



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGASAKHIR - TE 141599

**PERANCANGAN RECTENNA RECTANGULAR PATCH ARRAY
UNTUK PEMANEN ENERGI PADA FREKUENSI 900 MHZ**

Angga Ruhyat
NRP 2210100067

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST. MT. Ph.D.
Dr. Ir. Wirawan, DEA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***DESIGN OF RECTENNA RECTANGULAR PATCH
ARRAY FOR ENERGY HARVESTING AT FREQUENCY 900 MHZ***

Angga Ruhyat
NRP 2210100067

Supervisor
Eko Setijadi, ST. MT. Ph.D.
Dr. Ir. Wirawan, DEA

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh November Institute of Technology
Surabaya 2015

**PERANCANGAN RECTENNA RECTANGULAR
PATCH ARRAY UNTUK PEMANEN ENERGI
PADA FREKUENSI 900 MHZ**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

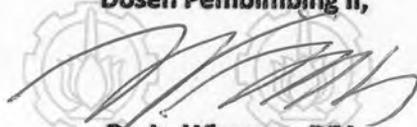
Menyetujui

Dosen Pembimbing I,



Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Wirawan, DEA
NIP. 196311091989031011



PERANCANGAN RECTENNA RECTANGULAR PATCH ARRAY UNTUK PEMANEN ENERGI PADA FREKUENSI 900 MHZ

Angga Ruhyat
2210 100 067

Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi, ST.,MT.,Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Wirawan, DEA.

ABSTRAK

Rectenna merupakan teknologi yang terdiri dari *Rectifier* dan *Antenna*, berfungsi untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi sumber arus DC. Dengan *rectenna*, radiasi gelombang elektromagnetik yang berasal dari *Access Point* (AP) wi-fi atau dari *Base Transiever Stasion* (BTS) telepon seluler bisa dimanfaatkan untuk menjadi sumber tegangan untuk perangkat lain tanpa perlu menggunakan baterai.

Pada penelitian ini dirancang sistem *electromagnetic harvesting* untuk memanfaatkan potensi besar tersebut. Sistem ini terdiri dari perangkat *power harvester*, *power splitter*, dan antena penerima. Desain antena menggunakan antena mikrostrip dengan penambahan slot di dalam *patch* untuk mencapai frekuensi *GSM* yaitu pada Frekuensi kerja antena berdasarkan hasil pengukuran yakni 935– 960 MHz dan 1820 – 1845 MHz. sedangkan nilai *S11* antena pada *band* 900 MHz dan 1800 MHz berturut-turut -7.267 dBm dan -14.26 dBm untuk single antenna dan -14.3dBm dan -12.6dBm untuk *antenna array*. *Gain* dari hasil pengukuran untuk *band* 900 dan 1800 adalah 8.56 dB dan 0/26 dB. Tegangan yang dihasilkan sistem *electromagnetic harvesting* adalah 490 mV pada jarak 40 cm dari *SSG*, 127 mV di sekitar BTS

Kata kunci : Antena , *Electromagnetic Harvesting*, GSM,*rectenna*, *WPT*

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DESIGN OF RECTENNA RECTANGULAR PATCH ARRAY FOR ENERGY HARVESTING AT FREQUENCY 900 MHZ

Angga Ruhyat
2210 100 067

Supervisor I : Eko Setijadi, ST.,MT.,Ph.D.
Supervisor II : Dr. Ir. Wirawan, DEA.

ABSTRACT

Rectenna is a technology that consists of Rectifier and Antenna, serves to convert electromagnetic waves into DC current source. With the rectenna, radiation of electromagnetic waves emanating from the Access Point (AP) wi-fi or from Base Transiever Station (BTS) mobile phones can be used to be a source of stress for other devices without using batteries.

In this study electromagnetic harvesting system designed to harness the great potential. This system consists of a device power harvester, power splitter, and the receiving antenna. Antenna using microstrip antenna design with the addition of a slot in the patch to achieve that at frequencies of GSM frequency antenna work based on the results of measurements of the 935- 960 MHz and 1820-1845 MHz. while the value of S11 antenna in the band 900 MHz and 1800 MHz respectively and -14:26 -7267 dBm dBm for single antenna and -14.3dBm and -12.6dBm for antenna arrays. Gain from the measurement results for the 900 and 1800 bands is 8.56 dB and 0.26 dB. Voltage generated electromagnetic harvesting system is 490 mV at a distance of 40 cm from the SSG, 127 mV around BTS

Keyword : Antenna , Electromagnetic Harvesting, GSM, rectenna,WPT

[halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul :

“PERANCANGAN RECTENNA RECTANGULAR PATCH ARRAY UNTUK PEMANEN ENERGI PADA FREKUENSI 900 MHZ”

Tugas akhir merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak sehingga kendala-kendala tersebut dapat diatasi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dana, dan doa.
3. Bapak Eko Setijadi dan Bapak Wirawan selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Endroyono selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Bapak Tri Arief Sardjono selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
6. Teman-teman e50, TMM, LJ dan Gudang

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir dan Manfaat	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
1.7 Relevansi	5
BAB II TEORI DASAR.....	7
2.1 Pengenalan Antenna.....	7
2.2 Rectangular Patch Antenna	8
2.3 Rectifying Antenna	9
2.4 Antena Mikrostrip	10
2.5 Parameter Dasar Antena Mikrostrip	11
2.5.1 Substrat	11
2.5.2 Lebar (W) dan Panjang (L).....	11
2.5.3 Bandwidth	13
2.5.4 Pola Radiasi	14
2.5.5 Direktivitas	14
2.5.6 Gain	15
2.5.7 VSWR dan <i>Return Loss</i>	16
2.6 Antenna Array	17
2.7 Wireless Power Transfer	18
2.8 RF Energy Harvesting.....	18
2.9 Power Harvester.....	20
2.10 Gelombang Radio GSM	23

2.10.1 Teknik Modulasi.....	24
2.10.2 Frekuensi.....	24
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI	27
3.1 Studi Literatur.....	28
3.2 Desain Antena.....	28
3.2.1 Simulasi Desain Antena.....	29
3.2.2 Optimasi Desain Antena.....	30
3.2.3 Fabrikasi Desain Antena.....	31
3.2.4 Pengukuran Antena	32
3.3 Power Harvester.....	33
3.3.1 Pemilihan Komponen	33
3.3.2 Desain dan Simulasi Rangkaian Power Harvester	33
3.3.3 Fabrikasi <i>Power Harvester</i>	35
3.4 Instrumen Pengukuran	35
3.4.1 Vector Network Analyzer (VNA).....	35
3.4.2 Spectrum Analyzer	36
3.4.2.1 Spectrum Analyzer untuk Pengukuran Gain Antena	37
3.4.2.2 Spectrum Analyzer untuk Pengukuran Pola Radiasi Antena.....	38
BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISIS DATA	39
4.1 Analisis Pengaruh Parameter Antena Microstrip Pada Substrat FR4	39
4.1.1 Pengaruh Parameter L Antena	39
4.1.2 Pengaruh Parameter W Antena	40
4.1.3 Pengaruh Parameter b Antena.....	41
4.2 Analisis Data Hasil Simulasi Antena Microstrip pada Substrat FR4	41
4.2.1 Analisis Return Loss	41
4.2.2 Analisis VSWR	43
4.2.3 Analisis Pola Radiasi.....	43
4.2.4 Analisis Gain.....	44
4.2.5 Analisis Impedansi Input	45
4.3 Analisis Data Hasil Pengukuran Antena	46
4.3.1 Analisis Data Hasil Pengukuran Single Antena dengan Substrat FR4	46
4.3.1.1 Analisis Hasil Pengukuran Return Loss	46
4.3.1.2 Analisis Hasil Pengukuran VSWR.....	48

4.3.1.3 Analisis Hasil Pengukuran Impedansi.....	49
4.3.1.4 Analisis Hasil Pengukuran Pola Radiasi pada 900 MHz dan 1800 MHz.....	50
4.3.2 Analisis Data Hasil Pengukuran Antena array dengan Substrat FR4	52
4.3.2.1 Analisis Hasil Pengukuran Return Loss	53
4.3.2.2 Analisis Hasil Pengukuran VSWR.....	54
4.3.2.3 Analisis Hasil Pengukuran Impedansi.....	55
4.3.2.4 Analisis Hasil Pengukuran Pola Radiasi pada 900 MHz dan 1800 MHz.....	55
4.3.3 Gain Antenna	57
4.4 Analisis Data Hasil Pengukuran Tegangan Power Havester Pada Antenna	58
4.4.1 Analisis Hasil Pengukuran Tegangan Power Havester Pada single Antena dengan Substrat FR4	58
4.4.2 Analisis Hasil Pengukuran Tegangan Power Havester Pada array Antena dengan Substrat FR4	59
4.5 Pengukuran Arus dan Daya pada <i>Power Harvester</i>	61
4.6 Pengukuran tegangan <i>Power Harvester</i> di sekitar BTS.....	61
BAB V PENUTUP.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	67
RIWAYAT PENULIS.....	75

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil pengukuran tegangan power harvester	23
Tabel 2.2 Alokasi Spektrum Frekuensi 900 MHz	25
Tabel 2.3 Alokasi Spektrum Frekuensi 1800 MHz	25
Tabel 3.1 Dimensi Antena	29
Tabel 4.1 Pengukuran gain pada band 900 MHz	57
Tabel 4.2 Pengukuran gain pada band 1800 MHz	57

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. (a) Microstrip patch antenna. (b) tampak atas. (c) tampak samping.	9
Gambar 2.2 Struktur dasar antenna mikrostrip	10
Gambar 2.3 (a) <i>Microstrip line</i> (b) <i>electric field lines</i> dan (c) konstanta dielektrik efektif	11
Gambar 2.4 Dimensi mikrostrip (a) tampak atas dan (b) tampak samping	12
Gambar 2.5 Rentang frekuensi dari bandwidth antenna	13
Gambar 2.6 Plot polar pola radiasi pada antenna dipole ideal (a) bidang-E (b) bidang-H (c) komponen medan dan skema pengukuran pola radiasi (d) pola radiasi tiga dimensi	14
Gambar 2.7 (a) Pengukuran daya yang diterima antenna referensi (<i>PS</i>) dan (b) Pengukuran daya yang diterima antenna uji (<i>PT</i>).....	16
Gambar 2.8 Blok diagram RF energy Harvesting.....	19
Gambar 2.9 Rancangan rectenna rectangular Patch.....	20
Gambar 2.10 Rangkaian pengali tegangan	21
Gambar 2.11 Rangkaian power harvester 7-stage.....	22
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian.....	27
Gambar 3.2 Desain antenna	28
Gambar 3.3 grafik s_{11} pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz	29
Gambar 3.4 Contoh hasil modifikasi dengan <i>parameter Sweep</i>	30
Gambar 3.5 Hasil Simulasi Pola radiasi dari antenna dalam bentuk 3D	30
Gambar 3.6 Hasil Fabrikasi Antena	31
Gambar 3.7 Contoh set up pengukuran S-Parameter dari antenna	32
Gambar 3.8 Dioda seri HSMS 282x (a)HSMS 2820 (b)HSMS 2822 (c)HSMS 2855	33
Gambar 3.9 Desain rangkaian power harvester	34
Gambar 3.10 Contoh hasil simulasi rangkaian <i>power harvester</i>	34
Gambar 3.11 <i>Power harvester</i> dengan konektor N.....	35
Gambar 3.12 Agilent N9923A FieldFox RF VNA	36
Gambar 3.13 BK Precision 2658A <i>handheld spectrum analyzer</i>	37
Gambar 3.14 Skema pengukuran <i>gain</i> antenna	38
Gambar 3.15 Skema pengukuran pola radiasi	38
Gambar 4.1 Pengaruh Parameter L pada Antena	39
Gambar 4.2. Pengaruh Parameter W pada Antena.....	40

Gambar 4.3. Pengaruh Parameter b pada Antena	41
Gambar 4.4. Hasil Grafik Return Loss FR4	42
Gambar 4.5. Hasil Grafik VSWR FR4	43
Gambar 4.6. (a) dan (b) Plot Pola Radiasi pada Bidang Polar	44
Gambar 4.7. Plot 3D Antena Microstrip.....	45
Gambar 4.8. Hasil Grafik Impedansi Input.....	45
Gambar 4.9. Hasil Fabrikasi Antena Microstrip	46
Gambar 4.10. Hasil Pengukuran Antena Microstrip	47
Gambar 4.11. Perbandingan Return Loss Hasil Pengukuran dan Simulasi	47
Gambar 4.12. Hasil Grafik VSWR (a) Pada Simulasi (b) Pada Pengukuran	49
Gambar 4.13. Hasil Grafik Impedansi (a) Pada Simulasi (b) Pada Pengukuran	50
Gambar 4.14. Pola Radiasi Bidang Horizontal a) frekuensi 900MHz b) frekuensi 1800MHz.....	51
Gambar 4.15. Pola Radiasi Bidang Vertikal a) frekuensi 900 MHz b) frekuensi 1800MHz.....	51
Gambar 4.16. Hasil Fabrikasi Antena Microstrip	52
Gambar 4.17. Hasil Pengukuran Return Loss Antena Array.....	53
Gambar 4.18. Hasil Grafik VSWR Pada Pengukuran.....	54
Gambar 4.19. Hasil Grafik Impedansi Pada Pengukuran antenna array	55
Gambar 4.20. Pola Radiasi Bidang Horizontal a) frekuensi 900MHz b) frekuensi 1800MHz.....	56
Gambar 4.21. Pola Radiasi Bidang Vertikal a) frekuensi 900 MHz b) frekuensi 1800MHz.....	56
Gambar 4.22. Tegangan yang diterima single Antena Microstrip a) pada frekuensi 900 MHz b) pada 1800 MHz.....	59
Gambar 4.23. Tegangan yang diterima array Antena Microstrip a) pada frekuensi 900 MHz b) pada 1800 MHz.....	60
Gambar 4.24 Pengukuran tegangan di sekitar tower BTS.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi nirkabel sangat berkembang pesat dalam decade ini, pengembangan dari system komunikasi nirkabel seperti *Global System for Mobile (GSM)*, *Digital Terrestrial Television (DTT)*, Sistem TV satelit , dll. Berdampak dengan banyaknya BTS yang di buat di berbagai kota. Ini membuat bertambahnya energy RF dalam bentuk gelombang elektromagnetik di lingkungan kita, sehingga banyak ide yang muncul untuk pemanfaatan energy RF tersebut seperti perangkat *portable*, dll

Penggunaan frekuensi radio dan Wi-Fi semakin meluas sejak meningkatnya penggunaan sistem selular oleh masyarakat. Dengan banyaknya perangkat selular yang digunakan, sementara perangkat selular itu menggunakan frekuensi radio, maka akan semakin banyak sinyal dalam frekuensi radio yang berpropagasi lewat udara, di mana setiap sinyal dari setiap perangkat selular memiliki level dayanya sendiri. Dari karakteristik ini muncul ide untuk memperoleh daya dari sinyal-sinyal itu untuk kemudian diolah dan disimpan bagi keperluan tertentu. Kendala yang umum dihadapi adalah rendahnya level daya sinyal dan ketersediaan area yang memiliki banyak sinyal berpropagasi. Sehingga selain menjelaskan cara memanen energi dari sinyal 900MHz dan 1800MHz, tugas akhir ini juga dimaksudkan untuk mendorong minat pihak-pihak yang berkompeten untuk mengembangkan sistem *energy harvesting*, karena dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dan terbatasnya kemampuan untuk menyediakan energi yang murah, maka *energy harvesting* dapat menjadi salah satu alternatif untuk menopang kebutuhan energi.

Mikrostrip antenna adalah salah satu solusi untuk diterapkan ke dalam teknologi WPT ini, karena memiliki ukuran yang relatif lebih kecil dari jenis antenna yang lainnya, dan kompatibilitas dengan *Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMIC)* dan *Microwave Integrated Circuits (MIC)*. Antena mikrostrip ini merupakan salah satu antenna gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator yang efisien pada banyak sistem telekomunikasi modern saat ini, seperti : radar, *Global Positioning System (GPS)*, *Personal Communications System (PCS)*,

Direct Broadcast Television (DBS). Mikrostrip antenna memiliki berbagai bentuk patch, yaitu lingkaran, persegi, dan segitiga.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang antenna *mikrostrip rectangular patch* dengan nilai VSWR yang optimal
2. Optimasi antenna microstrip 900MHz dan 1800MHz terhadap perangkat *RF Energy Harvesting* .
3. Bagaimana hasil dari multiple antenna dengan antenna single
4. Menghitung tegangan yang dihasilkan oleh perangkat *Electromagnetic Harvesting*

1.3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, penulis akan melakukan harvesting energi gelombang elektromagnetik pada frekuensi 900MHz dan 1800MHz .Adapun batasan permasalahan pada tugas akhir ini adalah:

1. Program simulasi yang digunakan adalah CST
2. Antenna Penerima yang digunakan adalah antenna mikrostrip *rectangular patch*
3. Penggabungan Antenna menggunakan *Power Splitter*
4. Rancang bangun antenna mikrostrip antenna 900MHz dan 1800MHz dibangun berdasarkan hasil simulasi CST
5. Pengukuran parameter unjuk kerja dari antenna penerima yang dibuat meliputi *return loss*, VSWR, pola radiasi, dan *gain*
5. Studi kasus di lakukan pada lab-lab telekomunikasi multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS
6. Pengujian di lakukan pada *Provider* Indosat

1.4 Tujuan Tugas Akhir dan Manfaat

Pada Tugas Akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Merancang antenna yang mampu bekerja pada frekuensi 900MHz dan 1800 MHz sebagai salah satu perangkat *RF Energy Harvesting*.
2. Mengetahui tegangan yang mampu dihasilkan pada proses *electromagnetic harvesting*.

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat berikut:

1. Memberikan kebutuhan belajar tentang antena mikrostrip *rectangular patch* khususnya frekuensi 900MHz dan 1800MHz
2. Memberikan kebutuhan belajar tentang sistem *electromagnetic harvesting* yang bekerja pada frekuensi 900MHz dan 1800MHz.
3. Memberikan kebutuhan informasi tentang tingkat daya yang dapat dipanen pada frekuensi 900MHz dan 1800MHz menggunakan *electromagnetic harvesting*.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari dan mempelajari beberapa referensi tentang teori penunjang yang menyangkut penelitian agar memudahkan penulis dalam membuat tugas akhir ini. Kegiatan studi literatur pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

- Mencari dan mempelajari pustaka mengenai teori dasar mengenai teori gelombang elektromagnetik.
- Mencari dan mempelajari pustaka mengenai mikrostrip antenna. Antena ini sering juga disebut sebagai *rectenna* atau *rectifier antenna*.
- Pemodelan sistem *Rectenna* menangkap gelombang Elektromagnetik di udara dan diubah ke dalam daya listrik oleh *power harvester*. Lalu keluaran dalam system ini berupa arus searah.
- Perencanaan pengukuran yaitu kegiatan yang dilakukan sebagai persiapan sebelum melaksanakan pengukuran. Kegiatan perencanaan ini antara lain:
- Mempelajari penggunaan *spectrum analyzer* sebagai alat ukur level daya dari spektrum gelombang elektromagnetik yang akan diukur.
- Mempelajari software simulasi CST untuk merancang simulasi dari antenna mikrostrip agar didapatkan dimensi antenna yang dapat bekerja di frekuensi 900MHz dan 1800MHz

- Membuat antena mikrostrip rectangular patch dan komponen dari *power harvester*.
 - Melakukan pengujian terhadap antena dan *spectrum analyzer* yang digunakan dalam pengukuran.
 - Melakukan pengukuran daya keluaran dari *power harvester*
2. Analisis dan simulasi

Analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini yaitu didapkatannya data tentang efisiensi daya yang dihasilkan dari system yang bekerja pada frekuensi 900MHz dan 1800MHz. Seluruh hasil penelitian akan disimulasikan melalui program

3. Pabrikasi

Pembuatan antena yang sebelumnya telah dilakukan analisis dan simulasi menggunakan program CST

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan berupa perbandingan antara *antenna single* dari *rectangular patch* dengan *antenna rectangular patch* yang disusun secara *array* yang akan ditunjukkan berupa keluaran tabel. Sehingga dalam tugas akhir ini akan di perlihatkan grafik perbedaan dari antena tersebut

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika, dan relevansi.

Bab II Teori Penunjang

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka, konsep dasar *energy harvesting*, parameter antena, *RF Power Harvester*, dan tentang alokasi frekuensi GSM yang akan digunakan

Bab III Perancangan dan Implementasi

Bab ini menjelaskan tentang metode perancangan antena dan *RF Power Harvester*

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil pengukuran parameter antena dan juga hasil dari penggabungan dari 4 antena menggunakan *power splitter* meliputi pola radiasi, VSWR, Impedansi, parameter S11, gain, dan tegangan keluaran untuk di analisa apakah menggunakan *power splitter* ini efektif

Bab V Pentutup

Pada Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan analisis data dari pembahasan

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan menjadi referensi perencanaan desain dari antenna microstrip yang dapat di manfaatkan untuk memanen energy dari sumber elektromagnetik yang berasal dari sinyal GSM sebagai sumber energi untuk perangkat elektronik berdaya rendah.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II TEORI DASAR

2.1 Pengenalan Antenna

Antenna adalah elemen sistem komunikasi radio yang berfungsi untuk mentransfer energi listrik ke bentuk radiasi elektromagnetik melalui udara dan sebaliknya untuk menerima radiasi elektromagnetik di udara ke bentuk sinyal listrik. Antena merupakan perangkat perantara antara saluran transmisi dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai (*match*) dengan saluran pencatunya.

Penggunaan frekuensi radio dan Wi-Fi semakin meluas sejak meningkatnya penggunaan sistem selular oleh masyarakat. Dengan banyaknya perangkat selular yang digunakan, sementara perangkat selular itu menggunakan frekuensi radio, maka akan semakin banyak sinyal dalam frekuensi radio yang berpropagasi lewat udara, di mana setiap sinyal dari setiap perangkat selular memiliki level dayanya sendiri. Dari karakteristik ini muncul ide untuk memperoleh daya dari sinyal-sinyal itu untuk kemudian diolah dan disimpan bagi keperluan tertentu. Kendala yang umum dihadapi adalah rendahnya level daya sinyal dan ketersediaan area yang memiliki banyak sinyal berpropagasi. Sehingga selain menjelaskan cara memanen energi dari sinyal 900MHz dan 1800 MHz, tugas akhir ini juga dimaksudkan untuk mendorong minat pihak-pihak yang berkompeten untuk mengembangkan sistem *energy harvesting*, karena dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dan terbatasnya kemampuan untuk menyediakan energi yang murah, maka energi harvesting dapat menjadi salah satu alternatif untuk menopang kebutuhan energi.

