



PERANCANGAN RECTENNA MENGGUNAKAN MODULE P2110B

SEBAGAI PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 915 MHZ

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD JODY UTOMO

NIM. 145060301111074

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN *RECTENNA* MENGGUNAKAN *MODULE P2110B* SEBAGAI
PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 915 MHz**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



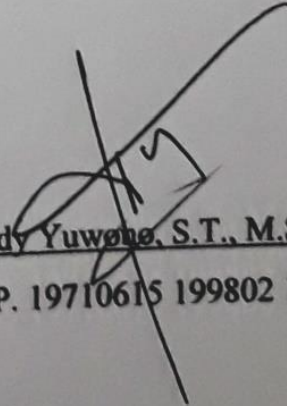
MUHAMMAD JODY UTOMO
NIM. 145060301111074

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 27 Desember 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.IPM
NIP. 19730520 200801 1 013

Dosen Pembimbing


Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.
NIP. 19710615 199802 1 003

[illegible]

JUDUL SKRIPSI:

PERANCANGAN *RECTENNA* MENGGUNAKAN *MODULE P2110B* SEBAGAI
PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 915 MHz

Nama Mahasiswa : Muhammad Jody Utomo
NIM : 145060301111074
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Dosen Pembimbing : Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.

Tim Dosen Penguji :

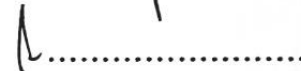
Dosen Penguji 1 : Gaguk Asmungi, ST., M.T.

Dosen Penguji 2 : Rusmi Ambarwati, ST., M.T.

Dosen Penguji 3 : Ir. Endah Budi P., M.T.

Tanggal Ujian : 14 Desember 2018

SK Penguji : 2818 Tahun 2018





PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Desember 2018

Mahasiswa,

Muhammad Jody Utomo
NIM. 145060301111074



RIWAYAT HIDUP

Muhammad Jody Utomo lahir di Medan pada hari Minggu, 29 September 1996. Jody, sapaan akrabnya, merupakan anak pertama dari pasangan Agus Budianto dan Aiwen. Pendidikan Sekolah Dasar, Sekolah Menengah Pertama hingga Sekolah Menengah Atas ia tempuh di Perawang, Kabupaten Siak Riau. Laki-laki yang gemar bermain Musik, dan mempelajari hal yang menurunya baru ini memutuskan untuk memfokuskan masa depannya pada program sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Tahun 2014. Pengalamannya saat mahasiswa adalah aktif di bidang organisasi kampus Universitas Brawijaya dari tahun 2015 – 2018 tekhusus di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya (HME-UB).

Malang, Desember 2018

Penulis

Ucapan Terima Kasih untuk Bapak Saya, Bapak Agus Budianto



RINGKASAN

Muhammad Jody Utomo, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2018, Perancangan *Rectenna* Menggunakan *Module P2110B* Sebagai Pemanen Energi Elektromagnetik Pada Frekuensi 915 MHz : Rudy Yuwono.

Perangkat Mobile Station GSM tidak asing lagi bagi setiap lapisan masyarakat karena perangkat ini sudah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat. Seiring dengan tinggi nya pengguna perangkat tersebut maka penyedia layanan meningkatkan pembangunan jaringan nya. Namun luasnya penyebaran gelombang elektromagnetik tidak sepenuhnya digunakan oleh perangkat Mobile Station GSM. Sehingga masih ada gelombang elektromagnetik yang terbuang begitu saja. Sehingga diperlukan adanya alat yang digunakan sebagai *energy harvesting* yang berfungsi sebagai pemanen energi yang tidak terpakai dan dapat dikonversi menjadi energi yang terbarukan. Pada penelitian ini digunakan *rectenna* sebagai alat *energy harvesting* dengan antenna *microstrip rectangular patch* sebagai penyerap gelombang elektromagnetik dan *module power harvester P2110B* sebagai *module rectifier* nya. Pada antenna *microstrip rectangular patch* dilakukan perhitungan dimensi dan melakukan simulasi menggunakan CST 2010 sebelum dilakukan fabrikasi. Pengujian dilakukan pada antenna *microstrip* sesuai dengan parameter antenna yang meliputi *return loss*, *VSWR*, *gain*, *bandwidth*, dan polarisasi. Pengujian dilakukan pada rangkaian *rectifier* dengan mencatu secara langsung dengan *signal generator* dan selanjutnya dilakukan pengukuran pada *rectenna* terhadap transmitter GSM yang diberikan variasi jarak.

Hasil pengukuran parameter antenna *microstrip rectangular patch* yang telah disimulasikan dengan CST 2010 untuk total *bandwidth* sebesar 9 MHz dengan retang frekuensi bekerja dari 897 – 906 MHz sedangkan pada simulasi total *bandwidth* sebesar 6 MHz bekerja pada frekuensi 912 – 918 MHz. *Gain* dari antenna yang telah diuji sebesar 3,85 dBi dengan frekuensi kerja 904 MHz dan pada simulasi sebesar 5,19 dBi pada frekuensi kerja 915 MHz. *Return loss* dari antenna yang diuji sebesar -13,8 dB dan dengan *VSWR* sebesar 1,5. Sedangkan pada simulasi menggunakan CST 2010 didapatkan *return loss* sebesar -17,2 dB dan dengan *VSWR* sebesar 1,3.

Hasil pengujian rangkaian *rectifier* tanpa antenna *microstrip* mendapatkan tegangan DC sebesar 3.383 mV dengan memberikan daya pada *signal generator* sebesar 0 dBm, kemudian dilakukan pengukuran terhadap tegangan keluaran pada *rectenna* dengan pemberian jarak 1 – 4 meter terhadap *transmitter* GSM. Hasil pengukuran tegangan DC tertinggi yang dapat dikonversi *rectenna* adalah pada jarak 1 meter sebesar 7 mV dan yang terkecil pada jarak 4 meter sebesar 6,3 mV.

Kata Kunci : *Power Harvester P2110B, Rectenna, kapasitor, Antenna Microstrip, GSM*

[illegible]

SUMMARY

Muhammad Jody Utomo, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, November 2018, Design of Rectenna Using Module P2110B As Harvesters of Electromagnetic Energy at 915 MHz Frequency: Rudy Yuwono.

GSM Mobile Station devices are no stranger to every layer of society because this device has become a primary need for the community. Along with the high number of users of these devices, service providers increase network development. But the extent of the spread of electromagnetic waves is not fully used by GSM Mobile Station devices. So that there are still electromagnetic waves that are wasted just like that. So it is necessary to have a tool that is used as energy harvesting which functions as an unused energy harvester and can be converted into renewable energy. In this study, a rectenna is used as a means of energy harvesting with a microstrip rectangular patch antenna as an electromagnetic wave absorber and the P2110B power harvester module as its rectifier module. In calculating the microstrip rectangular patch antenna, a simulation is carried out using the 2010 CST before fabrication is carried out. Tests are carried out on microstrip antennas according to antenna parameters which include return loss, VSWR, gain, bandwidth, and polaradiation. Then the test is carried out on a rectifier circuit by directly feeding the signal generator and then measuring the rectenna to the GSM transmitter given distance variations.

The measurement results of the microstrip rectangular patch antenna parameters that have been simulated with CST 2010 for a total bandwidth of 9 MHz with a working frequency loop from 897 - 906 MHz while in the simulation the total bandwidth of 6 MHz works at a frequency of 912-918 MHz. Then the gain of the tested antenna is 3.85 dBi with a working frequency of 904 MHz and the simulation is 5.19 dBi at the 915 MHz working frequency. Return loss of the tested antenna is -13.8 dB and with VSWR of 1.5. While the simulation using the 2010 CST found a return loss of -17.2 dB and a VSWR of 1.3.

The results of the rectifier circuit testing without a microstrip antenna get a DC voltage of 3,383 mV by giving the signal generator power of 0 dBm. Then the output of the rectenna is measured by giving a distance of 1 - 4 meters to the GSM transmitter. The highest DC voltage measurement results that can be converted into a rectenna is at a distance of 1 meter by 7 mV and the smallest at a distance of 4 meters by 6.3 mV.

Keywords: Power Harvester P2110B, Rectenna, capacitor, Antenna Microstrip, GSM



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perangkat *Mobile Station* GSM tidak asing lagi bagi setiap lapisan masyarakat karena perangkat ini sudah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat. Seiring dengan tinggi nya pengguna perangkat tersebut maka penyedia layanan meningkatkan pembangunan jaringannya. Namun luasnya penyebaran gelombang elektromagnetik tidak sepenuhnya digunakan oleh perangkat *Mobile Station* GSM. Sehingga masih ada gelombang elektromagnetik yang terbuang begitu saja. Pemanfaatan gelombang elektromagnetik tersebut dimanfaatkan sebagai sumber energi atau *energy harvesting*. Dengan mengumpulkan gelombang elektromagnetik dan menyimpan nya dalam beberapa waktu sehingga dapat di gunakan pada waktu lain.

Salah satu perangkat yang dimanfaatkan sebagai *energy harvesting* adalah *rectenna* atau *rectifying antenna*. *Rectenna* adalah perangkat yang terdiri dari *antenna* dan *rectifier* yang dibuat dalam satu rangkaian. Dimana *antenna* memiliki fungsi sebagai penerima atau penangkap gelombang elektromagnetik dan *rectifier* yang berfungsi sebagai pengubah energi RF yang diterima oleh *antenna* berupa tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*).

Dalam perancangan *rectenna* perlu adanya penyesuaian karakteristik antara *antenna* dan *rectifier*. Dalam perancangan *rectenna* pada skripsi sebelumnya dengan judul “PERANCANGAN *RECTENNA* SEBAGAI PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 900 MHZ” dengan menggunakan Arduino uno ATmega 328 yang di konfigurasi dengan modul GSM SIM900a, *diode schottky* tipe 1N5711, kapasitor *Ceramic Capacitor Multilayer* C1206 10 μ F. Pada sekripsi ini tidak menggunakan *diode schottky* tipe 1N5711. *Diode* tersebut diganti dengan *Power harvesester* P2110B sehingga diharapkan akan memperoleh daya yang lebih besar dibandingkan hanya menggunakan *diode schottky* tipe 1N5711. Kapasitor *Elco Capacitor* 1000 μ F, *Spectrum Analyzer* GSP-827 2,7 GHz Gw *INSTEK* yang digunakan untuk pengukuran *return loss* serta *gain* dari antena *microstrip rectangular patch*.



sehingga akan didapatkan VSWR serta *bandwidth* dari antenna tersebut. Dan menggunakan *Signal Generator* sebagai pemancar frekuensi kerja dari antenna sehingga dapat dilakukan pengukuran tegangan keluaran dari *rectenna* dengan memvariasikan jarak *rectenna* dengan antenna pemancar GSM.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Return Loss, Gain, Bandwidth, dan VSWR dari antenna yang digunakan serta keluaran tegangan dari antenna tanpa rangkaian *rectifier*?
2. Bagaimana *matching impedance* dari antenna terhadap rangkaian *rectifier*?
3. Bagaimana tegangan keluaran *rectenna* terhadap variasi jarak yang diberikan terhadap *Signal Generator* yang digunakan sebagai transmitter GSM pada frekuensi kerja antenna?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan diatas, maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. *Rectenna* menggunakan *antenna microstrip rectangular patch* yang bekerja pada frekuensi GSM 902-928 Mhz dengan frekuensi tengah 915 MHz.
2. Menggunakan *Power harvester P2110B* pada rangkaian *rectifier* sebagai penyearah gelombang dengan filter kapasitor.
3. Menggunakan alat ukur *antenna* tanpa membahas karakteristiknya.
4. Menggunakan *antenna microstrip* yang bekerja pada frekuensi 902-928 MHz sebagai penerima pada *rectenna* serta *antenna referensi dipole sleeve lamda/2*.
5. Rumus-rumus yang digunakan adalah rumus jadi yang diambil dari referensi.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penulisan Skripsi ini sebagai berikut:

1. Mendapatkan antenna yang memiliki parameter dan spesifikasi yang sesuai dengan rancangan *rectifier*.
2. Mendapatkan impedansi yang *matching* antara antenna dengan rangkaian *rectifier*.
3. Mengukur tegangan keluaran *rectenna* terhadap variasi jarak yang diberikan terhadap *Signal Generator* yang digunakan sebagai transmitter.



1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar teori yang berhubungan dengan antenna beserta parameternya, *rectenna*, *antenna GSM*, dan *Power harvester P2110B* yang menunjang skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas metode yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi ini, seperti metode pengumpulan data serta membahas perancangan *rectenna*, diagram alir dan pembahasannya yang disusun untuk menjawab rumusan masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang peralatan yang digunakan, proses pengukuran dan pengambilan data, serta analisis data dari hasil yang diperoleh dalam skripsi.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dari hasil analisis data yang diperoleh dan saran untuk mengembangkan skripsi ini.



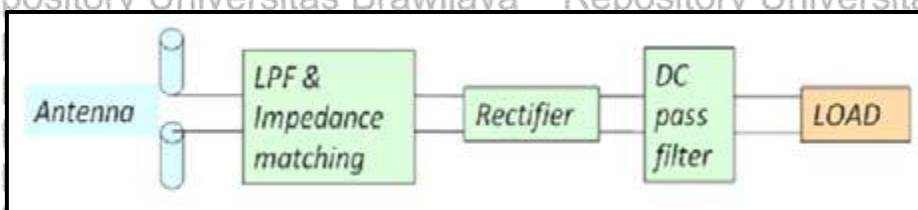


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rectenna

Gabungan dari *rectifier* dan antenna, yang merupakan sebuah teknologi yang mengaplikasikan gelombang elektromagnetik untuk dikonversi ke energi listrik. Rectenna yang saat ini dikembangkan memungkinkan kita untuk mendapatkan sumber listrik dari gelombang elektromagnetik yang ada disekitar (Escala, 2010). Pada rectenna memiliki rangkaian *rectifier* yang berfungsi sebagai pengubah gelombang elektromagnetik yang ditangkap oleh antenna menjadi arus DC, sedangkan antenna yang berfungsi sebagai pemanen gelombang elektromagnetik. Secara umum perancangan rectenna terdiri dari antenna, rangkaian *impedance matching*, *filter* dan *rectifier* seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Blok Diagram Rectenna

Sumber: Dan Stefan Tudose, 2013

2.2 Antena

Antena adalah komponen utama dari sistem komunikasi nirkabel. Antena merupakan alat yang memproses perpindahan sinyal menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat melalui ruang bebas dan dapat diterima oleh antena lain dan sebaliknya. Jalur transmisi antena dapat berupa koaksial atau waveguide yang digunakan untuk mengangkut energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena, atau dari antena ke penerima (Balanis, 2005:1).

Sebuah desain yang baik dari antena dapat meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Contohnya adalah TV yang penerimaan siarannya dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan antena yang memiliki kinerja tinggi. Teknologi antena telah menjadi perangkat yang sangat diperlukan dalam komunikasi (Balanis, 2005:3).

