radiasi R_r dirumuskan pada persamaan 2.12 [2],

$$I_0 = \sqrt{\frac{2P_{rad}}{R_r}} \quad (2.11)$$

$$R_r = 20\pi^2 \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 \quad (2.12)$$

2.3 Radio Frequency Identification (RFID)

2.3.1 Definisi

RFID adalah proses identifikasi seseorang atau objek dengan menggunakan frekuensi transmisi radio[12]. RFID menggunakan frekuensi radio untuk membaca informasi dari sebuah divais yang bernama tag atau transponder (Transmitter + Responder). Tag RFID akan mengenali diri sendiri ketika mendeteksi sinyal dari divais yang disebut pembaca RFID (RFID Reader).

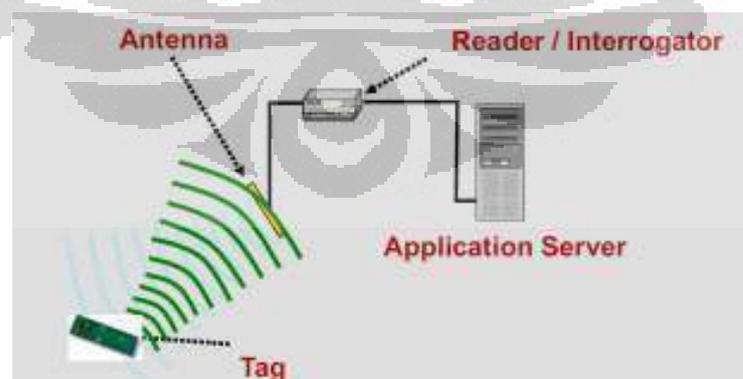
RFID adalah teknologi identifikasi yang fleksibel, mudah digunakan, dan sangat cocok untuk operasi otomatis. RFID mengkombinasikan keunggulan yang tidak tersedia pada teknologi identifikasi yang lain. RFID dapat disediakan dalam devais yang hanya dapat dibaca saja (Read Only) atau dapat dibaca dan ditulis (Read/Write), tidak memerlukan kontak langsung maupun jalur cahaya untuk

dapat beroperasi, dapat berfungsi pada berbagai variasi kondisi lingkungan, dan menyediakan tingkat integritas data yang tinggi. Sebagai tambahan, karena teknologi ini sulit untuk dipalsukan, maka RFID dapat menyediakan tingkat keamanan yang tinggi.

Pada sistem RFID umumnya, tag atau transponder ditempelkan pada suatu objek. Setiap tag dapat membawa informasi yang unik, di antaranya: serial number, model, warna, tempat perakitan, dan data lain dari objek tersebut. Ketika tag ini melalui medan yang dihasilkan oleh pembaca RFID yang kompatibel, tag akan mentransmisikan informasi yang ada pada tag kepada pembaca RFID, sehingga proses identifikasi objek dapat dilakukan.

2.3.2 Prinsip Kerja

Teknologi RFID didasarkan pada prinsip kerja elektromagnetik. Komponen utama dari RFID tag adalah chip dan tag antena yang biasa disebut dengan inlay, dimana chip berisi informasi dan terhubung dengan tag antena. Informasi yang berada/ tersimpan dalam chip ini akan dikirim / terbaca melalui gelombang elektromagnetik setelah tag-antena mendapatkan / menerima pancaran gelombang elektromagnetik dari reader antena/ interogator. RFID reader ini yang sekaligus akan meneruskan informasi pada application server. Prinsip kerja ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema Kerja Perangkat RFID [12]

Perangkat RFID tersebut akan bekerja apabila frekuensinya sama. Ada 4 macam frekuensi kerja dari RFID, yaitu:

- Low Frequency (LF) : 125 -134 KHz
- High Frequency (HF) : 13.56 MHz
- Ultra High Frequency (UHF) : 868 – 956 MHz
- Microwave : 2.45 GHz

2.3.3 Perangkat RFID

2.1.3.1 RFID Tag

Tag RFID adalah devais yang dibuat dari rangkaian elektronika dan antena yang terintegrasi di dalam rangkaian tersebut. Rangkaian elektronik dari tag RFID umumnya memiliki memori sehingga tag ini mempunyai kemampuan untuk menyimpan data. Memori pada tag secara dibagi menjadi sel-sel. Beberapa sel menyimpan data *Read Only*, misalnya *serial number* yang unik yang disimpan pada saat tag tersebut diproduksi. Selain itu pada RFID mungkin juga dapat ditulis dan dibaca secara berulang.

RFID tag terdiri dari dua bagian, yaitu:

- a. Inlay:
 - Inlay merupakan bagian inti dari RFID tag, yang terdiri dari chip dimana informasi disimpan dan antena
 - Informasi yang disimpan terdiri dari:
 - Informasi permanen yang berisi ID yang unik dari tag tersebut, sehingga setiap tag memiliki ID yang berbeda satu sama lainnya. Informasi juga tidak bisa diubah oleh aplikasi atau memakai RFID reader.
 - Informasi non-permanen yang dapat ditulis/write oleh aplikasi dengan bantuan RFID reader saat pengoperasian dilapangan.
 - Inlay ini berbentuk kecil, “halus”, dan bentuknya mudah rusak, sehingga tidak praktis untuk pemakaian dilapangan. Sehingga RFID yang digunakan dilapangan selalu dalam bentuk encapsulated.

Universitas Indonesia

b. Encapsulation/ Bungkus Inlay:

- Kerena bentuk inlay yang rapuh, maka secara praktis perlu dibungkus sehingga sesuai dengan kondisi lapangan dimana RFID tag dipakai.
- Pemakaian encapsulaton memberikan keuntungan bagi RFID karena material dan bentuk encapsulasi dapat disesuaikan dengan lingkungan yang ekstrim, seperti temperatur maupun kelembaban yang tinggi.

Berdasarkan itu, tag RFID dapat digolongkan menjadi:

- Tag Aktif: yaitu tag yang catu dayanya diperoleh dari batere, sehingga akan mengurangi daya yang diperlukan oleh pembaca RFID dan tag dapat mengirimkan informasi dalam jarak yang lebih jauh. Kelemahan dari tipe tag ini adalah harganya yang mahal dan ukurannya yang lebih besar karena lebih kompleks. Semakin banyak fungsi yang dapat dilakukan oleh tag RFID maka rangkaiannya akan semakin kompleks dan ukurannya akan semakin besar.
- Tag Pasif: yaitu tag yang catu dayanya diperoleh dari medan yang dihasilkan oleh pembaca RFID. Rangkaiannya lebih sederhana, harganya jauh lebih murah, ukurannya kecil, dan lebih ringan. Kelemahannya adalah tag hanya dapat mengirimkan informasi dalam jarak yang dekat dan pembaca RFID harus menyediakan daya tambahan untuk tag RFID.

2. RFID Reader

Sebuah pembaca RFID harus menyelesaikan dua buah tugas, yaitu:

- Menerima perintah dari software aplikasi
- Berkomunikasi dengan tag RFID

Pembaca RFID adalah merupakan penghubung antara software aplikasi dengan antena yang akan meradiasikan gelombang radio ke tag RFID.

Gelombang radio yang diemisikan oleh antena berpropagasi pada ruangan

Universitas Indonesia

di sekitarnya. Akibatnya data dapat berpindah secara *wireless* ke tag RFID yang berada berdekatan dengan antena.

3. Antena

Antena adalah unsur yang penting untuk menentukan jarak baca antara Reader dengan RFID tag dan juga seberapa luas area pembacaan. Karena itu parameter-parameter yang perlu diperhatikan adalah Penguatan Antena (dBi), Polarisasi gelombang (circularly atau linearly), bentuk antena (direct atau omni).

Berdasarkan kebutuhan pengoperasiannya, antena dapat dikelompokkan menjadi dua model yaitu,

a. Integrated Antena

Model ini dibutuhkan jika cara pembacaan pada satu posisi saja. Hal ini dikarenakan dalam satu reader hanya 1 koneksi antena, jarak (<50 cm), dan luas area pembacaan sangat terbatas (< 1m²)

b. Eksternal Antena

Dibutuhkan jika cara pembacaan lebih dari 1 posisi dan luas area pembacaan >1 m².

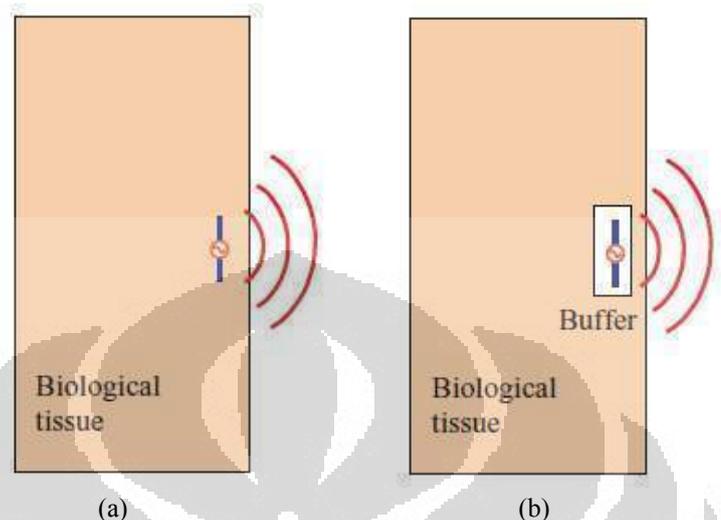
Untuk menentukan dan membatasi luas area pembacaan, ada beberapa hal yang harus diperhatikan:

- a. Pemilihan type antena
- b. Memastikan RFID tag yang sama tidak terbaca oleh antena di jalur yang lain.
- c. Tidak ada gangguan frekuensi dari alat radio yang lain, begitu pula sebaliknya.
- d. Penempatan antena dan pengaturan daya dari antena

2.4 Antena Implan

Antena implan dalam komunikasi nirkabel untuk kesehatan dapat ditanam di kepala manusia dan di tubuh manusia tersebut. Metode yang digunakan untuk masing-masing lokasi tersebut juga berbeda-beda. Gambar 2.7 menunjukkan diagram skematik metodologi yang digunakan dalam penanaman antena untuk masing-masing lokasi penanaman antena. Untuk mengetahui karakteristik dari antena apabila ditanam di kepala maupun di tubuh, digunakan metode numerik yang berbeda yaitu *spherical dyadic Green's Function (DGF)* dan *Finite Difference Time Domain (FDTD)*. Jika antena diposisikan di bagian kepala manusia, karakteristik antena dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan *spherical DGF* karena kepala manusia dapat disederhanakan sebagai lingkungan dengan banyak layer yang banyak terjadi loss [13]. Pendekatan ini dikategorikan sebagai solusi dengan analisis. Selain dengan metode *spherical DGF*, dapat juga digunakan metode *FDTD* untuk menganalisis antena yang diimplan di kepala. Untuk implan di tubuh manusia pendekatan solusi yang digunakan adalah *numerical solution* menggunakan *FDTD*. Jenis antena yang digunakan dapat berupa antena *wire* ataupun antena planar. Namun, antena planar hanya dapat digunakan apabila implan yang dilakukan adalah di tubuh manusia [13].

antena dengan cara seperti Gambar 2.8 (b) adalah adanya kemungkinan banyak cara untuk meningkatkan kualitas dari jaringan komunikasi[13].



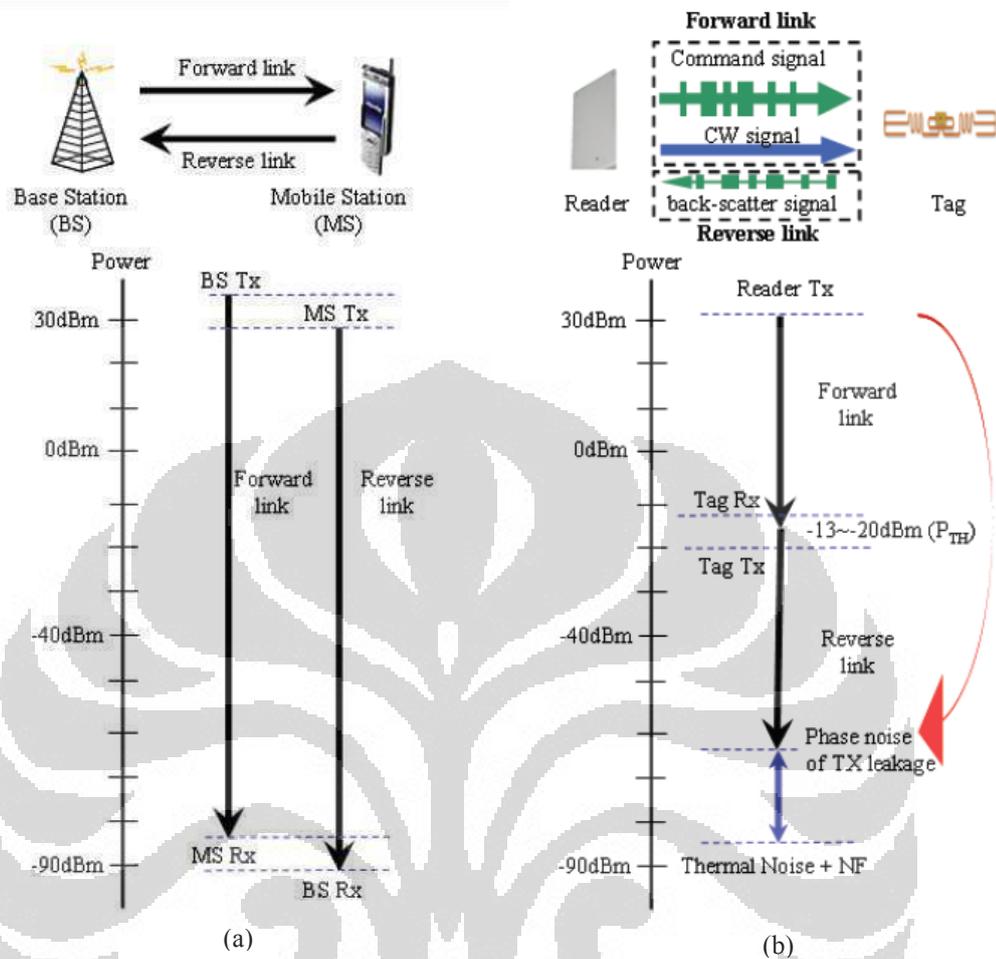
Gambar 2.8 konfigurasi antenna jika di implan di jaringan tubuh manusia, (a) kontak langsung dengan jaringan tubuh, (b) tidak kontak langsung dengan jaringan tubuh [13]

2.5 RFID Link Budget

Sebuah proses komunikasi meliputi bagian-bagian seperti transmitter, kanal propagasi, sampai ke receiver. Dalam komunikasi nirkabel, seperti pada Gambar 2.9(a), ada sebuah proses mengirim dan menerima (*forward and reverse*). *Forward link* adalah proses komunikasi dari *base station (BS)* ke *mobile station (MB)*, dan sebaliknya *reverse link* adalah proses komunikasi dari MB ke BS. Karena BS dan MB mentransmisikan data secara serentak melalui *forward* dan *reverse link*, tipe dari komunikasi yang terjadi disebut *full duplex*. Level daya dari masing-masing *link* tersebut memiliki sedikit perbedaan. Kemampuan cakupan daerah untuk *forward link* hampir sama dengan cakupan daerah *reverse link*, meskipun daya transmit dan tingkat sensitivitasnya berbeda [14].

Pada sisi lain, *link* RFID dengan frekuensi UHF, seperti pada Gambar 2.9(b) berbeda dengan sistem komunikasi nirkabel secara umum. Sebuah sistem RFID secara umum terdiri dari dua komponen yaitu *tag* dan *reader*. *Reader* terkadang disebut sebagai *integrator*, terbuat dari modul transmitter/ receiver dengan satu atau lebih antenna.

Universitas Indonesia



Gambar 2.9 Perbedaan karakteristik sistem komunikasi nirkabel dengan sistem RFID, (a) Sistem komunikasi nirkabel secara umum (b) Sistem RFID [14]

Tag terdiri dari sebuah mikrochip untuk menyimpan data dan sebuah antena untuk mengirim data yang tersimpan. *Tag* dapat dibedakan menjadi *tag* pasif dan aktif berdasarkan ada atau tidaknya daya internal yang dipasang pada *tag*. Karena *passive tag* tidak memiliki daya sendiri, *tag* memperoleh energi dari gelombang sinus yang ditransmisikan oleh *reader*. Data pada *tag* ditransmisikan dengan memantulkan kembali energi sinyal yang diterima oleh *tag*. Karena itu, sistem RFID adalah sistem yang *half duplex*, yaitu *tag* ke *reader* kemudian *reader* ke *tag*. Karakteristik jaringan dari sistem RFID dengan frekuensi UHF dapat dihitung dengan konsep link budget.

2.5.1 Perhitungan Forward Link Budget

Pada *forward link*, daya yang diterima oleh *tag* RFID, P_{RX} , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan propagasi gelombang elektromagnetik Friss pada kondisi udara bebas yang dituliskan dalam persamaan 2.13 berikut [14]:

$$P_{RX}(r) = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 P_{TX} G_T G_R \quad (2.13)$$

dimana,

- λ : panjang gelombang di udara bebas
- r : jarak operasi antara *tag* dengan *reader*
- P_{TX} : catu daya dari antena *reader*
- G_R : *gain* dari antena *reader*
- G_T : *gain* dari *tag* antena

Satu bagian dari daya P_{RX} diserap oleh *tag* untuk membangkitkan daya DC (*Direct Current*), dan bagian yang lain dihamburkan untuk *reverse link*. Agar daya DC yang dibangkitkan cukup untuk menghidupkan chip, daya yang diserap haruslah lebih besar dari daya operasi minimum yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *tag*, P_{TH} [15].