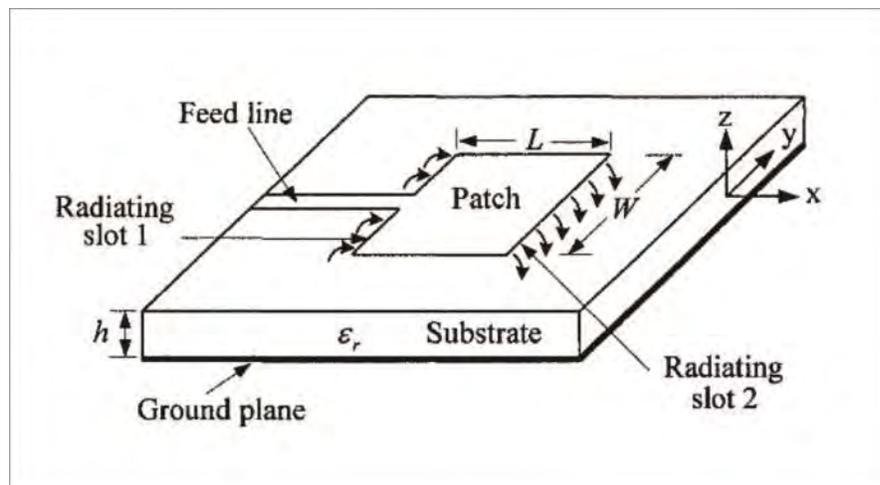
Dalam rangkaian, *rectifier* selain berperan sebagai pengubah tegangan AC ke DC, juga berfungsi sebagai pengali tegangan (*doubler*). Kapasitor yang ada pada bagian *Voltage Doubler Rectifier* berfungsi sebagai *junction*, yaitu menghubungkan rangkaian jika dilewati nilai AC dan memutus rangkaian jika dilewati nilai DC. Sedangkan kapasitor pada bagian beban berguna untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran dari *rectifier*, dan *resistor* R_L digunakan untuk memaksimalkan nilai tegangan keluaran DC.

Dari definisi diatas antenna dapat diterapkan dalam beberapa fungsi sebagai berikut :

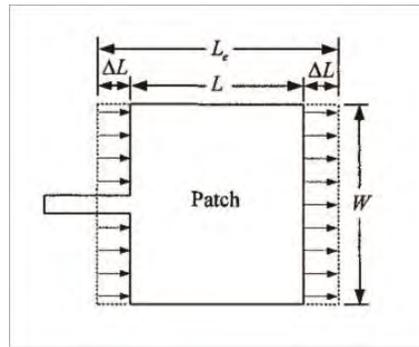
- Antena pemancar *broadcast* untuk memancarkan sinyal ke area yang sangat luas, misalnya antena pemancar radio FM, antena pemancar TV, antena GPS dan sebagainya.
- Antena komunikasi *point-to-point* untuk mentransfer sinyal dari satu tempat ke tempat yang lain, misalnya antena sistem transmisi *terrestrial*, antena sistem satelit, dan sebagainya.
- Antena penerima yang difungsikan untuk menerima sinyal, baik dari pemancar buatan manusia (dalam kasus *broadcast* ataupun *point-to-point*) atau menerima sinyal bebas dari langit (dalam kasus *radiometer*, pengukur *noise* temperatur atmosfer atau radio sonde untuk mencari bintang dilangit).

2.2 Rectangular Patch Antenna

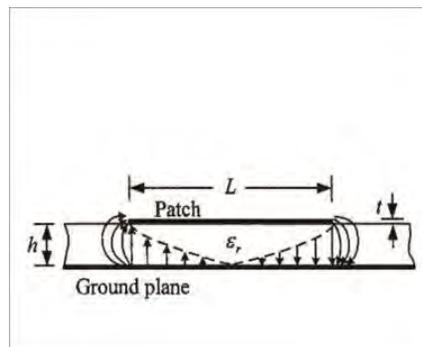
Rectangular Patch Antenna ditampilkan pada gambar 2.1 memiliki desain yang sederhana untuk perancangan dan pemodelan. Terdiri dari patch metalik tipis yang ditempatkan pada substrat dielektrik dengan ketebalan h . Panjang L mempengaruhi frekuensi resonansi dan lebar W menentukan *input impedance* dari antena [7].



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.1. (a) Microstrip patch antenna. (b) tampak atas. (c) tampak samping.

2.3 Rectifying Antenna

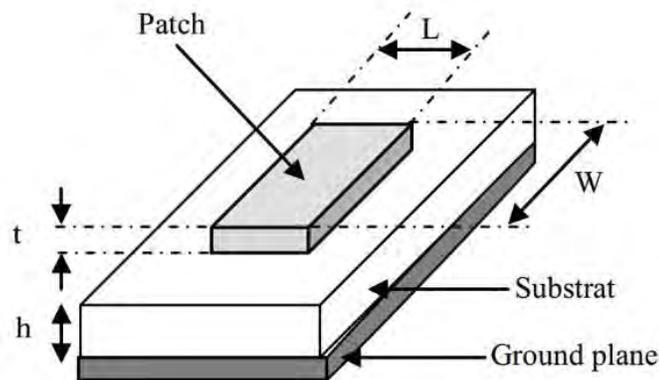
Rectenna merupakan suatu elemen penting dalam sistem transmisi daya nirkabel. Antena ini berperan menerima dan mengkonversi energi gelombang mikro menjadi listrik arus searah. Rectenna biasa digunakan untuk sistem daya nirkabel, kapal tanpa awak (*UAV*), dan lain sebagainya. Desain rectenna yaitu kecil dan memiliki efisiensi yang tinggi, dan dapat dijadikan aplikasi untuk *power harvesting*. Parameter penting pada rectenna yaitu efisiensi dan desain yang kecil dan praktis. Untuk *power harvesting* dengan daya yang rendah, *dioda Schottky* seringkali digunakan karena memiliki drop tegangan terendah dan kecepatan *switching* yang tinggi, oleh karena itu memiliki kerugian daya terendah akibat konduksi dan *switching*.

Dengan menggunakan antena berbasis *near-field resonant parasitic* (NFRP), yang sudah diteliti sebelumnya bahwa tiap unit sel dapat berperan sebagai elemen NFRP. Dengan elemen NFRP, desain antena akan memiliki kemampuan *matching* dengan *input impedansi*

tertentu tanpa tambahan *matching network*. Terlebih, akan mendapatkan efisiensi yang tinggi[2].

2.4 Antena Mikrostrip

Berdasarkan asal katanya, mikrostrip terdiri atas dua kata, yaitu (sangat tipis/kecil) dan *strip* (bilah/potongan). Antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti bilah/potongan yang mempunyai ukuran sangat tipis/kecil. Secara umum, antena mikrostrip terdiri atas 3 bagian, yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane*. *Patch* terletak di atas substrat, sementara *ground plane* terletak pada bagian paling bawah.



Gambar 2.2 Struktur dasar antena mikrostrip[6]

Antena mikrostrip mengalami peningkatan popularitas terutama dalam aplikasi wireless karena strukturnya yang *low profile*. Selain itu, antena mikrostrip juga kompatibel dan dapat diintegrasikan langsung dengan sirkuit utamanya, seperti pada telepon genggam, misil, dan peralatan lainnya. Pada zaman sekarang, pemakaian antena mikrostrip menjadi semakin berkembang. Hampir semua peralatan telekomunikasi *wireless* yang ada tidak menunjukkan sebuah fisik antena. Hal ini karena peralatan telekomunikasi tersebut menggunakan antena mikrostrip yang dapat diintegrasikan langsung dengan MICs-nya. Beberapa keuntungan dari antena mikrostrip adalah :

1. Mempunyai bobot yang ringan dan volume yang kecil.
2. Konfigurasi yang *low profile* sehingga bentuknya dapat disesuaikan dengan perangkat utamanya.

3. Biaya fabrikasi yang murah sehingga dapat dibuat dalam jumlah yang besar.
4. Mendukung polarisasi linear dan sirkular.
5. Dapat dengan mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MICs)
6. Kemampuan dalam *multiband*
7. Tidak memerlukan catuan tambahan.

2.5 Parameter Dasar Antena Mikrostrip

2.5.1 Substrat

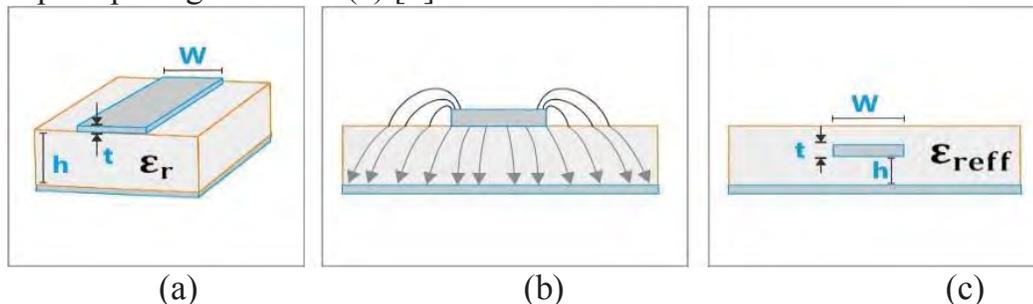
Mikrostrip dibentuk dari substrat dielektrik dan tembaga (*copper*) yang menempel dikedua sisinya. Substrat tersebut memiliki ketebalan dan konstanta dielektrik (ϵ_r) yang bervariasi dari berbagai jenis.

Pada penelitian kali ini digunakan substrat FR-4 yang memiliki konstanta dielektrik 4.15 dengan ketebalan 1.6 mm [8].

2.5.2 Lebar (W) dan Panjang (L)

Mikrostrip terdiri dari tembaga tipis yang ditempatkan pada substrat dielektrik dengan ketebalan h . Panjang (L) mempengaruhi frekuensi resonansi dan lebar (W) menentukan impedansi input dari antena [9].

Akibat dari adanya *fringing effect* pada panjang (L) yang menyebabkan medan listrik merambat melalui dua media terpisah yaitu substrat dan sebagian lagi merambat diudara, menyebabkan analisis yang lebih akurat ketika menggunakan konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}). Konstanta dielektrik efektif didefinisikan sebagai konstanta dielektrik dari material yang seragam sehingga didapatkan model saluran mikrostrip seperti pada gambar 2.3(c) yang identik dengan saluran mikrostrip aslinya seperti pada gambar 2.3(a) [6].



Gambar 2.3 (a) *Microstrip line* (b) *electric field lines* dan (c) konstanta dielektrik efektif

Nilai ϵ_{reff} didapatkan dari persamaan berikut [9] :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \quad (2.1)$$

Untuk lebar (W) dari rectangular antenna didapat dari persamaan [9] :

$$W = \frac{C_0}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.2)$$

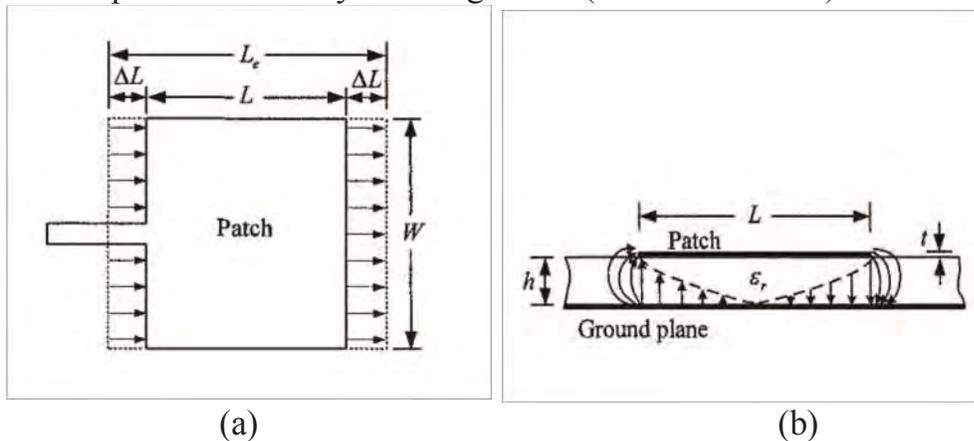
Panjang tambahan antenna akibat dari panjang efektif (L_e) seperti dalam gambar 2.4(a) didapatkan dari persamaan [9] :

$$\Delta L = 0.414h \frac{(\epsilon_r + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.262 \right)}{(\epsilon_r - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.813 \right)} \quad (2.3)$$

Sehingga panjang aktual (L) dari antenna sekarang adalah [9] :

$$L = \frac{C_0}{2f \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (2.4)$$

Dimana f adalah frekuensi resonansi dari mode TM_{10} dan C_0 adalah cepat rambat cahaya diruang bebas (2.998×10^8 m/s).



Gambar 2.4 Dimensi mikrostrip (a) tampak atas dan (b) tampak samping [9].

2.5.3 Bandwidth [6]

Bandwidth dari suatu antena mikrostrip merupakan rentang frekuensi antara kenaikan nilai VSWR dari satu sampai batas nilai yang dapat ditoleransi. Besar bandwidth tergantung dari nilai faktor kualitas (Q_0) dan VSWR yang diinginkan dan dapat dituliskan sebagai berikut :

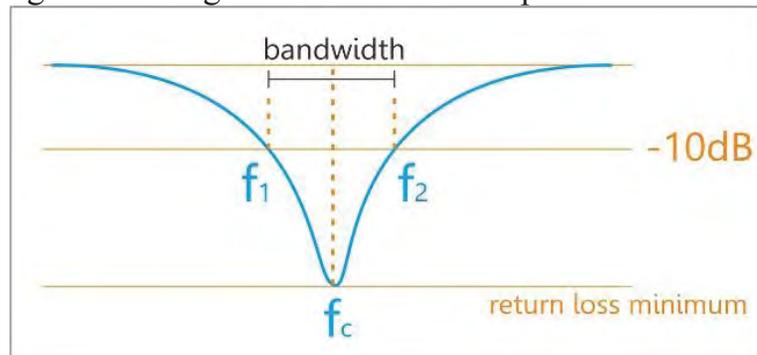
$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q_0 \sqrt{VSWR}} \quad (2.5)$$

Atau *bandwith* sebagai rentang frekuensi dari grafis :

$$BW = f_1 - f_2 \quad (2.6)$$

Dimana f_1 adalah frekuensi tertinggi dan f_2 adalah frekuensi terendah dalam satuan hertz (Hz).

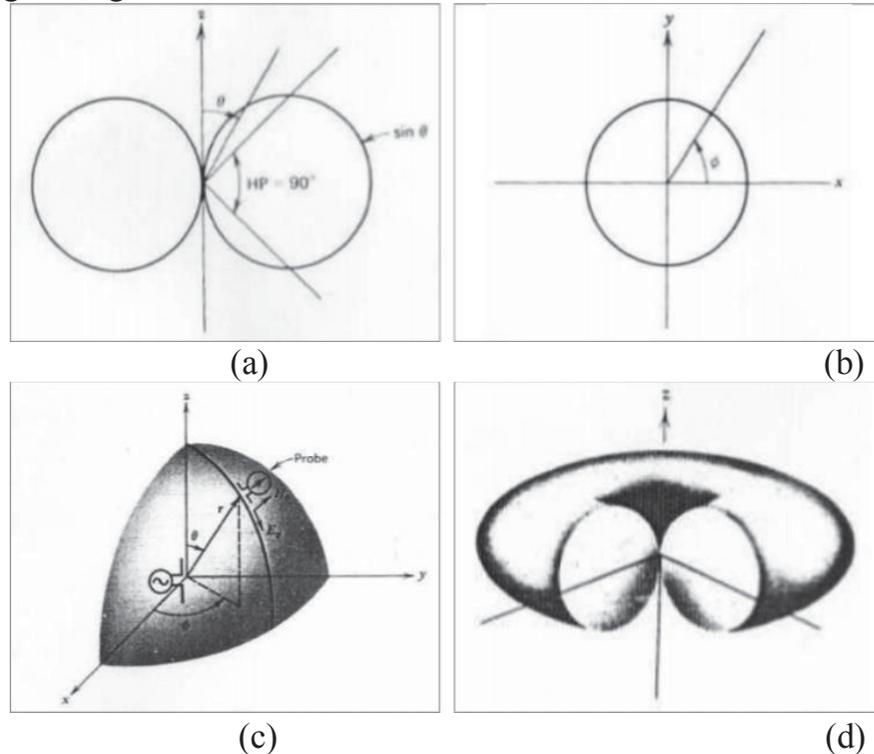
Ada beberapa jenis bandwidth yaitu *impedance bandwidth* dan *pattern bandwidth*. *Impedance bandwidth* merupakan rentang frekuensi dimana patch antena berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antena bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9.54 dB untuk *return loss* dan kurang dari 2 untuk VSWR. Sedangkan untuk *pattern bandwidth* didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana *beamwidth*, *sidelobe* atau *gain* yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antena agar nilai *bandwidth* dapat dicari.



Gambar 2.5 Rentang frekuensi dari bandwidth antena

2.5.4 Pola Radiasi [11]

Pola radiasi antenna diartikan sebagai representasi grafis dari sifat-sifat radiasi antenna. Pola radiasi dapat diukur dengan menggerakkan antenna ukur mengelilingi antenna uji dengan jarak yang sama sebagai fungsi dari koordinat angular. Selama antenna ukur bergerak, terdapat pola medan listrik (bidang-E) atau medan magnet (bidang-H) yang bervariasi sepanjang bidang bola.



Gambar 2.6 Plot polar pola radiasi pada antenna dipole ideal (a) bidang-E (b) bidang-H (c) komponen medan dan skema pengukuran pola radiasi (d) pola radiasi tiga dimensi [11]

2.5.5 Direktivitas [6]

Direktivitas adalah perbandingan antara intensitas radiasi dari arah yang diberikan oleh antenna terhadap intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan total daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud adalah arah pada intensitas radiasi maksimum.

Direktivitas dapat dituliskan sebagai :

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (2.7)$$

Dimana :

D = direktivitas maksimum (tanpa dimensi)

U = intensitas radiasi (W/unit solid angle)

U_0 = intensitas radiasi pada sumber isotropik (W/unit solid angle)

P_{rad} = daya total yang diradiasikan (W)

2.5.6 Gain [11]

Gain didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi pada suatu arah terhadap intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropik.

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

Terdapat juga *relative gain* yang didefinisikan sebagai perbandingan perolehan daya pada suatu arah yang terhadap daya dari antenna referensi. Daya masukan harus sama untuk kedua antenna.

Pengukuran gain maksimum dapat dilakukan dengan menggunakan antenna referensi dengan *gain* yang sudah diketahui (G_S) dan memiliki polarisasi yang sama dengan antenna yang akan diukur pada jarak yang ditentukan seperti pada gambar 2.7. Dari pengukuran tersebut gain maksimum antenna yang diukur dapat diperoleh dari :

$$G_T(\text{dB}) = P_T(\text{dB}) - P_S(\text{dB}) + G_S(\text{dB}) \quad (2.9)$$

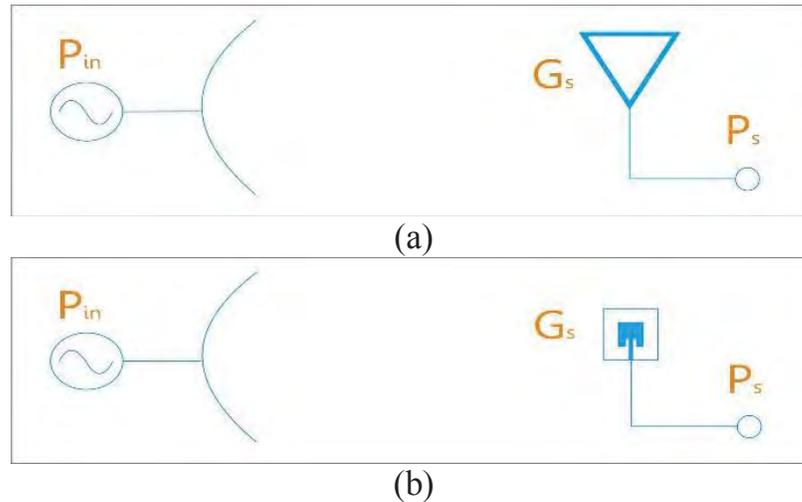
Dimana :

P_T = Daya output maksimum antenna yang diukur

P_S = Daya output maksimum antenna referensi

G_T = Gain maksimum antenna yang diukur

G_S = Gain maksimum antenna referensi



Gambar 2.7 (a) Pengukuran daya yang diterima antenna referensi (P_S) dan (b) Pengukuran daya yang diterima antenna uji (P_T)

2.5.7 VSWR dan *Return Loss* [12]

Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan yaitu tegangan yang datang dan tegangan yang direfleksikan. Bila impedansi saluran transmisi tidak *match* dengan impedansi antenna maka akan timbul refleksi. Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan (V^-) dengan tegangan yang datang (V^+) direpresentasikan sebagai koefisien refleksi (Γ). Dalam kondisi *match*, koefisien refleksi akan bernilai nol ($\Gamma = 0$). Ketika magnitudo koefisien refleksi bernilai satu ($|\Gamma| = 1$) berarti gelombang yang datang dipantulkan seluruhnya. Koefisien refleksi dituliskan pada persamaan (2.10)

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.10)$$

Dimana Z_L merupakan impedansi beban dan Z_0 adalah impedansi saluran transmisi.

Untuk memberikan nilai saat kondisi mismatch digunakan *standing wave ratio* atau yang lebih dikenal sebagai *voltage standing wave ratio* (VSWR). VSWR merupakan perbandingan tegangan maksimum dengan tegangan minimum dan dapat dituliskan sebagai :

$$\text{VSWR} = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.11)$$

Kondisi *mismatch* juga dapat dituliskan sebagai suatu nilai yang disebut *return loss* (RL) yang merupakan perbandingan daya yang dipantulkan (P_r) dengan daya yang diterima (P_i) atau :

$$RL = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_i} \right) = -10 \log |\Gamma_{in}|^2 = -20 \log |\Gamma_{in}| \quad (2.12)$$

Dimana Γ_{in} adalah koefisien refleksi input. *Return loss* pada persamaan (2.12) dalam satuan desibel (dB) dengan logaritma basis 10.