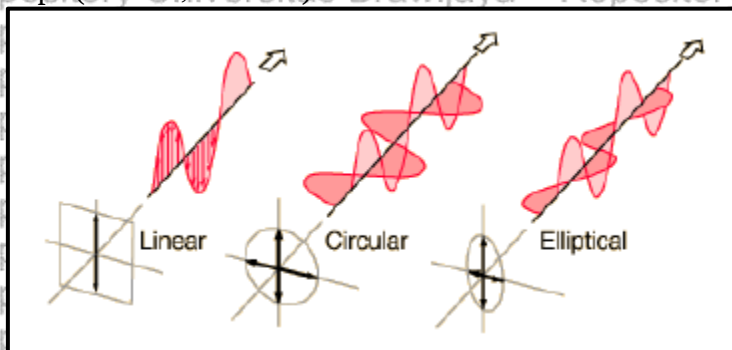
2.3 Parameter Antena

Untuk menggambarkan performa dari suatu antena maka diperlukan pendefinisian berbagai parameter antena. Parameter antena dapat menentukan seberapa baik kinerja dari sebuah antena. Beberapa diantara parameter tersebut saling berhubungan dan semuanya tidak harus disebutkan untuk menggambarkan performa antena secara keseluruhan (Balanis, 2005:27).

Untuk mengetahui suatu antena itu dapat bekerja baik atau tidak, ada beberapa parameter yang harus diketahui diantaranya yaitu polarisasi, pola radiasi, impedansi masukan, VSWR, *return loss*, *bandwidth*, *directivity* dan *gain*.

2.3.1 Polarisasi

Polarisasi menunjukkan bagaimana orientasi dari gelombang elektromagnetik yang diterima atau ditransmisikan oleh antena. Orientasi ini dilihat dari vektor gelombang elektrik yang diradiasikan. Polarisasi gelombang merupakan keadaan radiasi gelombang elektromagnetik yang digambarkan dalam variasi waktu terhadap besar vektor medan listrik. Jika antena sebagai penerima maka polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang datang pada arah tertentu yang menghasilkan daya terima maksimum. Sesuai dengan perjalanan gelombang maka polarisasi dibagi menjadi 3 yaitu polarisasi linier, lingkaran dan elips (Balanis, 2005:72).



Gambar 2. 2 Polarisasi Antena

Sumber: Shakeeb, 2010:17

Perbandingan antara mayor dan minor axis pada polarisasi disebut dengan *axial ratio* (AR), dengan persamaan:

$$AR = \frac{E_2}{E_1} = \frac{E_{\text{mayor}}}{E_{\text{minor}}} \dots \dots \dots (2-1)$$

Jika: $AR \approx \text{Tak Hingga} \rightarrow$ Polarisasi Linier

$AR \approx 1 \rightarrow$ Polarisasi Lingkaran

$AR \approx \text{antara 1} - \text{tak hingga} \rightarrow$ Polarisasi Elips



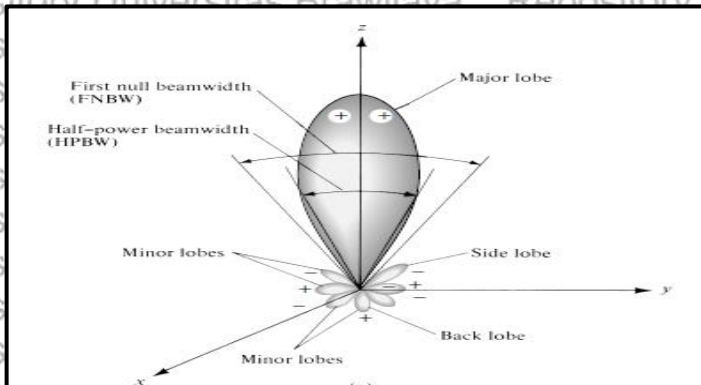
Antena pada pemancar dan pada penerima, harus memiliki polarisasi yang sama agar gelombang yang dipancarkan dapat diterima secara maksimum. Jika kedua antena yang terpolarisasi secara linier tidak sama orientasinya, maka akan terjadi penurunan transfer energi akibat ketidaksetaraan polarisasi.

2.3.2 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah pernyataan grafis yang menggambarkan sifat radiasi suatu antena pada fungsi koordinat ruang. Pola radiasi dapat disebut sebagai pola medan (*field pattern*) jika yang digambarkan adalah kuat medan dan disebut pola daya (*power pattern*) jika yang digambarkan pointing vektor. Pola radiasi antena menjelaskan bagaimana antena meradiasikan energi ke ruang bebas atau bagaimana antena menerima energi.

Bagian-bagian dari pola radiasi dibedakan berdasarkan kekuatan radiasinya yang disebut sebagai lobe. Berikut adalah lobe dalam pola radiasi:

1. Main Lobe : bagian dari daerah radiasi dimana arah radiasi antena maksimum.
2. Minor Lobe : semua bagian lobe kecuali main lobe.
3. Back Lobe : bagian dari minor lobe yang berlawanan dengan main lobe.
4. Side Lobe : bagian dari minor lobe yang bersebelahan dengan main lobe.



Gambar 2. 3 Pola Radiasi Antena

Sumber: Balanis, 2005:30

Berdasarkan pola radiasinya, antena terbagi atas antena dengan pola radiasi *isotropic*, *directional*, dan *omnidirectional*. Antena dengan pola radiasi isotropis adalah pola radiasi antena tanpa memiliki rugi – rugi yang mempunyai kekuatan radiasi yang sama ke segala arah. Pola radiasi ini merupakan pola radiasi ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan, namun sering digunakan sebagai acuan untuk menyatakan sifat pola radiasi suatu antena. Antena dengan pola radiasi *directional* adalah pola radiasi antena yang mempunyai sifat radiasi yang lebih efektif pada suatu arah tertentu dibandingkan arah



lainnya, karena kekuatan radiasinya terpusat ke satu arah. Sedangkan antenna dengan pola radiasi *omnidirectional* adalah pola radiasi antenna yang mempunyai pola *non-directional* pada suatu arah tertentu dan sebuah pola *directional* pada bidang tegak lurus lainnya (Balanis, 2005:32).

2.3.3 Impedansi Masukan

Secara umum impedansi masukan antenna didefinisikan sebagai impedansi yang ditimbulkan oleh antenna pada terminalnya atau perbandingan antara tegangan terhadap arus pada pasangan terminalnya. Impedansi masukan dapat dituliskan sebagai berikut (Balanis, 2005:80):

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2-2)$$

Keterangan:

Z_A = Impedansi terminal antenna (Ω)

R_A = Resistansi terminal antenna (Ω)

X_A = Reaktansi terminal antenna (Ω)

Sedangkan resistansi terminal antenna terdiri dari dua komponen yang dijelaskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_A = R_r + R_L \quad (2-3)$$

Keterangan:

R_r = Resistansi radiasi (Ω)

R_L = Rugi-rugi resistansi (Ω)

Impedansi antenna juga dapat diperoleh dari koefisien pantul dengan persamaan sebagai berikut:

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

Sehingga diperoleh:

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

Keterangan:

Z_{ant} = Impedansi antenna (Ω)

Z_c = Impedansi karakteristik (Ω)

Γ = Koefisien pantul

Proses pengiriman dan penerimaan pada antenna akan bekerja dengan baik jika nilai impedansi masukan antenna sama dengan impedansi sumber. Apabila nilai impedansi masukan antenna dan impedansi sumber berbeda, maka akan terjadi kondisi *impedance*



missmatch, yaitu sebagian besar daya yang dikirimkan akan dipantulkan kembali ke sumber. Hal ini akan mengganggu proses komunikasi.

2.3.4 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR suatu antenna dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara amplitudo tegangan maksimum terhadap amplitudo tegangan minimum pada saluran yang tidak *match* (*missmatch*). Semakin besar nilai VSWR suatu antenna, maka semakin besar juga antenna tersebut *missmatch*. Sebaliknya, semakin kecil nilai VSWR suatu antenna, maka antenna tersebut akan semakin *match*.

Besarnya nilai VSWR dapat bervariasi antara 1 sampai tak terhingga. Kondisi ideal VSWR suatu antenna adalah ketika dicapai nilai VSWR sama dengan 1 yang berarti semua sinyal keluaran *transmitter* dipancarkan oleh antenna dan tidak ada sinyal yang terpantul. Tetapi, dalam kondisi praktiknya nilai VSWR hanya bisa mendekati 1 tidak bisa mencapai nilai sama dengan 1. Sehingga suatu antenna dianggap baik jika memiliki nilai $VSWR \leq 2$.

VSWR dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$VSWR = \frac{V_{maks}}{V_{min}} = \frac{V_0^+ + V_0^-}{V_0^+ - V_0^-} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \dots \dots \dots (2-6)$$

Keterangan:

V_0^+ = Tegangan gelombang datang (volt)

V_0^- = Tegangan gelombang pantul (volt)

Γ = Koefisien pantul

2.3.5 Return Loss (RL)

Return Loss merupakan parameter seperti VSWR yang menentukan *matching* antara antenna dan *transmitter*. *Return Loss* adalah rasio atau perbandingan amplitudo antara suatu gelombang pantul terhadap gelombang datang pada saluran transmisi dan impedansi. *Return Loss* terjadi karena adanya percampuran antara gelombang informasi dengan gelombang pantulannya yang mengakibatkan kurangnya keaslian sinyal informasi. Nilai *Return Loss* dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log \Gamma \dots \dots \dots (2-7)$$

Koefisien pantul dapat diperoleh dari VSWR dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \dots \dots \dots (2-8)$$

Sehingga diperoleh:



$$RL \text{ (dB)} = 20 \log \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \dots\dots\dots (2-9)$$

Return Loss digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan kembali sebagai pantulan. Semakin kecil nilai *Return Loss* suatu antenna maka semakin kecil daya yang dipantulkan, dan sebaliknya semakin besar nilai *Return Loss* maka semakin besar daya yang dipantulkan kembali. Antena dianggap baik jika nilai *Return Loss* ≤ -10 dB, karena energi yang dipancarkan sumber akan diserap antenna sebesar 90%-100% dan energi yang dipantulkan sebesar 0%-10% saja.

2.3.6 Bandwidth

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi antenna dimana pada frekuensi tersebut antenna dapat bekerja secara optimal sesuai dengan karakteristik yang telah ditentukan. *Bandwidth* juga merupakan rentang frekuensi pada kedua sisi frekuensi tengah dimana karakteristik antenna seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi dan gain, mendekati nilai yang telah diperoleh di frekuensi tengah. *Bandwidth* pada antenna *broadband* dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara frekuensi atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*) dalam rentang frekuensi kerja. Sedangkan pada antenna *narrowband*, *bandwidth* didefinisikan sebagai persentase dari selisih frekuensi atas dan frekuensi bawah terhadap frekuensi tengah. Berdasarkan definisi tersebut, maka *bandwidth* dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut (Punit, 2004:21):

$$BW_{broadband} = \frac{f_u}{f_L} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$BW_{narrowband} = \frac{f_u - f_L}{f_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2-11)$$

$$f_c = \frac{f_u + f_L}{2} \dots\dots\dots (2-12)$$

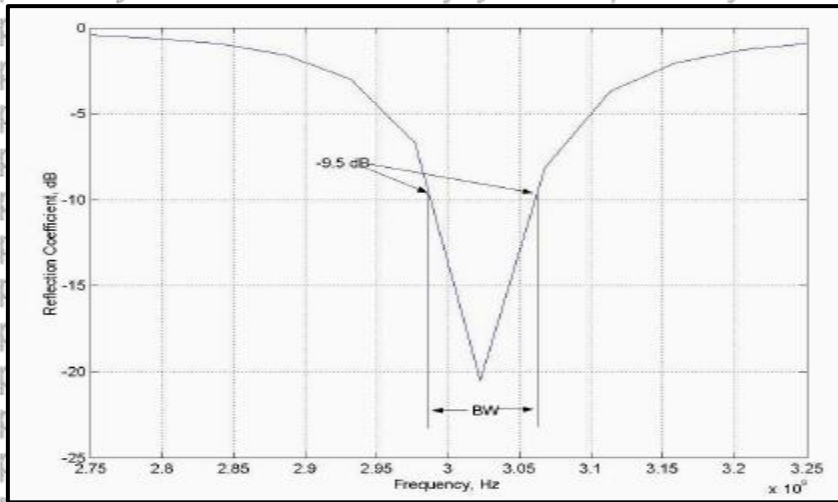
Keterangan:

f_u = Frekuensi atas (Hz)

f_L = Frekuensi bawah (Hz)

f_c = Frekuensi tengah (Hz)

Salah satu metode untuk menentukan seberapa efisiensi sebuah antenna yang bekerja pada rentang frekuensi yang dibutuhkan adalah dengan mengukur VSWR atau *Return Loss* (RL). Jika nilai VSWR suatu antenna ≤ 2 dan *Return Loss* ≤ -10 dB, maka dapat dipastikan antenna tersebut memiliki kinerja yang baik.



Gambar 2. 4 Pengukuran bandwidth berdasarkan plot koefisien pantul

Sumber: Punit. S.Nakar, 2004:22

2.3.7 Directivity

Directivity adalah kemampuan antenna untuk mengkonsentrasikan energinya pada suatu arah tertentu. *Directivity* dari suatu antenna dapat ditunjukkan dengan perbandingan antara intensitas radiasi pada arah radisai tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada segala arah. *Directivity* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Balanis, 2005:44):

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2-13)$$

Jika arah tidak ditentukan, maka arah intensitas radiasi maksimum dinyatakan sebagai sebagai berikut:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2-14)$$

Dalam hal ini:

D = Directivity

D_{max} = Directivity maksimum

U = Intensitas radiasi (W/sudut)

U_{max} = Intensitas radiasi maksimum (W/sudut)

U_0 = Intensitas radiasi sumber isotropic (W/sudut)

P_{rad} = Total daya teradiasi (W)

2.3.8 Gain

Gain pada antenna dapat diartikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi yang diberikan pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang didapatkan oleh antenna. *Gain* antenna diukur dalam desibel, bisa dalam dBi ataupun dBd. Jika antenna referensi adalah sebuah dipole, antenna diukur dalam dBd. “d” di sini mewakili dipole, jadi gain antenna diukur relatif terhadap sebuah antenna dipole. Jika antenna referensi adalah sebuah *isotropic*, maka *gain* antenna diukur relatif terhadap sebuah antenna *isotropic*. *Gain* juga dapat diartikan sebagai 4π kali rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antenna yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Balanis, 2005:66):

$$G = 4\pi \frac{\text{intensitas radiasi}}{\text{total daya terima}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \dots\dots\dots (2-15)$$

Keterangan:

G = Gain antenna (dB)

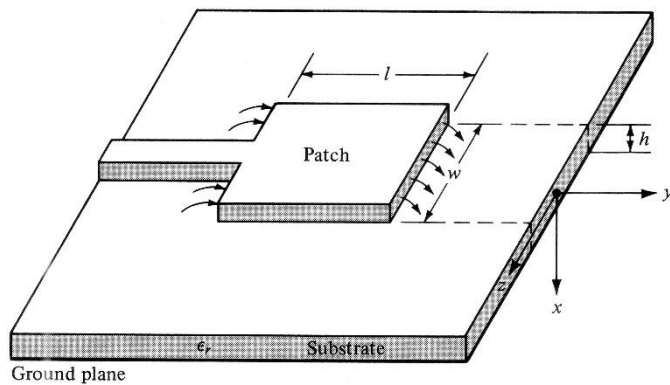
U = Intensitas radiasi antenna (watt)

P_{in} = Total daya masukan yang diterima antenna (watt)

Gain antenna dibedakan menjadi *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* adalah perbandingan intensitas radiasi antenna pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropis. Sedangkan *relative gain* adalah perbandingan penguatan daya pada arah tertentu terhadap penguatan daya antenna referensi dengan catatan, kedua antenna mempunyai daya masukan yang sama. Untuk gain relatif, antenna referensi yang digunakan berupa antenna isotropis tanpa rugi-rugi. Antenna dianggap baik jika memiliki nilai *gain* ≥ 3 dB. Semakin besar nilai *gain* maka arah pancarnya juga akan semakin besar.