2.5.2 Perhitungan Reverse Link Budget

Pada *reverse link*, hamburan sinyal dari *tag* haruslah cukup kuat agar sinyal keluaran dari *reader* memenuhi syarat minimum *signal-to-noise-ratio* (*SNR*). Karena sinyal kontinuis selalu ada dalam *reverse link* untuk menghidupkan *tag*, level kebocoran dari transmiter sangat mempengaruhi *link budget*. Untungnya kebocoran tadi dapat diatasi dengan filter *bandpass*. Meskipun demikian, *phase noise* akibat kebocoran tadi pada rentang frekuensi penerima tidak dapat dihilangkan oleh filter *bandpass*. Oleh karena itu, noise tersebut harus lebih diperhitungkan dalam *link budget* daripada noise *thermal*.

2.6 Propagasi Gelombang di Berbagai Medium

2.6.1 Lossless Medium

Propagasi gelombang berkaitan dengan konstanta propagasi (γ). Konstanta propagasi adalah bilangan kompleks. Besarnya nilai γ bergantung pada permitivitas dan permeabilitas dari suatu medium yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut [16] :

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \quad (2.14)$$

Untuk medium yang *lossless*, nilai permitivitas (ε) dan permeabilitas (μ) adalah bilangan real, sehingga nilai k (konstanta phase) juga adalah bilangan real. Karena nilai permitivitas adalah bilangan real maka nilai konduktivitas (σ) menjadi bernilai nol. Karena panjang gelombang di berbagai medium dipengaruhi oleh nilai k dimana nilai k sama dengan nilai β , yaitu [16]:

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} \quad (2.15)$$

Dengan demikian panjang gelombang pada saat melalui media yang *lossless* dirumuskan sebagai berikut [16]:

$$\lambda = 2\pi/\beta \quad (2.16)$$

2.6.2 Lossy Medium

Medium yang *lossy* adalah medium yang memiliki konduktivitas sebesar σ . Oleh karena itu besarnya konstanta propagasi adalah [16]:

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \quad (2.17)$$

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon'}\sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon'}} \quad (2.18)$$

Sama seperti pada medium *lossless* besarnya panjang gelombang pada medium ini dirumuskan sebagai [16]:

$$\lambda = 2\pi/\beta \quad (2.19)$$

dimana $\beta = \text{Im}(\gamma)$ [16]

BAB 3

PERANCANGAN DAN HASIL SIMULASI

Perancangan antenna ini ditujukan untuk menghasilkan antenna RFID yang diimplan di tubuh manusia yang aplikasinya ditujukan untuk monitoring keadaan pasien di rumah sakit. Antenna yang dirancang ini nantinya akan ditanam dibagian lengan atas pasien, sehingga dimensi adalah hal yang sangat penting. Dimensi antenna yang dirancang haruslah berukuran kecil, agar pasien tidak merasa kesakitan, juga agar aktivitas pasien tidak terganggu. Perancangan antenna dilakukan dengan teknik iterasi terhadap dimensi antenna hingga dicapai frekuensi kerja 923-925 MHz. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio* berbasis metode *Finite Integration Technique (FIT)*. Dengan simulasi menggunakan perangkat lunak tersebut diperoleh parameter-parameter antenna yang meliputi *return loss*, *VSWR*, *gain* dan pola radiasi. Karena antenna ini nantinya akan diimplan ke tubuh manusia, maka saya akan memodelkan lingkungan tubuh manusia dengan model yang sederhana dengan karakteristik yang mendekati lengan manusia yang sebenarnya, sehingga bisa diperoleh hasil yang hampir sama apabila nanti antenna ini diimplan ke tubuh manusia.

3.1 Perhitungan Link Budget

Link Budget adalah hal yang penting dalam komunikasi nirkabel karena dengan menghitung *link budget*lah kita bisa menentukan apakah sebuah sistem mampu berkomunikasi melalui angka-angka hasil perhitungan yang dihasilkan.

Antenna yang diimplan dalam tubuh akan digunakan untuk aplikasi medis/kesehatan guna mengirim informasi tentang suhu, tekanan darah, denyut jantung, dsb. Informasi tersebut dikirim dari antenna pengirim ke antenna penerima melalui media udara, sehingga perlu dihitung parameter link budget antara antenna implan dengan penerima, agar komunikasi antara pengirim dan penerima bisa terlaksana. Antenna pengirim adalah antenna implant dan antenna penerima adalah sebuah antenna dipole biasa dengan jarak yang antara pengirim dan penerima adalah 10 m.

Link budget dapat dihitung dengan persamaan berikut [6]:

$$\text{Link } C/N_0 = P_t - L_{\text{feet}} + G_t - L_f - L_a + G_r - L_{\text{feet}} - N_0 \text{ [dB/Hz]} \quad (3.1)$$

$$\text{Required } C/N_0 = E_b/N_0 + 10 \log_{10}(B_r) - G_c + G_d \text{ [dB/Hz]} \quad (3.2)$$

$$L_f = 10 \log_{10} \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ [dB]} \quad (3.3)$$

$$N_0 = 10 \log_{10}(k) + 10 \log_{10}(T_i) \text{ [dB/Hz]} \quad (3.4)$$

$$T_i = T_0(NF - 1) \text{ [K]} \quad (3.5)$$

Sesuai dengan perancangan yang kita inginkan, maka semua parameter yang berhubungan dengan perhitungan *link budget* harus kita pertimbangkan seperti frekuensi operasi yaitu 923-925 MHz, daya input antenna, lokasi pemakaian antenna, jarak antara *tag* dan *reader*, dan sebagainya.

C/No adalah ketersediaan komunikasi. Jika *Link C/No* melebihi yang dibutuhkan, komunikasi dimungkinkan terjadi. Dari persamaan (1) dan (2), *Link C/No* dan *C/No required* (yang dibutuhkan) dapat dihitung. Jika gain antena melebihi -34 dBi, maka *Link C/No* melebihi *C/No* yang dibutuhkan.

Dengan menggunakan persamaan link budget (3.1) sampai (3.5), maka parameter-parameter *link budget* mulai dari proses transmisi, propagasi, penerimaan dan kualitas sinyal dapat diketahui. Perhitungan *link budget* ini diambil dari jurnal [6], dengan mengubah parameter frekuensi dan suhu lingkungan sehingga diperoleh gain minimum agar komunikasi bisa berlangsung. Dengan gain -30 dB, dari perhitungan link budget telah diperoleh *margin* sebesar 8,29 dB. Sehingga apabila ada *loss* yang tidak terhitung dalam link budget, komunikasi masih dapat berlangsung, asalkan *loss* tersebut tidak lebih besar dari margin. Keseluruhan hasil perhitungan parameter tersebut dapat dilihat di Tabel 3.1.

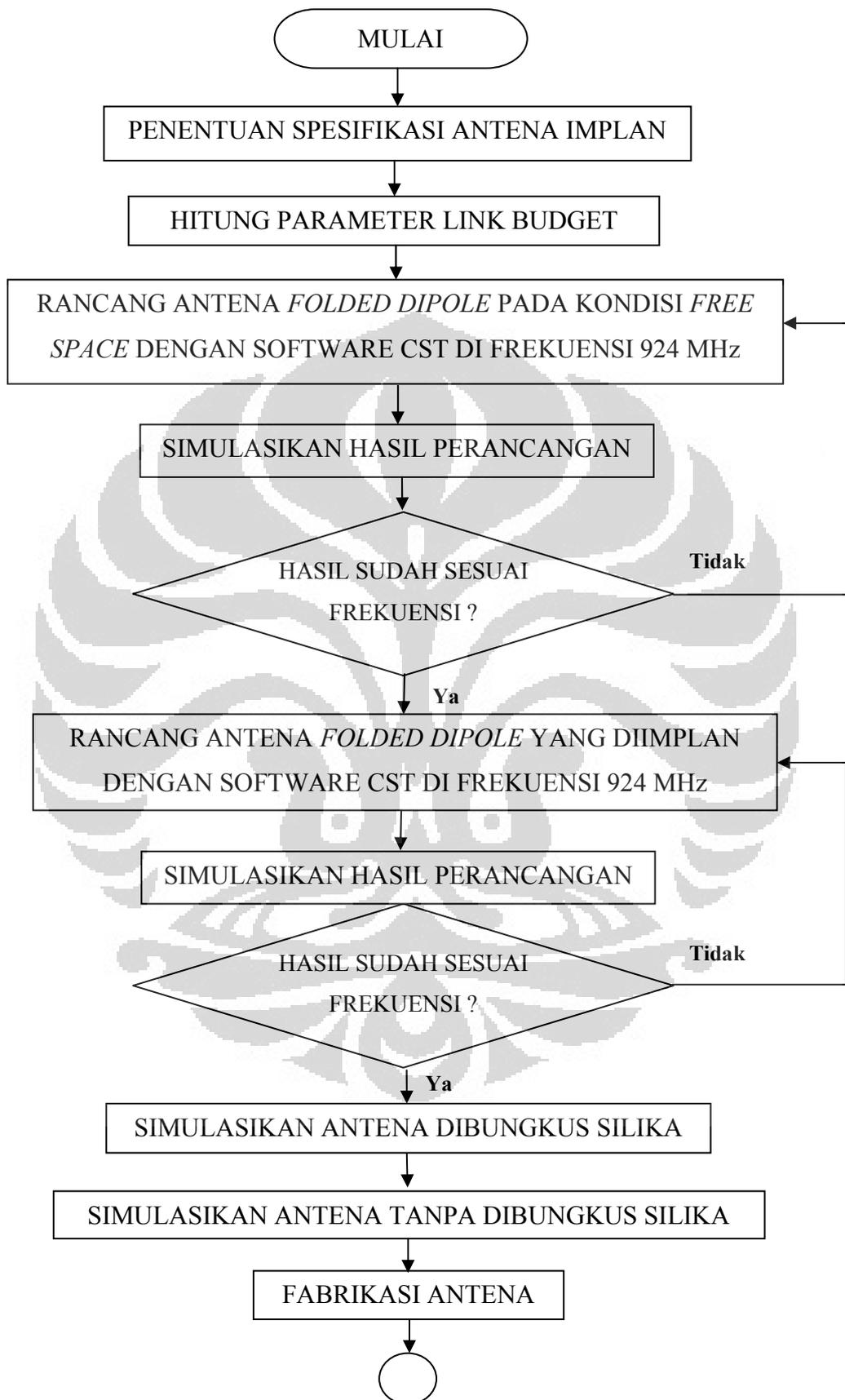
Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Parameter Link Budget [6]

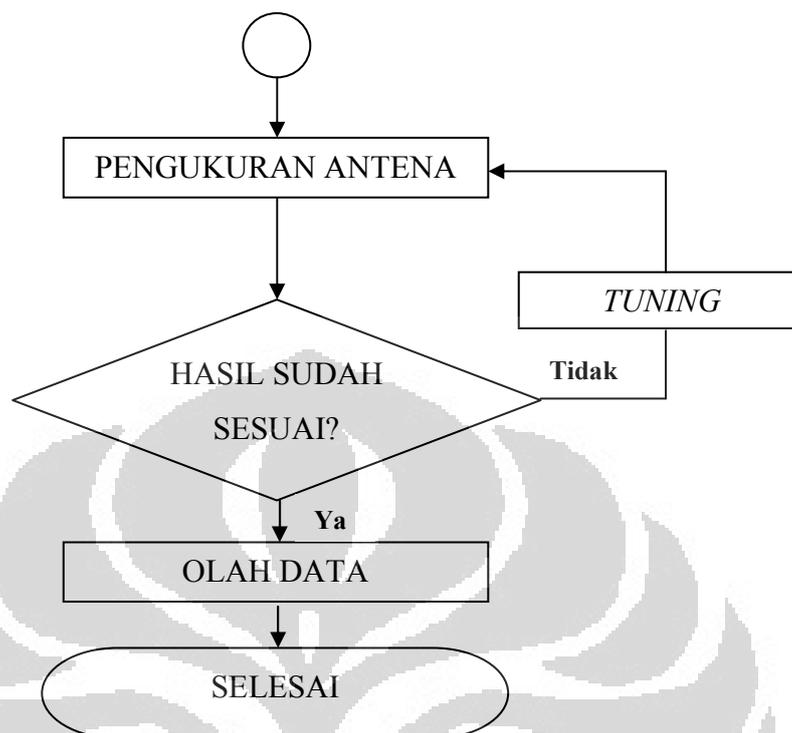
Transmission		Propagation	
frequency f [GHz]	0.924	distance d [m]	10.0
Tx Power P_t [W]	25×10^{-6}	Free Space Loss L_f [dB]	51.75
Tx Power P_t [dBW]	-46.02	Air Propagation Loss L_a [dB]	0.0
Feeding Loss L_{feed} [dB]	0.0	Total propagation Loss L_t [dB]	51.75
Tx Antena Gain G_t [dBi]	-30.0		
EIRP [dBW]	-76.02		
Receiver		Sinyal Quality	
Antena Gain G_r [dBi]	2.15	Bit Rate B_r [kbps]	0.5
Feeding Loss L_{feed} [dB]	0	Bit Error Rate	1.0×10^{-5}
Ambient Temperature T_0 [K]	290.0	E_b/N_0 (ideal PSK) [dB]	9.6
Receiver NF [dB]	3.5	Coding Gain G_c [dB]	0
Konstanta Boltzman κ	1.38×10^{-23}	Fixing Deterioration G_d [dB]	2.5
Noise Power Density N_0 [dB/Hz]	-200.00		
Link C/N_0 [dBHz]			74.37
Required C/N_0 [dBHz]			66.08
Margin			8.29

3.2 Perancangan Antena

Antena RFID yang ingin dirancang adalah antena wire yang dibentuk sedemikian rupa untuk menghasilkan parameter-parameter kerja sesuai yang diinginkan. Pada Gambar 3.1 dapat dilihat diagram alur (*flow chart*) dalam perancangan yang telah dilakukan. Dari diagram alur yang dibuat, akan mempermudah untuk pengecekan atau analisis dari hasil yang diperoleh, karena kita bisa mengetahui keluaran dari masing-masing tahapan perancangan antena.

Untuk memperoleh hasil simulasi agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dilakukan metode iterasi terhadap panjang dari antena yang dirancang sampai diperoleh parameter kerja antena terutama frekuensi dari antena tersebut. tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 khususnya tahap rancang antena.

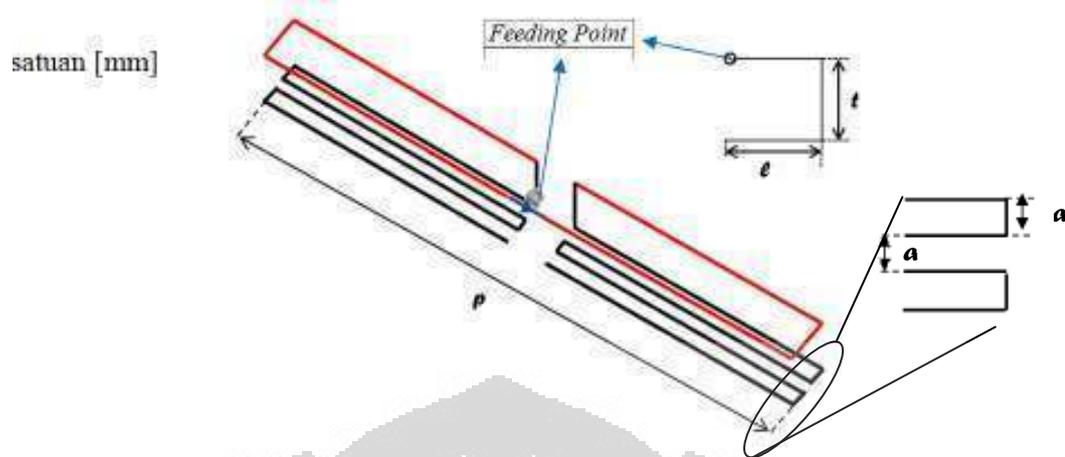




Gambar 3.1 Diagram alur perancangan antenna

3.3 Tahapan Perancangan

Perancangan antenna dilakukan dengan memodifikasi rancangan yang telah dibuat sebelumnya[6]. Modifikasi yang dilakukan adalah modifikasi ukuran dan bentuk dari antenna yang telah ada. Lebar (l) dan tinggi (t) dari antenna yang didesain, saya buat sama yaitu sebesar 1,8 mm. Lebar antenna pada bagian dasar/ bagian bawah dilipat dengan lebar lipatan (a) sebesar 0,6 mm. Parameter yang paling berpengaruh terhadap frekuensi adalah panjang (p) dari antenna. Konfigurasi antenna dapat dilihat pada Gambar 4.2. Awalnya, saya mendesain antenna di udara bebas (tanpa implan) untuk mengetahui dimensi antenna yang bekerja pada frekuensi 924 MHz. Teknik yang digunakan untuk memperoleh dimensi antenna adalah dengan iterasi panjang dari antenna tersebut.. Perubahan parameter panjang terhadap frekuensi kerja dari antenna di *free space* dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Gambar 3.2 Konfigurasi antenna

Tabel 3.2 Pengaruh dimensi terhadap frekuensi kerja antenna di *free space*

Kemudian, saya menyadari bahwa silika pembungkus dan tubuh manusia akan sangat mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna [13]. Oleh karena itu, saya melakukan perancangan antenna langsung menggunakan silika dan model lengan manusia berbentuk kubus dengan dimensi model adalah $310 \times 60 \times 60$ [mm]. Untuk memperoleh dimensi antenna yang sudah diimplan, dilakukan teknik iterasi dengan mengubah panjang dari antenna. Selengkapnya proses iterasi antenna implan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Pengaruh dimensi terhadap frekuensi kerja antenna implan

Setelah memperoleh dimensi dan frekuensi kerja dari antenna setelah diimplan, maka saya mengukur kinerja antenna apabila tidak diimplan dengan menghilangkan lingkungan kerja yang berupa model lengan tadi, sehingga diperoleh antenna yang dibungkus silika. Kemudian pembungkus silika dihilangkan dan antenna tersebut kembali disimulasikan agar diperoleh antenna dan karakteristik kinerja dari antenna tersebut. Hal ini penting terutama karena antenna tersebut akan difabrikasi.