2.6 Antenna Array

Biasanya antena elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan setiap elemen tersebut menghasilkan keterarahan dan perolehan (*gain*) yang kurang baik. Pada banyak aplikasi diperlukan antena dengan keterarahan yang baik dan perolehan (*gain*) yang tinggi. Contoh aplikasi yang jauh membutuhkan karakteristik tersebut antara lain adalah WiMAX, radar, penginderaan jauh, komunikasi satelit, dan banyak lagi. Kebutuhan karakteristik ini dapat dipenuhi dengan menyusun antena dengan konfigurasi. Antena susunan ini sering disebut sebagai antena array [10]

Antena *array* adalah susunan dari beberapa antena yang identik. Dalam antena mikrostrip *patch*, yang disusun secara array adalah bagian *patch*. Medan total dari antena *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk membentuk pola yang memiliki keterarahan tertentu, diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain. Pada antena *array* dengan elemen yang identik, terdapat lima control yang dapat digunakan untuk membentuk pola antena, yaitu konfigurasi geometri, pemindahan *relative* antara elemen, amplitud eksitasi dari setiap elemen, fasa eksitasi dari setiap elemen, pola relatif dari setiap elemen.

Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, di antaranya : *linear*, *planar*, *circular*. Masing-masing konfigurasi memiliki keuntungan, misalnya *linear array* memiliki kelebihan dalam perhitungan yang tidak terlalu rumit, sedangkan *planar array* memiliki kelebihan dalam pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi.

Pada antena *array* terdapat *Array Factor* (AF) yang merupakan vektor pengali dari medan elektrik dari elemen tunggal. *Array factor* inilah yang menentukan pola radiasi dan seberapa besar tingkat daya yang diradiasikan oleh antena tersebut.

2.7 Wireless Power Transfer

Wireless power transfer (WPT) merupakan sebuah penyaluran energi dengan media udara atau tanpa kabel. Yaitu dengan menransmisikan energi listrik dari sumber listrik ke beban listrik tanpa media yang berupa kabel atau sejenisnya. *Wireless power transfer* biasa dikenal dengan WPT. Jadi dengan sistem WPT ini transmisi energi listrik menggunakan media udara bisa untuk menyalurkan energi dimana letak sumber energi listrik dan beban listrik berjauhan dan digunakan apabila tidak dimungkinkan adanya suatu koneksi kabel, sehingga energi dapat tersalurkan ke beban. Tetapi dalam penelitian, WPT masih menggunakan energi yang cukup kecil. Dan aplikasinya juga pada alat-alat yang membutuhkan energi yang cukup kecil.

Dalam dunia *wireless sensor network* (WSN), biasanya menerapkan teknologi transfer daya kabel untuk mencatu daya pada sensor. Transfer daya tanpa kabel diperlukan karena daerah cakupan WSN yang tidak dapat dijangkau dengan penransmisian melalui kabel. Sensor yang digunakan pada WSN membutuhkan suatu sumber daya yang dapat memberikan daya secara simultan. Oleh sebab itu, sumber daya yang digunakan haruslah dapat memberikan seluruh kebutuhan daya secara mandiri dari lingkungan sekitar penempatan sensor. Sumber daya ini dapat digunakan dalam waktu yang sangat lama dan tanpa harus mengganti dengan sumber daya yang baru. Antena patch panel sirkular polarized adalah salah satu perangkat yang dapat mengubah GEM di udara untuk diubah ke dalam daya listrik. Perangkat ini akan sangat berguna untuk sumber daya WSN yang diletakkan di daerah-daerah yang memiliki GEM yang berlimpah pada daerah cakupan di sekitar sensor.

2.8 RF Energy Harvesting

Akan dijelaskan bagaimana memperoleh energi (energy harvesting) dari sinyal-sinyal yang berpropagasi pada frekuensi GSM 900 MHz dan 1800 MHz yang banyak digunakan oleh masyarakat. Karena sinyal-sinyal tersebut memiliki level dayanya sendiri, maka dimungkinkan untuk memperoleh sebagian dari daya itu dengan menggunakan rectenna

Penggunaan frekuensi radio semakin meluas sejak meningkatnya penggunaan sistem selular oleh masyarakat. Dengan banyaknya perangkat selular yang digunakan, sementara perangkat selular itu menggunakan frekuensi radio, maka akan semakin banyak sinyal dalam frekuensi radio yang berpropagasi lewat udara, di mana setiap sinyal dari

setiap perangkat selular (dalam hal ini GSM 900 dan 1800MHz) memiliki level dayanya sendiri. Dari karakteristik ini muncul ide untuk memperoleh daya dari sinyal-sinyal itu untuk kemudian diolah dan disimpan bagi keperluan tertentu. Kendala yang umum dihadapi adalah rendahnya level daya sinyal dan ketersediaan area yang memiliki banyak sinyal berpropagasi. Sehingga selain menjelaskan cara memanen energi dari sinyal GSM 900 dan 1800MHz, tugas akhir ini juga dimaksudkan untuk mendorong minat pihak-pihak yang berkompeten untuk mengembangkan sistem energi harvesting, karena dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dan terbatasnya kemampuan untuk menyediakan energi yang murah, maka energi harvesting dapat menjadi salah satu alternatif untuk menopang kebutuhan energi.

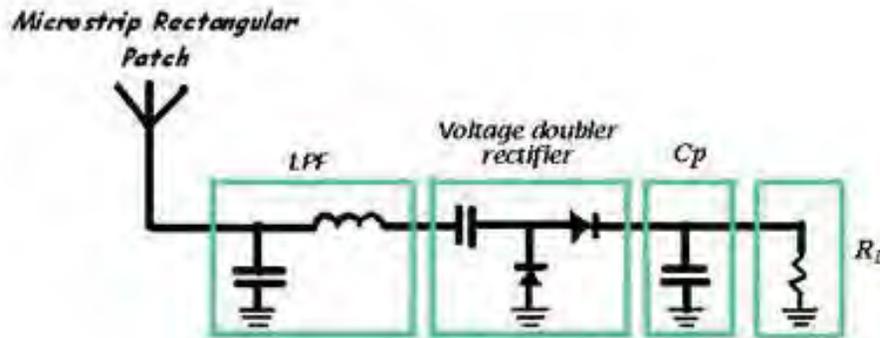
Secara garis besar, proses memanen energi GSM 900 dan 1800 MHz dapat dijelaskan dengan blok diagram berikut :



Gambar 2.8 Blok diagram RF energy Harvesting

Blok pertama yaitu RF 900 MHz menggambarkan suatu sumber frekuensi 900 MHz yang memancarkan sinyalnya lewat antena pengirim. Sinyal ini kemudian diterima oleh antena penerima dan melewati suatu *matching circuit* sehingga memenuhi persyaratan *matching impedance*. Low Pass Filter (LPF) tergabung ke dalam blok *rectifier*, yang fungsinya untuk menyaring frekuensi 900 MHz dan frekuensi yang lebih kecil. Setelah itu, sinyal melewati *rectifier* agar sinyal dalam nilai AC diubah ke nilai DC. Dan karena nilai daya dari sinyal GSM 900 MHz umumnya kecil (< -35 dB [1]) maka dibutuhkan *voltage multiplier* untuk menaikkan nilai tegangan DC yang dikeluarkan oleh *rectifier*. Tegangan DC inilah yang kemudian dapat digunakan.

Rancangan *rectenna* ditunjukkan oleh gambar berikut :



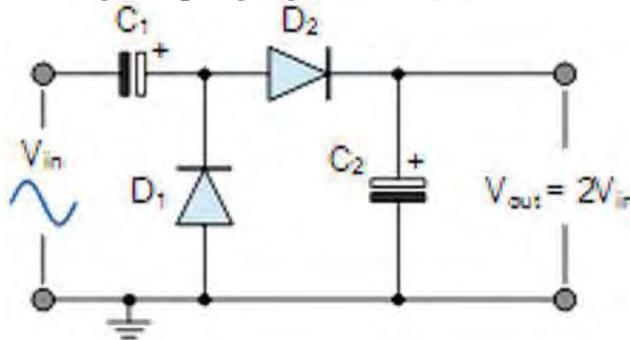
Gambar 2.9 Rancangan *rectenna* rectangular Patch[2]

Dalam rangkaian, *rectifier* selain berperan sebagai pengubah tegangan AC ke DC, juga berfungsi sebagai pengali tegangan (*doubler*). Kapasitor yang ada pada bagian *Voltage Doubler Rectifier* berfungsi sebagai *junction*, yaitu menghubungkan rangkaian jika dilewati nilai AC dan memutus rangkaian jika dilewati nilai DC. Sedangkan kapasitor pada bagian beban berguna untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran dari *rectifier*, dan resistor R_L digunakan untuk *adjust* / memaksimalkan nilai tegangan keluaran DC.

2.9 Power Harvester

Modul konversi energi adalah sebuah rangkaian *voltage doubler* yang digunakan untuk mengubah energi yang telah dipanen dari frekuensi radio di sekitar tempat menjadi tegangan DC. Tegangan output yang dihasilkan dapat mencapai 2 kali tegangan input. Rangkaian tersebut terdiri atas dua bagian, yakni dioda dan kapasitor. Sinyal input RF disalurkan pada siklus input positif diikuti siklus input negatif. Ketika siklus negatif, D1 menjadi *short circuit* dan tegangan C1 terisi hingga nilai puncak (V_{in}). Disebabkan tidak ada jalur bagi C1 untuk *discharge*, maka tegangan C1 tetap terisi penuh dan berperan sebagai penyimpan tegangan. Pada saat yang sama, dioda D2 menghantar arus melalui D1 melakukan pengisian kapasitor C2. Ketika siklus positif, dioda D1 bersifat *open circuit* sedangkan dioda D2 bersifat *short circuit*. Karena tegangan kapasitor C1 telah sama dengan nilai tegangan input, tegangan kapasitor C2 terisi hingga dua kali tegangan input. Dengan kata lain,

tegangan yang disimpan pada kapasitor input ketika siklus pertama ditransfer ke output kapasitor pada siklus selanjutnya sehingga tegangan yang dihasilkan pada output kapasitor sekitar dua kali tegangan puncak dari sumber RF dikurangi drop tegangan dioda [5].



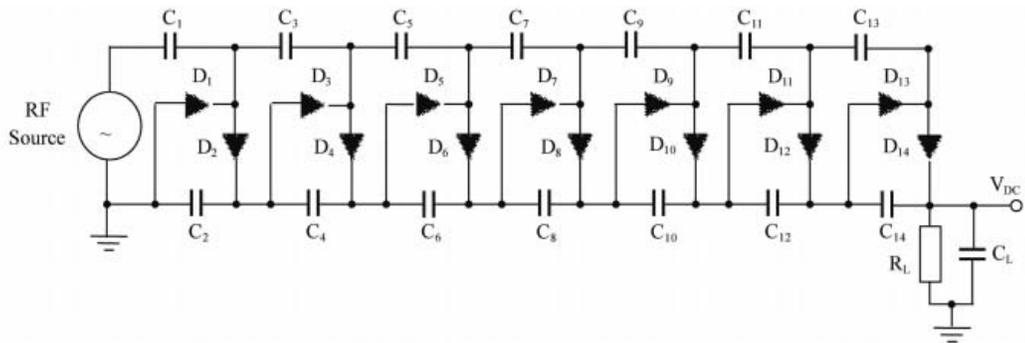
Gambar 2.10 Rangkaian pengali tegangan

Yang paling menarik dari fitur rangkaian ini adalah ketika beberapa stages ini dihungkan secara seri. Metode ini mirip dengan prinsip penyusunan baterai secara seri dimana akan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Tiap *stage* dapat dipandang sebagai sebuah baterai dengan tegangan rangkaian terbuka (*open circuit*) V_o , hambatan dalam R_o . Dengan beban R_L , maka tegangan *output* yang dihasilkan adalah [5]

$$V_{out} = \frac{V_o}{R_o + R_L} R_L \quad (2.20)$$

Ketika mempunyai jumlah n *stage* dan dihubungkan dengan beban R_L , tegangan *output* yang dihasilkan adalah [5]

$$V_{out} = \frac{nV_o}{nR_o + R_L} R_L \quad (2.21)$$



Gambar 2.11 Rangkaian power harvester 7-stage

Jumlah tingkatan (*stage*) dari voltage doubler memberi efek terbesar pada tegangan keluar. Sedangkan untuk kapasitansi pada tiap *stage* dan akhir rangkaian memberi efek pada kecepatan respon *transient* dan stabilitas sinyal keluaran. Agar osilasi atau *ripple* tegangan *output* tidak terlalu besar, maka nilai kapasitansi diperhitungkan yakni konstanta waktunya supaya jauh lebih kecil dari pada periode sinyal *input* [8].

$$1/2\pi CR_L \ll f_0 \quad (2.22)$$

Rangkaian pengali tegangan pada perancangan ini menggunakan dioda Schottky. Fitur yang menarik dari dioda ini adalah dapat meneruskan tegangan rendah, kebocoran substrat rendah, *switching* yang sangat cepat dan menggunakan perangkat non simetris dioda dimana membolehkan arus searah mengalir. Pada masing-masing stage berperan sendiri-sendiri menghasilkan pengali tegangan [5].

Penelitian pengaruh penambahan *stage power harvester* terhadap kenaikan tegangan telah dilakukan oleh Daniel W. Harrist dalam thesisnya [9]. Pada rangkaian *power harvester* yang digunakan pada penelitian digunakan dioda jenis schottky dan kapasitor dengan nilai yang bervariasi antara lain 1 nF, 0.1 nF dan 0.47 nF. Dari penelitian yang telah dilakukan oleh didapatkan hasil seperti tabel di bawah ini

Tabel 2.1 Hasil pengukuran tegangan power harvester [14]

<i>Stage capacitor (nF)</i>	<i>Store capacitor (nF)</i>	<i># Stages</i>	<i>Antena</i>	<i>Tegangan DC (V)</i>
1	1,5	6	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~70
1	1,5	5	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~60
1	1,5	4	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~40
1	1,5	6	$\frac{1}{4}$ whip w/o GP	~20
1	1,5	5	$\frac{1}{4}$ whip w/o GP	~10
1	1,5	4	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~5
0,1	1,5	5	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~50
0,47	1,5	6	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~100
0,47	1,5	5	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~90
0,47	1,5	4	$\frac{1}{4}$ whip w/ GP	~40

2.10 Gelombang Radio GSM

GSM (*global system for mobile communication*) adalah merupakan jaringan telekomunikasi bergerak yang dibangun dan dioperasikan oleh operator telekomunikasi untuk melayani sistem komunikasi publik dalam satu area tertentu. Teknologi GSM saat lebih banyak digunakan untuk komunikasi seluler dengan berbagai macam layanannya. Dalam kehidupan sehari-hari kita lebih mengenal *Handphone* (HP) sebagai aplikasi teknologi GSM yang paling populer.

2.10.1 Teknik Modulasi

Modulasi dapat didefinisikan sebagai proses penyesuaian sinyal informasi yang akan dikirimkan agar sesuai dengan karakteristik saluran transmisi tertentu dengan memperhatikan tujuan dan efisiensi pengiriman sinyal tersebut. Efisiensi yang dimaksud mencakup dimensi fisik, absorpsi daya, pemakaian bidang frekuensi, ketahanan terhadap gangguan dari luar. Umumnya modulasi melibatkan penerjemahan baseband sinyal pesan yang dilewatkan dalam bandpass sinyal yang memiliki frekuensi jauh lebih tinggi dari sinyal informasi. Bandpass sinyal tersebut yang disebut dengan sinyal termodulasi dan baseband sinyal yang disebut dengan sinyal pemodulasi. Modulasi dapat dilakukan dengan memodulasi amplitude, fase, atau frekuensi.

Sistem komunikasi GSM menggunakan teknik modulasi Gaussian Filtered Minimum Shift Keying (GMSK). Untuk mengetahui bagaimana teknik modulasi GMSK diterapkan maka akan dibahas terlebih dahulu modulasi MSK dimana GMSK diturunkan dari MSK. MSK adalah skema modulasi fase secara kontinyu dimana pada sinyal pembawanya tidak terdapat diskontinuitas pada fase dan frekuensi berubah pada saat zero crossing pada pembawa. MSK terlihat unik berdasarkan hubungan antara frekuensi logika 1 dan 0. Perbedaan antara frekuensi logika 1 dan 0 selalu sama dengan setengah pesat data yang dikirim.

2.10.2 Frekuensi

Di Eropa, pada awalnya GSM didesain untuk beroperasi pada band frekuensi 900 MHz, dimana untuk frekuensi uplinknya digunakan frekuensi 890-915 MHz, dan frekuensi downlinknya menggunakan frekuensi 935-960 MHz. Dengan bandwidth sebesar 25 MHz yang digunakan ini ($915-890=960-935=25$ MHz), dan lebar kanal sebesar 200 KHz, maka akan didapat 125 kanal, dimana 124 kanal digunakan untuk voice dan 1 kanal untuk signaling.

Pada perkembangannya, jumlah kanal sebanyak 124 kanal tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan yang disebabkan pesatnya penambahan jumlah subscriber. Untuk memenuhi kebutuhan kanal yang lebih banyak ini, maka regulator GSM di Eropa mencoba menggunakan tambahan frekuensi untuk GSM pada band frekuensi di range 1800 MHz, yaitu band frekuensi pada 1710-1785 sebagai frekuensi uplink dan frekuensi 1805-1880 MHz sebagai frekuensi downlinknya. Kemudian GSM dengan band frekuensi 1800MHz ini dikenal dengan sebutan GSM 1800. Pada GSM 1800 ini tersedia bandwidth sebesar 75 MHz. Dengan

lebar kanal tetap sama seperti GSM 900, yaitu 200 KHz, maka pada GSM 1900 akan tersedia kanal sebanyak 375 kanal.

Alokasi spektrum untuk komunikasi GSM di Indonesia dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Alokasi Spektrum Frekuensi 900 MHz [6]

Operator	Band Frekuensi (Uplink / Downlink (MHz))
PT. Indosat	890 – 900 / 935 - 945
PT. Telekomunikasi Selular	900 – 907.5 / 945 – 952.5
PT. XL Axiata	907.5 – 915 / 952.5 - 960

Tabel 2.3 Alokasi Spektrum Frekuensi 1800 MHz [6]

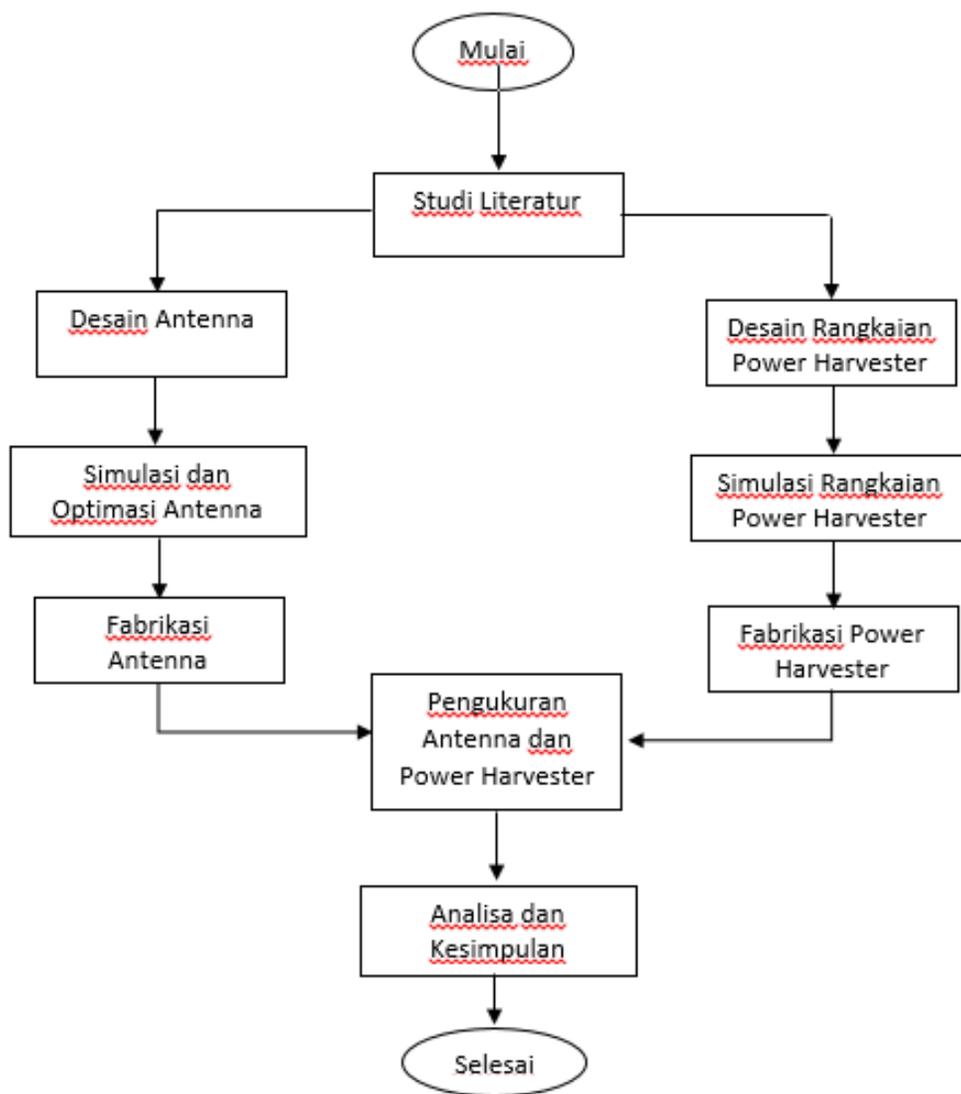
Operator	Band Frekuensi (Uplink / Downlink(MHz))
PT. XL Axiata	1710 – 1717.5 / 1805 – 1812.5
PT. Indosat	1717.5 – 1722.5 / 1812.5 – 1817.5
PT. Telekomunikasi Selular	1722.5 – 1730 / 1817.5 – 1825
PT. Natrindo TS	1730 – 1745 / 1825 – 1840
PT. Telekomunikasi Selular	1745 – 1750 / 1840 – 1845
PT. Indosat	1750 – 1765 / 1845 – 1860
PT. Telekomunikasi Selular	1765 – 1775 / 1860 – 1870
PT. Hutchinson CP	1775 – 1785 / 1870 – 1880

Salah satu keunggulan menggunakan komunikasi GSM adalah jumlah pemancar yang tersebar luas di seluruh wilayah Indonesia sehingga kualitas sinyal yang diterima lebih baik. Frekuensi GSM pada tabel di atas juga digunakan sebagai standar frekuensi GSM di sebagian besar negara di dunia sehingga dimungkinkan roaming di mancanegara.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Dalam bab ini akan dibahas mengenai metodologi penelitian dari awal hingga akhir dalam merancang antenna. Tahapan tahapan yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk diagram alir pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

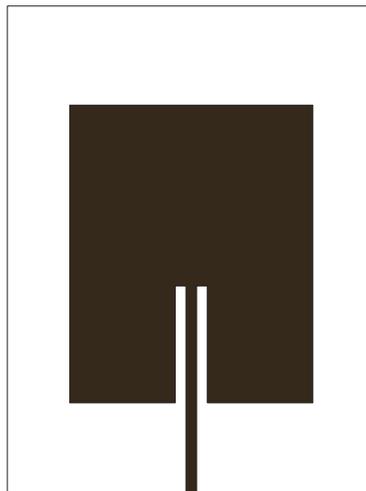
3.1 Studi Literatur

Sebelum melakukan perancangan, terlebih dahulu dipelajari teori penunjang yang tepat untuk memudahkan perancangan antenna dan *RF Power Harvester*. Literatur yang dipakai diantaranya adalah buku *Antenna Theory Third Edition : Analysis and Design* oleh Balanis C dan buku *Antenna Theory and Design 2nd edition* oleh Warren L. Stutzman sebagai teori dasar tentang antenna. Kemudian digunakan buku *RF Circuit design Theory and Application* oleh Reinhold Ludwig Pavel Bretchko sebagai teori dasar *impedance matching*, Smith Chart dan dasar-dasar elektronika frekuensi tinggi.