2.4 Bentuk Umum Antena Microstrip

Antena *microstrip* dapat diartikan sebagai salah satu jenis antenna yang memiliki bentuk potongan dan ukuran nya sangat tipis yang terdiri dari elemen pradiasi (*patch*), substrat, dan *ground plane*. Pada *patch* memiliki beberapa bentuk seperti segitiga, lingkaran, dan juga persegi. Umumnya pada antenna *microstrip* tersusun dari *patch* yang berfungsi sebagai peradiasi dan bidang sebagai pentanahan pada sisi berlawanan yang dibatasi oleh substrat tertentu yang memiliki nilai permitifitas tertentu seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Antena *microstrip* bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan *X band* (5,2 GHz – 10,9 GHz) sehingga antenna *microstrip* dapat digunakan sebagai antenna telepon selular maupun komunikasi satelit.



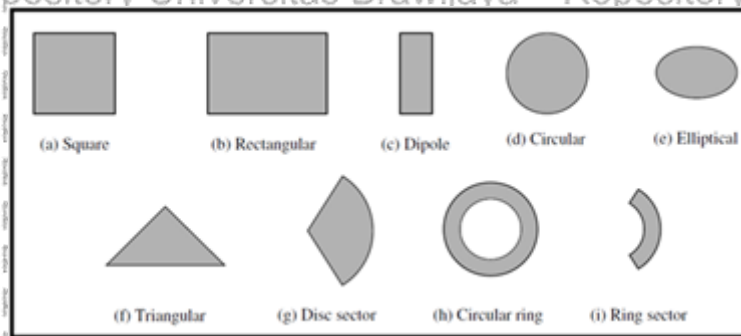
(a) Microstrip antenna

Gambar 2. 5 Struktur Antena Microstrip

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 40

Pada bagian substrat memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berkisar antara $2,2 \leq \epsilon_r \leq 4,7$. Pemilihan substrat pada antena *microstrip* sangat berpengaruh dengan *bandwidth* dari antena *microstrip*, semakin tebal substrat dari antena *microstrip* maka konstanta dielektrik akan semakin kecil sehingga *bandwidth* akan semakin lebar akan tetapi dimensi antena akan semakin besar begitu juga sebaliknya.

Antena *microstrip* memiliki berbagai macam bentuk geometri. Dalam perancangan biasanya digunakan bentuk-bentuk yang sederhana seperti terdapat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Macam-macam bentuk elemen *microstrip*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 32

2.4.1 Antenna Microstrip Rectangular Patch

Antena yang akan digunakan pada penelitian ini adalah antena *microstrip* dengan geometri *rectangular patch*. Pemilihan bentuk geometri ini dikarenakan lebih mudah dalam fabrikasinya dan juga memiliki perhitungan dimensi dari antena yang lebih presisi dari bentuk antena *microstrip* yang lainnya. Gambar 2.7 adalah konfigurasi dasar dari antena *microstrip rectangular patch*.



Gambar 2. 7 Geometri Antena Microstrip Rectangular Patch

Sumber : Perancangan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung dimensi dari antena microstrip adalah sebagai berikut.

$$W = \frac{c}{2 \times f_0 \sqrt{\epsilon_r + 1}} \quad (2-16)$$

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 2h/W}} \right) \quad (2-17)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2-18)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (2-19)$$

$$L = \epsilon_{eff} - 2 \Delta L \quad (2-20)$$

Keterangan :

f_0 = frekuensi kerja sebagai acuan

h = ketebalan pada substrat (mm)

ϵ_r = permitivitas dielektrik relatif pada substrat (F/m)

ϵ_{eff} = permitivitas dielektrik efektif pada substrat (F/m)

C = cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s)

L_{eff} = panjang efektif untuk patch

ΔL = setengah selisih L dan L_{eff}

W = panjang patch

L = lebar patch



Untuk menghitung impedansi dari patch antena yang telah dihitung dimensinya kemudian dilakukan perhitungan dimensi dari saluran transmisi menggunakan rumus dibawah ini.

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega \dots\dots\dots (2-21)$$

$$W_1 = \frac{120\pi}{Z_A} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)} \dots\dots\dots (2-22)$$

$$Z_T = \sqrt{Z_0 \times Z_L} \dots\dots\dots (2-23)$$

Keterangan :

Z_A = Impedansi dari *patch antenna microstrip* (Ω)

W_1 = Lebar dari saluran transmisi (mm)

Z_T = Impedansi dari transformator (Ω)

2.5 Rectifier

Adalah alat yang memiliki fungsi sebagai pengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama pada rangkaian rectifier terdiri dari penurun tegangan (*transformator*), penyearah gelombang (*dioda*) dan filter (*kapasitor*). Prinsip dari rectifier sebagai pengubah sinyal arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal arus searah (DC), dapat dilihat sebagai berikut ini:

2.6 Power Harvester P2110B

Power harvester P2110B merupakan alat pemanen energi elektromagnetik yang merubah sinyal RF menjadi tegangan DC. Power harvester ini berbentuk IC SMD yang akan menyimpan energi yang di hasilkan ke kapasitor dan menghasilkan keluaran DC. Power harvester ini bekerja pada frekuensi 902 – 928 MHz dengan masukan tegangan RF minimal -12 dBm dan mampu menghasilkan tegangan keluaran DC mencapai 5.5 V. Untuk lebih jelas nya berikut adalah spesifikasi dari Power harvester P2110B seperti pada tabel 2.1.

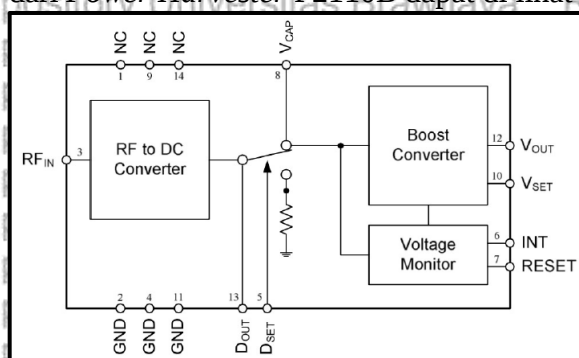


Table 2. 1 Spesifikasi *Power Harvester* P2110B

<i>Integrated Circuit</i>	<i>Surface Mounted Device</i>
Tegangan masukan RF(Batasan)	-12 – 10 dBm
Frekuensi Kerja	902 – 928MHz
Tegangan Keluaran DC	2.0 – 5.5MHz
Impedansi	50Ohm
D_{SET} ke GND	6V
Reset ke GND	6V
V_{CAP} ke GND	2.3V
V_{OUT} ke GND	6V
Arus V_{OUT}	100mA
Rentang Suhu	-40 – 85 °C

Sumber: Datasheet P2110B

Prinsip kerja dari *Power Harvester* P2110B adalah dengan memanfaatkan masukan sinyal RF dari antena yang memiliki impedansi 50 Ω sehingga matching dengan jalur transmisi yang memiliki impedansi 50 Ω juga. Yang kemudian sinyal RF tersebut di konversi menjadi tegangan DC pada rangkaian *rectifier* dan kemudian tegangan tersebut diperbesar dengan rangkaian *boost converter* dengan efisiensi 10% pada tegangan input RF minimum -12 dBm (63 μ W). Tegangan keluaran tersebut kemudian disimpan pada kapasitor tambahan dan dapat menghasilkan tegangan keluaran DC hingga 3.3V. Diagram blok dari prinsip kerja dari *Power Harvester* P2110B dapat di lihat seperti gambar dibawah:



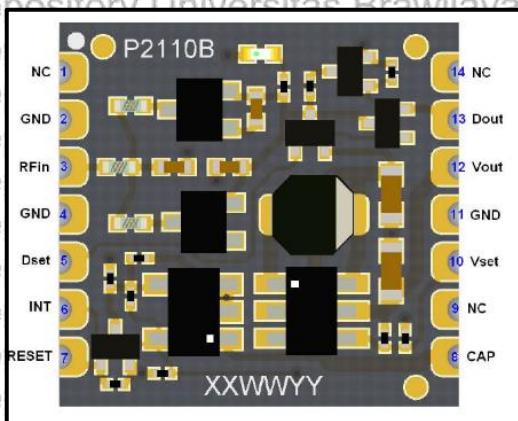
Gambar 2. 8 Blok diagram dari prinsip kerja *Power Harvester* P2110B

Sumber: Datasheet P2110B



Power Harvester P2110B memiliki pin sebanyak 14 pin *conector* dimana terdapat tujuh di sebah kiri dan sebelah kanan. Ketujuh pin pada bagian sebelah kiri diperuntukan sebagai *conector* untuk sinyal RF sedangkan ketujuh pada sisi kanan diperuntukan sebagai keluaran arus DC serta pin *conector* untuk kapasitor yang di tambahkan pada rangkaian *rectifier*.

Konfigurasi pin pada *Power Harvester* P2110B dapat dilihat seperti pada gambar 2.12 dan tabel 2.2 dibawah ini:



Gambar 2. 9 Konfigurasi pin *conector* *Power Harvester* P2110B

Sumber: *Datasheet* P2110B



Table 2. 2 Spesifikasi Power Harvester P2110B

Pin	Label	Fungsi
1	NC	Tidak ada sambungan.
2	GND	Ground RF. Dikoneksikan ke analog ground plane.
3	RF_{IN}	Input RF. Dikoneksikan ke antenna dengan impedansi 50Ω dan jalur transmisi 50Ω . Penambahan DC block apabila antenna short dengan DC.
4	GND	Ground RF. Dikoneksikan ke analog ground plane.
5	D_{SET}	Input digital. Untuk memungkinkan pengukuran daya yang dipanen.
6	INT	Output digital. Menunjukkan tegangan pada V_{OUT} .
7	RESET	Input digital. Mengatur untuk menonaktifkan V_{OUT} .
8	V_{CAP}	Disambungkan dengan kapasitor tambahan untuk penyimpan energi.
9	NC	Tidak ada sambungan.
10	V_{SET}	Pengaturan tegangan. Mengatur tegangan keluaran dengan penyambungan resistor ke V_{OUT} atau GND.
11	GND	DC ground. Disambungkan ke analog ground plane.
12	V_{OUT}	Keluaran DC. Keluaran tegangan hingga 3.3 V namun dapat disesuaikan dengan penambahan resistor.
13	D_{OUT}	Output analog. Menunjukkan level tegangan yang disesuaikan dengan power harvester.
14	NC	Tidak ada sambungan.

Sumber: Datasheet P2110B

2.7 Kapasitor

Penambahan kapasitor diperlukan sebagai penyimpan keluaran tegangan yang akan disambungkan ke pin V_{CAP} pada Power harvester P2110B. Nilai kapasitor yang digunakan akan mempengaruhi keluaran dari V_{out} dan kebocoran arus pada kapasitor haruslah sekecil mungkin. Dalam penggunaannya disarankan menggunakan kapasitor yang memiliki kebocoran arus lebih kecil dari $1\mu A$ pada tegangan 1.2V sedangkan apabila menggunakan kapasitor ESR harus $200m\Omega$ atau lebih kecil.



Kapasitor yang lebih kecil akan mengakibatkan waktu *charge* lebih cepat namun hasil dari siklus operasi kapasitor yang akan lebih kecil. Begitu juga sebaliknya kapasitor yang lebih besar akan mengakibatkan waktu *charge* lebih lambat namun hasil dari siklus operasi pada kapasitor akan lebih besar. Oleh sebab itu nilai minimum kapasitor sebagai penyimpan energi dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$C = 15V_{out}I_{out}t_{out} \dots\dots\dots (2-24)$$

Keterangan:

V_{out} = Tegangan *output* dari P2110B

I_{out} = Rata-rata arus dari P2110B

t_{out} = On-time tegangan keluaran



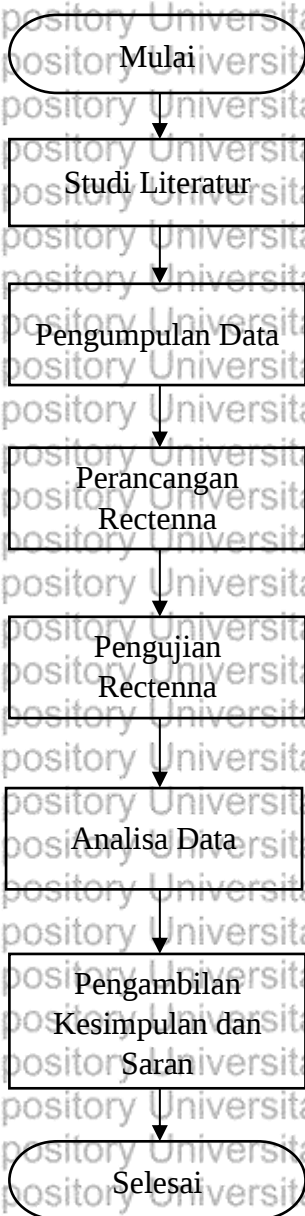


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Metodologi yang digunakan pada skripsi ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi
Sumber: Perancangan

3.2 Studi Literatur

Studi literature dilakukan untuk mempelajari dan memahami analisis dan desain *rectifier* yang digunakan untuk menghasilkan sumber tegangan DC ketika diberi masukan tegangan AC pada frekuensi GSM.

3.3 Pengumpulan Data

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

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang di dapatkan dari pengukuran secara praktik. Dengan melakukan pengukuran *return loss* pada antena GSM akan didapatkan perhitungan VSWR dan bandwidth pada antena yang kemudian akan dilakukan pengukuran terhadap tegangan keluaran pada *rectifier antenna*. Kemudian dengan data yang telah diperoleh akan diolah menggunakan aplikasi *software Microsoft Office Excel* dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil dari tabel dan grafik tersebut yang kemudian akan dianalisis dan dibuat kesimpulan.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengambilan Data Primer

Sumber: Perancangan



Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal dan internet). Data sekunder lain yang diperlukan dalam skripsi ini adalah :

1. Datasheet dari komponen *rectenna*, yang meliputi :

- 1) Bahan substrat yang digunakan adalah bahan Epoxy fiberglass – FR4
- 2) Konstanta dielektrik relative dari substrat Epoxy fiberglass – FR4
- 3) Konduktivitas tembaga
- 4) 1 buah kapasitor 1000 μ F
- 5) 1 buah port SMA female
- 6) 1 buah *Powerharvester* P2110B
- 7) 2 buah pin header

3.4 Perancangan Dimensi Antena

Perancangan antena sebagai penerima gelombang elektromagnetik sesuai dengan efisiensi power harvester P2110B yaitu pada frekuensi 902 – 928 MHz, sehingga diambil frekuensi tengah pada 915 MHz. Perancangan antena tersebut dilakukan dengan menggunakan software CST Studio Suite 2014 dan dilakukan simulasi untuk mengetahui parameter dan karakteristik dari antena yang akan dirancang bangun. Antena yang nantinya akan dirancang dan disimulasikan adalah antena microstrip rectangular patch. Bentuk geometri rectangular patch dipilih karena dianggap lebih mudah dalam fabrikasinya dan juga memiliki perhitungan dimensi yang lebih presisi dibandingkan dengan bentuk geometri yang lain.