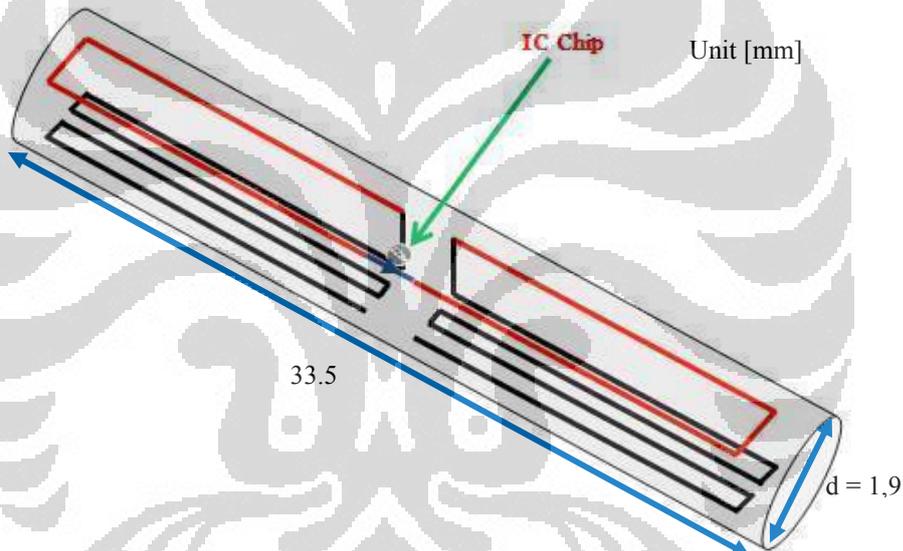
3.4 Hasil Perancangan

Bentuk dan dimensi dari antenna ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Antenna yang dirancang menggunakan *wire* sebagai bahan untuk meradiasikan gelombang. *Feeding point* yang digunakan menggunakan impedansi 50 ohm yang diposisikan di titik tengah dari antenna yang dirancang.

Antenna disusun sedemikian rupa dengan dimensi tertentu untuk memperoleh frekuensi kerja sesuai yang diinginkan. Dimensi antenna yang dirancang adalah hal yang perlu diperhatikan karena antenna tersebut akan ditanam nantinya di tubuh manusia. Semakin kecil ukuran antenna maka akan semakin baik, karena itu berarti objek yang akan ditanam di tubuh pasien juga akan semakin kecil, sehingga pasien tidak akan merasakan sakit pada saat penanaman antenna di tubuhnya. Penanaman dilakukan dengan cara menyuntikkan antenna tersebut ke

tubuh pasien dengan alat suntik/ injeksi khusus untuk mengurangi rasa sakit dan infeksi pada tubuh pasien.

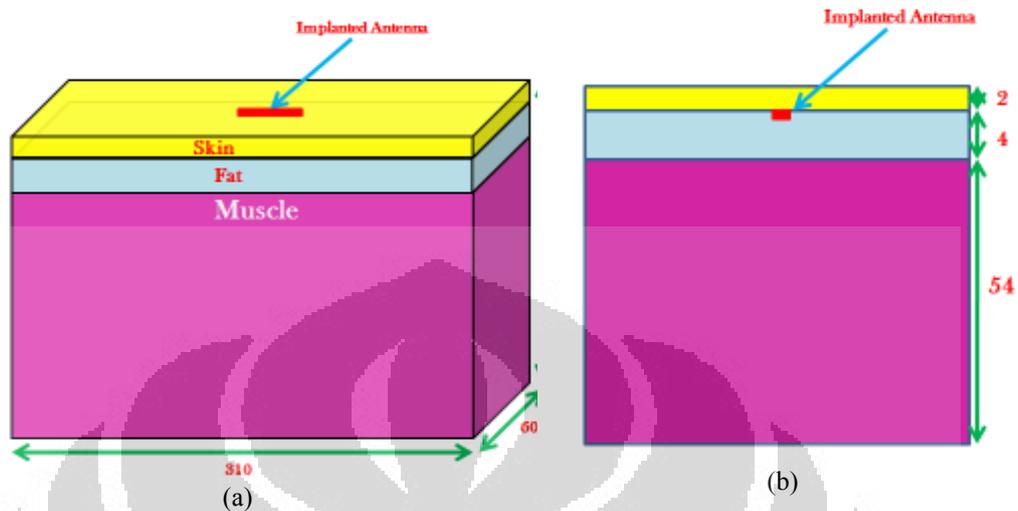
Seperti yang kita ketahui, dimensi antenna akan berukuran besar apabila frekuensi kerjanya kecil, dan sebaliknya apabila frekuensi kerja antenna tersebut tinggi (GHz), maka ukuran antenna bisa dibuat lebih kecil lagi. Gambar 3.3 menunjukkan antenna yang dirancang dibungkus oleh sebuah bahan dielektrik berupa silika. Hal ini bertujuan mengurangi *Specific Absorption Rate (SAR)*, karena apabila antenna kontak langsung dengan tubuh manusia nilai SAR akan sangat besar [13].



Gambar 3.3 Antena dibungkus silika

Antena tersebut akan ditanam di tubuh manusia tepatnya di bagian lengan. Gambar 3.4 (a) dan (b) menunjukkan posisi antenna dan model lengan manusia pada saat antenna sudah diimplan. Model lengan direpresentasikan dengan tiga lapisan yaitu kulit, lemak dan otot yang masing masing lapisan tersebut memiliki nilai permitivitas (ϵ_r) dan konduktivitas (σ) yang berbeda-beda. Nilai permitivitas dan konduktivitas tersebut berubah-ubah terhadap frekuensi. Untuk frekuensi 924 MHz nilai masing-masing lapisan adalah kulit ($\epsilon_r = 41.284523$, $\sigma = 0.874705$), lemak ($\epsilon_r = 5.458249$, $\sigma = 0.051615$), otot ($\epsilon_r = 54,976292$, $\sigma = 0.951203$)[17].

Antena ditanam diantara lapisan kulit dengan lapisan lemak. Tebal lapisan kulit adalah 2 mm, tebal lemak adalah 4 mm dan lapisan otot memiliki tebal 54 mm:



Gambar 3.4 Antena dimplan di antara kulit dan lemak

(a) antena implan pada model lengan, (b) antena implan dilihat dari samping

3.5 Hasil Simulasi

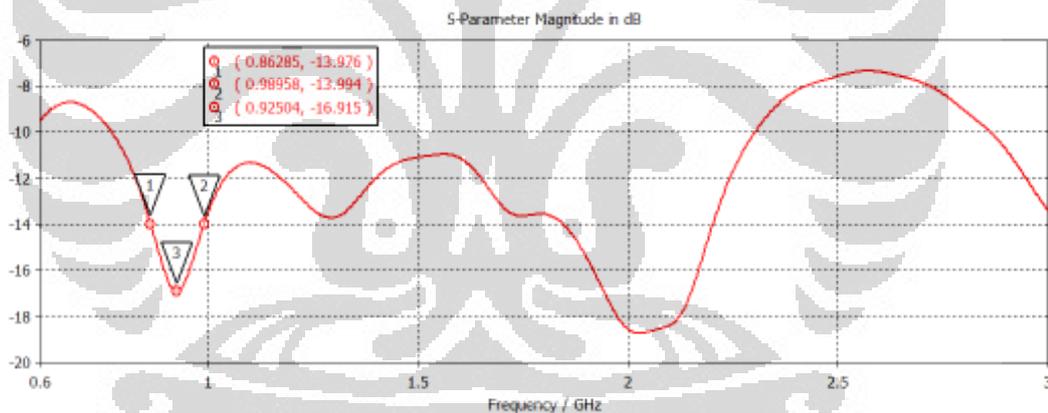
Antena yang sudah dirancang disimulasikan dengan menggunakan software CST (*Computer Simulation Technology*) untuk mengetahui parameter-parameter kerja dari antena yang dirancang. Simulasi yang dilakukan terbagi dalam tiga kondisi, yaitu simulasi antena di *free space*, simulasi setelah dibungkus silika, dan simulasi setelah di implan di lengan manusia antara lapisan kulit dan lemak. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan yang terjadi pada kinerja antena akibat perlakuan yang diberikan. Parameter antena yang diamati untuk masing-masing kondisi adalah S11, karakteristik impedansi, pola radiasi, dan gain dari antena tersebut. Pertama-tama yang didesain adalah antena yang sudah diimplan pada model lengan manusia, kemudian model lengan dihilangkan (antena dibungkus silika), dan terakhir pembungkus silika dihilangkan (antena di *free space*).

3.5.1 Antena diimplan di lengan manusia

Antena yang diimplan di model lengan manusia disimulasikan untuk mengetahui karakteristik kerja dari antena tersebut setelah diimplan. Model lengan manusia dibuat semirip mungkin dengan karakteristik lengan manusia yang sebenarnya sesuai dengan tujuan dibuatnya antena ini.

3.5.1.1 S11

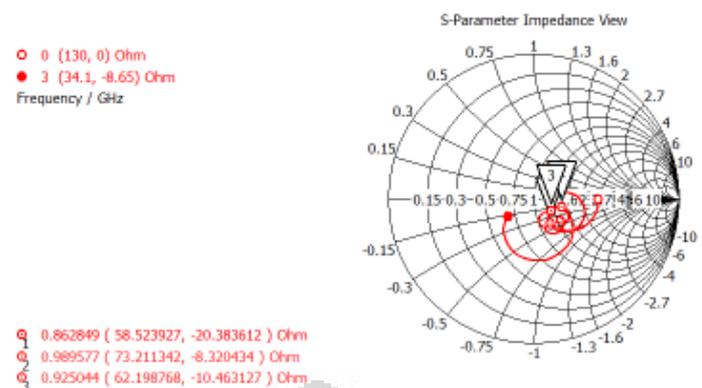
Nilai standar *return loss* yang digunakan adalah 14 dB. Dari standar yang sudah ditetapkan ini, maka dapat dilihat rentang frekuensi kerja dari antena yang telah diimplan dilengan manusia. Antena RFID yang dirancang ini diharapkan bekerja di frekuensi 923 – 925 MHz. Dari Gambar 3.5, frekuensi tengah yang juga merupakan frekuensi kerja dari antena yang dirancang telah tercapai yaitu di frekuensi 924 MHz dengan frekuensi kerja yaitu 862,85 – 989,58 MHz, sehingga diperoleh bandwidth 126,73 MHz.



Gambar 3.5 Grafik S11 (*return loss*) antena implan

3.5.1.2 Karakteristik Impedansi

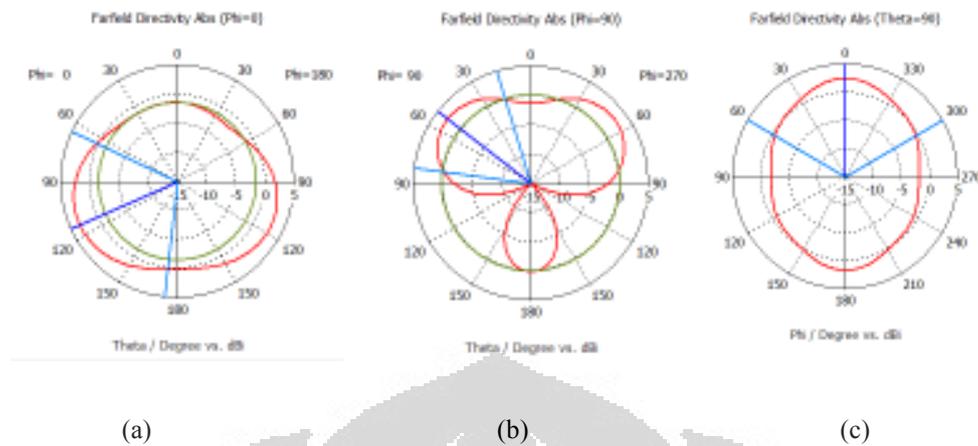
Karakteristik impedansi setelah diimplan di lengan manusia juga perlu untuk ditelusuri. Dari Gambar 3.6 dapat dilihat bahwa nilai impedansi antena setelah diimplan dilengan di frekuensi 924 MHz bernilai $(46,357 + 7,0522j)$ ohm artinya sangat mendekati kondisi *match* yang ideal dengan saluran transmisi.



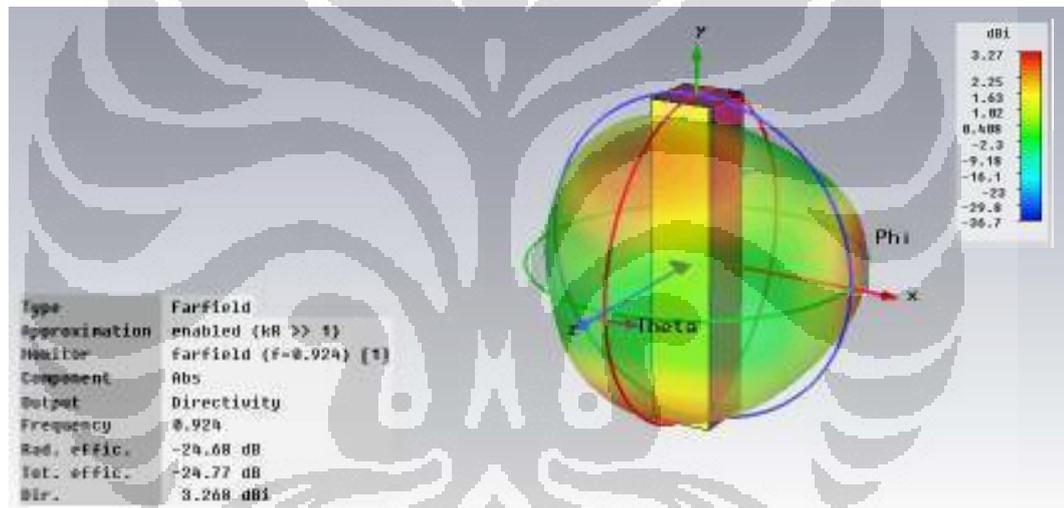
Gambar 3.6 Grafik karakteristik impedansi (*smith chart*) antenna implan

3.5.1.3 Pola radiasi

Pola radiasi yang diinginkan dari antenna yang didesain adalah radiasi yang kuat bukan ke arah badan manusia tapi radiasi yang membentuk sudut tertentu ke sisi luar dari lengan tersebut. Selain itu, pola radiasi yang diinginkan adalah *omnidirectional*, agar mampu berkomunikasi dengan reader yang akan dipasang diam di salah satu sudut ruangan. Bentuk pola radiasi yang diinginkan tersebut sudah sesuai dengan hasil simulasi antenna ini, yang dapat dilihat pada Gambar 3.7. Pola radiasi digambarkan dengan dua dimensi (Gambar 3.7) dan tiga dimensi (Gambar 3.8). Gambar pola radiasi dua dimensi dapat dilihat tiga bidang, yaitu bidang-xy (Gambar 3.7 (a)), bidang-yz (Gambar 3.7(b)), dan bidang-xz (Gambar 3.7(c)). Garis berwarna biru muda menunjukkan besarnya *beamwidth* (-3dB dari *main lobe*), dan garis berwarna biru menunjukkan arah radiasi terbesar, sedangkan garis hijau menunjukkan level *side lobe*. Dari Gambar 3.7, pada bidang-xz arah radiasi terbesar berada pada sudut 114° dengan *beamwidth* sebesar 109° . *Side lobe level* pada bidang xz adalah -4,6 dB. Pada bidang-yz arah radiasi terbesar berada pada sudut 52° dengan *beamwidth* sebesar $65,4^\circ$. *Side lobe level* pada bidang yz adalah -2,8 dB. Sedangkan pada bidang-xy arah radiasi terbesar berada pada sudut 0° dengan *beamwidth* sebesar $119,4^\circ$. Pada bidang xz tidak terdapat *side lobe level*.



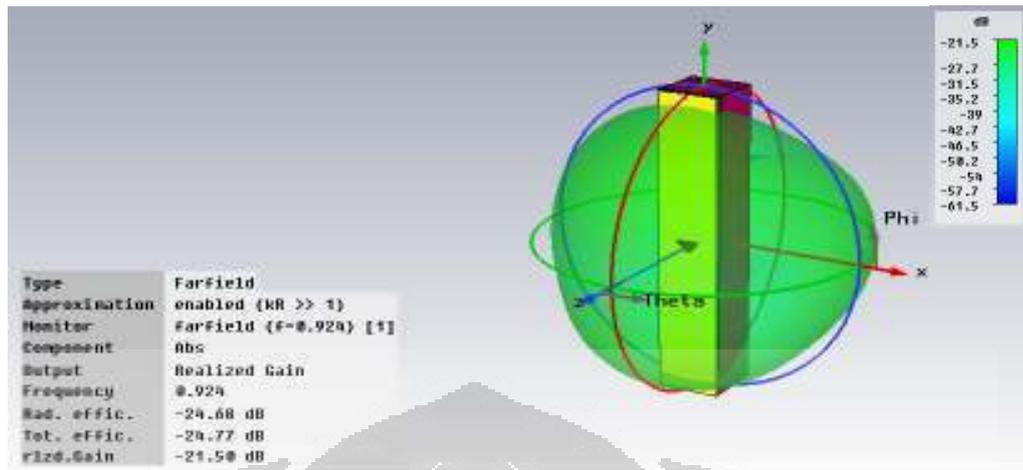
Gambar 3.7 Pola radiasi dua dimensi antenna implan
(a) bidang-xz, (b) bidang-yz, (c) bidang-xy



Gambar 3.8 Pola radiasi tiga dimensi antenna implan

3.5.1.4 Gain

Gain minimum yang harus dicapai *tag* antenna sesuai *link budget* agar dapat berkomunikasi dengan penerima adalah -30dBi. Antena yang telah diimplan dilengan manusia harus mampu mencapai gain tersebut, meskipun kita tahu bahwa tubuh manusia itu adalah lapisan yang mampu mengakibatkan banyak loss [13]. Dari Gambar 3.9 kita dapat melihat bahwa simulasi antenna yang diimplan menghasilkan *gain* yang bernilai -21,50 dBi yang berarti sudah memenuhi syarat agar bisa berkomunikasi dengan penerima.