Terdapat juga beberapa literatur dari penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas tentang antenna, teknik *feeding* dan *power harvester* untuk aplikasi *energy harvesting*.

3.2 Desain Antena

Desain antenna penerima merujuk pada desain antenna yang dipaparkan oleh [2]. Desain antenna menggunakan substrat FR4 dengan epsilon 4,15 berukuran 100 mm x 125 mm x 1,6 mm. Antena penerima yang digunakan mempunyai frekuensi kerja 900 MHz dan 1800MHz. Alasan dipilih jenis antenna tersebut adalah karena cukup simple untuk digunakan pada sistem *electromagnetic harvesting*. Pada rentang frekuensi kerja tersebut diharapkan antenna memiliki parameter $S_{11} \leq -10$ dB, $VSWR \leq 2$.



Gambar 3.2 Desain antenna

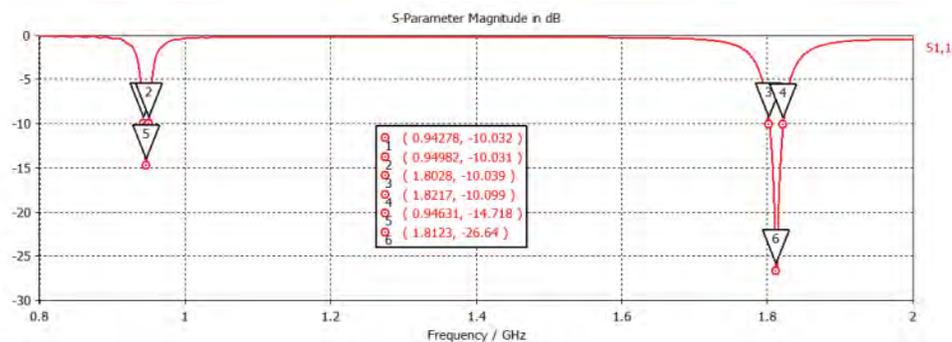
Tabel 3.1 Dimensi Antena

Lsub	125mm
Wsub	100 mm
L	78.5 mm
L _f	29.71 mm
W	66 mm
W _f	2.8 mm

Tabel 3.1 menunjukkan dimensi awal antena, terdapat beberapa variabel antena yang tidak dicantumkan pada [2] jarak antara slot 1 dengan tepi bawah *patch* sehingga modifikasi antena diperlukan agar dapat diketahui pengaruh dari tiap variabel antena terhadap unjuk kerja antena.

3.2.1 Simulasi Desain Antena

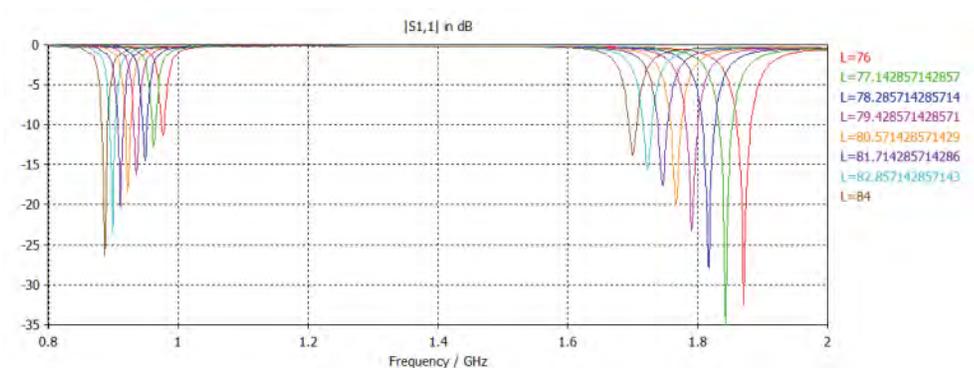
Desain antena disimulasikan menggunakan *software CST Studio Suite* 2011. *Patch* dasar dari antena mikrostrip yang digunakan merupakan antena dengan *patch* persegi panjang yang bekerja pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz dengan dimensi 78.5 mm x 66 mm.. Dari hasil simulasi didapatkan data berupa parameter unjuk kerja antena yang akan dianalisis pada penelitian ini antara lain parameter S11, VSWR, pola radiasi, *bandwidth*, dan *gain*.



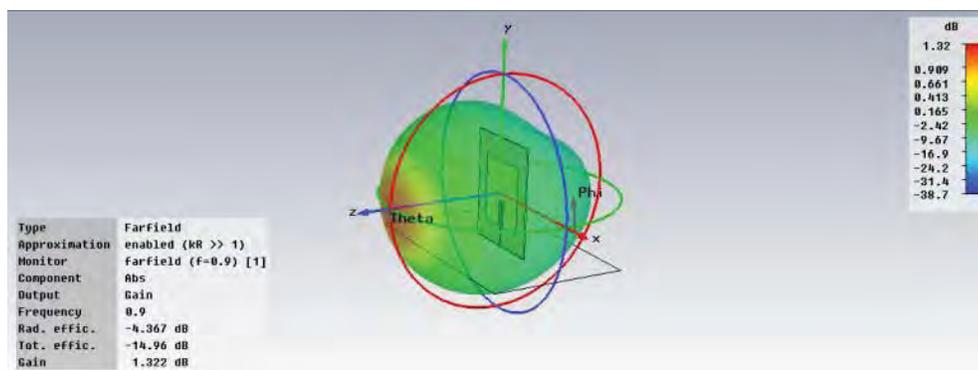
Gambar 3.3 grafik s11 pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz

3.2.2 Optimasi Desain Antena

Optimasi desain antena dilakukan dengan melakukan modifikasi ukuran tiap variabel antena pada *range* tertentu untuk mengetahui karakteristik dari tiap variabel antena. Setelah diketahui karakteristik tiap variabel antena, dimensi antena dimodifikasi hingga mendapatkan unjuk kerja antena sesuai dengan kriteria dan akan dipilih dimensi antena yang mempunyai hasil unjuk kerja antena paling baik. Pada *software CST Studio Suite 2011* fungsi untuk mengubah-ubah variabel antena tersedia pada fitur *parameter sweep*. Variabel antena yang akan dilakukan modifikasi antara lain ukuran substrat, *patch*, slot, *feed line*, *ground* serta jarak antar slot.



Gambar 3.4 Contoh hasil modifikasi dengan *parameter Sweep*



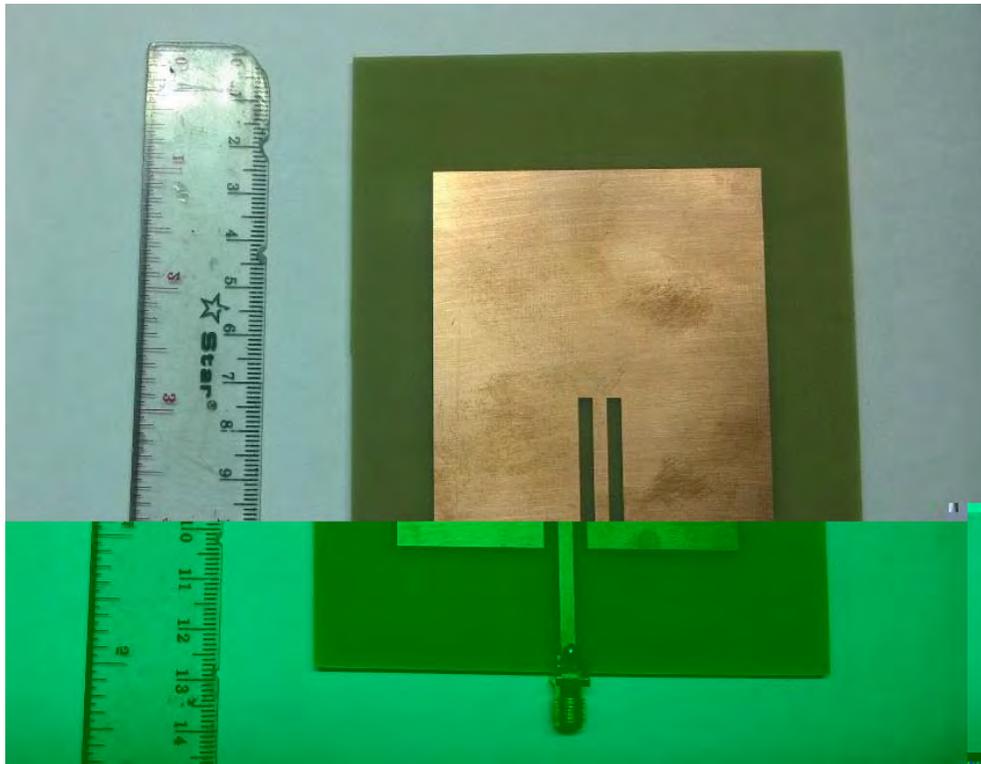
Gambar 3.5 Hasil Simulasi Pola radiasi dari antenna dalam bentuk 3D

Pada Gambar 3.4 ditunjukkan contoh modifikasi dimensi slot yaitu panjang dan lebarnya dan dari gambar tersebut dapat dilihat terjadi

perubahan kualitas unjuk kerja antenna bergantung dimensi slot. Modifikasi dari variabel antenna akan dibahas lebih lanjut pada bab IV. Dari Gambar 3.4 ditunjukkan polaradiasi dari antenna.

3.2.3 Fabrikasi Desain Antena

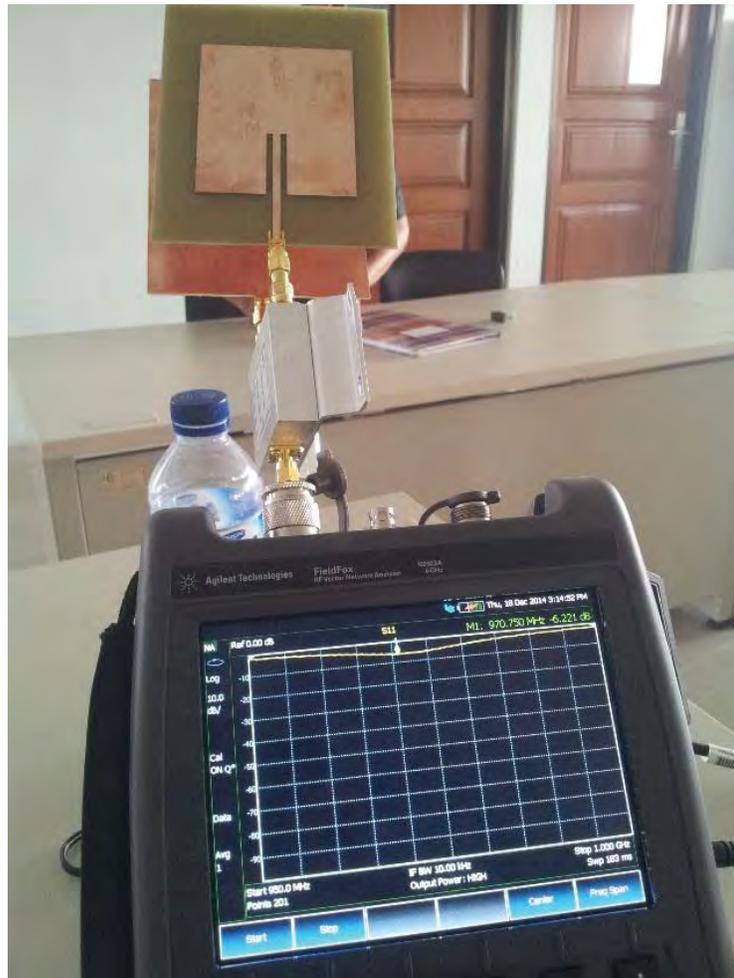
Setelah dilakukan optimasi pada desain antenna, proses fabrikasi antenna dilakukan. Fabrikasi desain antenna didasarkan penuh pada hasil simulasi *CST Studio Suite 2011*. Pada ditampilkan Gambar 3.6 hasil fabrikasi antenna yang didasarkan pada hasil simulasi, ujung saluran transmisi menggunakan konektor SMA *female*. Antena yang telah difabrikasi kemudian dilakukan pengukuran terhadap parameter unjuk kerjanya



Gambar 3.6 Hasil Fabrikasi Antena

3.2.4 Pengukuran Antena

Perancangan antena didasarkan penuh dengan menggunakan program simulasi *CST Microwave Studio 2011* karena program ini mampu memberikan simulasi yang tepat dalam merancang antena.. Antena yang telah difabrikasi kemudian dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameternya. Contoh set up pengukuran S-Parameter dan impedansi *input* dari antena yang telah difabrikasi ditampilkan pada gambar 3.6 .



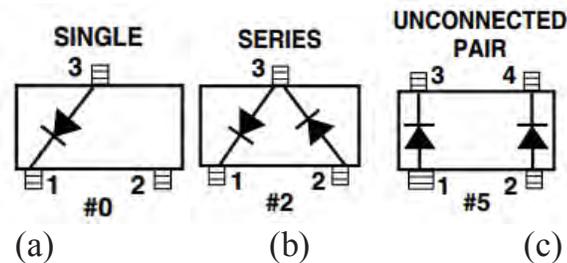
Gambar 3.7 Contoh set up pengukuran S-Parameter dari antena

3.3 Power Harvester

Power Harvester berfungsi sebagai alat pemanen daya yang mengubah tegangan AC hasil keluaran antenna penerima menjadi tegangan DC. *Power Harvester* yang dirancang merupakan rangkaian penyearah penuh yang terdiri dari dioda dan kapasitor. Sistem kerja dari *RF Power Harvester* sebagaimana telah dijelaskan pada Bab II yakni untuk menyearahkan sinyal AC dari antenna menjadi DC sekaligus menguatkannya dimana besar tegangan yang dihasilkan bergantung pada jumlah *stage* penguatannya.

3.3.1 Pemilihan Komponen

Rangkaian *power harvester* terdiri dari dioda dan kapasitor. Pada penelitian ini digunakan tipe diode yang berbeda. Jika dalam penelitian Harrist [9] menggunakan jenis diode HSMS 2820, sedangkan dalam penelitian ini digunakan dioda tipe HSMS 2822. Diode HSMS 2822 juga merupakan dioda schottky seri HSMS 282x seperti dioda HSMS 2820. Adapun perbedaan diantara keduanya hanya dalam banyaknya jumlah dioda dalam satu IC. Jika HSMS 2820 hanya ada satu diode dalam satu IC, namun dalam seri HSMS 2822 terdapat dua diode seri dalam satu IC.. Jenis dioda ini memiliki *forward voltage* dan resistansi yang rendah dan dirancang untuk frekuensi di bawah 4 GHz. Konfigurasi dioda schottky HSMS 282x ditunjukkan pada Gambar 3.7.

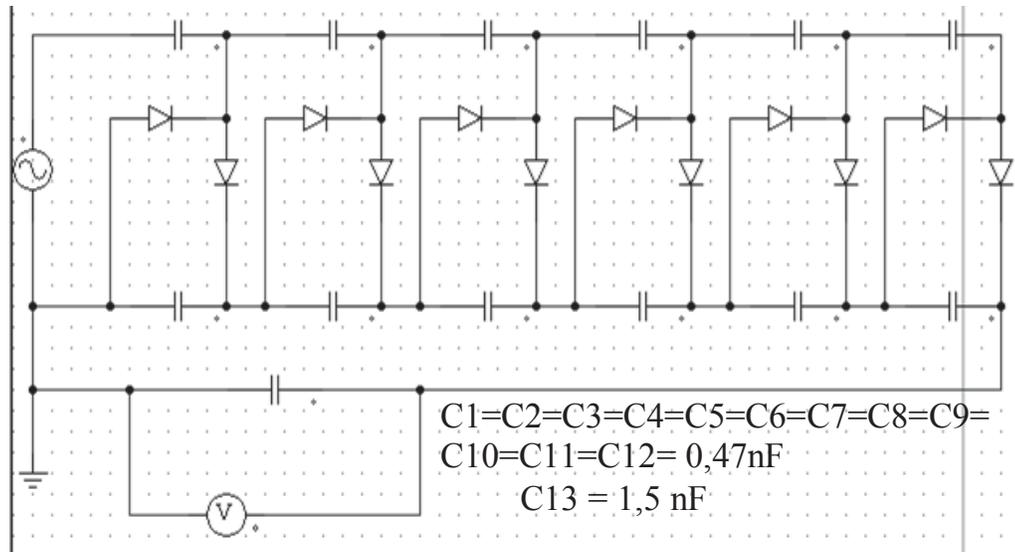


Gambar 3.8 Dioda seri HSMS 282x (a)HSMS 2820 (b)HSMS 2822 (c)HSMS 2855

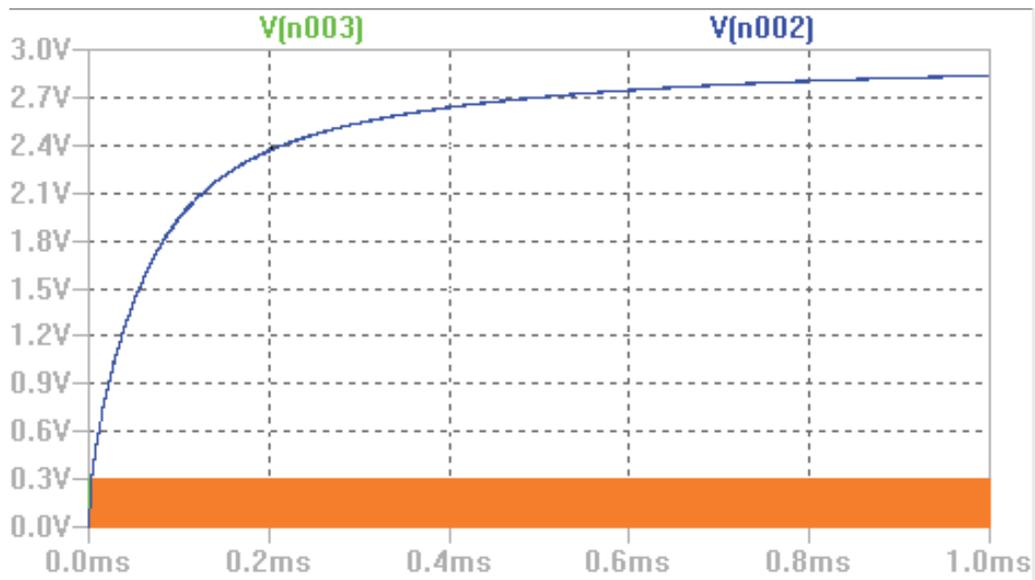
3.3.2 Desain dan Simulasi Rangkaian Power Harvester

Perencanaan pembuatan *power harvesting* (PH) ini mengacu pada penelitian thesis dari Harrist, 2001 [9]. Jumlah *stage* yang menghasilkan tegangan maksimal adalah enam. Dengan nilai komponen kapasitor 0,47 nF di tiap *stage* nya dan kapasitor beban 15 nF yang diletakkan di ujung rangkaian *power harvester* sebagai penstabil tegangan keluaran. *RF*

Power Harvester disimulasikan dengan 6 tingkat penguatan seperti pada Gambar 3.8 sehingga didapatkan hasil simulasi seperti pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Desain rangkaian power harvester



Gambar 3.10 Contoh hasil simulasi rangkaian *power harvester*

3.3.3 Fabrikasi *Power Harvester*

Setelah dilakukan simulasi dan hasil simulasi sesuai dengan kriteria yang diinginkan yakni dapat menyearahkan dan menguatkan tegangan, proses fabrikasi dilakukan. Fabrikasi dari Rangkaian *power harvester* menggunakan konektor N untuk terminalnya seperti ditunjukkan Gambar 3.10



Gambar 3.11 *Power harvester* dengan konektor N

3.4 Instrumen Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada semua perangkat yang telah difabrikasi dalam penelitian ini dengan menggunakan beberapa alat ukur dan alat penunjang pengukuran.

3.4.1 Vector Network Analyzer (VNA)

VNA merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter antenna. VNA yang digunakan adalah Agilent N9923A FieldFox RF yang beroperasi pada 2 MHz sampai 6 GHz.

Dalam penelitian ini, VNA digunakan untuk mengukur S-Parameter antenna, VSWR antenna, Impedansi *input* antenna dan impedansi *input RF Power Harvester*.

Langkah-langkah pengukuran menggunakan VNA yaitu :

1. Menyalakan perangkat VNA dan ditunggu hingga keadaan siap
2. Kalibrasi *port* VNA dengan menggunakan *calibration kit*
3. Sambungkan konektor SMA pada antenna atau *RF Power Harvester* dengan *port* VNA menggunakan *port adapter*
4. Atur frekuensi kerja dengan menekan tombol Freq/Dist.
5. Tekan tombol measure dan pilih format parameter yang ingin diukur. Format Log Mag untuk menampilkan S11-Parameter dalam desibel, VSWR untuk menampilkan VSWR dan smith untuk menampilkan data dalam smith chart.
6. Hasil pengukuran dapat disimpan ke dalam bentuk *softcopy* dengan format gambar (.png) maupun tabel (.csv)



Gambar 3.12 Agilent N9923A FieldFox RF VNA

3.4.2 Spectrum Analyzer

Spectrum Analyzer yang digunakan untuk pengukuran adalah BK Precision 2658A *handheld spectrum analyzer* yang mampu bekerja pada rentang frekuensi 50 kHz hingga 8.5 GHz. *Spectrum Analyzer* digunakan untuk mengukur level daya yang diterima oleh antenna.