Simulasi terhadap antena dapat dilakukan menggunakan software CST 2010, tetapi sebelumnya perlu diketahui terlebih dahulu spesifikasi dari antena yang sesuai dengan *rectifier* yang menggunakan *power harvester* P2100B serta spesifikasi dari bahan substrat yang akan digunakan sebagai bahan fabrikasi dari antena *microstrip* yang akan dirancang. Bahan yang digunakan pada simulasi dan perancangan antena adalah :

- Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

$$\text{Konstanta dielektrik } (\epsilon_r) = 4,5$$

$$\text{Ketebalan dielektrik } (h) = 1,6 \text{ mm}$$

- Bahan konduktor tembaga :



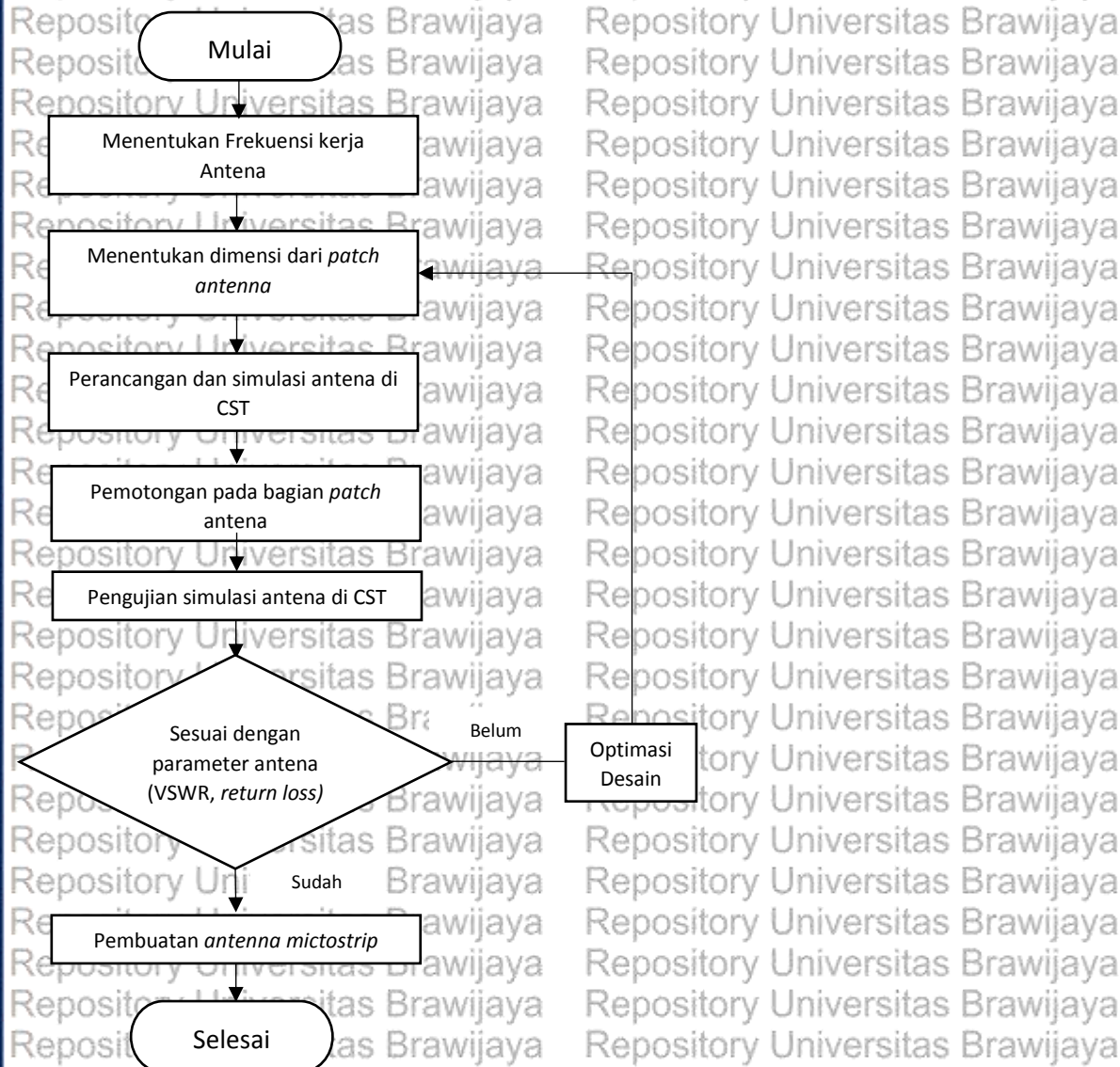
Ketebalan konduktor (t) = 0,0001m

Impedansi karakteristik saluran (Z_0) = 50 Ω

Spesifikasi antenna yang dirancang disesuaikan dengan karakteristik dari *rectifier* dengan menggunakan *power harvester* P2110B adalah sebagai berikut :

- Rentang frekuensi kerja antenna : 902 – 928 MHz
- VSWR : < 2
- Gain : > 3 dBi
- *Return Loss* : < -10 dB

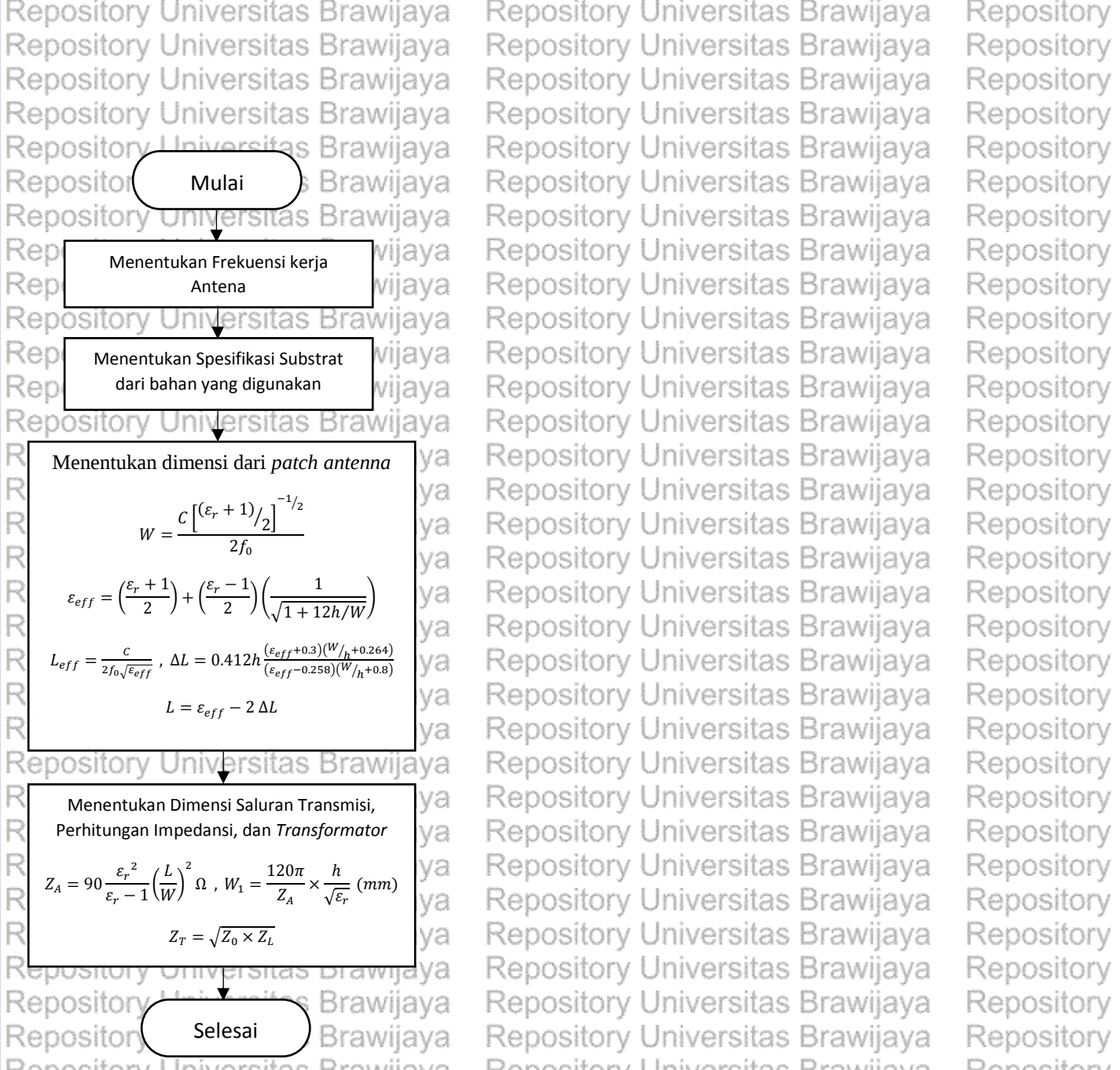
Diagram alir dari perancangan dan fabrikasi antenna microstrip rectangular patch 915 MHz dapat dilihat seperti gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Perancangan Antena *Microstrip Rectangular Patch*

Sumber: Perancangan

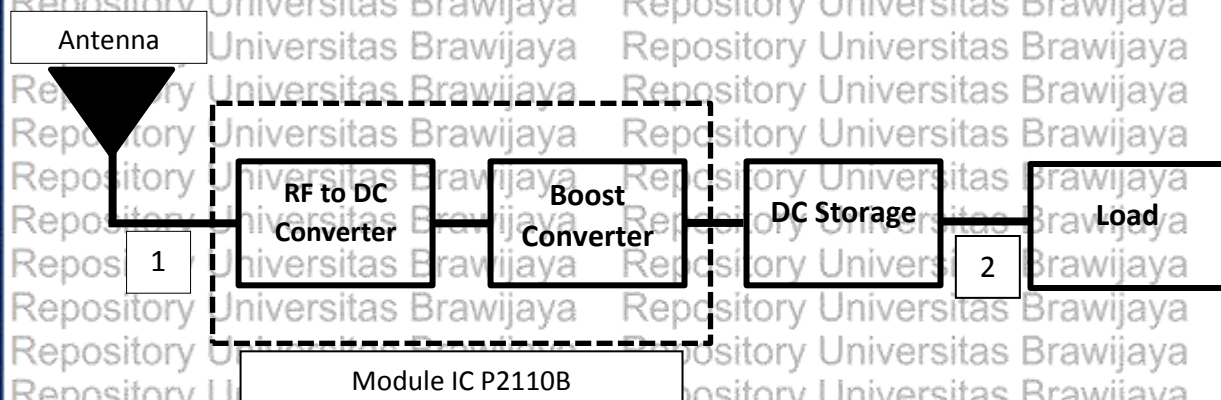
Diagram alir dari perhitungan dimensi antena *microstrip rectangular patch* 915 MHz dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 3. 4 Diagram Alir perhitungan dimensi *antena microstrip rectangular patch*

Sumber: Perancangan

3.5 Perancangan Rectenna

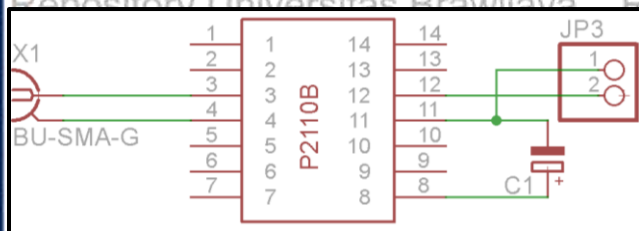




Gambar 3. 5 Blok Diagram *Rectenna*

Sumber: Perancangan

Perancangan *rectenna* pada skripsi ini memanfaatkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi 915 MHz. Dimana antenna yang digunakan sebagai pemanen energi elektromagnetik adalah antenna GSM yang memiliki frekuensi kerja pada frekuensi 915 MHz. Gelombang elektromagnetik tadi akan disambungkan menggunakan port SMA yang memiliki impedansi sebesar 50Ω ke module *Power Harvester* P2110B.

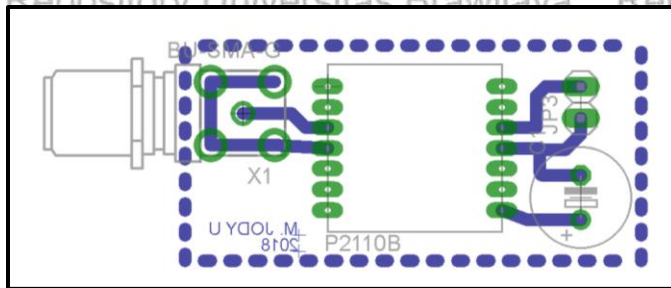


Gambar 3. 6 Skematik *Rectifier*

Sumber: Perancangan

Powerharvester P2110B dapat dilihat seperti pada gambar 3.4 dimana pada bagian *input* dipasang *female* SMA port untuk menghubungkan antara antenna dengan rangkaian *rectifier* pada *connector* RFin, yang mana pada antenna dan port SMA sama-sama memiliki impedansi sebesar 50Ω yang artinya arus dapat mengalir pada saluran transmisi dari antenna menuju rangkaian *rectifier*. Yang kemudian pada *Powerharvester* P2110B akan mengkonversi tegangan AC menjadi tegangan DC yang kemudian tegangan DC tersebut di perbesar dengan rangkaian *boost converter* dengan efisiensi 10% pada tegangan input RF minimum -12 dBm ($63\mu W$).