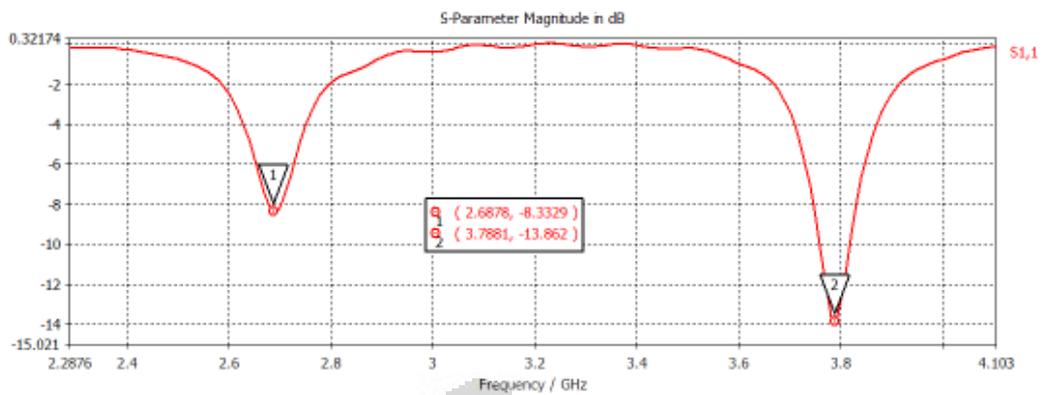
Gambar 3.9 Gain antenna implan

3.5.2 Antena dibungkus silika

Antena dibungkus dengan silika dengan tujuan untuk mengurangi pengaruh SAR yang sangat besar apabila antena bersentuhan langsung dengan tubuh manusia. Simulasi ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh silika terhadap kinerja dari antena yang dirancang.

3.5.2.1 S11

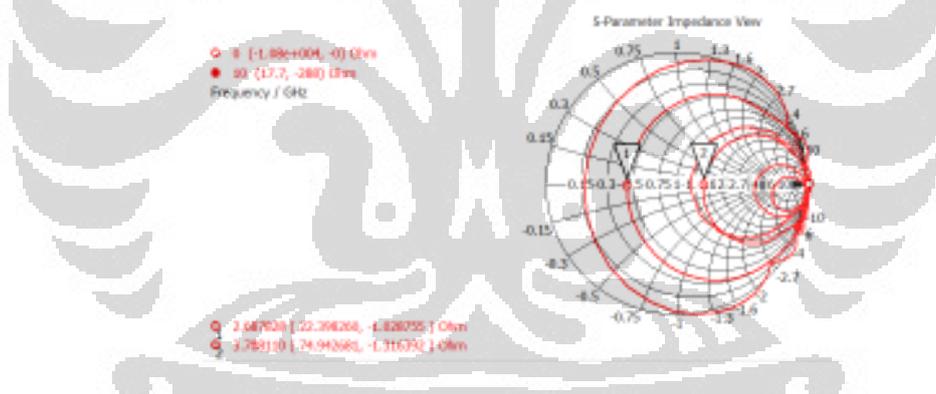
Sama halnya seperti simulasi sebelumnya, yaitu antena di udara bebas tanpa silika, saya juga mensimulasikan antena yang sudah dibungkus silika untuk memperoleh nilai parameter S11 atau *return loss*. Gambar 3.10 menunjukkan nilai *return loss* antena yang dirancang dibungkus silika dan di letakkan di ruang bebas/udara. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa, jika kita menggunakan standar -10 dB, maka antena tersebut akan bekerja di frekuensi 3,79 GHz. Namun, nilai frekuensi ini akan menjadi kurang tepat, apabila kita melihat nilai frekuensi resonansi antena pada saat di udara bebas. Frekuensi resonansi dari antena pada saat dibungkus silika sebenarnya adalah di frekuensi 2,69 GHz. Namun nilai ini pada grafik tidak berada dibawah -10dB. Hal ini lebih disebabkan karena propagasi gelombang melewati medium dengan perbedaan permitivitas yang cukup besar, dimana permitivitas silika sebesar 4,82.



Gambar 3.10 Grafik S11 (*return loss*) antenna dibungkus silika

3.5.2.2 Karakteristik Impedansi

Kita juga perlu melihat karakteristik impedansi antenna setelah dibungkus dengan silika. Apakah antenna yang dibungkus silika masih *match* dengan saluran transmisi atau tidak. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.11 dimana nilai impedansi antenanya adalah $(28.528 + 1,721j)$ ohm. Ini berarti antenna yang dibungkus dengan silika kurang *match* dengan saluran transmisi.



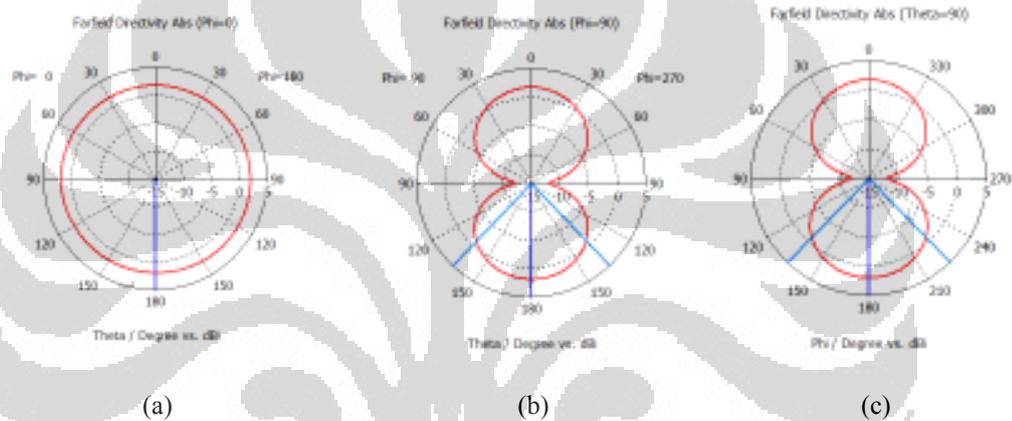
Gambar 3.11 Grafik karakteristik impedansi antenna dibungkus silika (*smith chart*)

3.5.2.3 Pola radiasi

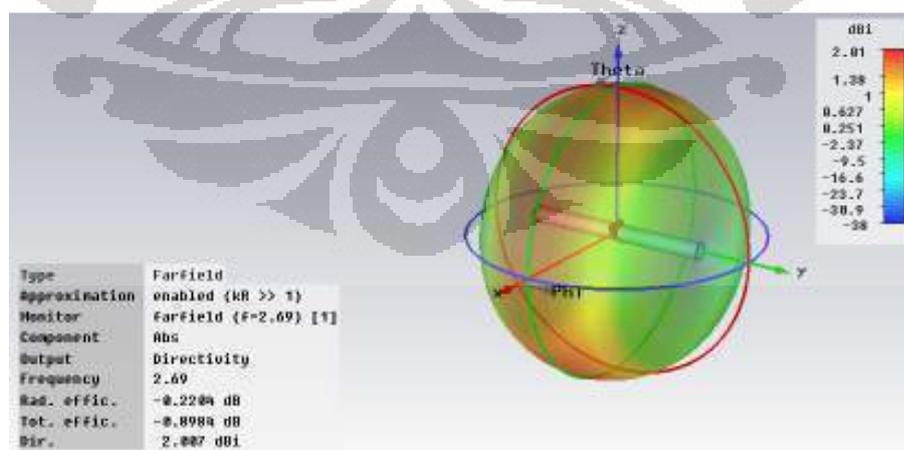
Pola radiasi dari antenna yang dibungkus silika juga dapat diketahui dengan menggunakan software CST ini. Pola radiasi juga digambarkan dengan dua dimensi (Gambar 3.12) dan tiga dimensi (Gambar 3.13). Gambar pola radiasi dua dimensi dapat dilihat tiga bidang, yaitu bidang-xy (Gambar 3.12 (a)), bidang-yz (Gambar 3.12(b)), dan bidang-xz (Gambar 3.12(c)). Bentuk pola radiasi dari antenna dibungkus silika berbeda dengan antenna diimplan dikarenakan perbedaan media rambat dari gelombang elektromagnetik, dimana media tubuh manusia

memiliki nilai *loss* yang lebih besar, sehingga radiasi antenna sebagian teredam oleh tubuh. Sedangkan pada material silika, propagasi gelombang memiliki kemiripan dengan propagasi gelombang pada udara bebas karena nilai setengah panjang gelombang *guidenya* jauh lebih besar daripada tebal silika.

Dari Gambar 3.12, pada bidang-xz arah radiasi terbesar berada pada sudut 180° dengan arah pancar ke segala arah. Pada bidang-yz arah radiasi terbesar berada pada sudut 180° dengan *beamwidth* sebesar $89,8^\circ$. Sedangkan pada bidang-xy arah radiasi terbesar berada pada sudut 0° dengan *beamwidth* sebesar $89,8^\circ$. Pada bidang xz tidak terdapat *side lobe level*.



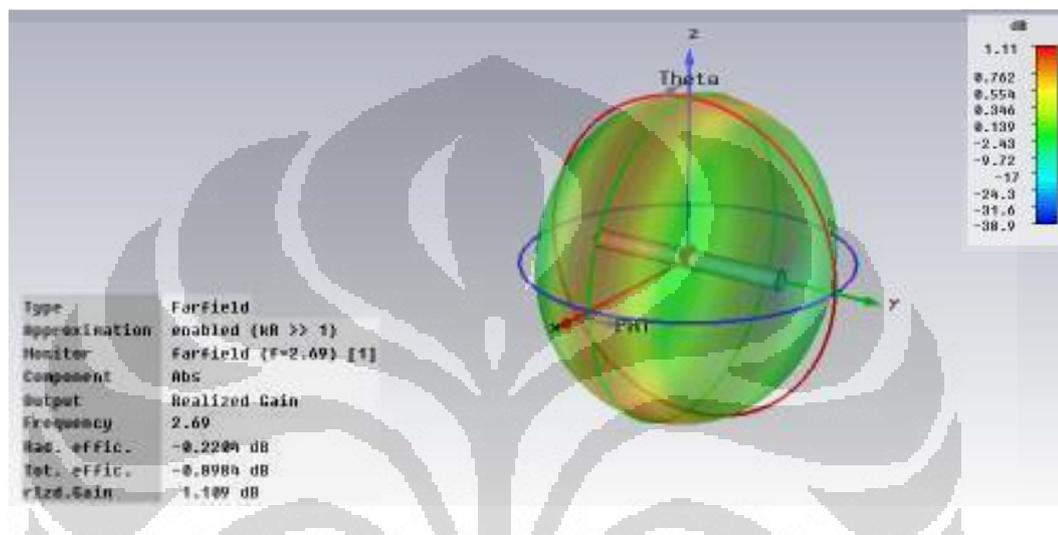
Gambar 3.12 Pola radiasi dua dimensi antenna dibungkus silika
(a) bidang-xz, (b) bidang-yz, (c) bidang-xy



Gambar 3.13 Pola radiasi tiga dimensi antenna dibungkus silika

3.5.2.4 Gain

Gain minimum yang harus dicapai *tag* antenna sesuai *link budget* agar dapat berkomunikasi dengan penerima adalah -38,3 dBi. Dari Gambar 3.14 kita dapat melihat bahwa simulasi antenna yang dibungkus silika menghasilkan *gain* yang bernilai 1,109 dB, yang berarti sudah memenuhi syarat agar bisa berkomunikasi dengan penerima.



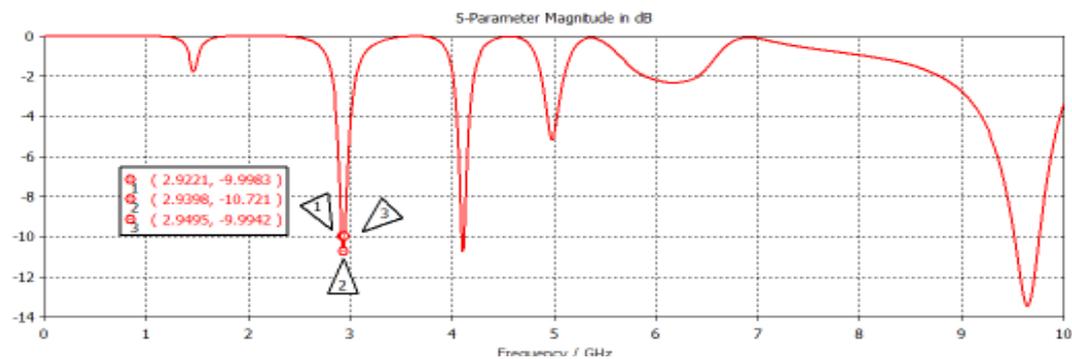
Gambar 3.14 *Gain* antenna dibungkus silika

3.5.3 Antena di free space

Setelah simulasi antenna implan dan antenna dibungkus silika telah selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah simulasi antenna di *free space*. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik antenna yang dirancang sebelum diimplan dan juga karena antenna yang akan difabrikasi nantinya adalah antenna di *free space* ini.

3.5.3.1 S11

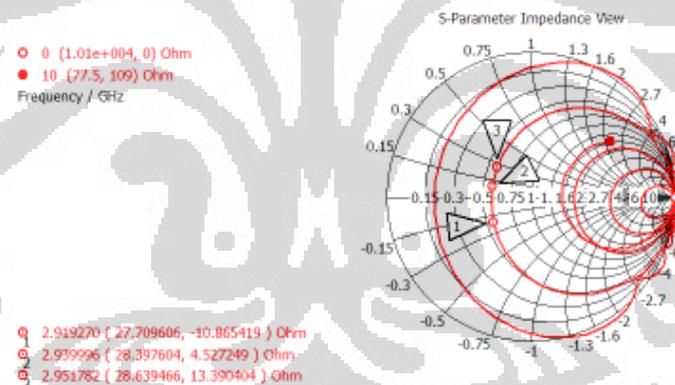
Parameter S11 digunakan untuk melihat *return loss* dari antenna, yang menunjukkan bandwidth dari antenna tersebut. Gambar 3.15 menunjukkan nilai *return loss* antenna yang dirancang apabila di letakkan di ruang bebas/udara. Dari gambar tersebut digunakan standar *return loss* sebesar 10 dB, sehingga dapat dilihat, bahwa antenna tersebut bekerja di rentang frekuensi 2.922 – 2.95 GHz dengan frekuensi tengah 2.94 GHz sehingga bandwidth yang diperoleh sebesar 27,4 MHz.



Gambar 3.15 Grafik S11 (return loss)

3.5.3.2 Karakteristik Impedansi

Karakteristik impedansi antenna yang dirancang apabila diletakkan di udara bebas dapat dilihat dalam Gambar 3.16. Kondisi *matching* terjadi apabila impedansi saluran transmisi sama dengan impedansi antenna. Jika kita melihat hasil *smith chart*, kita memperoleh nilai karakteristik antenna ini adalah $(37,79 + 2,389j)$ ohm yang berarti sudah mendekati kondisi *matching*.

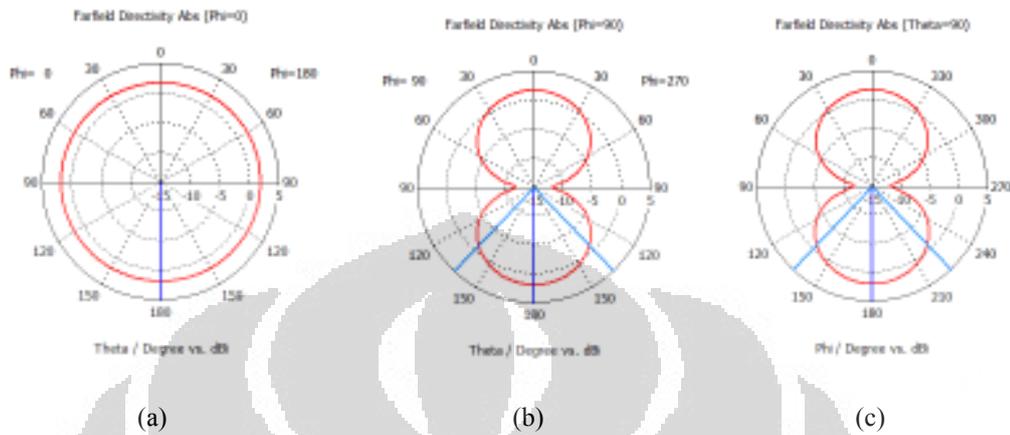
Gambar 3.16 Grafik karakteristik impedansi (*smith chart*)

3.5.3.3 Pola radiasi

Pola radiasi dari antenna ini juga dapat diketahui dengan menggunakan software CST ini. Pola radiasi dapat digambarkan dengan dua dimensi (gambar 3.17) dan tiga dimensi (gambar 3.18). Gambar pola radiasi dua dimensi dapat dilihat tiga bidang, yaitu bidang-xy (Gambar 3.17 (a)), bidang-yz (Gambar 3.17(b)), dan bidang-xz (Gambar 3.17(c)).

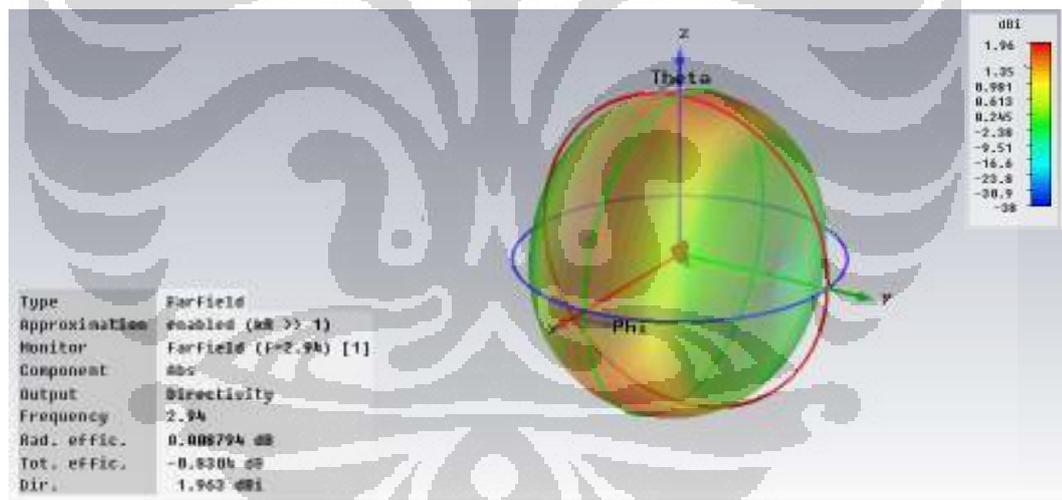
Dari Gambar 3.17, pada bidang-xz arah radiasi terbesar berada pada sudut 180° dengan arah pancar ke segala arah. Pada bidang-yz arah radiasi terbesar berada pada sudut 180° dengan *beamwidth* sebesar $86,2^\circ$. Sedangkan pada bidang-

xy arah radiasi terbesar berada pada sudut 0° dengan *beamwidth* sebesar $86,8^\circ$. Pada bidang xz tidak terdapat *side lobe level*.