Gambar 3.13 BK Precision 2658A *handheld spectrum analyzer*

Spectrum Analyzer digunakan untuk mengukur level daya yang diterima oleh antena. Langkah-langkah dalam mengukur level daya adalah :

1. Menyalakan perangkat *Spectrum Analyzer* dan ditunggu hingga keadaan siap
2. Atur rentang frekuensi yang akan diukur level dayanya
3. Sambungkan port pada *Spectrum Analyzer* dengan antena yang akan diuji.
4. Setelah disambungkan, *Spectrum Analyzer* akan menunjukkan level daya yang diterima oleh antena

Dari hasil pengukuran level daya yang diterima antena, *Spectrum Analyzer* dapat digunakan untuk mengukur *gain* dan pola radiasi antena.

3.4.2.1 *Spectrum Analyzer untuk Pengukuran Gain Antena*

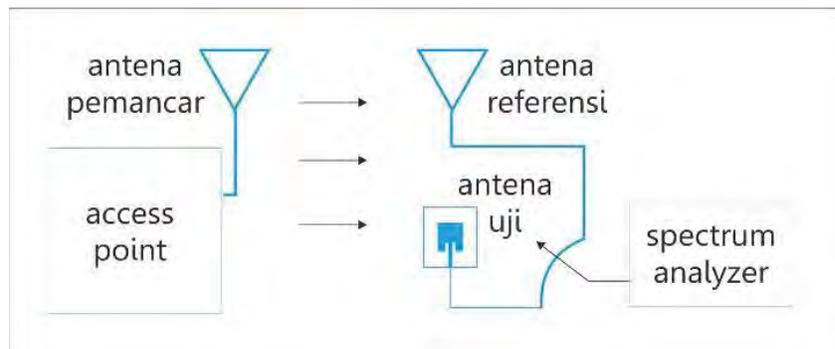
Untuk mengetahui *gain* antena yang dibuat dilakukan pengukuran dengan cara membandingkan antena yang akan diukur dengan antena referensi yang telah diketahui *gain*-nya seperti pada gambar 3.13 . Besarnya *gain* dapat diketahui dengan menggunakan

persamaan (2.9). Skema pengukuran *gain* ditampilkan dalam gambar 3.13.

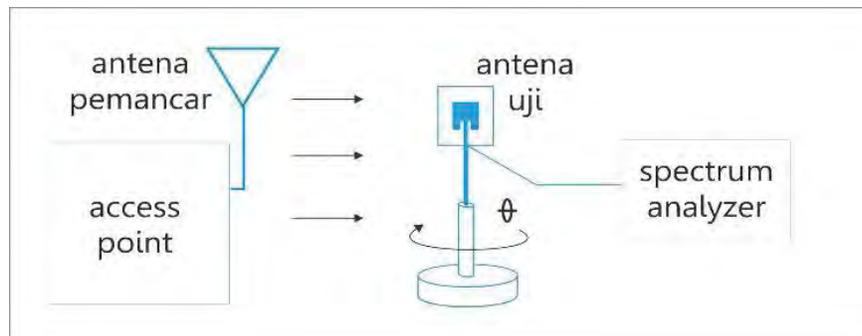
3.4.2.2 *Spectrum Analyzer untuk Pengukuran Pola Radiasi Antena*

Pengukuran pola radiasi antenna yang dilakukan terdiri pola radiasi bidang-E dan pola radiasi bidang-H. Pola radiasi bidang-E yaitu pola radiasi komponen-komponen medan listrik sedangkan pola radiasi bidang-H yaitu pola radiasi komponen-komponen medan magnet.

Untuk pola radiasi, pengukuran dilakukan dengan membuat variasi terhadap sudut θ dari 0° sampai 360° dengan step 10° dan penunjukkan *spectrum analyzer* dicatat kemudian digambar pola radiasi pada diagram polar.



Gambar 3.14 Skema pengukuran *gain* antenna



Gambar 3.15 Skema pengukuran pola radiasi

BAB IV

PENGUKURAN DAN ANALISA

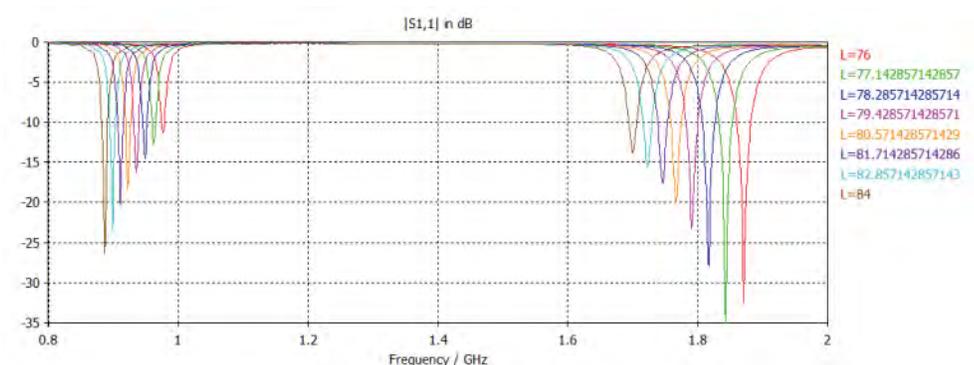
Pada bab ini akan dilakukan pembahasan parameter antenna metamaterial dengan menggunakan program CST studio. Untuk menentukan antenna bekerja pada frekuensi yang di inginkan, maka akan ada beberapa parameter yang akan di ubah-ubah sehingga didapat karakteristik antenna yang dapat bekerja pada frekuensi 935 MHz dan 1820 MHz. Pada setiap tahapan simulasi akan dijelaskan agar dapat mencapai hasil yang maksimal. Beberapa parameter antenna yang akan dirubah adalah:

- Panjang Patch (L)
- Lebar Patch (W)
- Dielektrik (b)

4.1 Analisis Pengaruh Parameter Antena Microstrip Pada Substrat FR4

4.1.1 Pengaruh Parameter L Antena

Pada parameter L antenna microstrip ini, yang akan dilakukan adalah merubah parameter sebanyak 8 kali pada panjang patch (L) antenna yaitu 76 mm, 77.1 mm, 78.2 mm, 79.4 mm, 80.5 mm, 81.7 mm, 82.85mm, dan 84mm dengan selisih tiap dimensi yaitu 1.1mm. Berikut adalah gambar hasil simulasi S11 parameter.



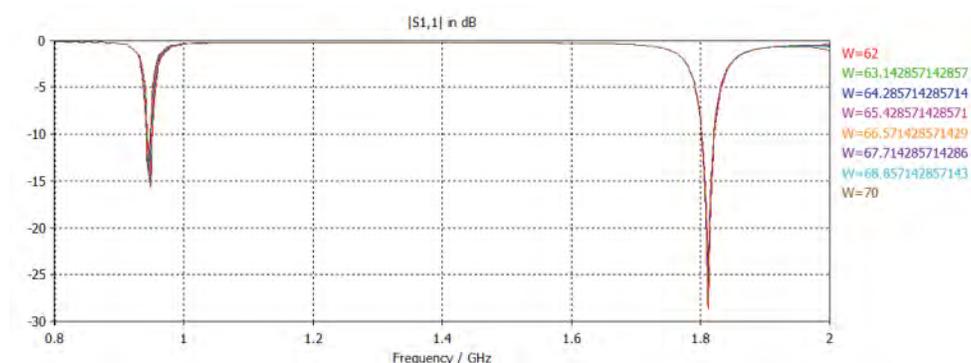
Gambar 4.1 Pengaruh Parameter L pada Antena

Pada hasil perubahan parameter yang didapat, dapat kita simpulkan bahwa parameter L mempengaruhi hasil S-parameter. Dapat kita amati return loss maupun frekuensi kerja berubah-ubah. Semakin kecil radius dalam antenna maka frekuensi kerja semakin bergeser ke kanan artinya frekuensi kerja semakin besar, tetapi nilai return loss nya semakin bertambah. Sedangkan semakin besar radius dalam antenna didapat return loss yang semakin bagus, tetapi frekuensi kerja antenna juga semakin bergeser dari yang frekuensi yang diinginkan.

Untuk hasil yang terbaik didapat pada radius dalam antenna dengan dimensi 78.5 mm, dapat dilihat pengaruh pada S11 parameter, didapat nilai return loss -15.762 dB pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 935MHz dan -27.3 dB pada frekuensi 1820MHz

4.1.2 Pengaruh Parameter W Antena

Pada parameter W antenna microstrip ini, yang akan dilakukan adalah merubah parameter sebanyak 8 kali pada lebar patch (W) antenna yaitu 62 mm, 63.3 mm, 64.2 mm, 65.4 mm, 66.5 mm, 67.7 mm , 68.8 mm ,dan 70 mm dengan selisih tiap dimensi yaitu 1.3 mm. Berikut adalah gambar hasil simulasi S11 parameter.



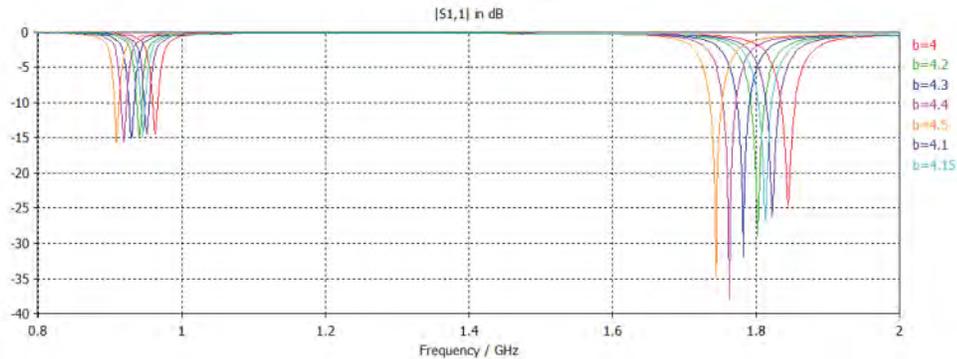
Gambar 4.2. Pengaruh Parameter W pada Antena

Pada Hasil perubahan dapat terlihat bahwa hasil parameter sweep tidak bergtu signifikan untuk perubahan parameter W.

Untuk hasil yang terbaik didapat pada panjang feeding antenna dengan dimensi 66 mm, dapat dilihat pengaruh pada S11 parameter, didapat nilai return loss -15.762 dB pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 935 MHz dan -27.3 dB pada frekuensi kerja 1820 MHz

4.1.3 Pengaruh Parameter b Antena

Pada parameter b antena microstrip ini, yang akan dilakukan adalah merubah parameter sebanyak 6 kali pada dielektrik (b) antena yaitu 4, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dengan selisih tiap dimensi yaitu 0.1. Berikut adalah gambar hasil simulasi S11 parameter.



Gambar 4.3. Pengaruh Parameter b pada Antena

Pada hasil perubahan parameter yang didapat, dapat disimpulkan bahwa parameter b antena mempengaruhi hasil S-parameter. Dapat kita amati perubahan pada return loss dan frekuensi kerja berubah – ubah. Pada saat dielektrik antena sebesar 4 mm return loss yang didapat -14.401 dB, pada frekuensi kerja 962MHz hanya bergeser sedikit dari frekuensi yang di inginkan dan -24.247 dB, pada frekuensi kerja 1843MHz juga bergeser sedikit dari frekuensi yang di inginkan. Tentu hal ini akan mempengaruhi kinerja antena.

Untuk hasil yang terbaik didapat pada dielektri dengan konstanta 4.15, dapat dilihat pengaruh pada S11 parameter, didapat nilai return loss -14.622dB pada frekuensi kerja yang diinginkan untuk 946 MHz dan -26.246dB pada frekuensi kerja 1.8124 GHz

4.2 Analisis Data Hasil Simulasi Antena Microstrip pada Substrat FR4

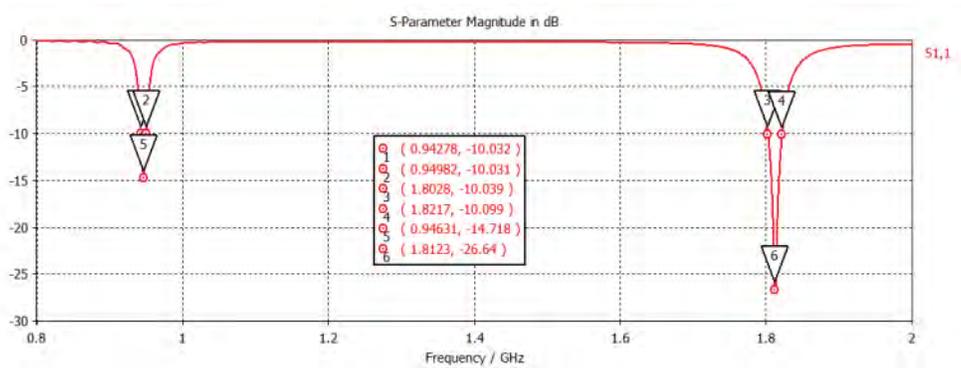
4.2.1 Analisis Return Loss

Pada sub bab ini akan dijelaskan pentingnya return loss dalam perancangan simulasi antena ini. Nilai return loss sangat mempengaruhi kinerja antena dimana akan menentukan frekuensi kerja dengan nilai return loss di bawah -10 dB. Agar pada saat di fabrikasi bisa meminimalisir kesalahan.

Pada gambar 4.4 dapat dilihat hasil grafik return loss pada substrat FR4. Dimana pada sumbu x rentang frekuensi mulai dari 800MHz sampai 2 GHz, pada sumbu y rentang return loss mulai dari 0 dB sampai dengan -22 dB. Dapat dilihat return loss yang dihasilkan bernilai -20.774 pada frekuensi 935MHz dan., nilai return loss sesuai dengan parameter yang diinginkan yaitu kurang dari -10dB.

Kita bisa menentukan bandwidth dari simulasi tersebut, bandwidth bisa dihitung dari -10 dB dengan frekuensi kerja 1.5754 GHz. Sehingga didapat bandwidth sebagai berikut.

$$BW_p = \frac{F_U + F_L}{F_C} \times 100\%$$



Gambar 4.4. Hasil Grafik Return Loss FR4

Pada rumus tersebut F_U merupakan frekuensi tertinggi pada saat return loss bernilai -10 dB, dan F_L merupakan frekuensi terendah pada return loss -10 dB. F_C merupakan frekuensi tengah antara F_U dan F_L . F_U bernilai 949.82MHz dan F_L bernilai 942.78 MHz, sedangkan F_C bernilai 946.31Hz. Sehingga nilai bandwidth.

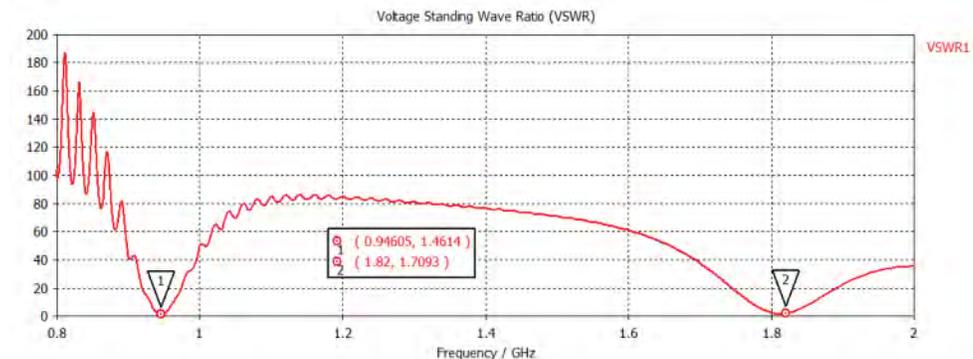
$$BW = F_U - F_L = 949.82 - 942.78 = 7.04 \text{ Mhz}$$

$$BW_p = \frac{949.82 - 942.78}{946.31} \times 100\% = 1 \%$$

Jadi bandwidth yang dihasilkan dari grafik return loss diatas adalah 7.04 MHz atau memiliki nilai BW_p sebesar 1 %.

4.2.2 Analisis VSWR

VSWR merupakan salah satu parameter antenna yang mempengaruhi daya pantul dan daya datang. Apabila VSWR bernilai 1 maka antenna akan meneruskan daya yang datang secara sempurna ke beban, sehingga antenna tidak memiliki daya pantul ke sumber. Jika nilai VSWR semakin besar maka semakin besar pula daya yang akan terpantul ke sumber. Jadi nilai VSWR harus kurang 2. Berikut hasil grafik VSWR dari simulasi.

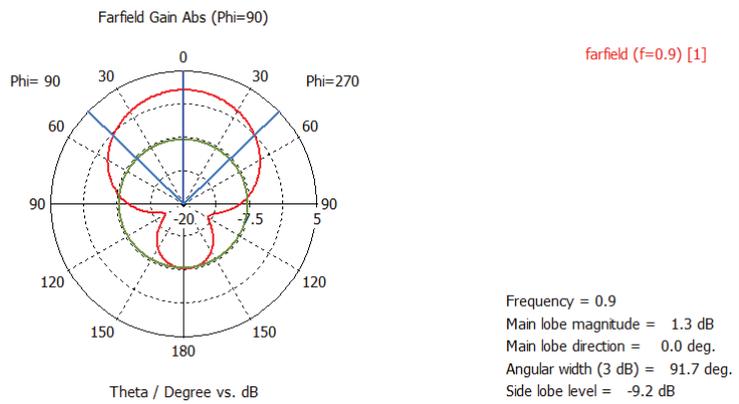


Gambar 4.5. Hasil Grafik VSWR FR4

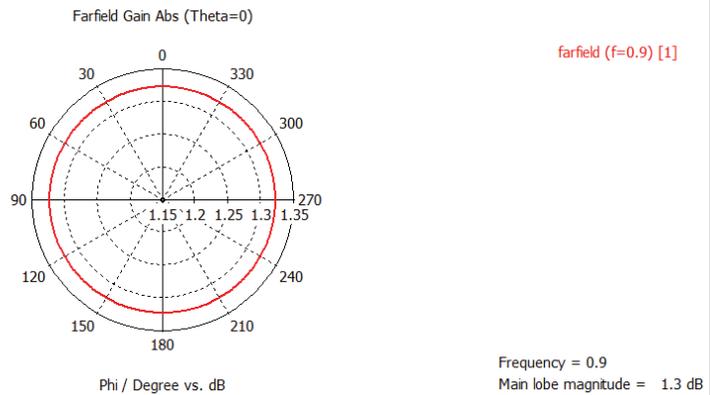
Dapat kita amati dari gambar 4.5, nilai VSWR pada frekuensi 946.05MHz adalah 1.4614 sedangkan untuk frekuensi 1.82GHz adalah 1.7093 yang artinya nilai VSWR tersebut memenuhi parameter yang diinginkan. Yaitu nilai VSWR harus kurang dari 2, agar kinerja antenna metamaterial optimal.

4.2.3 Analisis Pola Radiasi

Pola radiasi dari simulasi antenna mikrostrip berbahan substrat FR4 bisa dilihat dari gambar 4.6. Dapat dilihat nilai directivity adalah 1.3 dBi.



(a)

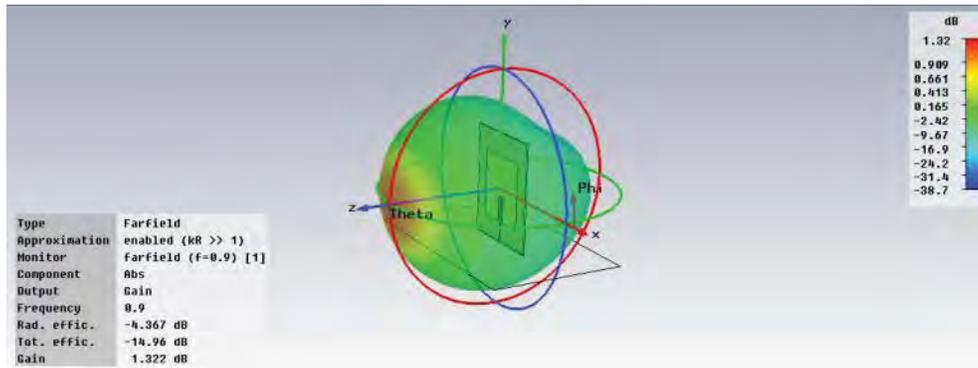


(b)

Gambar 4.6. (a) dan (b) Plot Pola Radiasi pada Bidang Polar

4.2.4 Analisis Gain

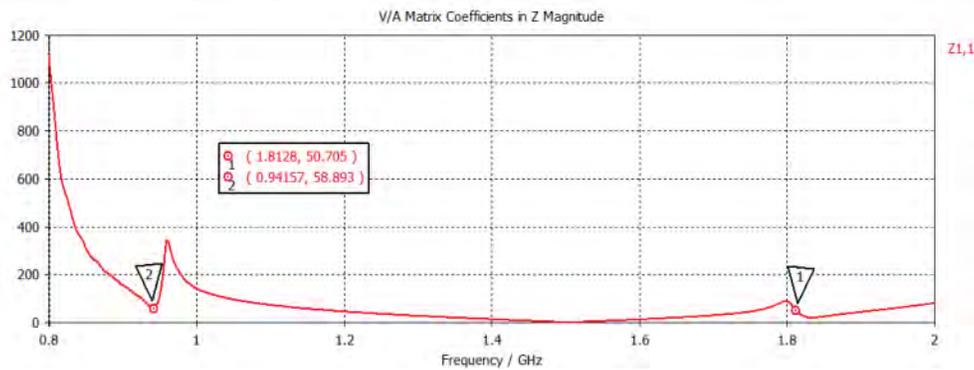
Analisis gain antenna pada simulasi ditunjukkan pada gambar 4.7, tampak pada gambar 4.7 gain terbesar berada pada kiri atas antenna dan bawah kanan antenna. Gain terbesar bernilai 1.32dB.



Gambar 4.7. Plot 3D Antena Microstrip

4.2.5 Analisis Impedansi Input

Impedansi merupakan parameter penting pada antena, karena impedansi mempunyai pengaruh untuk *match* antara antena dengan konektor. Nilai impedansi yang baik adalah mendekati 50 Ohm pada frekuensi yang diinginkan.