Sedangkan pada bagian *output* terdapat dua buah pin header sebagai keluaran tegangan DC yang di tambahkan kapasitor sebagai penyimpan keluaran tegangan yang akan disambungkan ke pin V_{CAP} pada *Powerharvester* P2110B. Dimana penambahan kapasitor sangat mempengaruhi hasil dari tegangan keluaran pada *rectenna*. Untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *rectenna* sebagai hasil dari pemanen energi elektromagnetik terhadap perangkat GSM. Bentuk perancangan *board rectifier* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7. Perancangan Board Rectifier
Sumber: Perancangan

Pada kapasitor menggunakan *Elco Capacitor* 1000 μ F. Nilai kapasitor yang dibutuhkan dalam suatu rangkaian dapat di dapatkan dari persamaan berikut:

$$C = 15V_{out}I_{out}t_{on}$$

Keterangan:

V_{out} = Tegangan output dari P2110

I_{out} = Rata-rata arus dari P2110

t_{on} = On-time tegangan output

Spesifikasi komponen dan bentuk skematik rangkaian *rectifier* dapat dilihat pada tabel 3.1 dan pada gambar 3.6.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Komponen Rectifier

	Powerharvester	Kapasitor
Rectifier	P2110B	1 x 1000 μ F

3.6 Pengujian

Pengujian yang nantinya akan dilakukan akan dibagi menjadi dua yaitu pengujian dari antenna yang digunakan dan pengujian dari *rectifier* nya. Pengujian yang dilakukan terhadap antenna yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran terhadap parameter antenna yang meliputi VSWR, *return loss*, *bandwidth*, *gain* yang diukur sesuai dengan frekuensi kerjanya. Letak diagram nya dapat dilihat seperti pada gambar 3.5 yang ditunjukkan pada angka 1. Hal ini dilakukan agar di ketahui kinerja dari antenna yang sebenar nya sehingga diharapkan antenna yang akan digunakan nantinya memiliki kinerja dan spesifikasi yang cocok terhadap rangkaian *rectifier*. Pengukuran antenna tersebut terdiri dari beberapa hal di antaranya adalah:



3.6.1 Pengukuran Return Loss, Bandwidth, dan Perhitungan VSWR

Pengukuran terhadap impedansi dan *return loss* dapat diketahui nilai dari VSWR serta koefisien pantul dari antenna tersebut. Dan *bandwidth* dari antenna dapat diketahui dari rentang frekuensi antenna terhadap VSWR. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan spesifikasi alat sebagai berikut:

1. *Spectrum Analyzer* GSP-827 2,7 GHz Gw *INSTEK*
2. *Directional Coupler*
3. Antena GSM
4. Kabel koaksial RG-58A/U
5. Konektor N *Female*

3.6.2 Pengukuran Gain Antena

Pengukuran *gain* ini dilakukan untuk mengetahui daya antenna yang diuji (Prx), dan *gain* antenna yang akan diuji (G) yang di dapatkan dari perhitungan menggunakan parameter daya dari antenna referensi (Pref). Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam pengukuran *gain* yaitu:

1. *Signal Generator* FR M13 200 kHz – 3 GHz *Aeroflex*
2. *Spectrum Analyzer* GSP-827 2,7 GHz Gw *INSTEK*
3. Dua buah antenna standar *dipole sleeve lamda/2*
4. Antena GSM
5. Kabel koaksial RG-58A/U
6. Konektor tipe N *Female*
7. Dua buah Tiang penyangga

Pengujian yang dilakukan untuk *rectifier antenna* adalah dengan mengukur tegangan keluaran dari *rectifier* berupa tegangan *output* yang dihasilkan. Letak diagram nya dapat dilihat seperti pada gambar 3.5 yang ditunjukkan pada angka 2. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui apakah *rectifier* antenna tersebut bekerja seperti yang diharapkan atau tidak. Pengukuran yang dilakukan terhadap *rectifier* antenna dapat diketahui seperti berikut:

3.6.3 Pengukuran keluaran tegangan Rectifier Antenna

Pengukuran terhadap *rectifier antenna* dilakukan dengan menggunakan *Signal Generator* sebagai pembangkit gelombang elektromagnetik yang bekerja pada frekuensi 915 MHz.



Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *rectenna* mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi gelombang DC dan mengetahui seberapa besar tegangan yang dapat dihasilkan oleh *rectenna* tersebut dengan pemberian variasi jarak antara *transmitter* dan *rectenna*.

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam pengukuran keluaran *rectifier* antenna adalah sebagai berikut:

1. *Rectenna (Rectifier Antenna)*
2. Antena *dipole* $1/2$ lamda
3. *Signal Generator*
4. Konektor SMA
5. *Adapter* SMA to BNC
6. *Adapter* BNC to N
7. Tiang Penyangga
8. *Digital Multimeter*

3.6.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan ditulis berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan. Pada bagian ini dijelaskan secara singkat tentang hasil yang telah dicapai beserta saran untuk pengembangan selanjutnya.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Bab ini akan menjelaskan mengenai prosedur pengujian parameter-parameter pada antenna, pengujian pada rectifier serta akan menunjukkan hasil dari pengujian rectenna yang diperoleh. Dengan begitu akan diketahui karakteristik serta performa dari antena rectangular patch yang sebelumnya telah di simulasikan. Pada rectifier juga di dapatkan kesimpulan apakah rectenna dapat bekerja dengan efisien.

Tujuan utama dari dilakukan nya pengukuran tersebut adalah untuk mengetahui tegangan keluaran rectenna melalui pengukuran secara langsung. Pengukuran yang dilakukan pada rectenna meliputi beberapa perhitungan dan pengukuran seperti yang tertera dibawah ini :

1. Pengukuran *Return Loss* pada *antenna*.
2. Perhitungan VSWR *antenna* yang didapatkan dari pengukuran *Return Loss* antenna.
3. Pengukuran *gain* pada *antenna*.
4. Pengukuran tegangan keluaran *rectifier*.
5. Pengukuran kinerja *Rectenna*.

Pengukuran pada antenna dan rectifier dilakukan di Laboratorium Teknik Telekomunikasi POLITEKNIK Negri Malang.

4.2 Perancangan Dimensi *Patch Antenna Microstrip*

Perancangan *patch* pada *antenna microstrip* yang akan digunakan pada skripsi ini adalah *antenna rectangular patch*. Pada bagian *patch* digunakan sebagai penangkap gelombang elektromagnetik pada frekuensi GSM yang kemudian akan di transmisikan menuju rangkaian *rectifier* dan kemudian dikonversi menjadi tegangan DC. Langkah-langkah perhitungan yang dilakukan terhadap *antenna microstrip rectangular patch*, adalah sebagai berikut.

1. Menentukan lebar dari *patch antenna microstrip rectangular patch* (W)



$$W = \frac{c[(\epsilon_r + 1)/2]^{-1/2}}{2f_0} \dots \dots \dots (4-1)$$

Dimana C adalah cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s) dan nilai (f_0) adalah frekuensi kerja dari antenna (915 MHz).

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 915} \sqrt{\frac{2}{4,5 + 1}}$$

$$W = 98,856 \text{ mm}$$

2. Menentukan permitivitas dielektrik efektif pada substrat (ϵ_{eff})

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2}\right) \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}}\right) \dots \dots \dots (4-2)$$

Dimana, $W = 98,856 \text{ mm}$, dan $h = 1,6 \text{ mm}$, sehingga :

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{4,5 + 1}{2}\right) + \left(\frac{4,5 - 1}{2}\right) \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 2(1,6)/98,856}}\right)$$

$$\epsilon_{eff} = 4,480$$

3. Menentukan Panjang patch dari antenna microstrip rectangular patch (L)

$$\bullet L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \dots \dots \dots (4-3)$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 915 \sqrt{4,480}}$$

$$L_{eff} = 77,517 \text{ mm}$$

$$\bullet \Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3)(W/h + 0,264)}{(\epsilon_{eff} - 0,258)(W/h + 0,8)} \dots \dots \dots (4-4)$$

$$\Delta L = 0,412(1,6) \frac{(4,480 + 0,3) (98,856/1,6 + 0,264)}{(4,480 - 0,258) (98,856/1,6 + 0,8)}$$

$$\Delta L = 0,736$$

$$\bullet L = \epsilon_{eff} L_{eff} - 2 \Delta L \dots \dots \dots (4-5)$$

$$L = 77,517 - (2 \times 0,736)$$

$$L = 76,045 \text{ mm}$$



4.2.1 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi

Perhitungan dimensi patch diketahui untuk elemen pradiasi, panjang dari patch pada antena microstrip (L) adalah 76,045 mm, sedangkan untuk lebar dari patch (W) adalah 98,856mm, kemudian dilakukan perhitungan terhadap impedansi masukan untuk elemen pradiasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega \dots\dots\dots (4-6)$$

$$Z_A = 90 \frac{4,5^2}{4,5 - 1} \left(\frac{76,045}{98,856} \right)^2 \Omega$$

$$Z_A = 310,552 \Omega$$

Sehingga diketahui impedansi terhadap elemen pradiasi (Z_A) adalah 310,552 Ω , kemudian dilakukan perhitungan dimensi untuk saluran transmisi pada elemen pradiasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_1 = \frac{120\pi}{Z_A} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} (mm) \dots\dots\dots (4-7)$$

$$W_1 = \frac{120\pi}{310} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} (mm)$$

$$W_1 = 0,897 mm$$

Untuk menghitung impedansi matching antara saluran transmisi pada elemen pradiasi dan saluran transmisi yang di sambungkan dengan SMA port maka diperlukan transformer $\frac{1}{4} \lambda$, dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_T = \sqrt{Z_0 \times Z_L} \dots\dots\dots (4-8)$$

Impedansi matching antara saluran transmisi 310 Ω dan 50 Ω , sehingga perhitungan dimensi saluran *transformator* adalah sebagai berikut :

$$Z_T = \sqrt{310 \times 50} \dots\dots\dots (4-9)$$

$$Z_T = 124,4 \Omega$$

$$W_T = \frac{120\pi}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} (mm)$$

$$W_T = \frac{120\pi}{124} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} (mm)$$

$$W_T = 5,68 mm$$



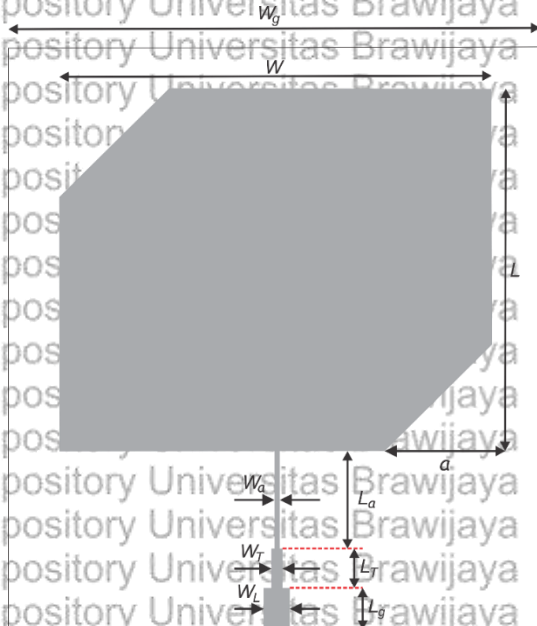
4.2.3 Simulasi Antenna Microstrip Rectangular Patch

Dimensi antenna yang telah diketahui dari persamaan rumus antenna *microstrip rectangular patch* selanjutnya dilakukan simulasi antenna untuk mengetahui apakah dengan dimensi yang sudah didapatkan telah sesuai dengan parameter antenna. Apabila sudah sesuai kemudian dilakukan pemotongan pada ujung patch antenna agar didapatkan hasil polarisasi yang mendekati circular. Dimensi antenna microstrip yang telah dioptimasi dapat dilihat seperti pada tabel 4.1 dan gambar 4.1 merupakan bentuk dari prototype antenna microstrip rectangular patch yang telah dioptimasi.

Tabel 4. 1 Dimensi antenna *microstrip rectangular* yang sudah di optimasi

Variabel	Dimensi (mm)
W (lebar patch)	98.8
L (panjang patch)	84.08
a (lebar potongan patch)	25
W_a (lebar saluran transmisi pradiasi)	0.897
W_T (lebar saluran transformer)	2.29
W_L (lebar saluran transmisi 50 Ω)	5.68
L_a (panjang saluran transmisi pradiasi)	23.8
L_T (panjang saluran transformer)	9.2
L_L (panjang saluran transmisi 50 Ω)	11.95
W_g (lebar ground plane)	123.5
L_g (panjang ground plane)	136.6

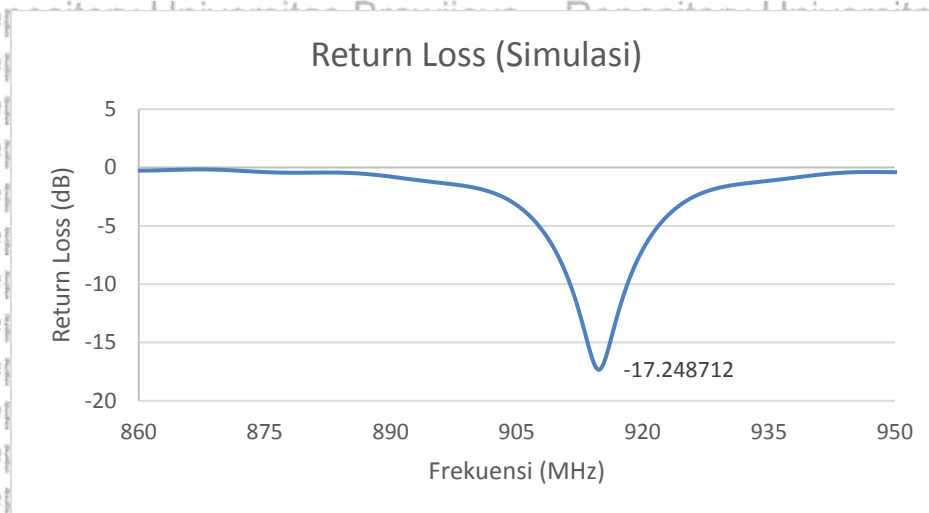
Sumber: Hasil Perencanaan (2018)



Gambar 4. 1 Geometri Antenna Microstrip Rectangular Patch

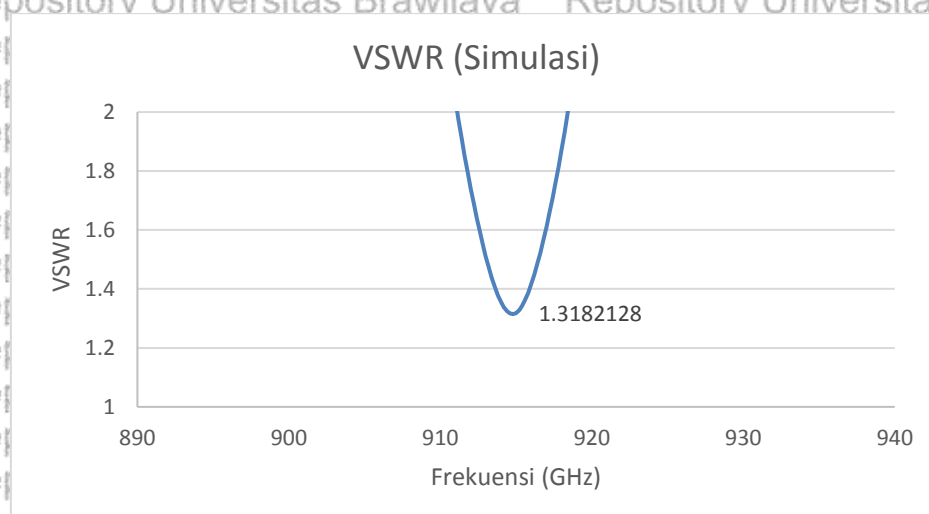
Sumber: Hasil Perencanaan (2018)

Dimensi yang sudah didapatkan dari perhitungan rumus, kemudian sebelum dilakukan fabrikasi terhadap antenna perlu diketahui terlebih dahulu parameter performa dari antenna microstrip dengan melakukan simulasi menggunakan simulator CST 2010. Parameter-parameter yang menjadi acuan terhadap performa dari antenna tersebut adalah return loss, VSWR, gain, polarisasi, polarisasi.