Gambar 3.17 Pola radiasi dua dimensi antenna di *free space*

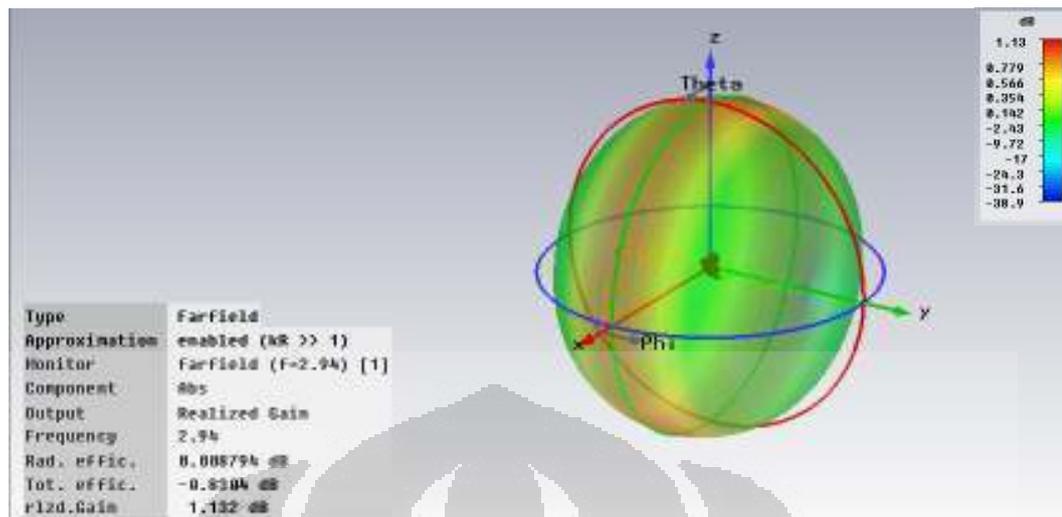
(a) bidang-xz, (b) bidang-yz, (c) bidang-xy



Gambar 3.18 Pola radiasi tiga dimensi

3.5.3.4 Gain

Gain minimum yang harus dicapai *tag* antenna sesuai *link budget* agar dapat berkomunikasi dengan penerima adalah $-38,3$ dBi. Dari Gambar 3.19 kita dapat melihat bahwa simulasi ini menghasilkan *gain* $-25,73$ dBi yang berarti sudah memenuhi syarat agar bisa berkomunikasi dengan penerima.



Gambar 3.19 Gain antenna di *free space*

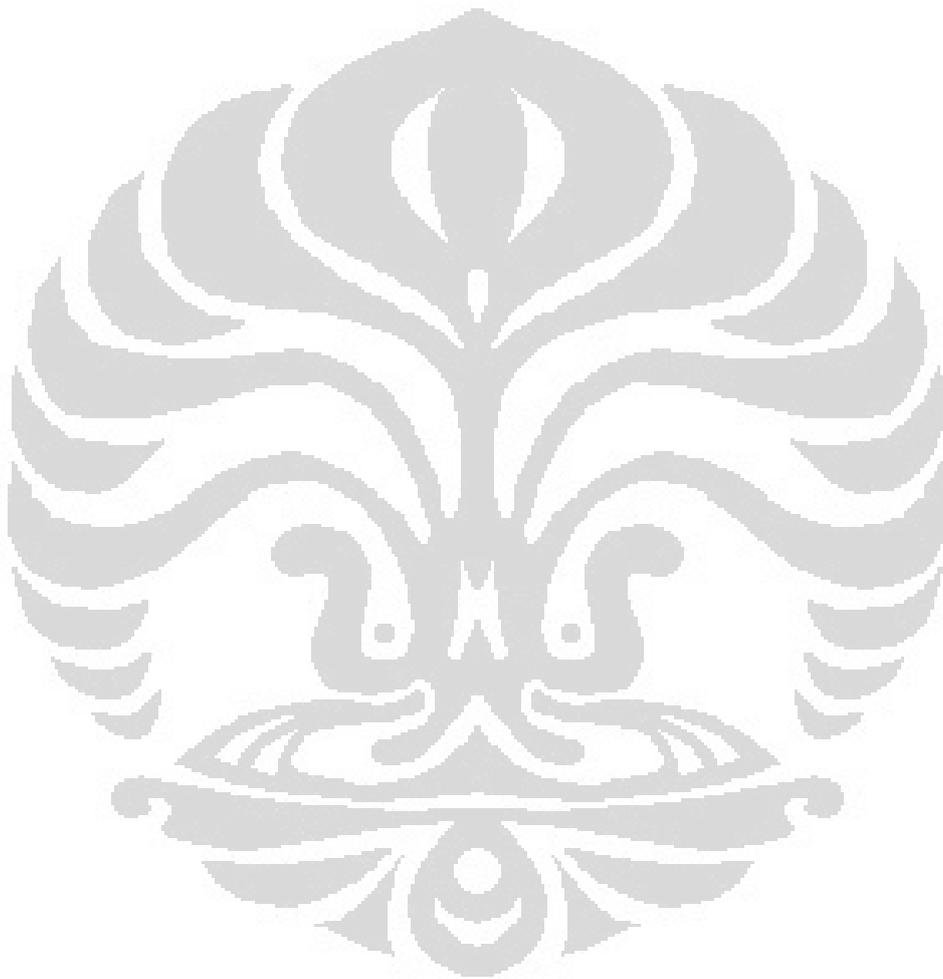
Seperti yang kita ketahui, apabila sebuah antenna ditanamkan pada sebuah objek, maka objek tersebut akan mempengaruhi performa dari antenna tersebut. Apabila sebuah antenna yang diimplan seperti pada tubuh manusia/ pasien, antenna tersebut tidak bisa dilepaskan dari lingkungan yang melingkupinya [18]. Oleh karena itu pada saat menentukan pola radiasi dari antenna pada saat diimplan perlu diperhitungkan faktor tubuh manusia.

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa untuk ketiga kondisi yang diterapkan pada antenna yaitu pada saat di impan, dibungkus silika dan pada saat di udara bebas, dengan dimensi yang tetap, frekuensi kerja dari antenna berubah. Hal ini dikarenakan perbedaan propagasi gelombang pada masing-masing kondisi atau lingkungan. Propagasi gelombang pada lingkungan yang *lossy* tentu berbeda dengan propagasi gelombang pada lingkungan yang *lossless* seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

Komponen dari propagasi gelombang yang mempengaruhi panjang gelombang adalah nilai konstanta propagasinya, di mana konstanta propagasi dipengaruhi oleh nilai permitivitas, permeabilitas dan konduktivitas dari bahan atau media yang dilalui gelombang. Konstanta propagasi adalah bilangan kompleks, dan yang mempengaruhi panjang gelombang adalah komponen imajiner dari konstanta propagasi tersebut atau disebut juga konstanta phase (β).

Persamaan yang merumuskan besarnya panjang gelombang untuk medium yang dilalui gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Persamaan 2.14 – 2.16.

Dari persamaan tersebut dapat diketahui pada frekuensi 924 MHz bahwa panjang gelombang untuk kondisi udara bebas 0.324 m, di silika 0.148 dan di implan 0.0437 m.



BAB 4

PENGUKURAN DAN ANALISIS

Perancangan antena yang telah dilakukan di CST kemudian difabrikasi dan diukur untuk melihat performa antena yang sudah difabrikasi, apakah sesuai dengan simulasi atau tidak. Antena *dipole* lipat yang akan difabrikasi akan diukur pada kondisi *freespace* atau di udara bebas, untuk dilihat nilai *return loss* dan pola radiasinya. Sedangkan antena *dipole* lipat dengan dibungkus silika maupun diimplan ke dalam model tubuh manusia tidak dilakukan pengukuran karena adanya keterbatasan yang dimiliki penulis dan akan dilanjutkan di kesempatan selanjutnya.

Antena *dipole* lipat di udara bebas, sesuai hasil simulasi, memiliki frekuensi kerja di 2,94 GHz dan memiliki pola radiasi *omnidirectional*. Hasil ini diperoleh dengan melakukan simulasi terhadap antena yang telah dikeluarkan dari model tubuh dan dilepaskan dari bungkus silika. Cara inilah yang dilakukan untuk mengetahui performa dari antena yang akan diimplan tadi apabila di tempatkan di udara bebas.

Parameter antena yang diukur adalah *return loss* dengan tujuan mendapatkan frekuensi kerja dari antena yang dirancang dan parameter pola radiasi untuk mengetahui pola radiasi antena yang telah dibuat.

4.1 Bahan Fabrikasi dan Peralatan yang Digunakan untuk Pengukuran

Antena *dipole* lipat ini dibuat menggunakan kawat dengan diameter 0,05 mm dan *styrofoam* dengan ketebalan 0,6 mm sebagai pembatas agar tidak terjadi hubung singkat antar lipatan *dipole*. Dipilihnya *styrofoam* dikarenakan sifat dari bahan ini memiliki kemiripan dengan udara yaitu permitivitas sebesar 1,03 sehingga dapat disimpulkan ada atau tidaknya *styrofoam* tidak mempengaruhi performa dari antena yang telah dibuat secara signifikan.

Pengukuran antena membutuhkan perangkat-perangkat untuk mengukur dan menganalisis hasil pengukuran. Perangkat tersebut terbagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak.

4.1.1 Perangkat Keras (Hardware)

Untuk mengukur antena digunakan beberapa peralatan pengukuran seperti:

a. *Network Analyzer Agilent N5230C*

Network Analyzer ini akan digunakan untuk melihat nilai hasil pengukuran parameter *return loss* dan pola radiasi antena. Untuk mengukur besarnya *return loss*, antena diukur dengan menggunakan 1 *port*, dan untuk menghitung pola radiasi, digunakan *Network Analyzer* dengan 2 *port* yang dihubungkan dengan kabel yang terhubung ke *anechoic chamber*.

b. *3.5 to 3.5 mm Test Port Cable Set Agilent 58131D-FG*

Kabel jenis ini adalah kabel yang digunakan untuk mengkalibrasi *Network Analyzer*.

c. *3.5 mm Economy Calibration Kit DC To 26.5 GHz Agilent 85052D*

Calibration Kit digunakan sebagai alat untuk mengkalibrasi *Network Analyzer* sebelum digunakan.

d. *Rohde & Schwarz HF 907 Double Ridged Horn Antennas*

Antena horn ini digunakan sebagai antena pengirim untuk mengetahui pola radiasi antena *dipole* lipat yang dibuat.

e. Kabel *coaxial* RG-55

Kabel ini digunakan pada pengukuran *port* ganda untuk menghubungkan antena dan *network analyzer*.

f. Meteran Laser Digital RL 066 Type *DLE Professional* (BOSCH)

Alat ini digunakan untuk menghitung jarak antena pengirim dengan antena penerima

g. *SMA Connector* 50 ohm

4.1.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan *Microsoft Excel 2007*. *Software* ini digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran sehingga dapat ditampilkan dalam grafik.

4.2 Kondisi Pengukuran

Seluruh proses perancangan dan simulasi telah dilakukan dan didapatkan bentuk dan dimensi antena yang telah difabrikasi sesuai performa kerja yang diinginkan. Antena tersebut kemudian diukur di dalam *anechoic chamber* (ruang anti gema) untuk mengetahui performa dari antena. Pengukuran harus memenuhi kondisi propagasi gelombang yang meliputi jarak *far-field* dan ketinggian posisi antena.

4.2.1 Perhitungan Jarak Far-Field

Pengukuran parameter antena harus dilakukan pada daerah medan jauh atau *far-field* karena pada daerah ini distribusi medan radiasi sudah stabil sehingga hasil pengukuran dapat dinyatakan valid. Besarnya jarak *far-field* ditentukan oleh dimensi dan frekuensi dari antena yang ingin diukur (*Antenna Under Test*).

Dimensi terbesar dari antena ini adalah 33,3 mm dan frekuensi dari antena di udara bebas adalah 2,94 GHz. Dengan demikian panjang gelombang untuk frekuensi kerja antena adalah 10,2 cm. Jarak *far-field* antena dapat dihitung dengan persamaan 2.3, yaitu:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times (0,0333)^2}{0,102} = 0,0217 \text{ meter}$$

Dengan demikian, jarak AUT (*Antenna Under Test*) dengan antena penguji/ pengirim adalah 0,0217 meter atau 2,17 cm untuk frekuensi kerja 2,94 GHz. Namun, karena antena yang diukur berukuran cukup kecil, maka jarak *far field* dapat juga dihitung dengan rumus:

$$R = 3\lambda = 3 \times 0,102 = 0,306 \text{ meter} = 30,6 \text{ cm}$$

Dalam pengukuran ini digunakan jarak AUT dengan antena pengirim adalah 1,13 m, dan nilai ini memenuhi jarak *far-field* terkecil sesuai kedua persamaan diatas.

4.2.2 Perhitungan Ketinggian Antena

Kondisi pengukuran kedua yang harus dipenuhi adalah antena yang diuji dan antena penguji harus berada dalam keadaan *Line of Sight* (LOS), dan daerah fresnel pertama tidak terganggu penghalang. Ketinggian antena ditentukan oleh radius daerah Fresnel pertama. Ketinggian antena perlu dihitung agar daerah Fresnel pertama tidak menyentuh permukaan lantai *anechoic chamber*.

Radius minimum daerah Fresnel pertama dapat dihitung dengan persamaan 2.4 yaitu:

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{0,00056 \times 0,00056}{2,94 \times (0,00113)}} = 0,1696 \text{ meter}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka tinggi minimal antena agar memenuhi syarat *Line of Sight* dan daerah Fresnel pertama tidak terhalang untuk frekuensi kerja antena 2,94 GHz adalah 16,96 cm. Untuk pengukuran antena *dipole* lipat ini, antena diposisikan pada ketinggian 1,36 meter.

4.3 Pengukuran Antena *Dipole* Lipat

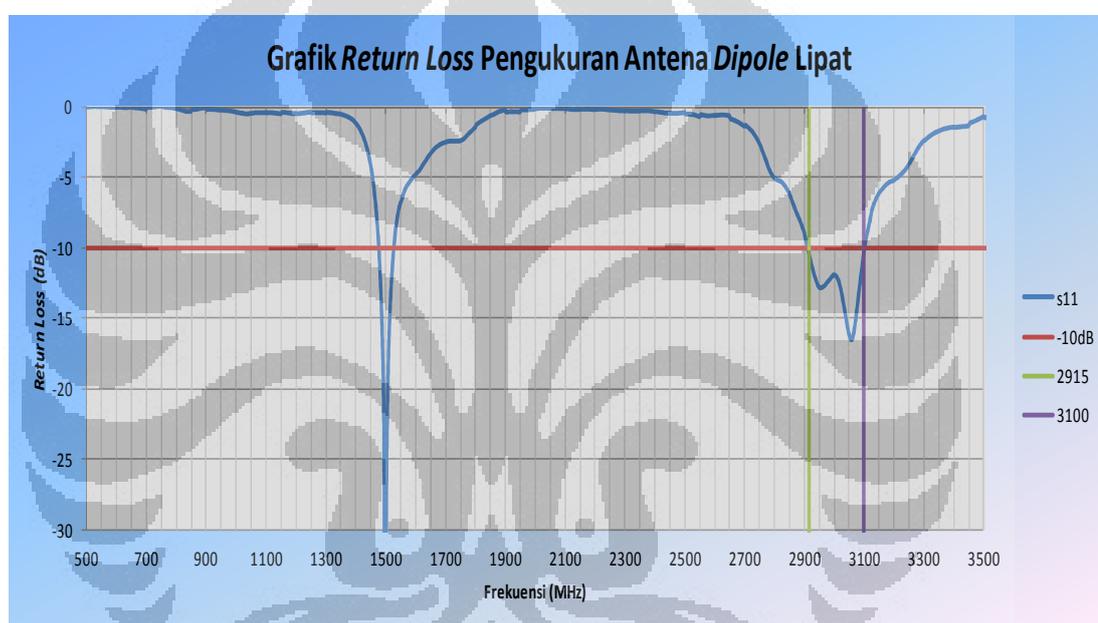
Pengukuran antena *dipole* lipat dilakukan dengan pengukuran port tunggal dan pengukuran port ganda. Pengukuran port tunggal dilakukan untuk mendapatkan frekuensi kerja, dan nilai *return loss* dari antena yang dibuat, sedangkan pengukuran port ganda ditujukan untuk mengetahui pola radiasi dari antena *dipole* lipat yang dibuat.

4.3.1 Pengukuran Port Tunggal

Pengukuran port tunggal dilakukan pada antena yang diukur (*Antenna Under Test*) dengan menghubungkan antena dengan port satu pada *network analyzer*. Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh nilai dari parameter-parameter antena yang berhubungan dengan S11, seperti *return loss*, VSWR,

bandwidth dan lain-lain. Namun, dalam pengukuran ini, parameter yang diukur hanyalah nilai *return loss*nya saja.

Dengan menghubungkan antenna dengan network analyzer dan mengukur nilai S11 maka dapat diperoleh hasil pengukuran nilai *return loss* seperti pada gambar 4.1. Grafik hasil pengukuran parameter *return loss* antenna *dipole* lipat ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Dari grafik dapat dilihat bahwa AUT memiliki *bandwidth* dari 2,915 GHz – 3,1 GHz dengan frekuensi puncak di frekuensi 3,06 GHz dengan batas *return loss* ≤ -10 dB.