Gambar 4.8. Hasil Grafik Impedansi Input

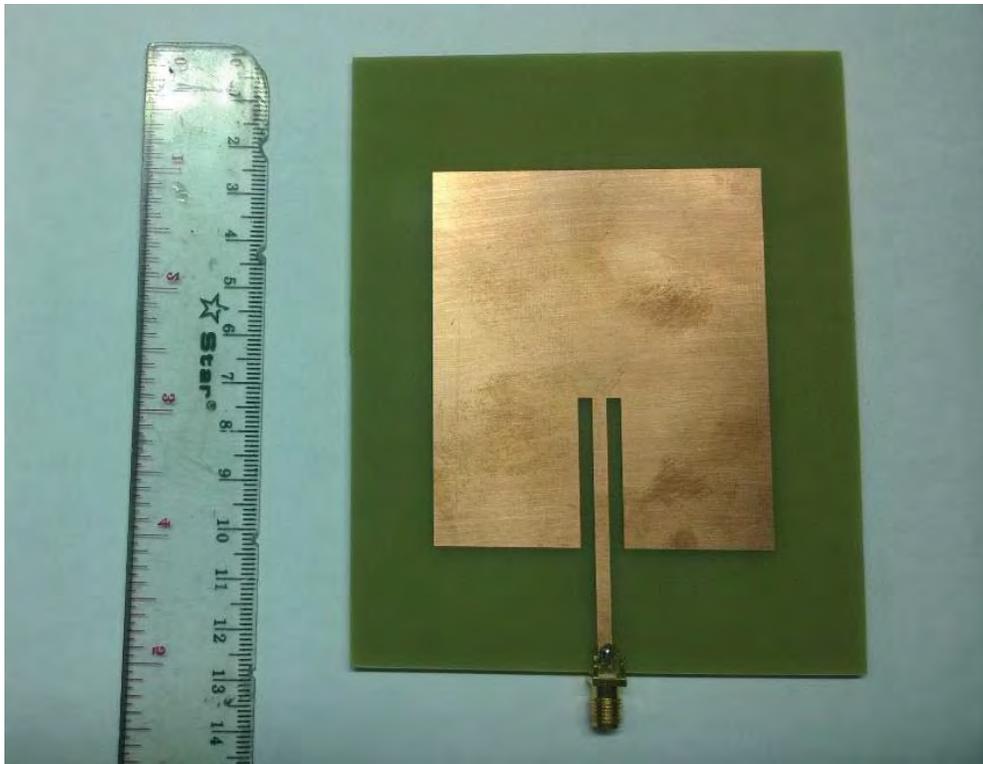
Dapat dilihat pada gambar 4.8, dimana sumbu x rentang frekuensi mulai dari 0.8 GHz sampai 2 GHz, dan sumbu y dengan rentang impedansi 0 Ω sampai 1200 Ω . Impedansi yang dihasilkan frekuensi 941MHz adalah 58.893 Ω , sedangkan untuk frekuensi kerja 1.8128GHz adalah 50.705 Ω

Hasil impedansi input pada simulasi desain antena bisa di simpulkan cukup baik karena nilai impedansi yang di dapat pada frekuensi 941MHz adalah 58.893 Ω dan pada frekuensi 1800 MHz adalah 50.705, cukup mendekati 50 Ω .

4.3 Analisis Data Hasil Pengukuran Antena

4.3.1 Analisis Data Hasil Pengukuran Single Antena dengan Substrat FR4

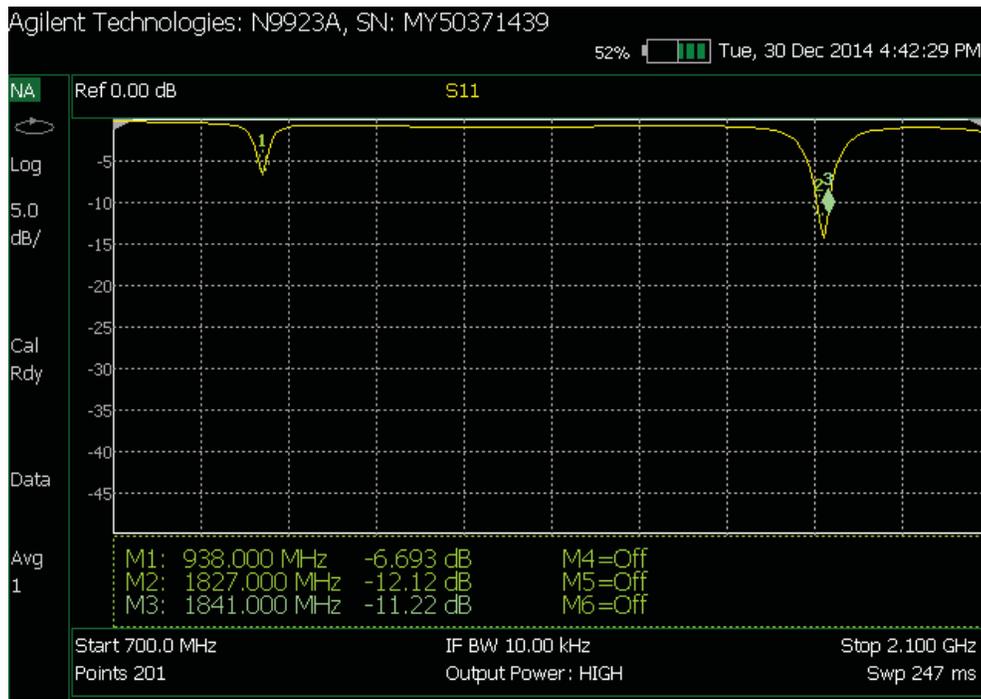
Pada sub bab ini akan di analisis beberapa parameter antena hasil pengukuran. Antena yang di ukur adalah antena hasil fabrikasi berdasarkan geometri hasil simulasi. Penggunaan alat ukur berupa *network analyzer*, dan pengukuran di lakukan pada lab AJ404. Berikut adalah gambar hasil fabrikasi antena microstrip.



Gambar 4.9. Hasil Fabrikasi Antena Microstrip

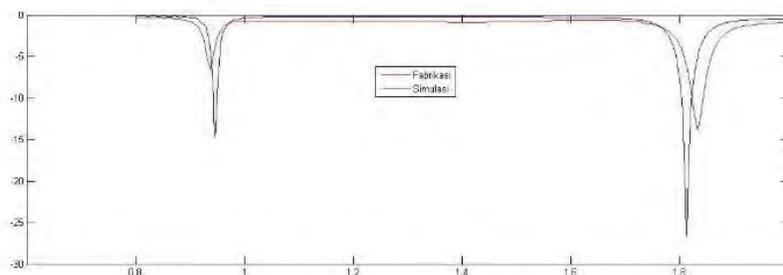
4.3.1.1 Analisis Hasil Pengukuran Return Loss

Pengukuran return loss hasil fabrikasi antena microstrip 935MHz dan 1820MHz ini menggunakan alat *Network Analyzer* pada lab AJ404 jurusan teknik elektro ITS. Berikut adalah hasil pengukuran pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Hasil Pengukuran Antena Microstrip

Pada gambar 4.11 adalah perbandingan hasil simulasi antena dengan hasil pengukuran antena. Dapat dilihat pada hasil simulasi nilai return loss lebih baik daripada nilai return loss hasil pengukuran,. Nilai return loss pada pengukuran adalah -14.52 dB untuk frekuensi 1835 MHz dan nilai return loss pada hasil simulasi adalah -26.64 dB untuk frekuensi 1835 MHz. Kedua hasil return loss tersebut sudah memenuhi parameter untuk VSWR. Bisa dilihat bandwidth antena microstrip berdasarkan frekuensi 1827MHz, ditentukan dari nilai return loss yang terukur di bawah -10 dB dimana F_L bernilai 1827 MHz dan F_U bernilai 1841 MHz dan F_C bernilai 1834 MHz Untuk lebih jelasnya bisa di lihat gambar 4.11.



Gambar 4.11. Perbandingan Return Loss Hasil Pengukuran dan Simulasi

Dari gambar 4.11 dapat dihitung juga bandwidth antenna hasil pengukuran sebagai berikut.

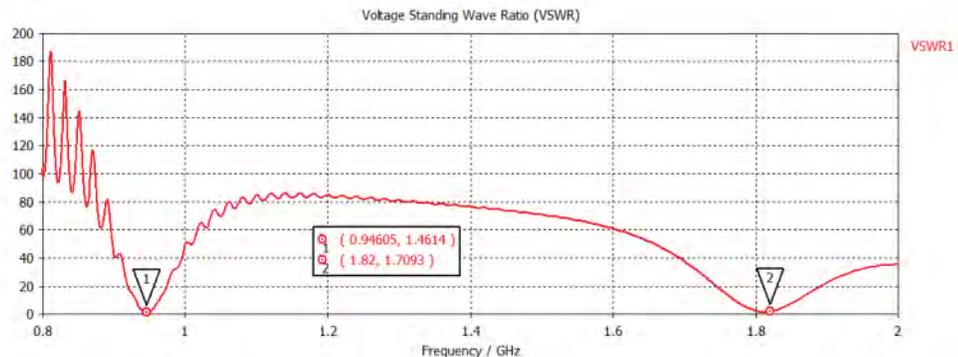
$$BW = F_U - F_L = 1841 - 1827 = 14 \text{ Mhz}$$

$$BW_p = \frac{1841 - 1827}{1834} \times 100\% = 0.7 \%$$

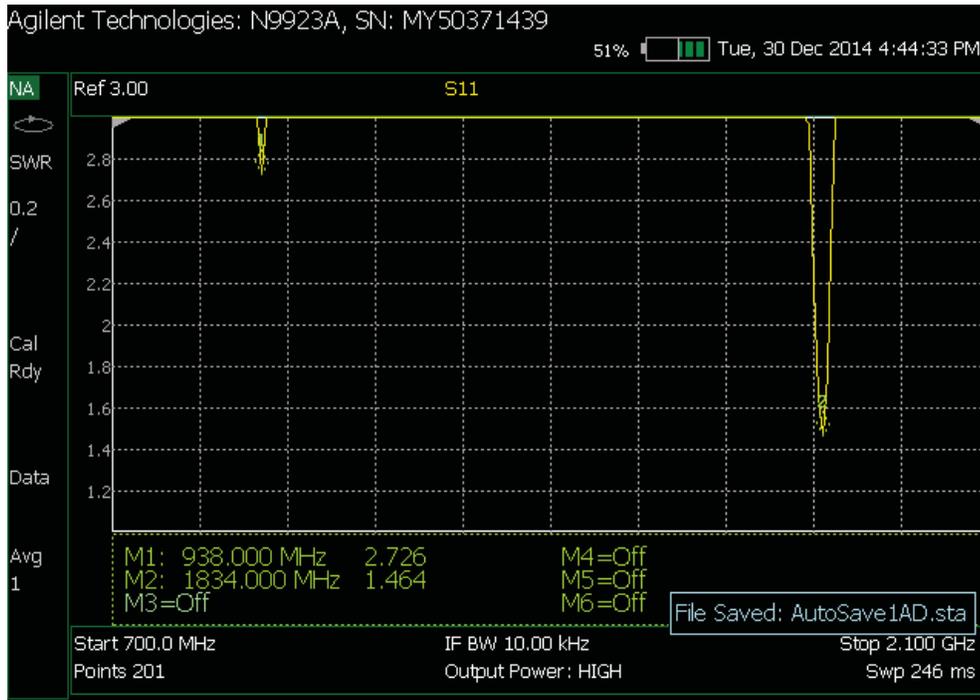
Maka bandwidth yang dihasilkan antenna metamaterial dengan substrat FR4 dari pengukuran menggunakan *network analyzer* adalah 50 MHz atau dengan nilai BW_p sebesar 0.7 %.

4.3.1.2 Analisis Hasil Pengukuran VSWR

Dari pengukuran menggunakan *network analyzer* ini didapatkan juga parameter VSWR. Pada gambar 4.12 (a) adalah nilai VSWR pada simulasi dari data tersebut di dapatkan nilai VSWR sebesar 1.4614 pada frekuensi 946MHz dan 1.7093 pada frekuensi 1.82GHz. Sedangkan 4.12 (b) adalah nilai parameter VSWR pada pengukuran, di dapatkan nilai VSWR sebesar 2.726 pada frekuensi 938 MHz dan 1.464 pada frekuensi 1834 MHz. Dari data hasil pengukuran tersebut antenna microstrip ini dapat menangkap frekuensi GSM cukup baik.



(a)

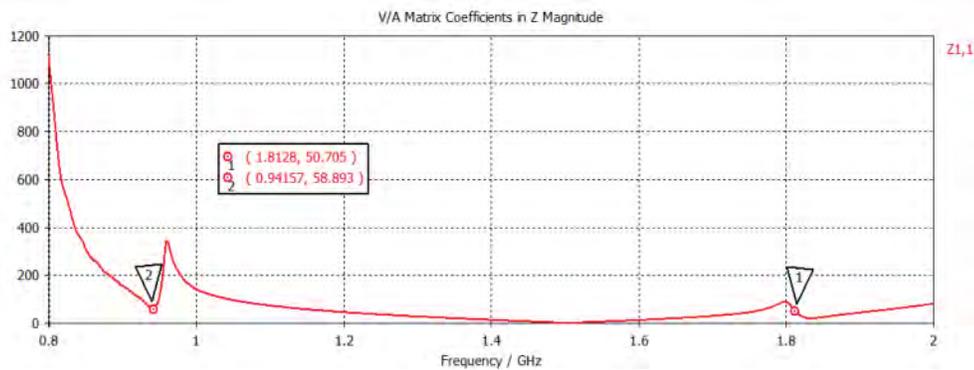


(b)

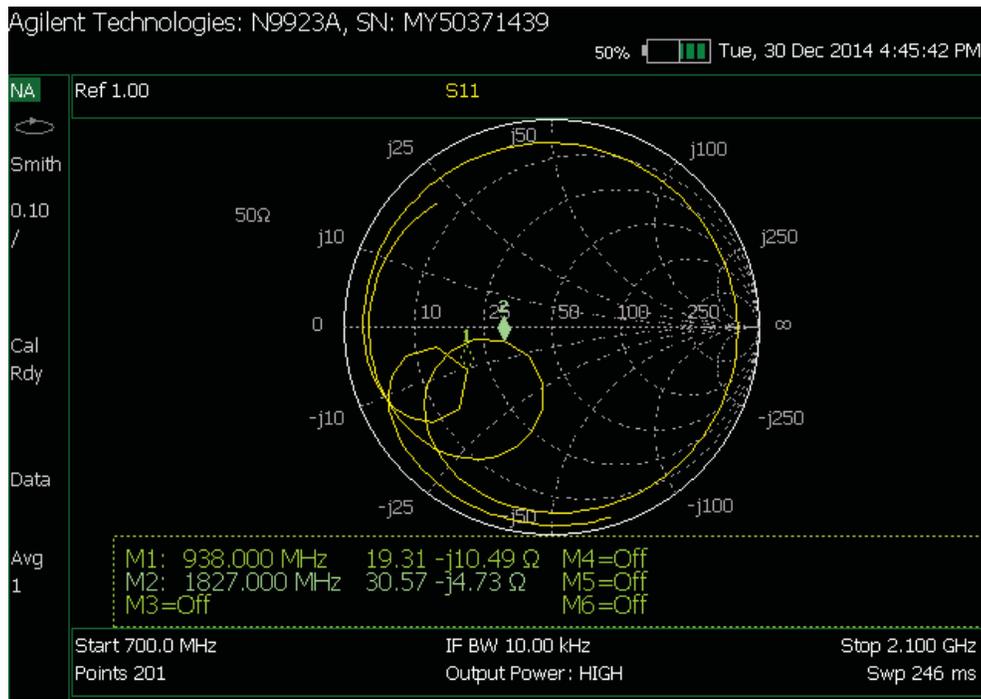
Gambar 4.12. Hasil Grafik VSWR (a) Pada Simulasi (b) Pada Pengukuran

4.3.1.3 Analisis Hasil Pengukuran Impedansi

Nilai impedansi yang baik adalah mendekati 50 Ohm pada frekuensi yang diinginkan. Dari gambar 4.13 (a) didapat nilai 58.893 Ω pada frekuensi 941MHz dan 50.705 Ω pada frekuensi 1812.8MHz, sedangkan pada gambar 4.13 (b) hasil pengukuran didapat nilai 19.31 Ω pada frekuensi 938MHz dan 30.57 Ω pada frekuensi 1827MHz.



(a)

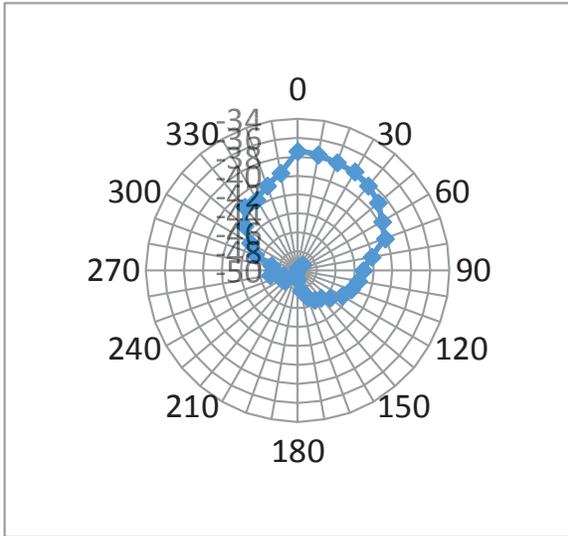


(b)

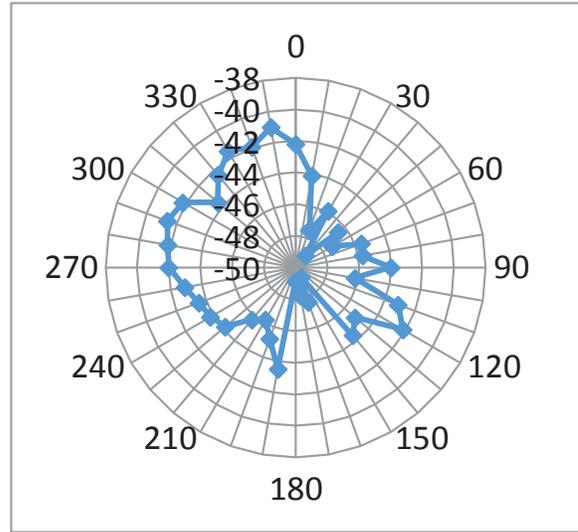
Gambar 4.13. Hasil Grafik Impedansi (a) Pada Simulasi (b) Pada Pengukuran

4.3.1.4 Analisis Hasil Pengukuran Pola Radiasi pada 900 MHz dan 1800 MHz

Pengukuran pola radiasi dilakukan di labB306 jurusan elektro ITS, pengukuran dilakukan dengan menggunakan *spectrum analyzer* dan *signal generator*. Pada gambar 4.14 dan 4.15 dapat diketahui pola radiasi pada frekuensi 935 MHz dan 1827MHz. Pada gambar 4.14 adalah pola radiasi pada bidang horizontal. Sedangkan pada gambar 4.15 adalah pola radiasi pada bidang vertikal.

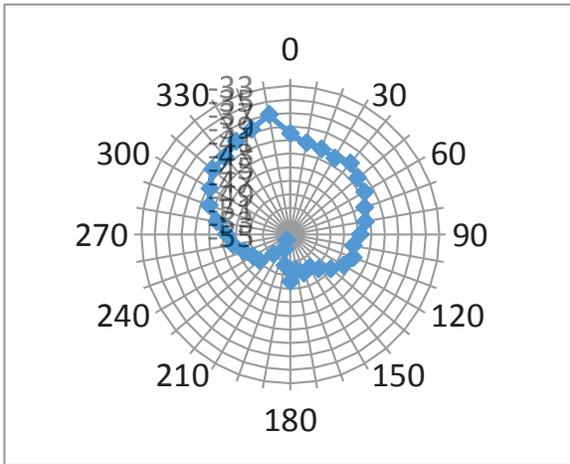


(a)

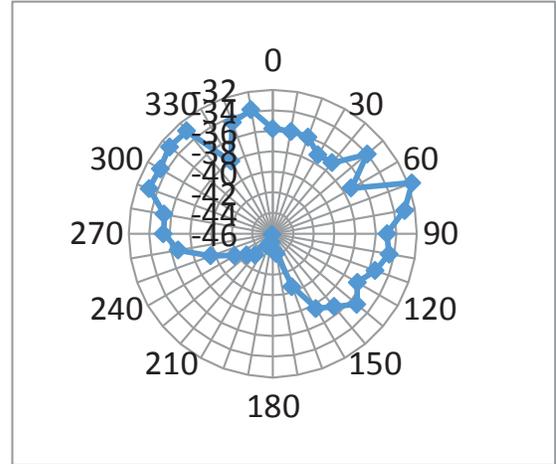


(b)

Gambar 4.14. Pola Radiasi Bidang Horizontal a) frekuensi 900MHz b) frekuensi 1800MHz



(a)

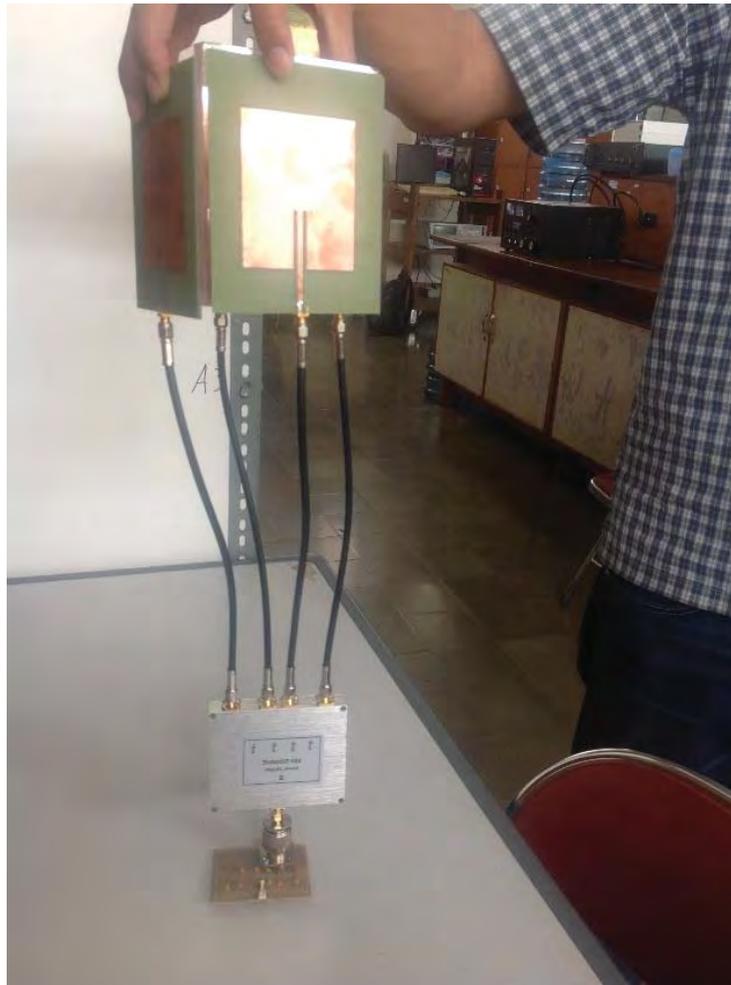


(b)

Gambar 4.15. Pola Radiasi Bidang Vertikal a) frekuensi 900 MHz b) frekuensi 1800MHz

4.3.2 Analisis Data Hasil Pengukuran Antena array dengan Substrat FR4

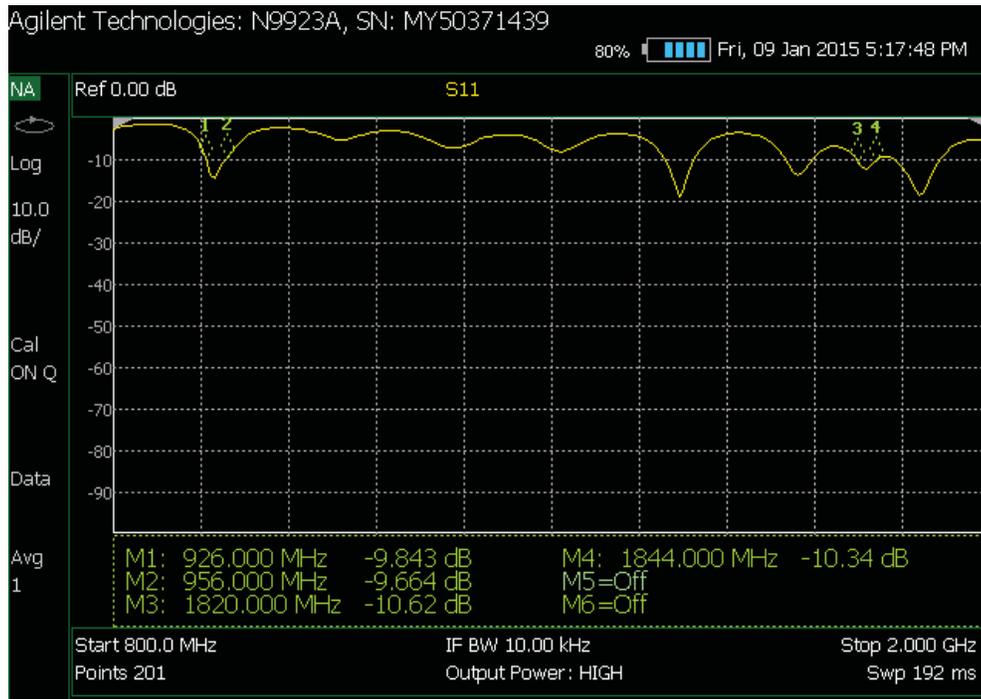
Pada sub bab ini akan di analisis beberapa parameter antena hasil pengukuran. Antena yang di ukur adalah antena hasil fabrikasi berdasarkan geometri hasil simulasi. Penggunaan alat ukur berupa *network analyzer*, dan pengukuran di lakukan pada lab AJ404. Berikut adalah gambar hasil fabrikasi antena microstrip.