Gambar 4. 2 Grafik return loss Antena microstrip rectangular patch (simulasi)

Sumber: Hasil Perencanaan (2018)



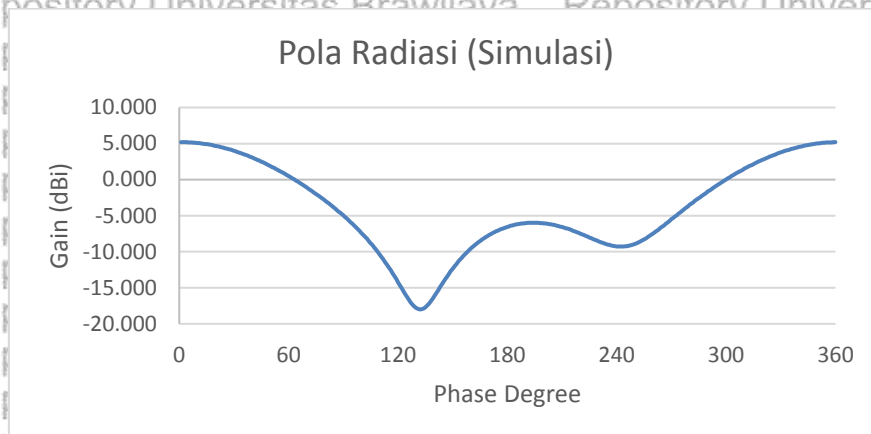
Gambar 4. 3 Grafik VSWR Antena microstrip rectangular patch (simulasi)

Sumber: Hasil Perencanaan (2018)

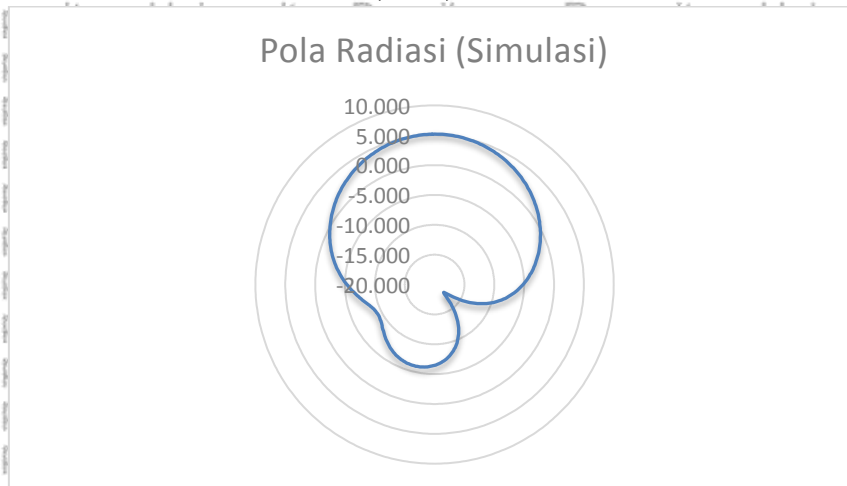
Hasil yang didapat dari simulasi menggunakan CST 2010, frekuensi kerja antenna microstrip rectangular patch berada pada frekuensi 915 MHz dengan hasil return loss adalah -17,2 dB dan VSWR adalah 1.3. Ini menunjukkan bahwa antenna sudah dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 915 MHz, dimana return loss dibawah -10 dB dan VSWR lebih kecil dari 2. Antenna yang disimulasikan dapat bekerja dari frekuensi 912-918 MHz sehingga



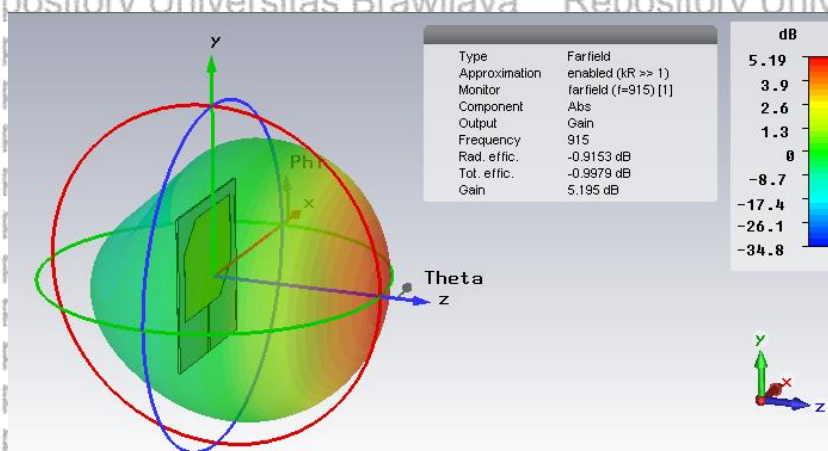
didapatkan bandwidth sebesar 5 MHz, kemudian dilakukan simulasi terhadap gain dari antenna microstrip rectangular patch.



Gambar 4. 4 Grafik Gain Antena microstrip rectangular patch (simulasi)
Sumber: Hasil Perencanaan (2018)

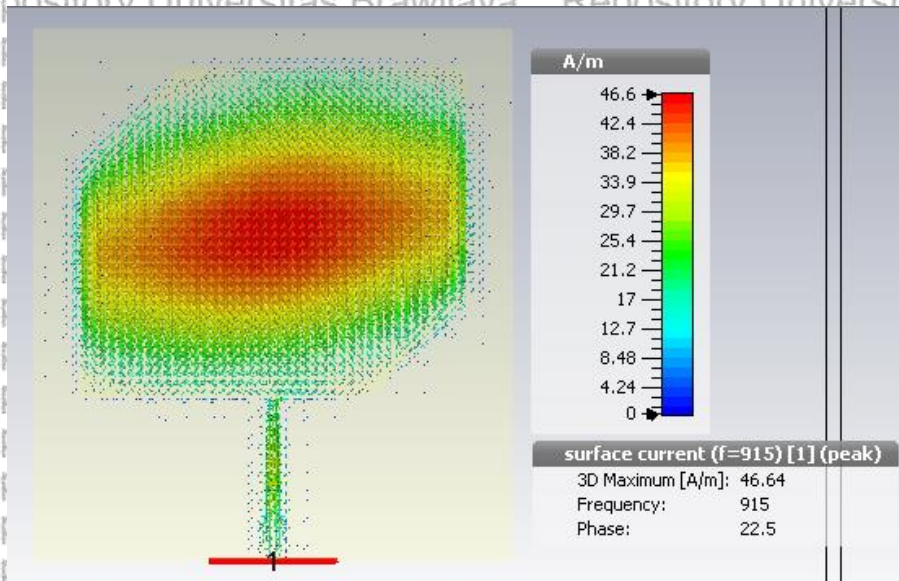


Gambar 4. 5 Grafik Polaradiasi Antena microstrip rectangular patch (simulasi)
Sumber: Hasil Perencanaan (2018)



Gambar 4. 6 Gambar 3D distribusi gain Antena microstrip rectangular patch (simulasi)
Sumber: Hasil Perencanaan (2018)

Hasil simulasi gain diatas menunjukkan bahwa pada frekuensi tengah dari antenna microstrip yang disimulasikan yaitu pada 915 MHz adalah sebesar 5.19 dB. Ini menunjukkan bahwa penguatan pada antenna yang disimulasikan memiliki penguatan yang cukup besar dan antenna yang disimulasikan juga memiliki polarisasi directional yaitu antenna hanya memancarkan penguatan radiasi elektro magnetik hanya pada sisi depan saja. Simulasi gain yang sudah dilakukan sebelumnya kemudian dilakukan simulasi polarisasi terhadap antenna yang dapat dilihat pada surface current.



Gambar 4. 7 Gambar Surface current antenna microstrip rectangular patch (simulasi)
Sumber: Hasil Perencanaan (2018)

Simulasi *surface current* terhadap *patch* dari antenna yang telah dipotong terhadap sudut kiri dan kanan nya tersebut dapat dilihat bahwa polarisasi yang dihasilkan mendekati *circular*. Hal ini menjadi lebih menguntungkan karena antenna tersebut dapat menerima gelombang elektromagnetik tidak hanya linier tetapi juga secara vertical.

4.3 Pengujian Return Loss Antenna

Sebuah antenna dikatakan baik dan dapat digunakan pada frekuensi kerja yang diinginkan apabila memiliki Return Loss ≤ -10 dB.

4.3.1 Tujuan Pengukuran Return Loss pada Antenna

Adapun tujuan dari pengukuran return loss pada antenna yang digunakan adalah sebagai berikut :



1. Untuk mengetahui nilai *return loss* dari antenna *microstrip rectangular patch* yang telah di fabrikasi.

2. Menjadi parameter untuk mendapatkan nilai *VSWR* dari antenna *microstrip rectangular patch* yang telah di fabrikasi.

4.3.2 Peralatan yang digunakan untuk pengujian Return Loss pada Antenna

Peralatan yang akan digunakan pada pengukuran *return loss* pada antenna *microstrip rectangular patch* yang telah di fabrikasi, antara lain adalah sebagai berikut :

1. Antena Uji (1buah)
2. *Spectrum analyzer* (1buah)
3. *Directional coupler* (1buah)
4. Konektor SMA (1buah)
5. Adapter SMA to BNC (1buah)

4.3.3 Prosedur Pengujian Return Loss pada Antenna

Berikut adalah prosedur yang dilakukan pada pengujian *return loss* pada antenna *microstrip rectangular patch* yang telah di fabrikasi :

1. Mempersiapkan alat dan disusun seperti pada gambar 4.1.
2. *Input* pada *Directional coupler* disambungkan dengan *output spectrum analyzer*.
3. *Top* pada *Directional coupler* disambungkan dengan *input spectrum analyzer*.
4. *Output* pada *Directional coupler* disambungkan ke konektor SMA pada antenna *microstrip rectangular patch*.
5. Mengatur *Spectrum Analyzer* GSP-827 pada frekuensi 1000 – 2700 MHz

Nilai *return loss* yang sudah didapatkan pada frekuensi yang diinginkan, selanjutnya dilakukan perhitungan seperti di bawah ini :

$$RL = Level_{terbaca} + Attenuation_{DC} + Level_{referensi}$$

Keterangan :

RL : *Return loss* antenna

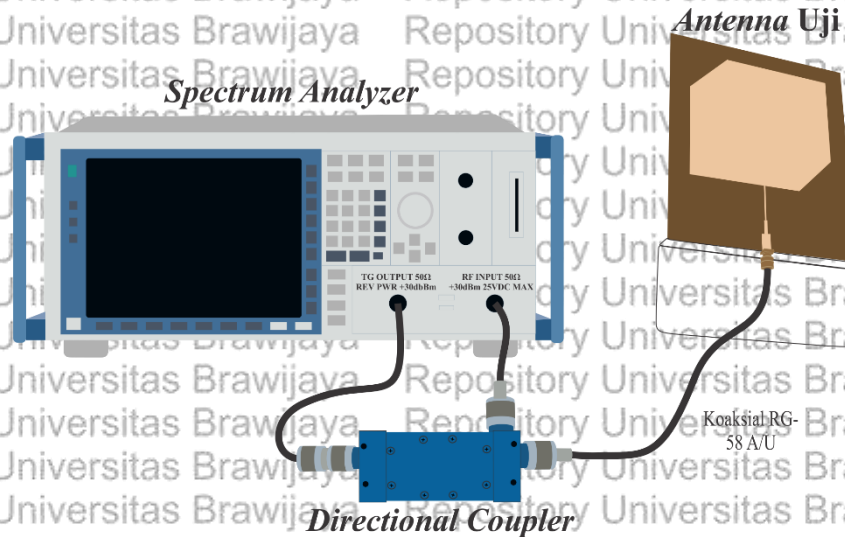
$Level_{terbaca}$: *Return loss* yang terbaca pada *spectrum analyzer*

$Attenuation_{DC}$: *Attenuation directional coupler* bernilai -20 dB

$Level_{referensi}$: Nilai referensi dari *spectrum analyzer*

4.3.4 Hasil Pengukuran Return Loss Antena

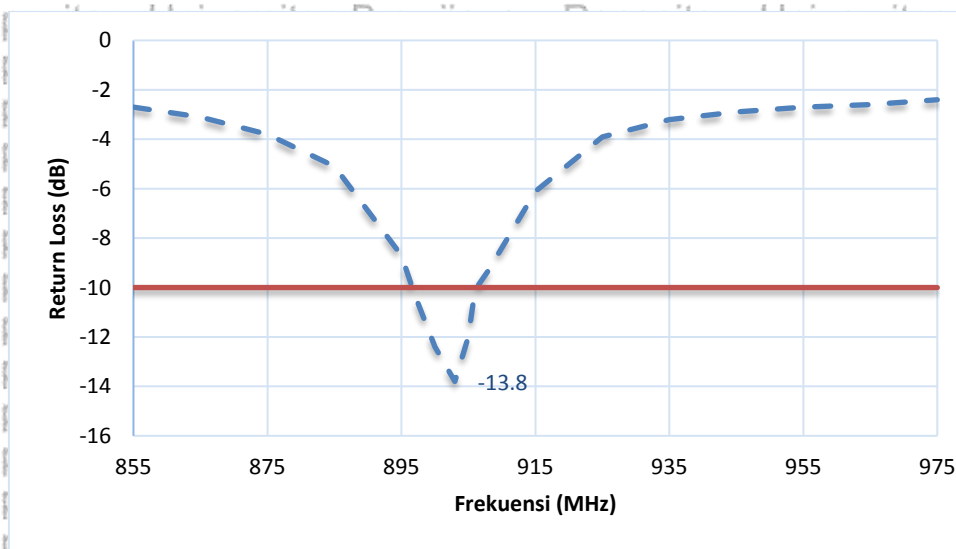
Menggunakan persamaan rumus RL, pengukuran return loss antenna microstrip rectangular patch menggunakan spectrum analyzer dapat dilakukan.



Gambar 4. 8 Rangkaian Pengukuran Return Loss

Sumber: Hasil Pengujian (2018)

Prosedur percobaan dapat dilakukan sesuai dengan gambar di atas kemudian pengujian dilanjutkan. Nilai return loss dapat terbaca pada layar spectrum analyzer. Nilai dan grafik dari pengujian return loss antenna microstrip rectangular patch dapat dilihat pada gambar 4.9 dan tabel 4.2 seperti berikut.



Gambar 4. 9 Grafik Pengujian Return Loss antenna microstrip rectangular patch

Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Tabel 4. 2 Tabel Pengujian *Return Loss* antenna *microstrip rectangular patch*

Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)
855	-2.7
865	-3.1
875	-3.8
885	-5.1
895	-8.7
897	-10.3
900	-12.4
903	-13.8
905	-12
906	-10.1
908	-9.3
915	-6.1
925	-3.9
935	-3.2
945	-2.9
955	-2.7
965	-2.6
975	-2.4

Sumber: Hasil Pengujian (2018)

Hasil yang didapatkan dari pengukuran return loss pada antenna microstrip rectangular patch bekerja dari rentang frekuensi 897 – 906 Mhz dengan nilai return loss dibawah -10 dB sehingga meskipun antena tersebut tidak bekerja tepat pada 915 Mhz namun tetap dapat digunakan karena masih dalam batas rentang efisiensi dari power harvester P2110B yang dapat bekerja dengan efisien pada frekuensi 902 – 928 Mhz.