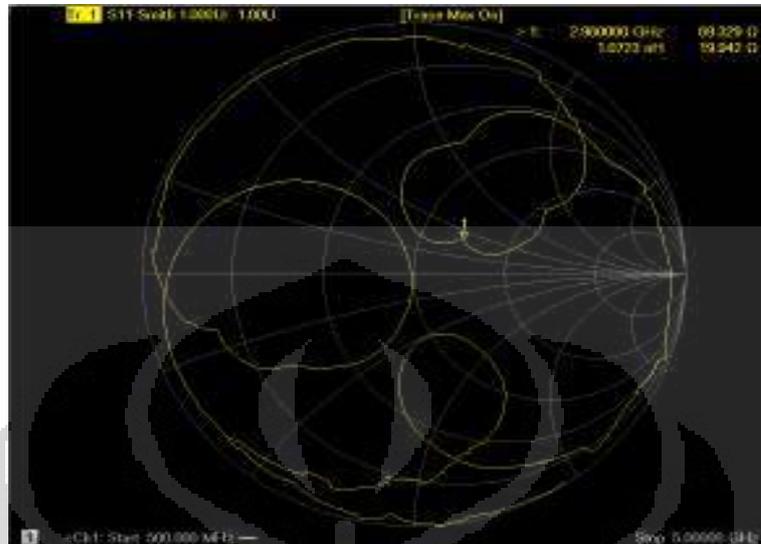


Gambar 4.1 Grafik *Return Loss* Pengukuran Antena *Dipole* Lipat

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa ada frekuensi kerja dari antenna selain di frekuensi 2,94 GHz, yaitu di frekuensi 1500 MHz dengan nilai *return loss* -39,94 dB. Namun, frekuensi kerja yang dipilih bukan frekuensi 1500 MHz, melainkan di frekuensi 2,94GHz, karena frekuensi 2,94 GHz lah yang bergeser menjadi frekuensi kerja antenna implan di 924 MHz akibat adanya *phantom*, dan silika pada antenna pada saat di implan ke dalam tubuh manusia.

Gambar 4.2 menunjukkan nilai impedansi masukan antenna *dipole* lipat setelah diukur dengan *network analyzer*. Besarnya nilai impedansi masukan antenna di frekuensi kerja antenna yang dirancang bangun yaitu 2,94 GHz adalah

69,329 + j 19,942 ohm. Dari nilai impedansi tersebut dapat dilihat bahwa antenna lebih bersifat induktif karena antenna yang dirancang adalah *dipole* lipat.

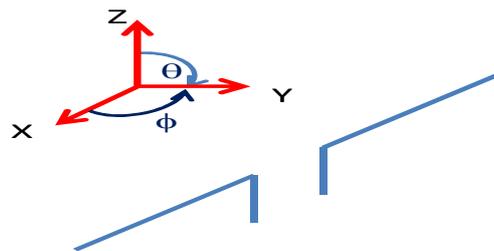


Gambar 4.2 Smith Chart Pengukuran Antena *Dipole* Lipat

4.3.2 Pengukuran Port Ganda

Pengukuran port ganda dilakukan untuk mengetahui pola radiasi dari antenna yang diukur (*Antennas Under Test*). Pengukuran pola radiasi antenna dilakukan di dalam *anechoic chamber*.

Pola radiasi dari antenna diukur dengan menghubungkan AUT dengan port satu dan antenna *horn* sebagai antenna transmiter dihubungkan dengan port 2 dari *Network Analyzer*, sehingga yang diukur adalah S_{21} di frekuensi kerja antenna yaitu 2,96 GHz. Data yang diambil pada pengukuran ini adalah data yang diterima oleh *Antenna Under Test* (AUT). Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan melihat 3 bidang ukur yaitu pola radiasi terhadap bidang-xz, bidang-yz dan bidang-xy seperti yang ditunjukkan Gambar 4.3.

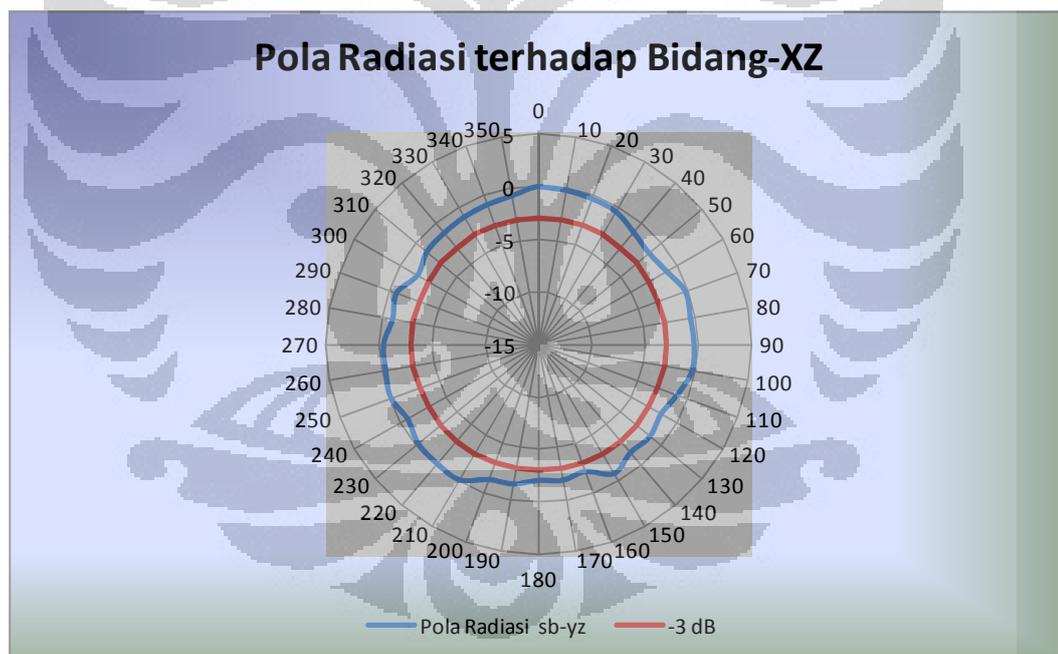


Gambar 4.3 Bidang Ukur Antena

Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan melihat nilai S12 yang ditampilkan pada *network analyzer* untuk satu putaran dengan interval pengambilan data per 10° . Data tersebut terlebih dahulu dirata-ratakan kemudian dinormalisasi terhadap nilai rata-rata maksimum, kemudian diplot ke grafik hasil pengukuran pola radiasi.

4.3.2.1 Pola Radiasi Bidang-XZ

Pengukuran pola radiasi bidang-xy dilakukan dengan memutar AUT satu lingkaran penuh dengan antenna horn sebagai antenna pengirim sekaligus sebagai antenna penguji diposisikan tetap dan berhadapan dengan AUT. Posisi antenna dipole lipat berada pada sudut $\phi = 0^\circ$, atau antenna *dipole* diposisikan vertikal menghadap antenna penguji. Gambar 4.4 menunjukkan grafik normalisasi pengukuran pola radiasi pada bidang-xz.

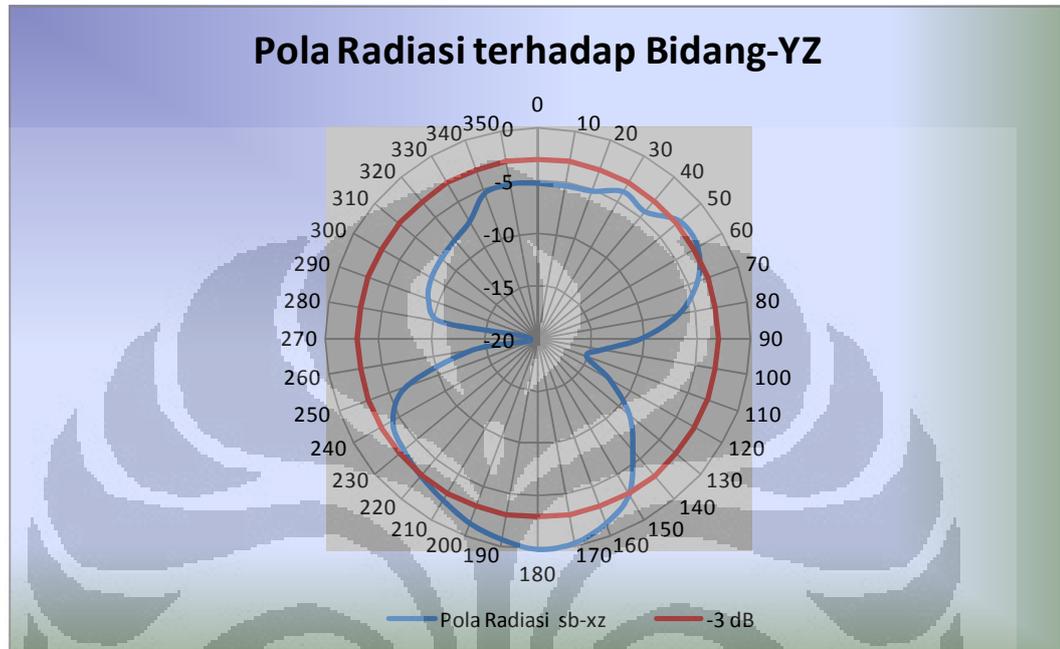


Gambar 4.4 Grafik Pola Radiasi Pengukuran Antena *Dipole* Lipat pada Bidang-XZ

4.3.2.2 Pola Radiasi Bidang-YZ

Pengukuran pola radiasi bidang-yzy dilakukan dengan memutar AUT satu lingkaran penuh dengan antenna horn sebagai antenna pengirim sekaligus sebagai antenna penguji diposisikan tetap dan berhadapan dengan AUT. Posisi antenna

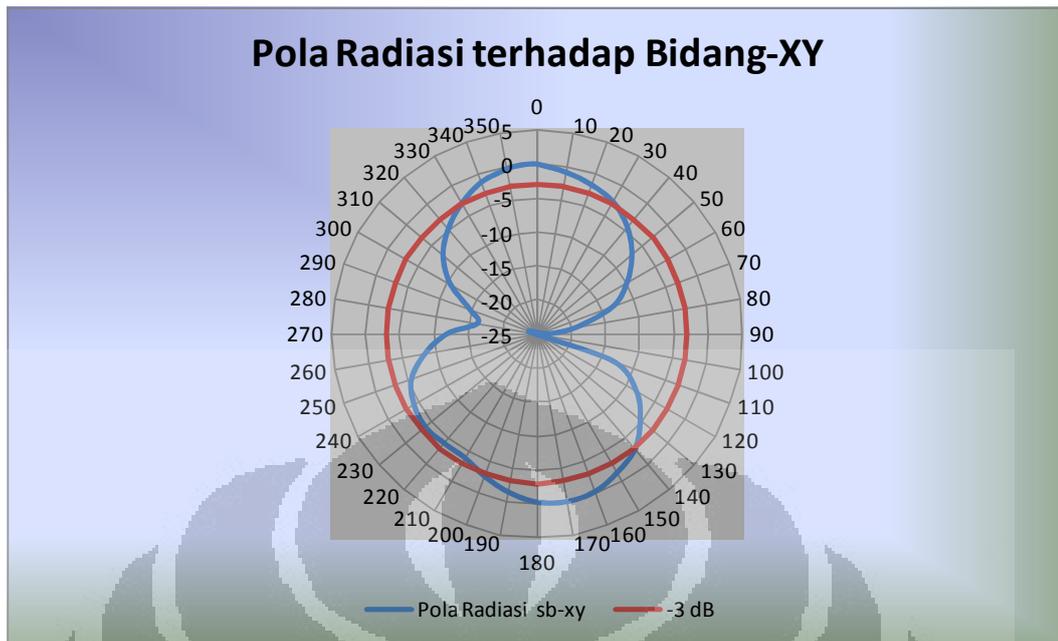
dipole lipat berada pada sudut $\phi = 90^\circ$, atau antenna *dipole* diposisikan horizontal menghadap antenna penguji. Gambar 4.5 menunjukkan grafik normalisasi pengukuran pola radiasi pada bidang-yz.



Gambar 4.5 Grafik Pola Radiasi Pengukuran Antena *Dipole* Lipat pada Bidang-YZ

4.3.2.3 Pola Radiasi Bidang-XY

Pengukuran pola radiasi bidang-yzy dilakukan dengan memutar AUT satu lingkaran penuh dengan antenna horn sebagai antenna pengirim sekaligus sebagai antenna penguji diposisikan tetap dan berhadapan dengan AUT. Posisi antenna dipole lipat berada pada sudut $\theta = 0^\circ$, atau antenna *dipole* diposisikan horizontal menghadap langit-langit *anechoic chamber*. Gambar 4.6 menunjukkan grafik normalisasi pengukuran pola radiasi pada bidang-xy.



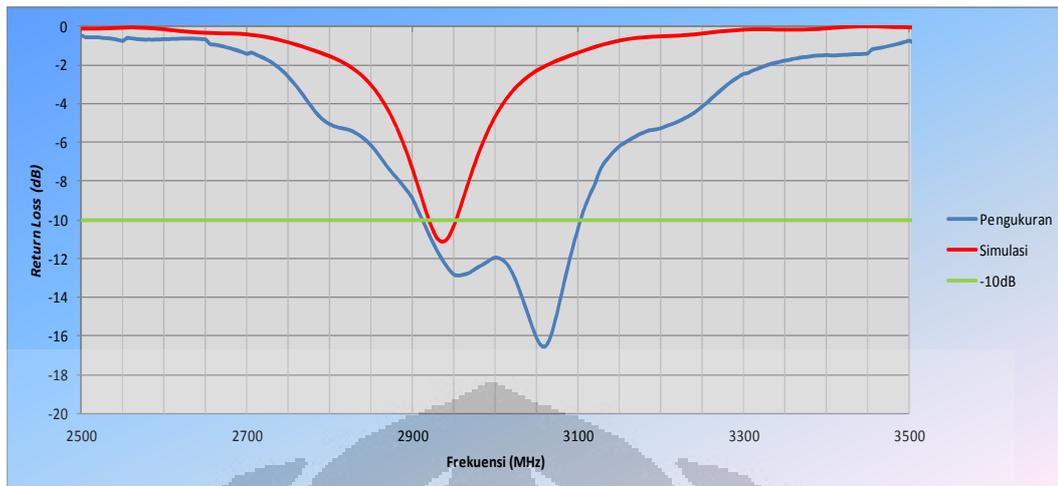
Gambar 4.6 Grafik Pola Radiasi Pengukuran Antena *Dipole* Lipat pada Bidang-XY

4.4 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran

4.4.1 Pengukuran Port Tunggal

Secara umum, hasil parameter *return loss* yang diperoleh dari pengukuran memiliki kemiripan dengan hasil simulasi. Namun, frekuensi kerja dari antenna dengan dimensi yang sama antara simulasi dengan pengukuran bergeser dari 2,94 GHz menjadi 2,24 GHz. Dengan melakukan *tuning*, yaitu dengan mengurangi panjang antenna dengan tujuan menaikkan nilai frekuensi, maka diperoleh nilai frekuensi yang sama dengan simulasi yaitu 2,94 GHz dengan dimensi panjang antenna yang berkurang dari 15,65 mm menjadi 12,35 mm. Gambar 4.7 adalah grafik perbandingan nilai *return loss* hasil simulasi dan hasil pengukuran.

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa besarnya bandwidth hasil pengukuran lebih lebar dibandingkan hasil simulasi, dan nilai *return loss* hasil pengukuran lebih baik dibandingkan hasil simulasi. Selain itu dapat dilihat juga adanya pergeseran frekuensi pada antenna setelah difabrikasi.

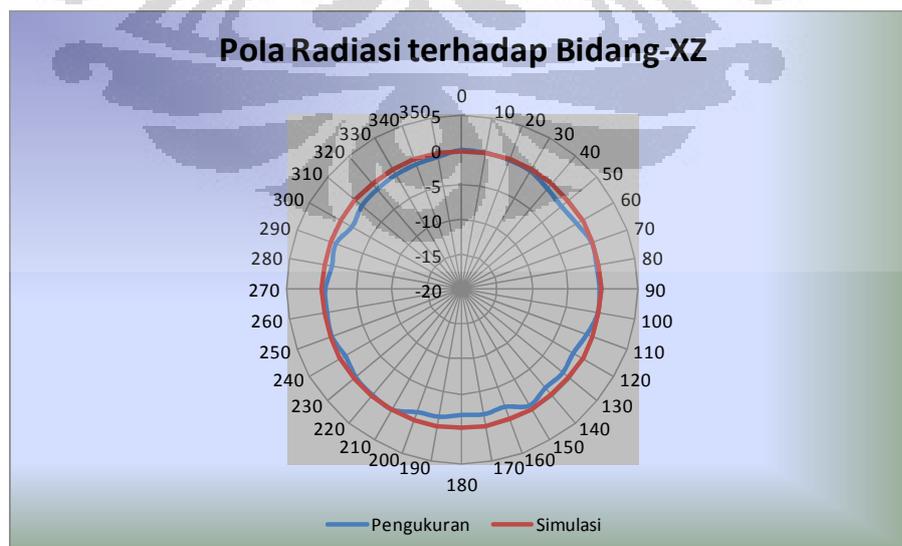


Gambar 4.7 Grafik Perbandingan *Return Loss* Simulasi dengan Pengukuran

4.4.2 Pengukuran Port Ganda

4.4.2.1 Pola Radiasi Bidang XZ

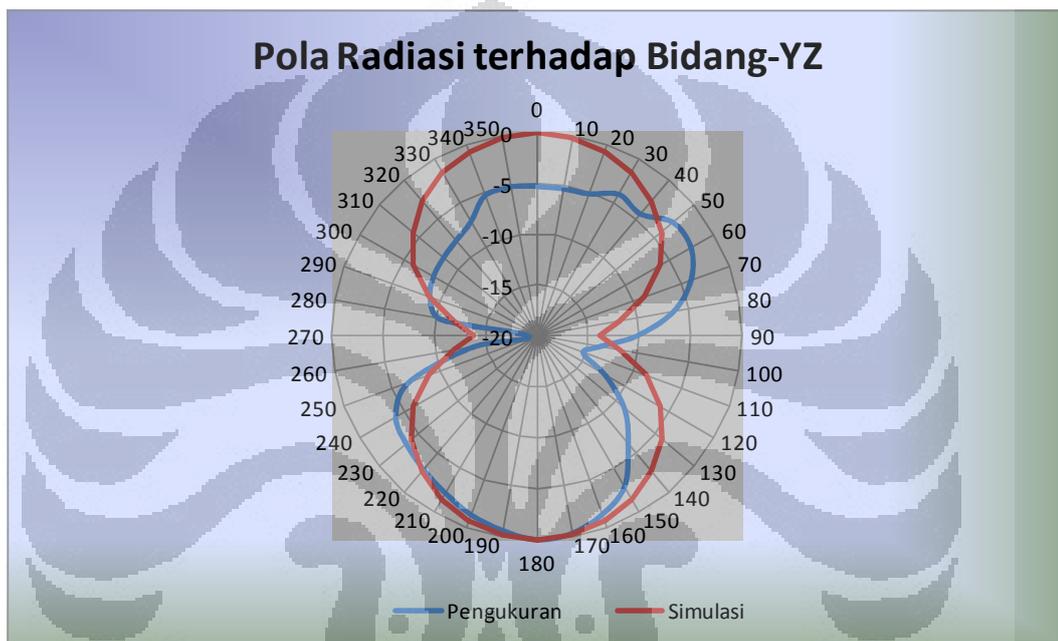
Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dengan hasil simulasi pada bidang XZ. Secara umum bentuk grafik pola radiasi hasil pengukuran memiliki kemiripan yaitu berbentuk lingkaran yang hampir sempurna, dengan medan E maksimum pada sudut 0° dengan level daya $-42,09$ dB. Hasil simulasi juga menunjukkan hasil yang mirip, hanya saja pada grafik hasil pengukuran terlihat ada *ripple* pada bentuk pola radiasinya. Hal ini dikarenakan pengambilan data yang dilakukan dengan interval 10° .