Gambar 4.16. Hasil Fabrikasi Antena Microstrip

4.3.2.1 Analisis Hasil Pengukuran Return Loss

Pengukuran return loss hasil fabrikasi antenna microstrip 935MHz dan 1820MHz ini menggunakan alat *Network Analyzer* pada lab AJ404 jurusan teknik elektro ITS. Berikut adalah hasil pengukuran pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Hasil Pengukuran Return Loss Antena Array

Dapat dilihat dari hasil pengukuran di atas bahwa pada antenna array nilai return loss lebih baik daripada single antenna,. Nilai return loss pada pengukuran adalah -13.4 dB untuk frekuensi 941 MHz dan nilai return loss pada hasil simulasi adalah -12,6 dB untuk frekuensi 1835 MHz. Kedua hasil return loss tersebut sudah memenuhi parameter untuk VSWR. Bisa dilihat bandwidth antenna microstrip berdasarkan frekuensi 938MHz, ditentukan dari nilai return loss yang terukur di bawah -10 dB dimana F_L bernilai 926 MHz dan F_U bernilai 956 MHz dan F_C bernilai 941 MHz

Dari data di atas dapat dihitung juga bandwidth antenna hasil pengukuran sebagai berikut.

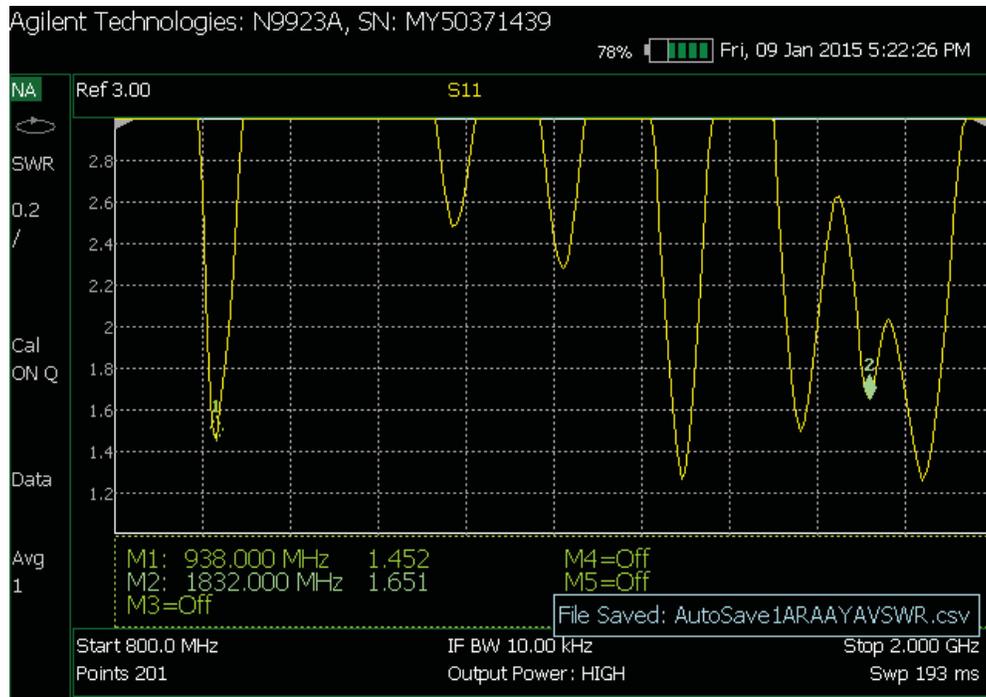
$$BW = F_U - F_L = 956 - 926 = 30 \text{ Mhz}$$

$$BW_p = \frac{956 - 926}{941} \times 100\% = 3.1 \%$$

Maka bandwidth yang dihasilkan antenna metamaterial dengan substrat FR4 dari pengukuran menggunakan *network analyzer* adalah 30 MHz atau dengan nilai BW_p sebesar 3.1 %.

4.3.2.2 Analisis Hasil Pengukuran VSWR

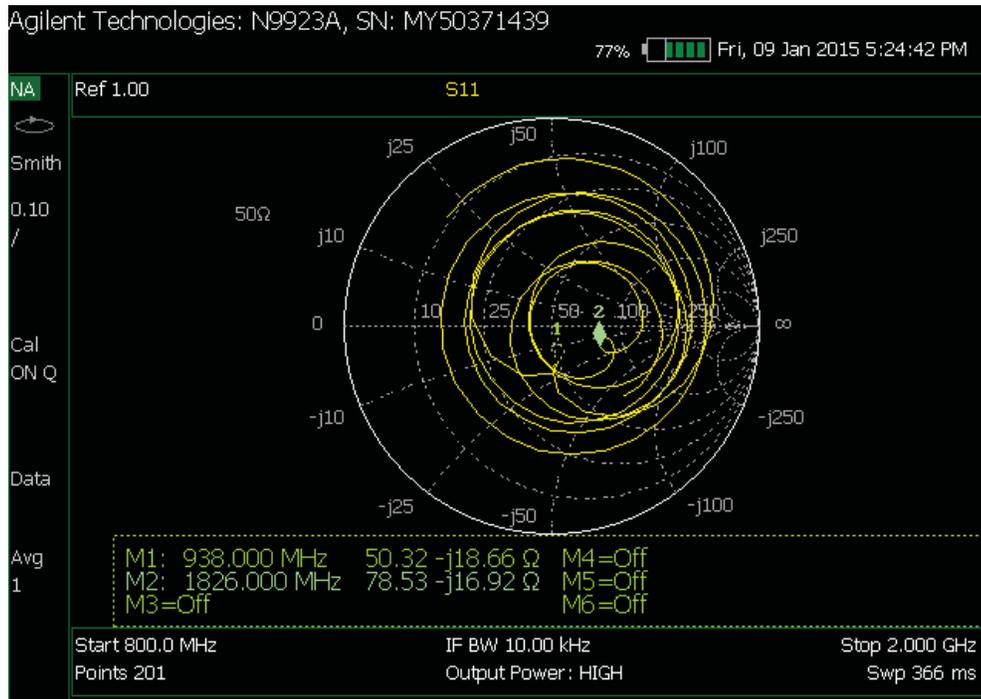
Dari pengukuran menggunakan *network analyzer* ini didapatkan juga parameter VSWR. Pada gambar 4.18 (a) adalah nilai parameter VSWR pada pengukuran, di dapatkan nilai VSWR sebesar 1.452 pada frekuensi 938 MHz dan 1.651 pada frekuensi 1832 MHz. Dari data hasil pengukuran tersebut antenna microstrip ini dapat menangkap frekuensi GSM cukup baik.



Gambar 4.18. Hasil Grafik VSWR Pada Pengukuran

4.3.2.3 Analisis Hasil Pengukuran Impedansi

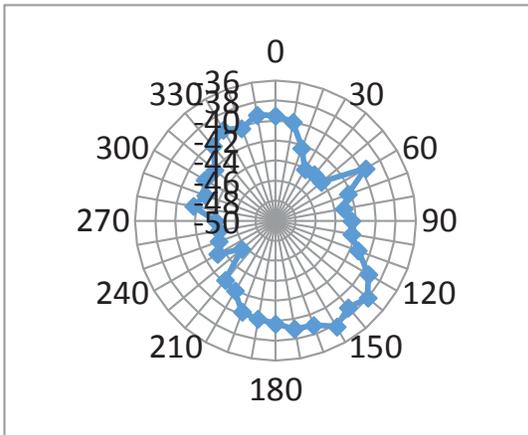
Nilai impedansi yang baik adalah mendekati 50 Ohm pada frekuensi yang diinginkan. Dari gambar 4.19 hasil pengukuran didapat nilai 50.32 Ω pada frekuensi 938MHz dan 78.53 Ω pada frekuensi 1826MHz.



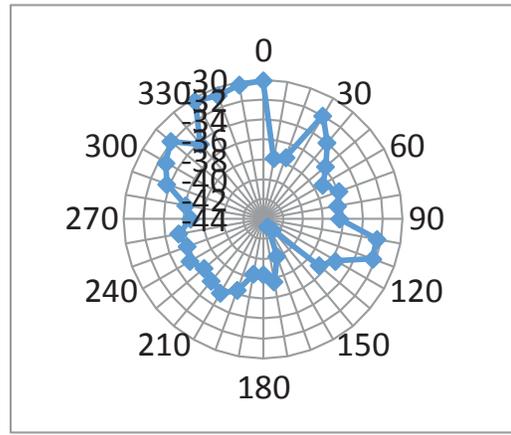
Gambar 4.19. Hasil Grafik Impedansi Pada Pengukuran antenna array

4.3.2.4 Analisis Hasil Pengukuran Pola Radiasi pada 900 MHz dan 1800 MHz

Pengukuran pola radiasi dilakukan di labB306 jurusan elektro ITS, pengukuran dilakukan dengan menggunakan *spectrum analyzer* dan *signal generator*. Pada gambar 4.20 dan 4.21 dapat diketahui pola radiasi pada frekuensi 935 MHz dan 1827MHz. Pada gambar 4.20 adalah pola radiasi pada bidang horizontal. Sedangkan pada gambar 4.21 adalah pola radiasi pada bidang vertikal.

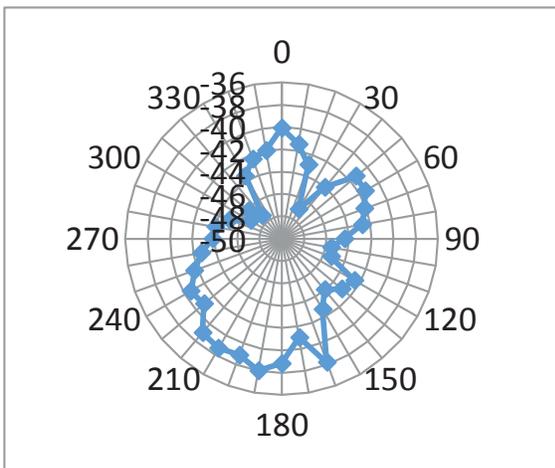


(a)

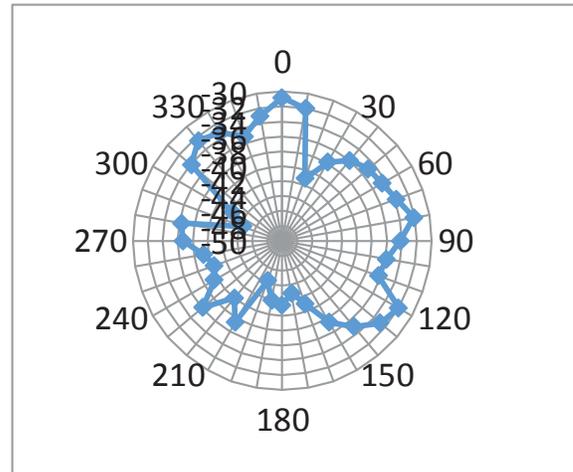


(b)

Gambar 4.20. Pola Radiasi Bidang Horizontal a) frekuensi 900MHz b) frekuensi 1800MHz



(a)



(b)

Gambar 4.21. Pola Radiasi Bidang Vertikal a) frekuensi 900 MHz b) frekuensi 1800MHz

4.3.3 Gain Antenna

Pengukuran *gain* dilakukan dengan menguji level daya terima dari antenna standar yang telah diketahui nilai *gain*nya dan antenna mikrostrip yang dibuat. Kedua hasil tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui gain antenna yang diuji. Antenna standar yang digunakan pada penelitian ini adalah antenna *dipole* BK Precision. Dalam pengujian diambil 4 sampel frekuensi yang berada pada frekuensi kerja antenna dengan interval 10 MHz tiap sampelnya. Untuk sumber sinyal digunakan perangkat *synthesized signal generator* (SSG) yang disesuaikan frekuensinya. *Gain* antenna didapatkan dari persamaan (2.9). Hasil dari pengukuran *gain* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Pengukuran *gain* pada *band* 900 MHz

Sample	Gain antenna pemancar	Level daya terima antenna standar (dBm)	Level daya terima antenna uji (dBm)	Gain antenna uji
1	3 dBi	-29.7	-24.9	7.8 dB
2	3 dBi	-28.8	-24.5	7.3 dB
3	3 dBi	-29.4	-23.8	8.6 dB
4	3 dBi	-30.5	-24.1	9.4 dB
5	3 dBi	-29.2	-23.5	8.6 dB
6	3 dBi	-29.6	-23.7	8.9 dB
7	3 dBi	-29.8	-23.8	8 dB
8	3 dBi	-30.0	-24.0	9 dB
9	3 dBi	-30.7	-24.2	9.5 dB
10	3 dBi	-29.9	-24.4	8.5 dB
Rata-rata gain				8.56 dB

Tabel 4.2 Pengukuran *gain* pada *band* 1800 MHz

Sample	Gain antenna pemancar	Level daya terima antenna standar (dBm)	Level daya terima antenna uji (dBm)	Gain antenna uji
1	4.8 dBi	-33.7	-35.3	3.2 dB
2	4.8 dBi	-32.9	-35.7	2 dB
3	4.8 dBi	-32.7	-37.8	-0.3 dB
4	4.8 dBi	-32	-38.3	-1.5 dB

5	4.8 dBi	-31.4	-33.2	3 dB
6	4.8 dBi	-32.6	-38.8	-1.4 dB
7	4.8 dBi	-33	-38.0	-0.2 dB
8	4.8 dBi	-32.9	-38.3	-0.6 dB
9	4.8 dBi	-32.7	-38.2	-0.7 dB
10	4.8 dBi	-31.6	-37.5	-0.9 dB
Rata-rata gain				0.26 dB

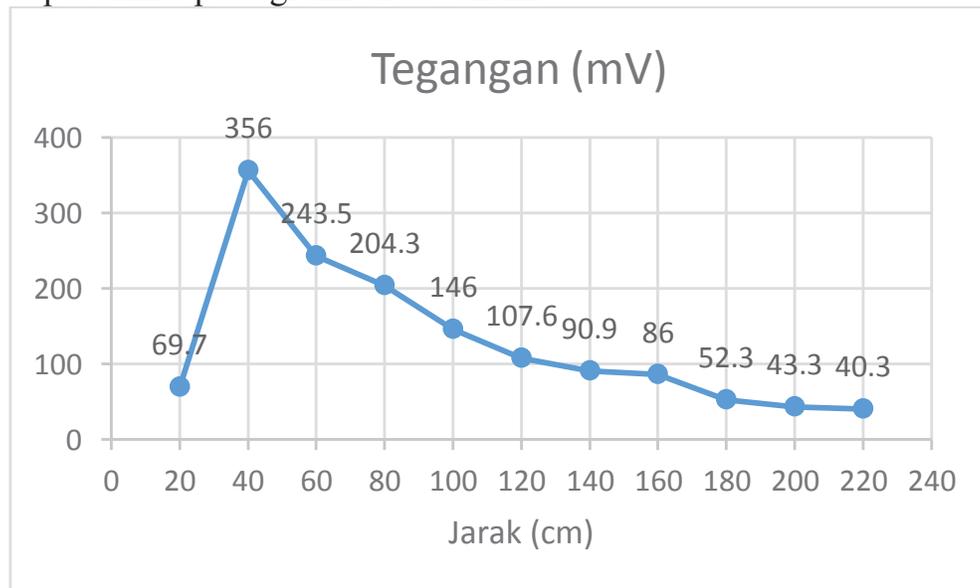
Dari hasil pengukuran didapatkan *gain* rata-rata antenna sebesar 8.56 dB untuk *band* 900, 0.26 dB untuk *band* 1800.

4.4 Analisis Data Hasil Pengukuran Tegangan Power Havester Pada Antenna

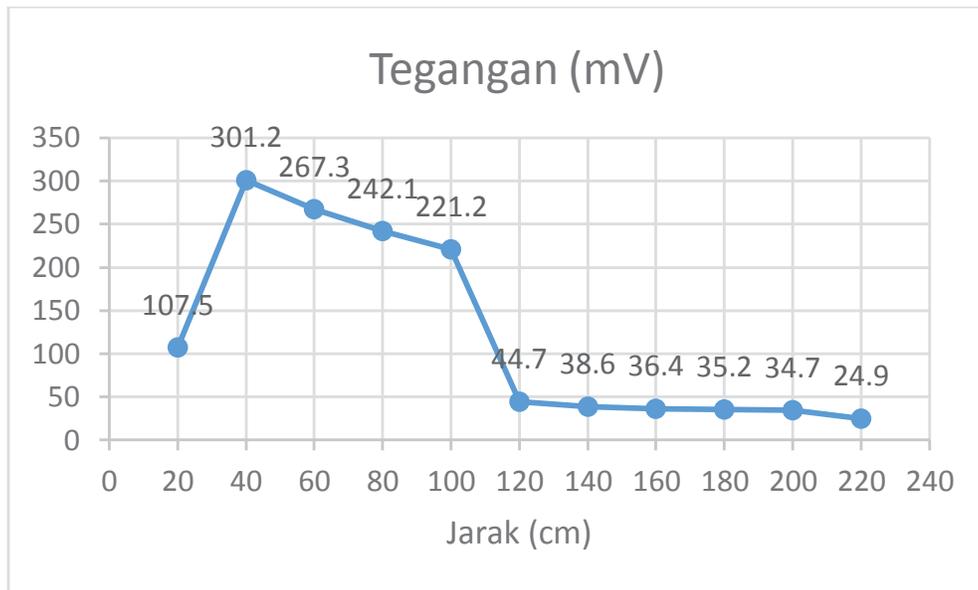
Pada pengukuran tegangan power havester ini, akan dilakukan dua kali pada antenna microstrip dengan keadaan yang berbeda. Nanti nya hasil tegangan tertinggi dan terendah akan di ketahui. Pengukuran di lakukan di lab B306 jurusan teknik elektro ITS.