4.4 Perhitungan VSWR Antenna

Perhitungan yang dilakukan terhadap VSWR didapatkan berdasarkan hasil dari pengukuran return loss yang dilakukan sebelumnya. Parameter VSWR yang baik terhadap suatu antenna apabila didapatkan $VSWR \leq 2$.



4.4.1 Tujuan Perhitungan VSWR Antenna

Perhitungan VSWR dilakukan untuk mengetahui apakah antenna microstrip rectangular patch yang di gunakan dapat mentransmisikan gelombang elektromagnetik dengan baik ke rangkaian rectifier yang menggunakan power harvester P2110B dengan perbandingan gelombang elektromagnetik yang dapat di transmisikan lebih besar dibandingkan dengan gelombang pantulnya.

4.4.2 Prosedur Perhitungan VSWR Antenna

Berikut adalah prosedur yang dilakukan dalam perhitungan VSWR antenna microstrip rectangular patch, antara lain sebagai berikut :

1. Menghitung nilai $|T|$ menggunakan rumus :

$$RL = 20 \log |\Gamma|$$

$$\Gamma = 10^{\left(\frac{RL}{20}\right)}$$

2. Setelah mendapatkan nilai koefisien pantul, sehingga nilai VSWR dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

RL : Nilai dari return loss antenna microstrip rectangular patch

$|\Gamma|$: Nilai dari koefisien pantul antenna microstrip rectangular patch

VSWR : Nilai dari VSWR antenna microstrip rectangular patch

4.4.3 Hasil Perhitungan VSWR Antenna

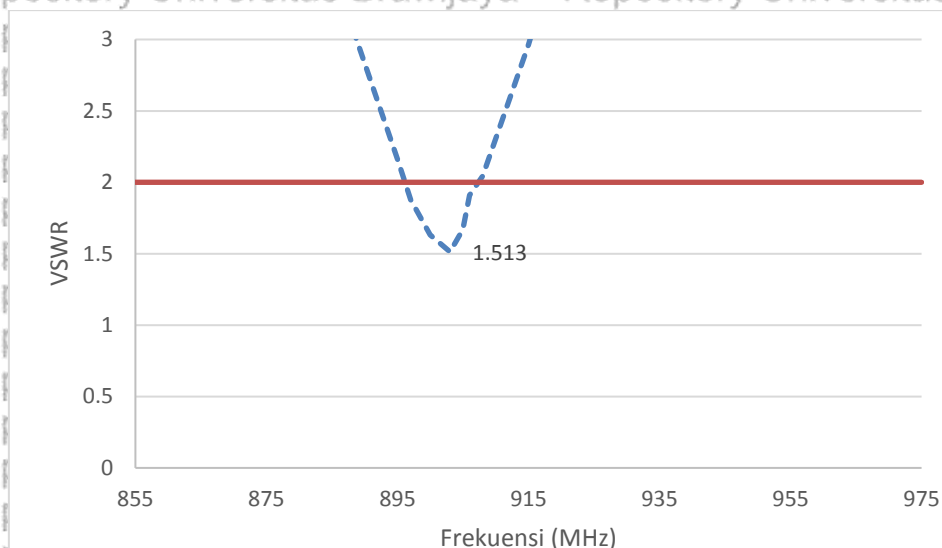
Hasil pengukuran return loss yang sudah didapatkan sebelumnya, perhitungan VSWR antenna microstrip rectangular patch dapat diketahui dari tabel 4.3 dan gambar 4.10 dibawah ini.



Tabel 4. 3 Hasil dari perhitungan VSWR antenna yang diuji

Frekuensi (MHz)	VSWR
855	6.485
865	5.663
875	4.644
885	3.503
895	2.16
897	1.879
900	1.631
903	1.513
905	1.67
906	1.909
908	2.043
915	2.963
925	4.528
935	5.489
945	6.045
955	6.485
965	6.731
975	7.284

Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Gambar 4. 10 Grafik VSWR antenna yang diuji

Sumber: Hasil Pengujian (2018)

Hasil yang didapatkan dari perhitungan VSWR pada antenna microstrip rectangular patch bekerja dari rentang frekuensi 897-906 Mhz dengan nilai VSWR dibawah 2 sehingga antenna tersebut dapat mentransmisikan gelombang elektromagnetik secara maksimal.

4.5 Pengukuran Gain Antenna

Pengukuran Gain pada antenna dapat dilakukan dengan menggunakan antenna referensi yang menggunakan antenna standar yaitu antenna dipole $1/2\lambda$. Gain dapat diketahui dengan perbandingan level penerimaan antenna yang di uji dengan antenna referensi.

4.5.1 Tujuan Pengujian Gain Antenna

Pengukuran gain dilakukan untuk mengetahui penguatan dari antenna microstrip rectangular patch yang difabrikasi.

4.5.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengujian Gain Antenna

Peralatan yang digunakan dalam pengujian gain antenna microstrip rectangular patch yang sudah difabrikasi antaralain sebagai berikut :

1. Antena Uji (1buah)
2. Antena dipole $1/2\lambda$ (1buah)
3. Spectrum Analyzer (1buah)
4. Signal Generator (1buah)
5. Konektor SMA (1buah)
6. Adapter SMA to BNC (1buah)
7. Adapter BNC to N (1buah)

8. Tiang penyangga (2buah)

4.5.3 Prosedur Pengujian Gain Antena

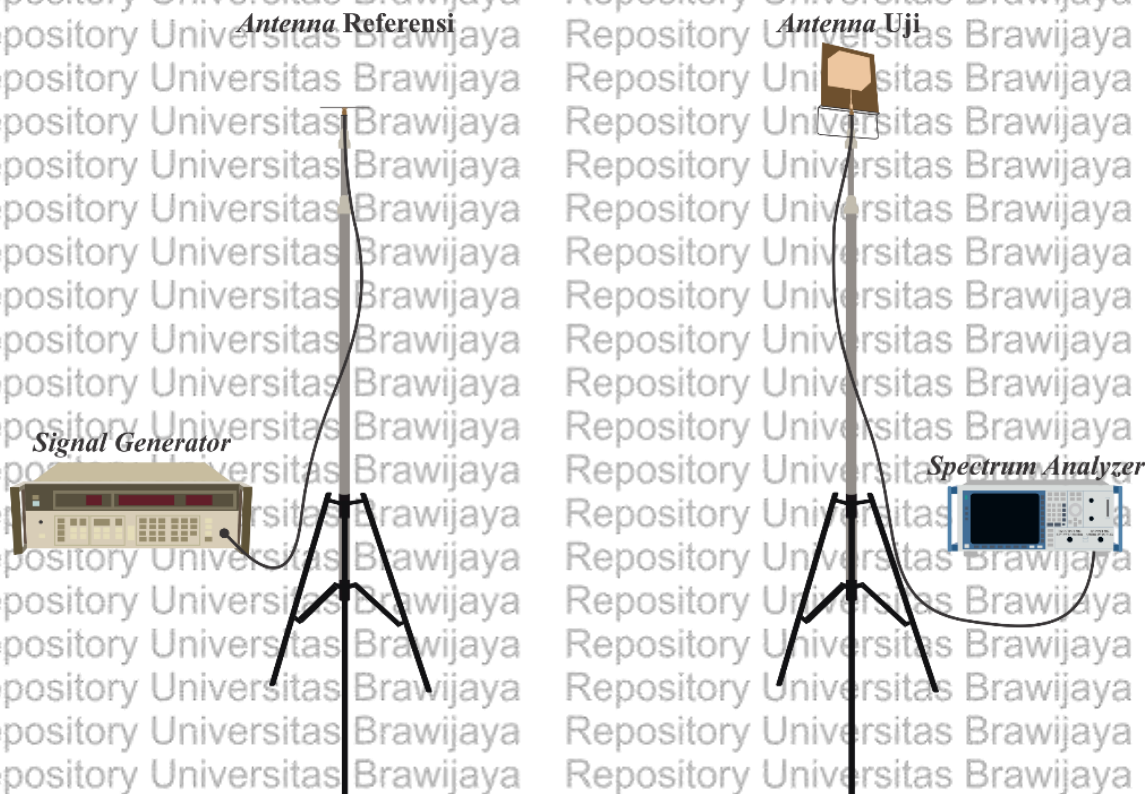
Prosedur yang dilakukan dalam pengukuran gain antenna microstrip rectangular patch yang telah difabrikasi adalah sebagai berikut :

1. Rangkaian dirangkai seperti pada gambar 4.11.
2. *Signal generator* diberi masukan frekuensi mulai dari 815 Mhz sampai dengan 1015 Mhz.
3. Antenna *dipole* $\frac{1}{2}$ lamda digunakan sebagai penerima dan antenna *dipole* $\frac{1}{2}$ lamda sebagai antenna pemancar.
4. Pada *spectrum analyzer* level penerima nya dicatat mulai dari frekuensi 815 Mhz sampai dengan 1015 Mhz dengan interval frekuensi adalah 10 Mhz dalam satuan dBm.
5. Rangkaian dirangkai seperti pada gambar 4.12.
6. Antena referensi yang digunakan sebagai penerima diganti dengan antenna *microstrip rectangular patch*.
7. Pengujian dilakukan seperti pada nomor 4.
8. Hasil yang didapatkan dari dua antenna tersebut dimasukkan ke dalam tabel dan dilakukan perhitungan *gain* dalam satuan dBi.



Gambar 4. 11 Rangkaian Pengukuran Gain antenna referensi

Sumber: Perancangan (2018)



Gambar 4. 12 Rangkaian Pengukuran Gain antenna uji
Sumber: Perancangan (2018)

4.5.4 Hasil Perhitungan Gain Antenna

Pengukuran gain yang dilakukan akan menghasilkan beberapa parameter-parameter diantaranya yaitu daya antenna referensi (P_{ref}), daya antenna yang diuji (P_u), dan nilai Gain antenna yang diuji (G_u). Penguatan daya disini mempunyai pengertian perbandingan daya yang dipancarkan oleh suatu antenna tertentu dibandingkan dengan daya yang dipancarkan oleh suatu antenna isotropis yang bentuk polanya seperti bola. Radiator isotropis sebenarnya adalah konsep teoritis, nilai dari gain antenna yang diuji didapatkan dari perbandingan intensitas radiasi antenna dipole $\frac{1}{2} \lambda$ yang memiliki intensitas radiasi 1,64 kali atau sebesar 2,15 dB yang dibandingkan dengan radiator isotropis, perhitungan dari data yang dihasilkan dari pengukuran dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

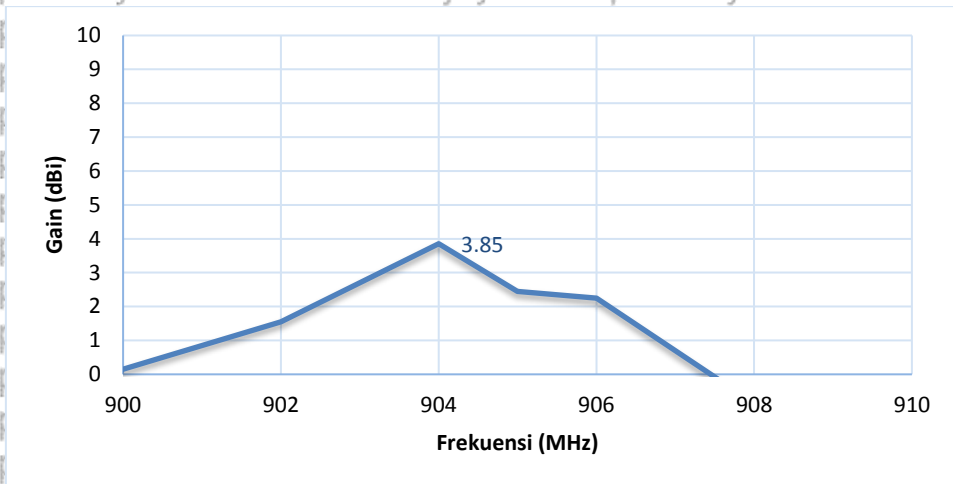
$$G_u = 2.15 + P_u(dBm) - P_{ref}(dBm)$$

Menggunakan rumus tersebut, hasil perhitungan gain antenna yang diuji di tiap frekuensi dapat diketahui seperti pada grafik 4.13 dan tabel 4.4 sebagai berikut.

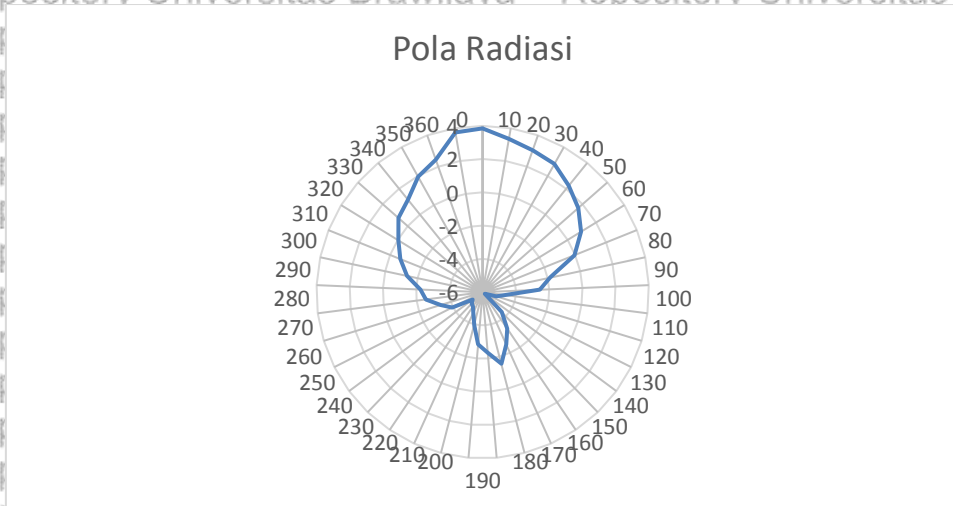
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan *Gain* antenna uji

Frekuensi (MHz)	Pengujian		
	Daya Ref (dBm)	Daya Uji (dBm)	Gain (dBi)
855	-53	-67.2	-12.05
865	-46.6	-63.2	-14.45
875	-49.6	-62.1	-10.35
885	-55	-53.2	3.95
895	-49.8	-56.9	-4.95
900	-49.2	-51.2	0.15
902	-49.9	-50.5	1.55
904	-51.7	-50	3.85
905	-52	-51.7	2.45
906	-53.1	-53	2.25
908	-50.4	-53.4	-0.85
915	-48.3	-79.7	-29.25
925	-54.3	-55.3	1.15
935	-49.4	-58.9	-7.35
945	-50.6	-60.5	-7.75
955	-60.9	-62.5	0.55
965	-57.2	-62.8	-3.45
975	-60.4	-64.2	-1.65

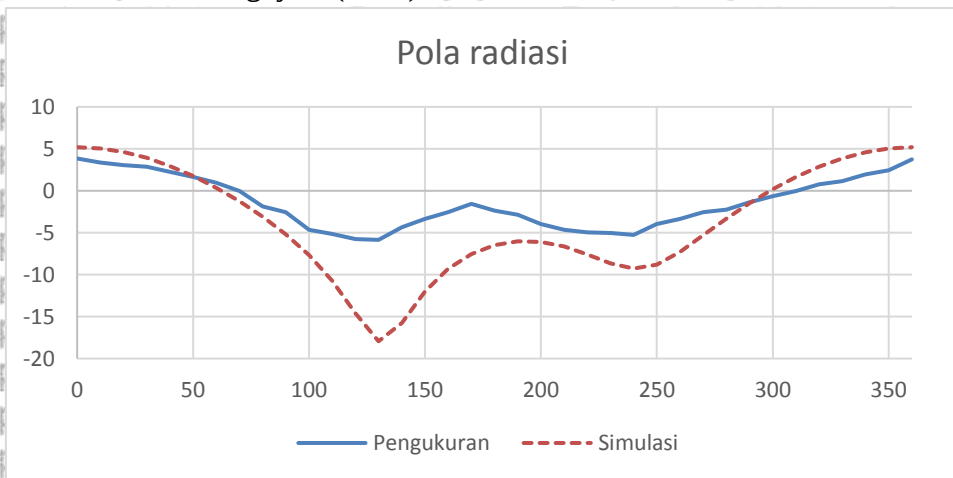
Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Gambar 4. 13 Grafik Pengukuran Gain antenna *microstrip rectangular patch*
Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Gambar 4. 14 Grafik Pengukuran Polaradiasi Gain antenna *microstrip rectangular patch*
Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Pengukuran dan Simulasi Polaradiasi antenna *microstrip rectangular patch*
Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Pengukuran gain yang dilakukan menggunakan antena referensi dipole $\frac{1}{2}$ lamda yang memiliki gain sebesar 2.15 dBi. Hasil dari pengukuran gain menunjukkan bahwa antena microstrip rectangular patch memiliki nilai penguatan yang cukup baik yaitu dengan sebesar 3.85 dBi dan nilai penguatan terbesar pada frekuensi 904 Mhz.