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Pola Radiasi Antena *Dipole* Lipat pada Bidang XZ

4.4.2.1 Pola Radiasi Bidang YZ

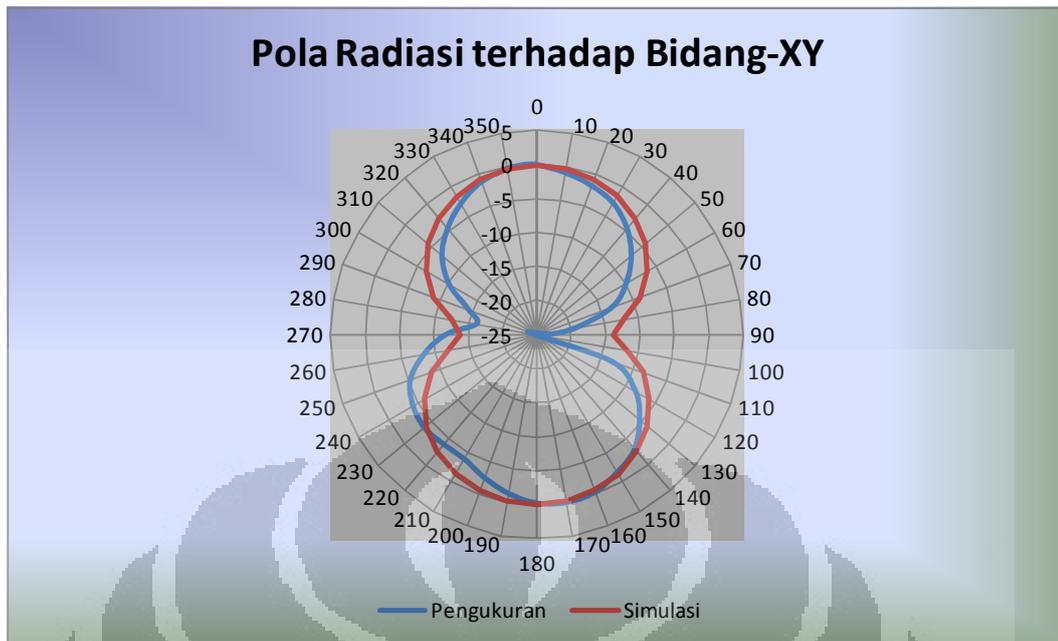
Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dengan hasil simulasi pada bidang YZ. Secara umum bentuk grafik pola radiasi hasil pengukuran memiliki kemiripan yaitu berbentuk *omnidirectional*, dengan medan E maksimum pada sudut 180° dengan level daya $-41,6$ dB. Hasil ini memiliki kemiripan dengan simulasi yang juga memiliki arah medan E maksimum di sudut 180° .



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Pola Radiasi Antena *Dipole* Lipat pada Bidang YZ

4.4.2.1 Pola Radiasi Bidang XY

Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dengan hasil simulasi pada bidang XY. Secara umum bentuk grafik pola radiasi hasil pengukuran memiliki kemiripan yaitu berbentuk *omnidirectional*, dengan medan E maksimum pada sudut 170° dengan level daya dB. Pada simulasi arah medan E maksimum di sudut 180° . Perbedaan arah medan E maksimum dikarenakan antenna pada saat pengukuran di chamber tidak begitu tepat di sudut 0° , meski rotator sudah menunjukkan nilai tersebut.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Pola Radiasi Antena *Dipole* Lipat pada Bidang XY

Secara umum hasil pengukuran parameter antenna baik *return loss* maupun pola radiasi memiliki kemiripan dengan hasil simulasi. Perbedaan yang terlihat dari bentuk grafik lebih dikarenakan adanya faktor-faktor yang mempengaruhi hasil proses pengukuran seperti fabrikasi antenna *dipole* lipat yang tidak tepat dengan 100% dengan simulasi karena antenna *dipole* dibuat secara manual, termasuk penyolderan konektor SMA ke kawat tembaga yang masih kurang sempurna, sehingga memungkinkan terjadinya *non-matching* dan juga simulator CST tidak memperhitungkan faktor temperatur dan kelembaban udara, namun saat pengukuran temperatur dan resistansi berpengaruh pada propagasi gelombang dan resistansi udara.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Antena *tag* didesain agar mampu berkomunikasi *reader* dengan jarak antara *tag* dan *reader* adalah 10 m dengan gain minimum sesuai perhitungan link budget adalah -30 dBi.
2. Antena disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio* dengan tiga kondisi yaitu antena diimplan, antena di bungkus silika, dan antena di *free space* , untuk mengetahui karakteristik antena pada masing-masing kondisi yang diberikan.
3. Antena hasil simulasi pada kondisi diimplan memiliki frekuensi kerja di 924 MHz dengan *bandwidth* 862, 85 MHz – 925,04 MHz.
4. Antena dengan kondisi dibungkus silika mengalami pergeseran frekuensi menjadi 2,69 GHz. Sedangkan pada kondisi *free space* memiliki frekuensi kerja di 2,94 GHz dengan *bandwidth* 2,92 GHz – 2,945 GHz.
5. Antena yang dirancang bangun adalah antena *dipole* lipat dengan dimensi sesuai simulasi.
6. Antena *dipole* lipat diukur di udara bebas atau *free space* dan diperoleh frekuensi kerja 2,94 GHz dengan *bandwidth* dari 2,915 GHz – 3,1 GHz.
7. Pola Radiasi dari antena *dipole* lipat diukur pada tiga bidang yaitu, bidang xz dengan pola radiasi yang melingkar, bidang yz dan bidang xz yang memiliki pola radiasi *omnidirectional*.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Haris Pirngadi, Suwito, Setyani.(2010). Perancangan Sistem Telemonitoring Tiga Parameter untuk Pasien Rawat Inap di Poliklinik Pedesaan Melalui Jaringan GSM. *Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya.*
- [2] Balanis, C.A. “Antenna Theory: Analysis and Design”, 3rd ed., *Jhon Wiley & Sons.*, New Jersey,2005.
- [3] Wikipedia English (2011). *Radio Frequency Identification.*
Tersedia di: http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_Frequency_Identification.
Diakses pada tanggal : 18 Oktober 2011.
- [4] Y. Hao and R. Foster, “Wireless body sensor networks for health-monitoring applications,”*Physiol. Meas.*, vol. 29, pp. R27–R56, Nov. 2008.
- [5] C. J. Li, L. Liu, S. Chen, C. C. Wu, C. H. Huang, and X. M. Chen, "Mobile healthcare service system using RFID," in *Proc. IEEE Int. Conf. Netw. Sens. Control*, 2004, vol. 2, pp. 1014–1019.
- [6] Ho Yu Lin, Masharu Takashi, Kayuzuky Saito, Koichi Ito, “Development of UHF Implanted RFID Antenna for Medical/Health-care Applications”, *in Proc. 2011 IEEE General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI, Istanbul*, pp.1 – 4, August 2011.
- [7] C. H. Durney and M. F. Iskander, “Antennas for medical applications,” in *Antenna Handbook*, Y. T. Lo and S.W. Lee, Eds. New York: Van Nostrand, 1988, ch. 24.
- [8] A. Masters and K. Michael, “Humancentric applications of RFID implants: The usability contexts of control, convenience and care,” in *Proc. 2nd IEEE Int. Workshop Mobile Commerce Services*, pp. 32–41, 2005.
- [9] Sani,Andrea,Rajab,M., Foster,R.,Yang Hao, “Antennas and propagation of implanted RFIDs for pervasive healthcare applications,” *Proceedings of the IEEE*, vol 98, no. 9, pp. 1648 – 1655, September 2010.
- [10] G. Marrocco, “RFID antennas for the UHF remote monitoring of human subjects,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 6, pt. 2, pp. 1862–1870, Jun. 2007.

- [11] Peraturan Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi Nomor 221/ DIRJEN/ 2007.
Tersedia di <http://web.postel.go.id:81/index.php?0401=&key=0&cari=221#>
Diakses pada tanggal : 2 Juli 2012
- [12] RFID (Radio Frequency Identification)
Tersedia di www.solper.com/pic/48-Vol-2-b.pdf
Diakses pada tanggal : 18 Oktober 2011.
- [13] Rahmat, Yahya & Jaehoon Kim, "Implanted Antennas in Medical Wireless Communications," *Morgan & Claypool Publishers, USA, 2006.*
- [14] Dubkin, D. M. (2008). *The RF in RFID: passive UHF RFID in practice*, Elsevier ISBN 978-0-7506-8209-1.
- [15] Karthasu, U. & Fischer, M.. "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7-uW minimum RF input power", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 38, No. 10, pp.1602-1608, Oct. 2003.
- [16] Pozar, David M. "Microwave Engineering", 3rd ed., *Jhon Wiley & Sons., USA, 2005.*
- [17] Body Tissue Dielektric Parameter
Tersedia di <http://transition.fcc.gov/oet/rfsafety/dielectric.html>
Diakses pada tanggal : 26 Oktober 2011.
- [18] Hall, Peter S. & Hao Yang "Antenna and Propagation for Body-Centric Wireless Communication," *Artech House, Norwood, 2006.*

LAMPIRAN A : Data Hasil Pengukuran Parameter *Return Loss*

<i>Freq</i> (MHz)	<i>S11</i> (dB)
500	-0,06973
505	-0,06986
510	-0,06501
515	-0,05187
520	-0,04074
525	-0,03334
530	-0,03111
535	-0,03313
540	-0,03688
545	-0,04002
550	-0,04248
555	-0,04694
560	-0,05495
565	-0,06502
570	-0,07307
575	-0,07749
580	-0,0842
585	-0,08521
590	-0,08291
595	-0,08272
600	-0,0814
605	-0,09216
610	-0,09364
615	-0,09464
620	-0,09936
625	-0,10088
630	-0,10331
635	-0,10118
640	-0,10198
645	-0,09858
650	-0,09752
655	-0,11063
660	-0,1219
665	-0,12668
670	-0,13133
675	-0,14221
680	-0,15524

<i>Freq</i> (MHz)	<i>S11</i> (dB)
690	-0,19245
695	-0,20562
700	-0,21655
705	-0,08461
710	-0,08288
715	-0,08881
720	-0,08994
725	-0,07875
730	-0,06167
735	-0,04679
740	-0,02963
745	-0,00836
750	-0,02156
755	-0,04123
760	-0,07543
765	-0,08852
770	-0,09734
775	-0,10397
780	-0,1106
785	-0,11927
790	-0,1378
795	-0,1633
800	-0,18792
805	-0,19727
810	-0,22569
815	-0,25649
820	-0,28996
825	-0,32674
830	-0,35389
835	-0,3769
840	-0,38846
845	-0,38738
850	-0,37927
855	-0,2382
860	-0,24242
865	-0,23671
875	-0,19435

<i>Freq</i> (MHz)	<i>S11</i> (dB)
880	-0,18298
885	-0,16441
890	-0,14608
895	-0,13024
900	-0,11496
905	-0,23914
910	-0,23309
915	-0,22934
920	-0,23709
925	-0,24584
930	-0,25279
935	-0,26268
940	-0,27553
945	-0,28815
950	-0,30168
955	-0,29157
960	-0,3058
965	-0,31712
970	-0,32374
975	-0,3327
980	-0,34667
985	-0,36271
990	-0,37771
995	-0,4026
1000	-0,42693
1005	-0,44927
1010	-0,46903
1015	-0,48983
1020	-0,51124
1025	-0,53106
1030	-0,55012
1035	-0,55961
1040	-0,55716
1045	-0,54616
1050	-0,52923
1055	-0,51395
1065	-0,48558

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
1070	-0,47964	1280	-0,46818	1490	-16,3196
1075	-0,4722	1285	-0,47096	1495	-21,7281
1080	-0,46976	1290	-0,47639	1500	-37,9373
1085	-0,46994	1295	-0,48214	1505	-24,4527
1090	-0,47774	1300	-0,49154	1510	-18,3609
1095	-0,48314	1305	-0,45668	1515	-14,9763
1100	-0,48351	1310	-0,46552	1520	-12,6808
1105	-0,48773	1315	-0,47593	1525	-10,9685
1110	-0,48084	1320	-0,48838	1530	-9,68373
1115	-0,47271	1325	-0,5025	1535	-8,67309
1120	-0,47724	1330	-0,51829	1540	-7,91213
1125	-0,48762	1335	-0,53256	1545	-7,32928
1130	-0,50227	1340	-0,54189	1550	-6,90261
1135	-0,51732	1345	-0,55422	1555	-6,6299
1140	-0,5288	1350	-0,57041	1560	-6,26946
1145	-0,53833	1355	-0,61368	1565	-5,96239
1150	-0,55209	1360	-0,64238	1570	-5,72776
1155	-0,45103	1365	-0,67387	1575	-5,56385
1160	-0,45684	1370	-0,7175	1580	-5,41412
1165	-0,46039	1375	-0,77031	1585	-5,26181
1170	-0,47371	1380	-0,82459	1590	-5,11164
1175	-0,48938	1385	-0,8851	1595	-4,98753
1180	-0,50777	1390	-0,9651	1600	-4,89728
1185	-0,51997	1395	-1,06593	1605	-4,74577
1190	-0,5316	1400	-1,18509	1610	-4,65213
1195	-0,53602	1405	-1,30819	1615	-4,53621
1200	-0,53466	1410	-1,45796	1620	-4,37794
1205	-0,54129	1415	-1,63493	1625	-4,20013
1210	-0,5388	1420	-1,85156	1630	-4,03476
1215	-0,5317	1425	-2,09562	1635	-3,87063
1220	-0,5201	1430	-2,37076	1640	-3,70508
1225	-0,50679	1435	-2,69242	1645	-3,55267
1230	-0,49166	1440	-3,08293	1650	-3,39857
1235	-0,4763	1445	-3,54442	1655	-3,25895
1240	-0,46167	1450	-4,08212	1660	-3,13262
1245	-0,44538	1455	-4,66473	1665	-3,02113
1250	-0,42977	1460	-5,44344	1670	-2,92841
1255	-0,49314	1465	-6,38492	1675	-2,85339
1260	-0,48599	1470	-7,51976	1680	-2,7759
1265	-0,47625	1475	-8,89939	1685	-2,71256
1275	-0,47081	1485	-13,0221	1695	-2,61139

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
1700	-2,57442	1910	-0,41871	2120	-0,23274
1705	-2,53393	1915	-0,41025	2125	-0,23946
1710	-2,50316	1920	-0,39813	2130	-0,24177
1715	-2,48689	1925	-0,40216	2135	-0,2448
1720	-2,4888	1930	-0,40147	2140	-0,24154
1725	-2,48529	1935	-0,4052	2145	-0,24636
1730	-2,48359	1940	-0,41357	2150	-0,24527
1735	-2,48972	1945	-0,42095	2155	-0,21883
1740	-2,49398	1950	-0,42416	2160	-0,21608
1745	-2,49192	1955	-0,26559	2165	-0,21718
1750	-2,4732	1960	-0,27205	2170	-0,22418
1755	-2,42612	1965	-0,27655	2175	-0,2229
1760	-2,3642	1970	-0,27477	2180	-0,23137
1765	-2,27462	1975	-0,27521	2185	-0,2338
1770	-2,16374	1980	-0,26799	2190	-0,23722
1775	-2,04868	1985	-0,25544	2195	-0,2441
1780	-1,9387	1990	-0,25179	2200	-0,24397
1785	-1,83097	1995	-0,23928	2205	-0,23701
1790	-1,72544	2000	-0,22342	2210	-0,23459
1795	-1,62288	2005	-0,18071	2215	-0,23316
1800	-1,53579	2010	-0,17363	2220	-0,22557
1805	-1,31599	2015	-0,16839	2225	-0,22969
1810	-1,2334	2020	-0,16198	2230	-0,23227
1815	-1,16605	2025	-0,16051	2235	-0,24528
1820	-1,08726	2030	-0,15386	2240	-0,26004
1825	-1,0262	2035	-0,16233	2245	-0,26191
1830	-0,96635	2040	-0,15861	2250	-0,28037
1835	-0,8975	2045	-0,16087	2255	-0,29013
1840	-0,8384	2050	-0,15965	2260	-0,29485
1845	-0,76925	2055	-0,18216	2265	-0,30225
1850	-0,70078	2060	-0,1759	2270	-0,31659
1855	-0,66706	2065	-0,17444	2275	-0,32475
1860	-0,61871	2070	-0,18323	2280	-0,33196
1865	-0,5643	2075	-0,17866	2285	-0,33146
1870	-0,51055	2080	-0,17917	2290	-0,33698
1875	-0,45538	2085	-0,18174	2295	-0,33399
1880	-0,40285	2090	-0,1842	2300	-0,32804
1885	-0,36833	2095	-0,18125	2305	-0,33738
1890	-0,33458	2100	-0,17928	2310	-0,34533
1895	-0,30149	2105	-0,20378	2315	-0,35196
1905	-0,43242	2115	-0,22524	2325	-0,36084