4.4.1 Analisis Hasil Pengukuran Tegangan Power Havester Pada single Antena dengan Substrat FR4

Pengukuran dilakukan pada laboratorium B306 jurusan teknik elektro ITS. Daya yang dapat dipanen di antenna microstrip single patch dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



(a)



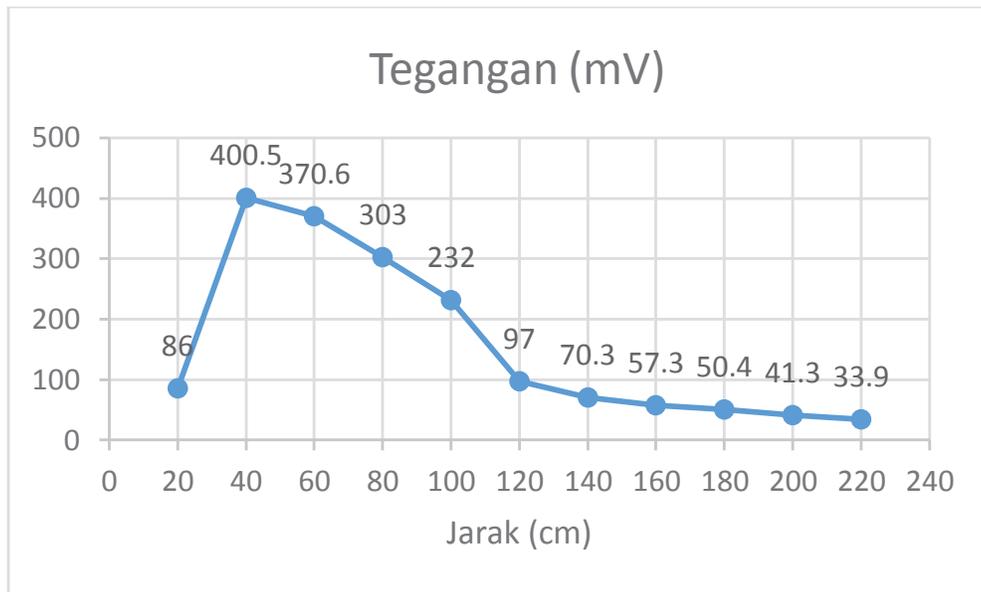
(b)

Gambar 4.22. Tegangan yang diterima single Antena Microstrip a) pada frekuensi 900 MHz b) pada 1800 MHz

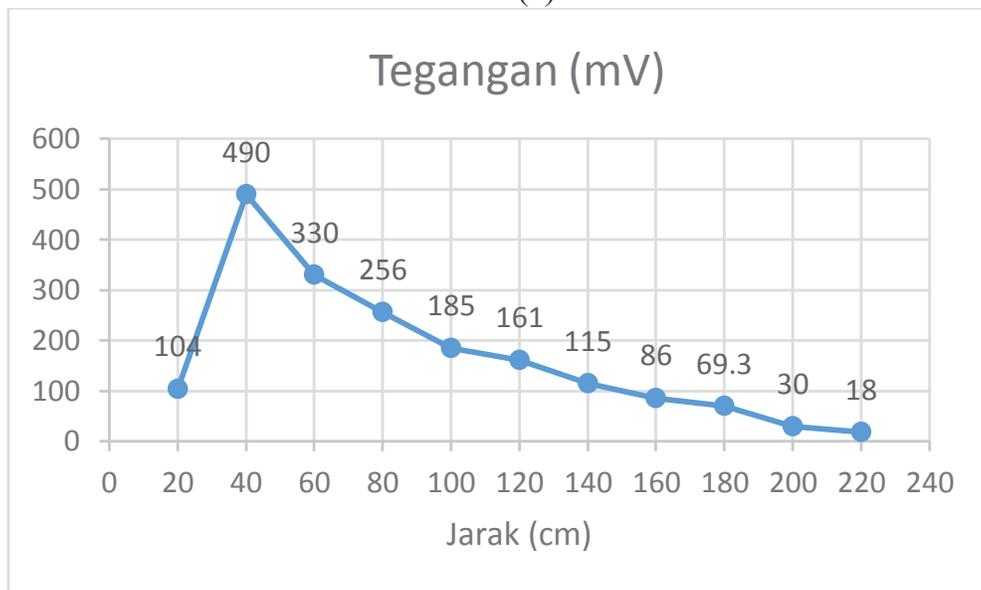
Pada gambar 4.22, sumbu x adalah rentang jarak mulai dari 20 cm sampai dengan 220 cm. Dan sumbu y adalah rentang tegangan mulai dari 0 sampai 400 milivolt. Diukur kurang lebih selama 30 detik, dan di kondisikan antena dekat dengan pemancar sinyal, dari data di atas diketahui ada 11 kali perubahan pada jarak. Didapat pada tegangan tertinggi untuk frekuensi 900 MHz pada jarak 40 cm yaitu bernilai 356mv dan terendah yaitu 40.3 mv pada jarak 220 cm, sedangkan untuk frekuensi 1800MHz pada jarak 40 cm yaitu bernilai 301.2 mv. Dan pada jarak 220 cm didapatkan tegangan terendah yaitu 24.9 mv.

4.4.2 Analisis Hasil Pengukuran Tegangan Power Harvester Pada array Antena dengan Substrat FR4

Pengukuran dilakukan pada laboratorium B306 jurusan teknik elektro ITS. Daya yang dapat dipanen di antena array microstrip patch dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 4.23. Tegangan yang diterima array Antena Microstrip a) pada frekuensi 900 MHz b) pada 1800 MHz

Pada gambar 4.23, sumbu x adalah rentang jarak mulai dari 20 cm sampai dengan 220 cm. Dan sumbu y adalah rentang tegangan mulai dari 0 sampai 600 milivolt. Diukur kurang lebih selama 30 detik, dan di kondisikan antena dekat dengan pemancar sinyal, dari data di atas di ketahui ada 11 kali perubahan pada jarak. Didapat pada tegangan tertinggi

untuk frekuensi 900 MHz pada jarak 40 cm yaitu bernilai 400.5mv dan terendah yaitu 33.9 mv pada jarak 220 cm , sedangkan untuk frekuensi 1800MHz pada jarak 40 cm yaitu bernilai 490 mv. Dan pada jarak 220 cm didapatkan tegangan terendah yaitu 18 mv.

4.5 Pengukuran Arus dan Daya pada *Power Harvester*

Untuk mengetahui arus yang dihasilkan pada perangkat antenna, yaitu dengan mengetahui tegangan yang dihasilkan dari *power harvester* yaitu sebesar 490 mV, dengan asumsi hambatan sebesar 50 ohm. Sehingga arus yang dihasilkan

$$I = \frac{V}{R}$$
$$I = \frac{0.49}{50} = 0.0098 A$$

Jadi arus yang dihasilkan adalah sebesar 9.8 mA, maka dengan mendapatkan nilai arus, dapat diketahui juga daya yang dihasilkan dari *power harvester*.

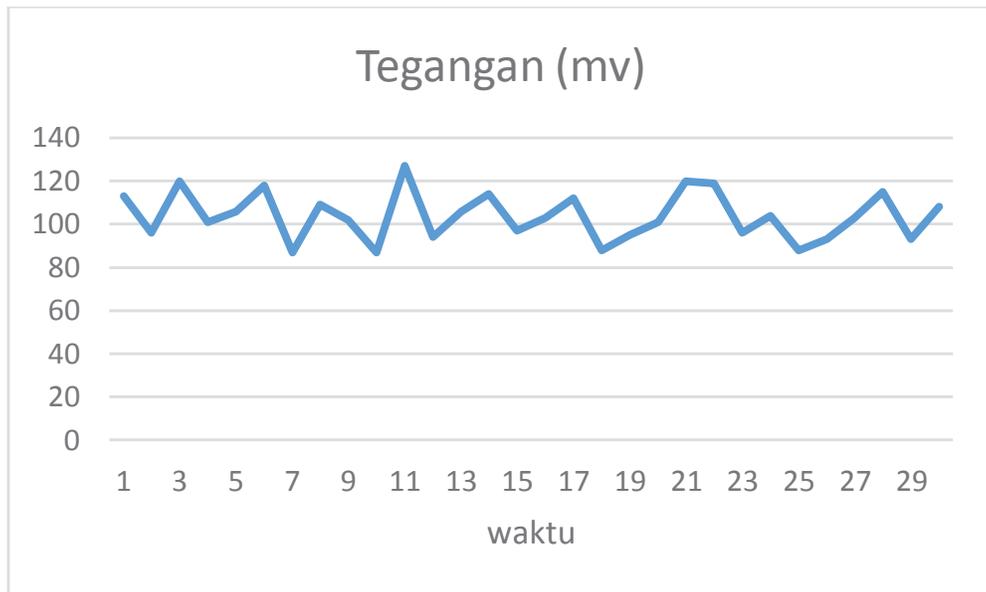
$$P = I.V$$

$$P = 0,49 . 0,0098 = 0.004802 Watt$$

Pada penelitian ini Daya yang dihasilkan untuk satu perangkat antenna array adalah 0.004802 Watt. Sehingga untuk daya sebesar 1 Watt dibutuhkan 200 unit antenna dan 10.000 unit untuk daya sebesar 50 Watt. Untuk 1 perangkat antenna dibutuhkan biaya sebesar 700.000 rupiah , sehingga untuk 10.000 antenna dibutuhkan biaya sebesar 7 miliar rupiah. Berdasarkan perhitungan, antenna ini kurang efisien dalam biaya dikarenakan dari jenis material antenna yang kurang efisien.

4.6 Pengukuran tegangan *Power Harvester* di sekitar BTS

Pengukuran tegangan *power harvester* dilakukan pada jarak sekitar 300 meter dari BTS yang berlokasi di Jl. Menur. Tower BTS mempunyai ketinggian sekitar 25-30 meter di atas permukaan tanah. Dari hasil pengukuran didapatkan tegangan terukur sebesar 127 mV seperti yang ditunjukkan Gambar 4.24



Gambar 4.24 Pengukuran tegangan di sekitar tower BTS

BAB V

PENUTUP

Bab V ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan tentang hasil pengujian dan cara pengukuran atas alat yang telah dibuat serta saran yang akan berguna untuk penelitian berikutnya yaitu tentang tema *wireless power transfer*.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Frekuensi kerja antena berdasarkan hasil pengukuran yakni 935–960 MHz dan 1820 – 1845 MHz. sedangkan nilai *S11* antena pada *band* 900 MHz dan 1800 MHz berturut-turut -7.267 dBm dan -14.26 dBm untuk single antenna dan -14.3dBm dan -12.6dBm untuk antenna array yang diukur di lab B306.
2. Hasil pengukuran didapatkan *gain* rata-rata antena sebesar 8.56 dBi untuk *band* 900 dan 0.26 dBi untuk *band* 1800
3. Penggunaan power splitter dalam penggabungan antena dapat dapat mengubah paramter dari antena, seperti pola radiasi dan perubahan parameter S11 pada frekuensi 900 MHz yang semula -7.267dBm menjadi -14.3dBm
4. Tegangan yang dihasilkan sistem *electromagnetic harvesting* adalah 490 mV pada jarak 40 cm dari SSG, 127 mV di sekitar BTS

5.2 Saran

Saran untuk penelitian-penelitian berikutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi dari sekarang adalah:

1. Pengoptimalan kinerja *power harvester* dengan pemilihan komponen yang sesuai dengan karakteristik gelombang elektromagnetik yang akan dipanen. Mengusahkan hambatan dalam dari *power harvester* sekecil mungkin.
2. Merancang antena yang mempunyai nilai parameter S11 dan *gain* yang lebih baik.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN

A. TABEL HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI

1. Single Antenna

Pengukuran Pola Radiasi Band 900			Pengukuran Pola Radiasi Band 900 (lanjutan)		
Sudut	Level Daya (dBm)		Sudut	Level Daya (dBm)	
	Horizontal	Vertikal		Horizontal	Vertikal
0	-37.4	-40	190	-50.3	-50.4
10	-37.6	-41.2	200	-49.3	-52.7
20	-37.9	-41.5	210	-49.7	-54.1
30	-38	-41.9	220	-50.8	-51.2
40	-38.4	-41.2	230	-48.2	-49
50	-38.9	-42	240	-48.1	-48.6
60	-39.7	-42.3	250	-48.4	-47.7
70	-40.2	-43.3	260	-47	-46.4
80	-42.1	-43.8	270	-47.4	-45.5
90	-43.1	-44.7	280	-47.2	-44
100	-43.5	-45.6	290	-45.2	-42.3
110	-44	-45.1	300	-44.2	-41.3
120	-44.6	-45.9	310	-42.7	-40
130	-45.5	-47.2	320	-41.3	-40
140	-46.2	-48.4	330	-41.4	-39.1
150	-46.4	-49.4	340	-40.5	-38.4
160	-47	-49	350	-39.6	-37
170	-47.8	-49.8			
180	-49	-48.1			

Pengukuran Pola Radiasi Band 1800			Pengukuran Pola Radiasi Band 1800 (lanjutan)		
Sudut	Level Daya (dBm)		Sudut	Level Daya (dBm)	
	Horizontal	Vertikal		Horizontal	Vertikal
0	-42.2	-35.8	190	-50.4	-45.1
10	-44.1	-35.9	200	-52.7	-44.7
20	-47.5	-36	210	-54.1	-45.9
30	-45.9	-37.2	220	-51.2	-43.3
40	-49	-37	230	-49	-42.7
50	-46.5	-34	240	-48.6	-41.7
60	-47.3	-37.2	250	-47.7	-39.6
70	-45.6	-31.6	260	-46.4	-36.7
80	-45.7	-33	270	-45.5	-35.4
90	-44	-34.9	280	-44	-35.3
100	-46.2	-34.5	290	-42.3	-33.2
110	-43.1	-35.4	300	-41.3	-33.4
120	-42.2	-36.5	310	-40	-32.9
130	-45.1	-35.3	320	-40	-33
140	-44.4	-36.7	330	-39.1	-37.9
150	-49.3	-37.6	340	-38.4	-34.5
160	-47.7	-40.5	350	-37	-33.8
170	-48.2	-44			
180	-49.1	-44.4			

2. Antenna Array

Pengukuran Pola Radiasi Band 900			Pengukuran Pola Radiasi Band 900 (lanjutan)		
Sudut	Level Daya (dBm)		Sudut	Level Daya (dBm)	
	Horizontal	Vertikal		Horizontal	Vertikal
0	-39.5	-40.1	190	-40	-38
10	-40	-41.4	200	-40.3	-38.9
20	-42.3	-43	210	-41.9	-38.7
30	-44.1	-47	220	-42.2	-39
40	-44	-44	230	-45.6	-40.9
50	-44	-41.3	240	-43.3	-40.6
60	-39.6	-41.4	250	-44	-41.7
70	-42.3	-42.1	260	-44.3	-42.7
80	-43.1	-42.7	270	-44	-43.8
90	-42.4	-44.4	280	-41.7	-44
100	-42.3	-45.5	290	-42.6	-45
110	-41.2	-45.3	300	-41.9	-46.8
120	-39.3	-42.5	310	-42.1	-46.1
130	-38	-43	320	-40.3	-47.3
140	-38.7	-44	330	-39.5	-43.5
150	-37.8	-42.7	340	-40.2	-42.4
160	-38.9	-38.2	350	-39.3	-42
170	-39	-41			
180	-39.7	-38.8			

Pengukuran Pola Radiasi Band 1800			Pengukuran Pola Radiasi Band 1800 (lanjutan)		
Sudut	Level Daya (dBm)		Sudut	Level Daya (dBm)	
	Horizontal	Vertikal		Horizontal	Vertikal
0	-30.1	-30.8	190	-38.4	-41.9
10	-37.8	-32	200	-36.4	-44.3
20	-37.4	-41.1	210	-35.4	-37.4
30	-32	-37.8	220	-35.9	-40
40	-34	-35.9	230	-36.3	-36.1
50	-35.8	-35	240	-35.5	-39.5
60	-37.1	-34.6	250	-35.9	-40.3
70	-35.9	-33.7	260	-35.4	-39.3
80	-36.4	-32.1	270	-36.7	-36.7
90	-36.3	-34.2	280	-36.1	-36.3
100	-32.4	-35.8	290	-33.7	-44.4
110	-32.3	-36.3	300	-32.7	-42.3
120	-35.6	-32	310	-31.9	-34.1
130	-36.7	-32.9	320	-34.2	-32.5
140	-42.5	-35	330	-30.3	-33.3
150	-43.1	-37.4	340	-30.8	-35.1
160	-40	-41	350	-30.3	-33
170	-37.6	-42.9			
180	-38.4	-41.4			

B. DATASHEET DIODA HSMS 282X

HSMS-282x
Surface Mount RF Schottky Barrier Diodes



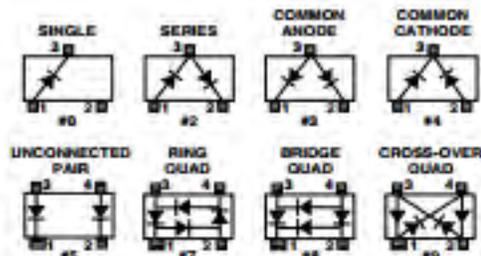
Data Sheet

Description/Applications

These Schottky diodes are specifically designed for both analog and digital applications. This series offers a wide range of specifications and package configurations to give the designer wide flexibility. Typical applications of these Schottky diodes are mixing, detecting, switching, sampling, clamping, and wave shaping. The HSMS-282x series of diodes is the best all-around choice for most applications, featuring low series resistance, low forward voltage at all current levels and good RF characteristics.

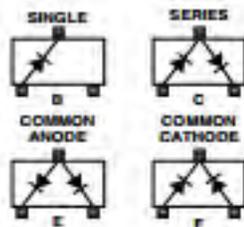
Note that Avago's manufacturing techniques assure that dice found in pairs and quads are taken from adjacent sites on the wafer, assuring the highest degree of match.

Package Lead Code Identification, SOT-23/SOT-143 (Top View)



Package Lead Code Identification, SOT-323

(Top View)

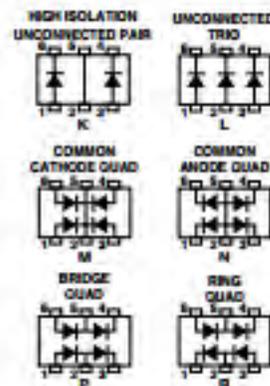


Features

- Low Turn-On Voltage (As Low as 0.34 V at 1 mA)
- Low FIT (Failure in Time) Rate*
- Six-sigma Quality Level
- Single, Dual and Quad Versions
- Unique Configurations in Surface Mount SOT-363 Package
 - increase flexibility
 - save board space
 - reduce cost
- HSMS-282K Grounded Center Leads Provide up to 10 dB Higher Isolation
- Matched Diodes for Consistent Performance
- Better Thermal Conductivity for Higher Power Dissipation
- Lead-free Option Available
- For more information see the Surface Mount Schottky Reliability Data Sheet.

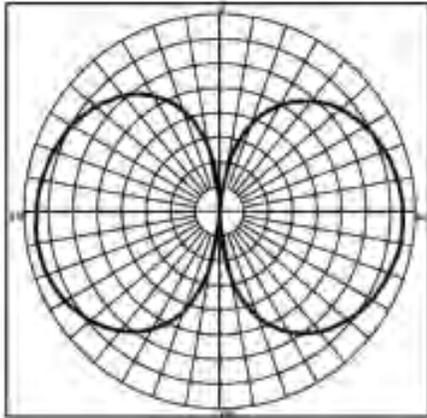
Package Lead Code Identification, SOT-363

(Top View)

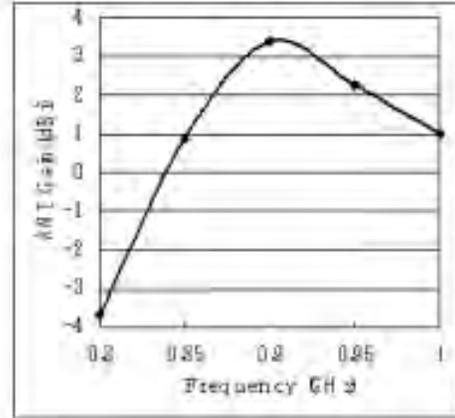


C. KARAKETERISTIK ANTENA STANDAR BK PRECISSION

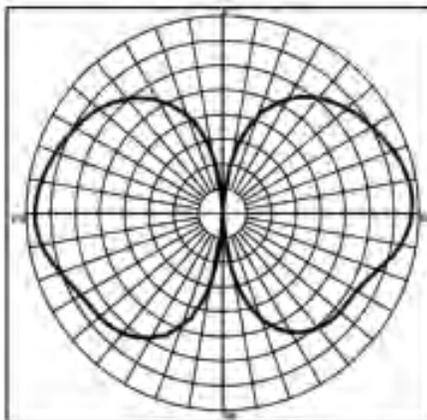
M401 (900 MHz, E plane)



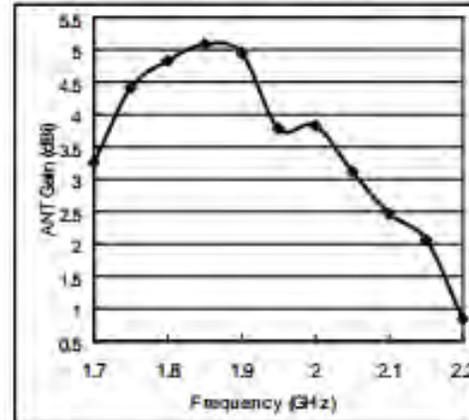
Antenna gain vs. Frequency



M403 (2 GHz, E plane)



Antenna gain vs. Frequency





DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T. Paing, J. Morroni, A. Dolgov, J. Shin, J. Brannan, R. Zane, Z. Popvic, "Wirelessly-Powered Wireless Sensor Platform," Proceeding of the 37th European Microwave Conference, Munich, Germany, October 2007.
- [2]. Cissandyanto, "Desain Antena Patch Panel Polarisasi Sirkular untuk Harvesting Elektromagnetik pada Frekuensi 2.4 GHz," Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.
- [3]. J. Zhang, Yi Huang, "Rectennas for Wireless Energy Harvesting" University of Liverpool, UK.
- [4]. S. Shrestha, Sun-Kuk Noh, Dong-You Choi, "Comparative Study of Antenna Designs for RF Energy Harvesting," Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Antennas and Propagation, Volume 2013.
- [5]. S. Rivière, A. Douyère, F. Alicalapa, J.D. Lan Sun Luk, "Study of Complete WPT System for WSN applications at Low Power Level," Electronics Letters, Institution of Engineering and Technology, University of la Reunion, Saint-Denis, France, 2010, Vol. 46, Issue 8, pp. 597-598, April 15, 2010, doi: 10.1049/el.2010.3063.
- [6]. C.A Balanis, "Antenna Theory Third Edition : Analysis and Design", John Wiley & Sons, INC. 2005.
- [7]. B. Jyothi, B.T.P.Madhav, V.V.S. Murthy, P. Syam Sundar, VGKM Pisipati, "Comparative Analysis of Microstrip Coaxial Fed, Inset Fed and Edge Fed Antenna Operating at Fixed Frequency", International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 2, February 2012
- [8]. Lee Geun Yoon, Ji Hwan Ko, Young Ki Cho, Electromagnetic coupling in aperture-coupled dan proximity coupled microstrip antenna structures, IEEE 2001
- [9]. Ravi Teja Tamvada, U. Ratna Kumari, "High Efficiency Rectenna for RF Energy Harvesting ", International Journal of Systems , Algorithms & Applications Volume 3, Issue ICRASE13, May 2013

- [10]. Stutzman, Warren I. Gary a Antenna Theory and Design 2nd ed. New York 1998.
- [11]. Reinhold Ludwig Pavel Bretchko RF Circuit Design Theory and Application
- [12]. <http://whites.sdsmt.edu/classes/ee481/notes/481Lecture8.pdf>
- [13]. D.W Harrist, "Wireless Battery Charging System Using Radio Frequency Energy Harvesting," University of Pittsburgh, 2004.
- [14]. Optimization of the Voltage Doubler Stages in an RF-DC Convertor Module for Energy Harvesting
- [15]. Datasheet
- [16]. FR4-datasheet

RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Angga Ruhyat. Lahir di Bandung pada tanggal 16 Juli 1992. Penulis merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara pasangan H. Yayat Ruhyat dan Hj. Teti Sofiati. Pada tahun 2010 penulis diterima menjadi mahasiswa S1 reguler Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS. Penulis memilih bidang studi Teknik Telekomunikasi Multimedia. Semasa kuliah penulis aktif di kegiatan organisasi yaitu Divisi Artwork Elektro ITS, dan menjabat sebagai ketua Divisi Artwork Elektro ITS pada periode 2012-2013. Penulis juga aktif di kepanitiaan LCEN XVII. Penulis merupakan salah satu asisten di Laboratorium Telekomunikasi Multimedia pada periode 2013-2014. Penulis dapat dihubungi melalui email pada anggaruhyat@gmail.com .