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
2330	-0,36326	2540	-0,67653	2750	-2,63253
2335	-0,36364	2545	-0,71758	2755	-2,87188
2340	-0,36462	2550	-0,75507	2760	-3,12993
2345	-0,36316	2555	-0,60864	2765	-3,40599
2350	-0,36185	2560	-0,63207	2770	-3,70347
2355	-0,33832	2565	-0,65952	2775	-4,00312
2360	-0,33321	2570	-0,6736	2780	-4,29331
2365	-0,33199	2575	-0,69747	2785	-4,55295
2370	-0,3362	2580	-0,69485	2790	-4,76485
2375	-0,33765	2585	-0,69838	2795	-4,94295
2380	-0,34739	2590	-0,68492	2800	-5,07163
2385	-0,35402	2595	-0,68576	2805	-5,16529
2390	-0,37066	2600	-0,66648	2810	-5,23229
2395	-0,38403	2605	-0,66591	2815	-5,26609
2400	-0,40339	2610	-0,65862	2820	-5,31695
2405	-0,40528	2615	-0,65104	2825	-5,38742
2410	-0,41749	2620	-0,64014	2830	-5,49205
2415	-0,43291	2625	-0,63438	2835	-5,62285
2420	-0,44728	2630	-0,63311	2840	-5,77666
2425	-0,4592	2635	-0,64017	2845	-5,95119
2430	-0,47617	2640	-0,65136	2850	-6,16897
2435	-0,4922	2645	-0,67523	2855	-6,42632
2440	-0,49426	2650	-0,6989	2860	-6,71414
2445	-0,51034	2655	-0,91951	2865	-7,0136
2450	-0,5071	2660	-0,95835	2870	-7,30483
2455	-0,52486	2665	-0,99156	2875	-7,56729
2460	-0,52579	2670	-1,04094	2880	-7,8027
2465	-0,52897	2675	-1,0946	2885	-8,05066
2470	-0,52797	2680	-1,15023	2890	-8,32374
2475	-0,52055	2685	-1,2134	2895	-8,60449
2480	-0,51332	2690	-1,28011	2900	-8,92215
2485	-0,49497	2695	-1,35701	2905	-9,39822
2490	-0,49164	2700	-1,42934	2910	-9,85652
2495	-0,4807	2705	-1,36706	2915	-10,3147
2500	-0,48351	2710	-1,45625	2920	-10,7845
2505	-0,57645	2715	-1,55019	2925	-11,2269
2510	-0,57209	2720	-1,64411	2930	-11,6374
2515	-0,57014	2725	-1,76248	2935	-12,0047
2520	-0,57934	2730	-1,88623	2940	-12,3363
2525	-0,60046	2735	-2,03934	2945	-12,6215
2535	-0,64285	2745	-2,40684	2955	-12,881

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
2960	-12,8448	3170	-5,67321	3380	-1,5603
2965	-12,7878	3175	-5,55766	3385	-1,53501
2970	-12,6927	3180	-5,48208	3390	-1,52147
2975	-12,5514	3185	-5,38929	3395	-1,51396
2980	-12,4208	3190	-5,35509	3400	-1,49732
2985	-12,3028	3195	-5,31704	3405	-1,51295
2990	-12,1689	3200	-5,27208	3410	-1,50545
2995	-12,0349	3205	-5,17893	3415	-1,49159
3000	-11,9507	3210	-5,1002	3420	-1,48339
3005	-11,9956	3215	-5,0299	3425	-1,47745
3010	-12,123	3220	-4,93352	3430	-1,45681
3015	-12,3508	3225	-4,83147	3435	-1,45186
3020	-12,7106	3230	-4,71884	3440	-1,44676
3025	-13,1851	3235	-4,60541	3445	-1,43006
3030	-13,7496	3240	-4,47716	3450	-1,39689
3035	-14,363	3245	-4,31658	3455	-1,1994
3040	-14,9733	3250	-4,13514	3460	-1,15291
3045	-15,5868	3255	-3,9724	3465	-1,1224
3050	-16,1294	3260	-3,77239	3470	-1,07644
3055	-16,4816	3265	-3,58136	3475	-1,02823
3060	-16,5349	3270	-3,3898	3480	-0,97925
3065	-16,2119	3275	-3,20781	3485	-0,92793
3070	-15,5541	3280	-3,02866	3490	-0,86691
3075	-14,7051	3285	-2,85992	3495	-0,81397
3080	-13,7825	3290	-2,72196	3500	-0,74742
3085	-12,8709	3295	-2,58176	3505	-0,83774
3090	-11,9983	3300	-2,4626	3510	-0,78091
3095	-11,1746	3305	-2,42091	3515	-0,73972
3100	-10,4225	3310	-2,31057	3520	-0,71583
3105	-9,70066	3315	-2,22669	3525	-0,68643
3110	-9,12412	3320	-2,139	3530	-0,67767
3115	-8,61744	3325	-2,06395	3535	-0,69501
3120	-8,16374	3330	-1,98809	3540	-0,68494
3125	-7,5774	3335	-1,93081	3545	-0,70506
3130	-7,13715	3340	-1,87589	3550	-0,71709
3135	-6,8689	3345	-1,8284	3555	-0,68318
3140	-6,61255	3350	-1,77141	3560	-0,68465
3145	-6,38492	3355	-1,74144	3565	-0,6825
3150	-6,18783	3360	-1,68825	3570	-0,677
3155	-6,05131	3365	-1,65545	3575	-0,6748
3165	-5,79681	3375	-1,59484	3585	-0,65841

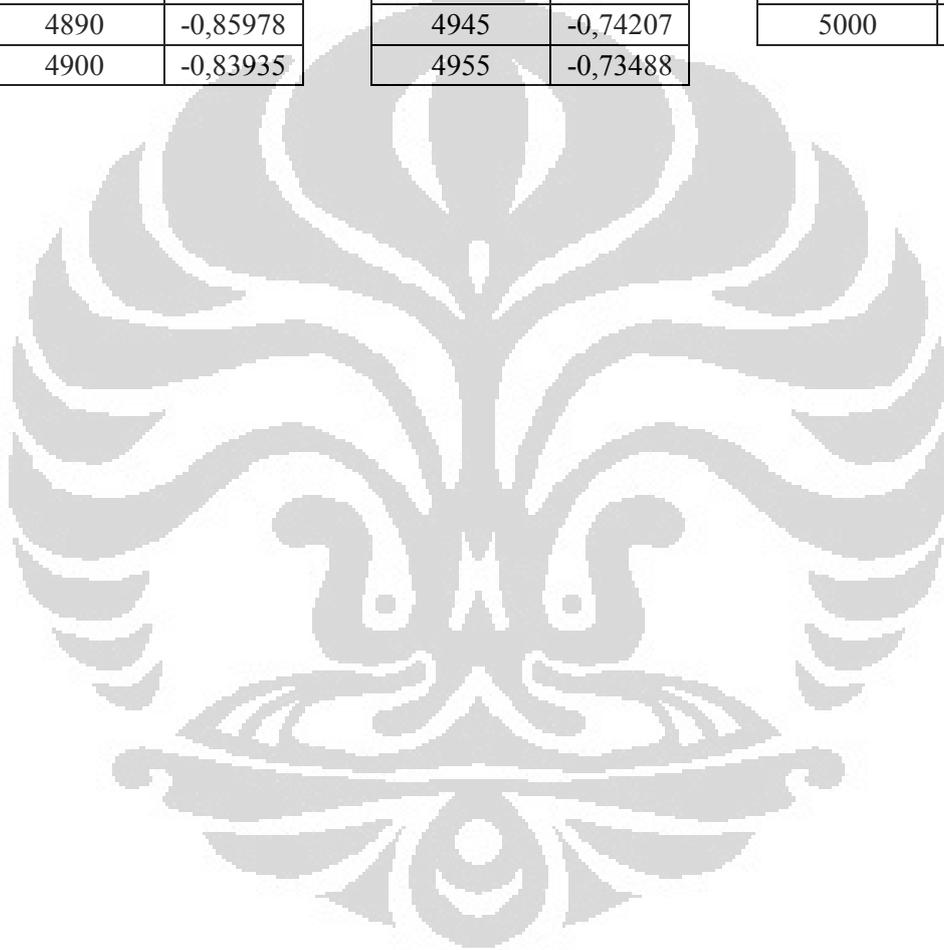
<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
3590	-0,6292	3800	-0,59064	4010	-1,65462
3595	-0,6097	3805	-0,43022	4015	-1,72213
3600	-0,58193	3810	-0,45161	4020	-1,78986
3605	-0,58	3815	-0,48396	4025	-1,8734
3610	-0,55856	3820	-0,50607	4030	-1,9529
3615	-0,53878	3825	-0,5264	4035	-2,04034
3620	-0,52867	3830	-0,53776	4040	-2,13478
3625	-0,49863	3835	-0,55116	4045	-2,23495
3630	-0,48459	3840	-0,53824	4050	-2,33632
3635	-0,47578	3845	-0,53406	4055	-2,45495
3640	-0,46532	3850	-0,51589	4060	-2,58696
3645	-0,4625	3855	-0,4741	4065	-2,71146
3650	-0,46517	3860	-0,46236	4070	-2,84459
3655	-0,48826	3865	-0,44453	4075	-2,96279
3660	-0,47935	3870	-0,42001	4080	-3,09828
3665	-0,48196	3875	-0,40047	4085	-3,22159
3670	-0,47448	3880	-0,37204	4090	-3,35036
3675	-0,4813	3885	-0,36889	4095	-3,49937
3680	-0,4858	3890	-0,34675	4100	-3,64379
3685	-0,48492	3895	-0,34336	4105	-3,79299
3690	-0,4706	3900	-0,35498	4110	-3,94759
3695	-0,47073	3905	-0,69549	4115	-4,11154
3700	-0,44464	3910	-0,7227	4120	-4,26415
3705	-0,4174	3915	-0,74578	4125	-4,43626
3710	-0,40419	3920	-0,78896	4130	-4,6092
3715	-0,38671	3925	-0,84158	4135	-4,80824
3720	-0,36077	3930	-0,88292	4140	-5,00313
3725	-0,3316	3935	-0,94377	4145	-5,22423
3730	-0,29338	3940	-1,02006	4150	-5,43806
3735	-0,2534	3945	-1,07656	4155	-5,66508
3740	-0,22422	3950	-1,14271	4160	-5,9158
3745	-0,1897	3955	-1,05017	4165	-6,14966
3750	-0,15866	3960	-1,10725	4170	-6,4028
3755	-0,36976	3965	-1,17049	4175	-6,69104
3760	-0,34868	3970	-1,22555	4180	-6,97099
3765	-0,34564	3975	-1,27255	4185	-7,26244
3770	-0,34972	3980	-1,32359	4190	-7,56837
3775	-0,37774	3985	-1,37747	4195	-7,90128
3780	-0,39789	3990	-1,43087	4200	-8,23425
3785	-0,43614	3995	-1,48766	4205	-8,51009
3795	-0,53902	4005	-1,58718	4215	-9,19461

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>	<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
4220	-9,54193	4430	-5,32384	4640	-1,71521
4225	-9,90979	4435	-5,14193	4645	-1,64604
4230	-10,3138	4440	-4,96397	4650	-1,57767
4235	-10,7406	4445	-4,77991	4655	-1,81477
4240	-11,1382	4450	-4,59611	4660	-1,77592
4245	-11,4597	4455	-4,43844	4665	-1,75712
4250	-11,7131	4460	-4,30224	4670	-1,74382
4255	-11,9192	4465	-4,15119	4675	-1,74047
4260	-12,0518	4470	-4,01963	4680	-1,76212
4265	-12,1008	4475	-3,88597	4685	-1,7741
4270	-12,0533	4480	-3,75517	4690	-1,79746
4275	-11,9168	4485	-3,61876	4695	-1,82408
4280	-11,7071	4490	-3,49645	4700	-1,85428
4285	-11,4745	4495	-3,37614	4705	-1,52979
4290	-11,1981	4500	-3,2818	4710	-1,54909
4295	-10,9476	4505	-3,23705	4715	-1,56457
4300	-10,6945	4510	-3,14664	4720	-1,56122
4305	-10,3659	4515	-3,0769	4725	-1,55604
4310	-10,1025	4520	-3,00208	4730	-1,532
4315	-9,84593	4525	-2,95268	4735	-1,49982
4320	-9,60357	4530	-2,90656	4740	-1,45674
4325	-9,34991	4535	-2,86321	4745	-1,39953
4330	-9,08573	4540	-2,84159	4750	-1,34298
4335	-8,8221	4545	-2,83215	4755	-1,23101
4340	-8,55427	4550	-2,82425	4760	-1,16446
4345	-8,32338	4555	-2,68576	4765	-1,11151
4350	-8,11648	4560	-2,6654	4770	-1,05272
4355	-7,95469	4565	-2,65555	4775	-1,00089
4360	-7,79608	4570	-2,62971	4780	-0,98192
4365	-7,64667	4575	-2,62022	4785	-0,95402
4370	-7,46424	4580	-2,59481	4790	-0,93918
4375	-7,27823	4585	-2,55922	4795	-0,9316
4380	-7,07782	4590	-2,50487	4800	-0,93564
4385	-6,90448	4595	-2,45223	4805	-1,13179
4390	-6,746	4600	-2,37946	4810	-1,12589
4395	-6,58639	4605	-2,26376	4815	-1,14671
4400	-6,42221	4610	-2,19385	4820	-1,15795
4405	-6,2553	4615	-2,13251	4825	-1,16534
4410	-6,06877	4620	-2,0438	4830	-1,17402
4415	-5,89115	4625	-1,95337	4835	-1,17524
4425	-5,51475	4635	-1,79011	4845	-1,16022

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
4850	-1,14361
4855	-0,9929
4860	-0,97366
4865	-0,9541
4870	-0,93847
4875	-0,90786
4880	-0,89194
4885	-0,86246
4890	-0,85978
4900	-0,83935

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
4905	-0,81913
4910	-0,79407
4915	-0,78639
4920	-0,76932
4925	-0,76456
4930	-0,7508
4935	-0,74983
4940	-0,74341
4945	-0,74207
4955	-0,73488

<i>Freq (MHz)</i>	<i>S11 (dB)</i>
4960	-0,72818
4965	-0,71943
4970	-0,70027
4975	-0,67576
4980	-0,64249
4985	-0,62265
4990	-0,57573
4995	-0,53899
5000	-0,49766



LAMPIRAN B : Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Sudut (°)	Bidang-YZ		Bidang-XZ		Bidang-XY	
	S12	Normalisasi	S12	Normalisasi	S12	Normalisasi
0	0	-32.01	-5.26	-40.03	0	-41.96
10	10	-32.02	-5.27	-40.17	-0.14	-42.8
20	20	-31.85	-5.1	-40.31	-0.28	-43.63
30	30	-30.66	-3.91	-40.48	-0.45	-44.59
40	40	-31.04	-4.29	-41.13	-1.1	-46.4
50	50	-29.37	-2.62	-41.51	-1.48	-48.8
60	60	-29.39	-2.64	-41.14	-1.11	-51.68
70	70	-30.77	-4.02	-40.35	-0.32	-55.01
80	80	-33.29	-6.54	-40.54	-0.51	-60.72
90	90	-37.05	-10.3	-40.41	-0.38	-64.82
100	100	-40.65	-13.9	-40.38	-0.35	-67.79
110	110	-41.91	-15.16	-41.12	-1.09	-55.12
120	120	-38.99	-12.24	-41.74	-1.71	-50.19
130	130	-35.55	-8.8	-41.37	-1.34	-47.21
140	140	-32.88	-6.13	-41.59	-1.56	-44.68
150	150	-29.64	-2.89	-40.84	-0.81	-43.39
160	160	-28.09	-1.34	-42.15	-2.12	-42.17
170	170	-27.05	-0.3	-41.9	-1.87	-41.83
180	180	-26.75	0	-42.09	-2.06	-42.11
190	190	-27.36	-0.61	-41.54	-1.51	-43.17
200	200	-28.07	-1.32	-41.34	-1.31	-44.51
210	210	-28.96	-2.21	-40.15	-0.12	-45.75
220	220	-29.63	-2.88	-40.22	-0.19	-45.78
230	230	-30.23	-3.48	-40.31	-0.28	-45.51
240	240	-30.94	-4.19	-40.82	-0.79	-46.05
250	250	-33.56	-6.81	-40.25	-0.22	-47.28
260	260	-40.41	-13.66	-40.46	-0.43	-50.22
270	270	-46.01	-19.26	-40.48	-0.45	-53.7
280	280	-37.33	-10.58	-41.11	-1.08	-57.98
290	290	-35.73	-8.98	-40.83	-0.8	-56.31
300	300	-35.15	-8.4	-41.91	-1.88	-52.12
310	310	-34.87	-8.12	-41.34	-1.31	-48.87
320	320	-34.53	-7.78	-41.23	-1.2	-46.67
330	330	-33.86	-7.11	-41.07	-1.04	-44.76
340	340	-32.05	-5.3	-40.92	-0.89	-43.15
350	350	-31.84	-5.09	-40.7	-0.67	-42.21