4.6 Pengukuran Tegangan Output Rectifier

Pengukuran pada tegangan output rectifier dilakukan untuk mengetahui apakah kinerja dari rectifier dapat bekerja seperti karakteristik yang di ketahui dari spesifikasi dari module power harvester P2110B dan dapat berfungsi sebagai penyearah gelombang elektromagnetik dan mengeluarkan tegangan DC yang kemudian dapat diukur dengan multimeter digital.

4.6.1 Tujuan Pengukuran Tegangan Output Rectifier

Tujuan dari pengukuran tegangan keluaran rectifier adalah untuk mengetahui kinerja dari rangkaian rectifier yang sudah di fabrikasi apakah dapat mengeluarkan daya keluaran apabila diberi masukan dari perangkat function generator.

4.6.2 Peralatan yang digunakan dalam Pengujian Tegangan Output Rectifier

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran tegangan keluaran rectifier adalah sebagai berikut :

1. *Power Supply* (1buah)
2. *Signal Generator* (1buah)
3. Konektor SMA (1buah)
4. *Adapter SMA to BNC* (1buah)
5. *Adapter BNC to N* (1buah)
6. *Rectifier* yang akan diuji (1buah)
7. *Digital Multimeter* (1buah)

4.6.3 Prosedur Pengujian Tegangan Output Rectifier

Berikut adalah prosedur yang dilakukan dalam pengujian tegangan output rectifier, diantaranya adalah :

1. Rangkaian dirangkai seperti pada gambar 4.16
2. Kabel koaksial RG-58A/U dipasang ke port SMA pada rangkaian *rectifier* menggunakan *adapter SMA to BNC*.
3. *Signal generator* diaktifkan, lalu diatur pada frekuensi 904 MHz dengan daya sebesar 0 dBm.



4. Kemudian tegangan akan mengalir ke rangkaian *rectifier*. Kemudian tegangan keluaran pada *rectifier* diukur menggunakan multimeter.



Gambar 4. 16 Rangkaian Pengukuran Tegangan Output *rectifier*
Sumber: Hasil Pengujian (2018)

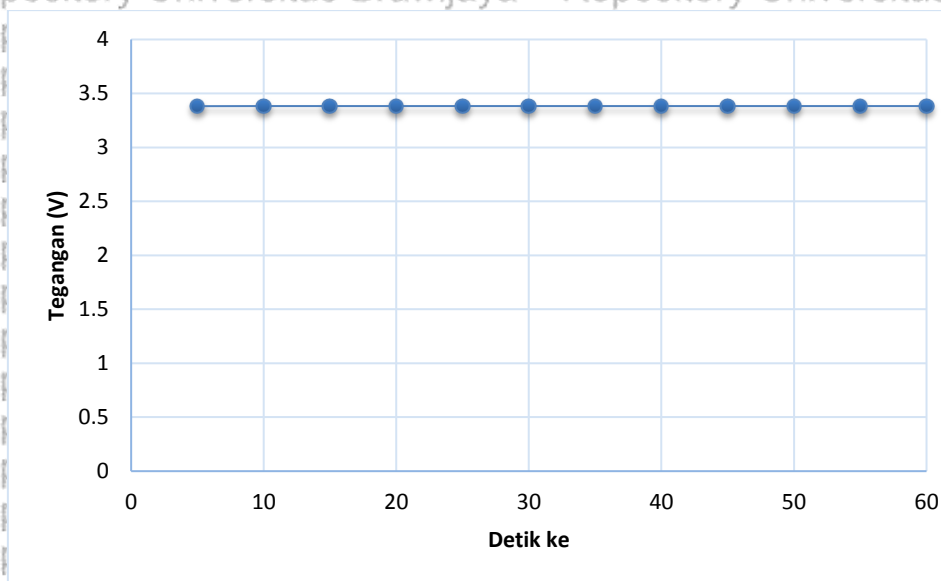
4.6.4 Hasil Pengukuran Tegangan Output pada Rectifier

Berikut adalah hasil dari pengukuran tegangan output *rectifier* yang dicatu dengan signal generator dengan daya sebesar 0 dbm.

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Tegangan *output rectifier*

Waktu (detik)	Tegangan (Volt)
0	0
5	3.382
10	3.383
15	3.383
20	3.383
25	3.383
30	3.383
35	3.383
40	3.383
45	3.383
50	3.383
55	3.383
60	3.383

Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Gambar 4. 17 Grafik Pengukuran Tegangan Output Rectifier

Sumber: Hasil Pengujian (2018)

Hasil pengukuran dari tegangan output rectifier pada frekuensi 904 MHz sebesar 3.383 Volt. Tegangan output ini menunjukkan bahwa rectifier yang menggunakan power harvester P2110B dapat mengkonversi gelombang elektromagnetik dengan baik dan dapat digunakan sebagai penyearah gelombang untuk antena microstrip rectangular patch yang telah difabrikasi.

4.7 Pengukuran Kinerja Rectenna

Pengukuran sebelumnya yang dilakukan terhadap parameter antena dan diketahui frekuensi kerja yang baik dari antena kemudian dilakukan pengukuran dari kinerja rectenna. Pada pengukuran ini akan dilakukan dengan mengintegrasikan rangkaian rectifier yang menggunakan modul power harvester P2110B dengan antena microstrip rectangular patch. Pada pengukuran ini dilakukan menggunakan alat ukur function generator yang tidak menggunakan frekuensi 915 Mhz tetapi menggunakan frekuensi kerja dari antena yaitu 904 Mhz, kemudian tegangan keluaran rectenna akan diukur menggunakan multimeter digital.

4.7.1 Tujuan Pengukuran Kinerja Rectenna

Pengukuran kinerja rectenna dilakukan untuk mengetahui performa dari rectenna dalam mengubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang DC, kemudian dapat diketahui bagaimana hasil keluaran tegangan rectenna menggunakan multimeter digital.

4.7.2 Peralatan yang digunakan untuk Pengukuran Kinerja Rectenna

Peralatan yang akan digunakan pada pengukuran kinerja rectenna adalah sebagai berikut:

1. Rectifier Antenna (1buah)

2. *Antenna dipole $\frac{1}{2}$ lambda* (1buah)
3. *Signal Generator* (1buah)
4. Konektor SMA (1buah)
5. *Adapter SMA to BNC* (1buah)
6. *Adapter BNC to N* (1buah)
7. Tiang penyangga (1buah)
8. *Digital Multimeter* (1buah)

4.7.3 Prosedur Pengukuran Kinerja Rectenna

Prosedur yang dilakukan dalam pengukuran kinerja rectenna adalah sebagai berikut:

1. *Antenna dipole* lambda/2 yang digunakan sebagai pemancar frekuensi GSM 904 MHz yang dihubungkan menggunakan kabel koaksial RG-58A/U ke *signal generator*.
2. *Antenna* yang akan diuji digunakan sebagai *receiver* yang diintegrasikan dengan rangkaian *rectifier* seperti yang terlihat pada gambar 4.18
3. *Signal generator* diaktifkan, lalu diatur pada frekuensi 904 MHz
4. Tegangan *output* DC pada *rectenna* diukur terhadap pemancar GSM dan diberikan variasi jarak.

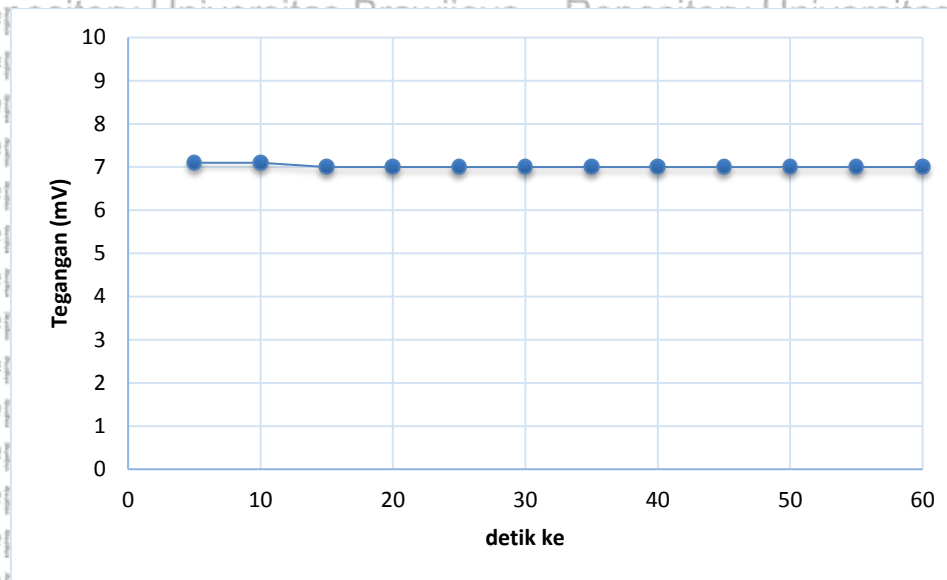


Gambar 4. 18 Rangkaian Pengukuran Rectenna
Sumber: Hasil Pengujian (2018)

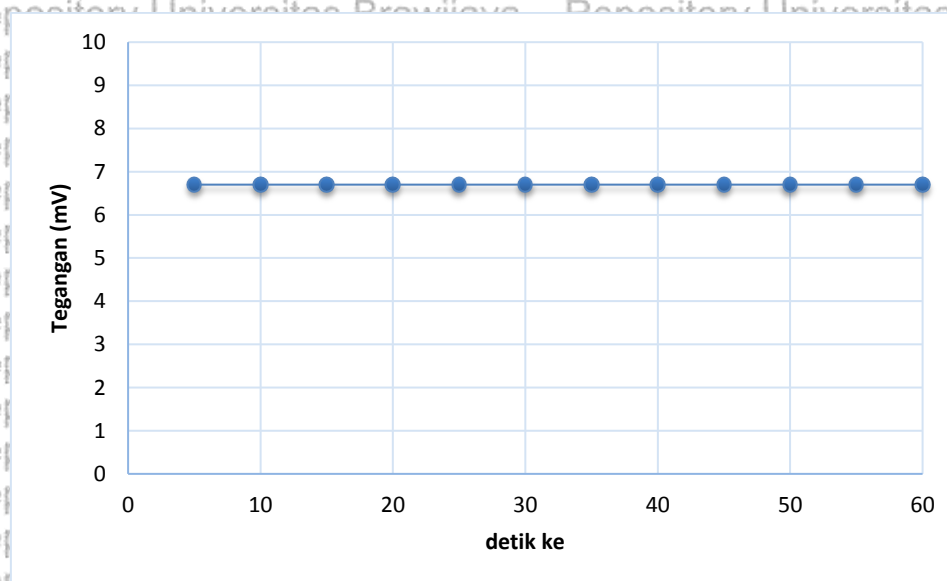
4.7.4 Hasil Pengukuran Kinerja Rectenna

Pengukuran kinerja rectenna ini diberikan variasi jarak agar diketahui pengaruh dari jarak yang diberikan terhadap gelombang elektromagnetik yang dapat dikonversi menjadi

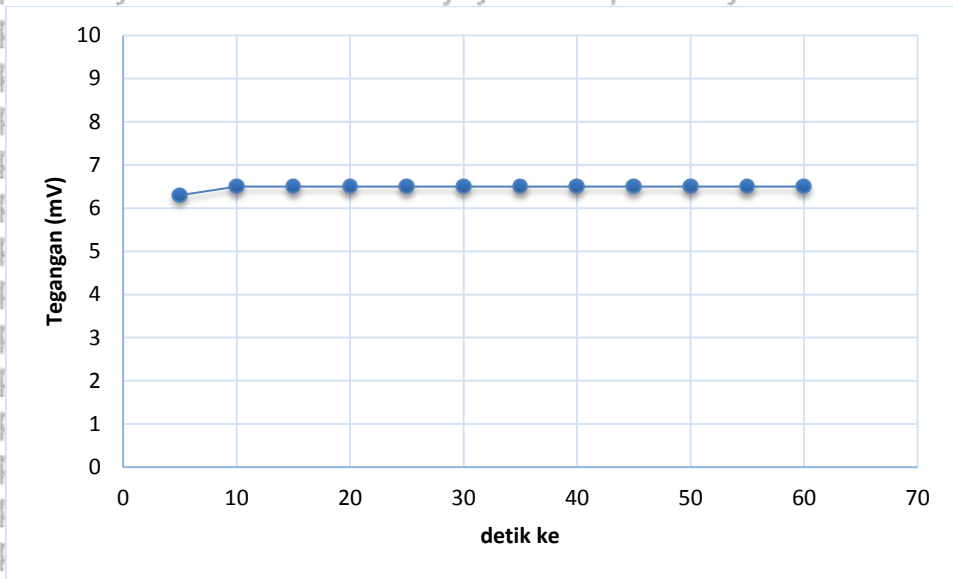
tegangan DC pada rectenna. Pada pengukuran kinerja rectenna dilakukan sebanyak lima kali dimana jarak yang diberikan dari pemancar GSM dan rectenna sebagai penerima dimulai dari jarak sejauh 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter dan 5 meter. Hasil tegangan keluaran rectenna diukur menggunakan multimeter digital. Hasil dari pengukuran tegangan keluaran rectenna dapat dilihat seperti pada gambar 4.19 berikut.



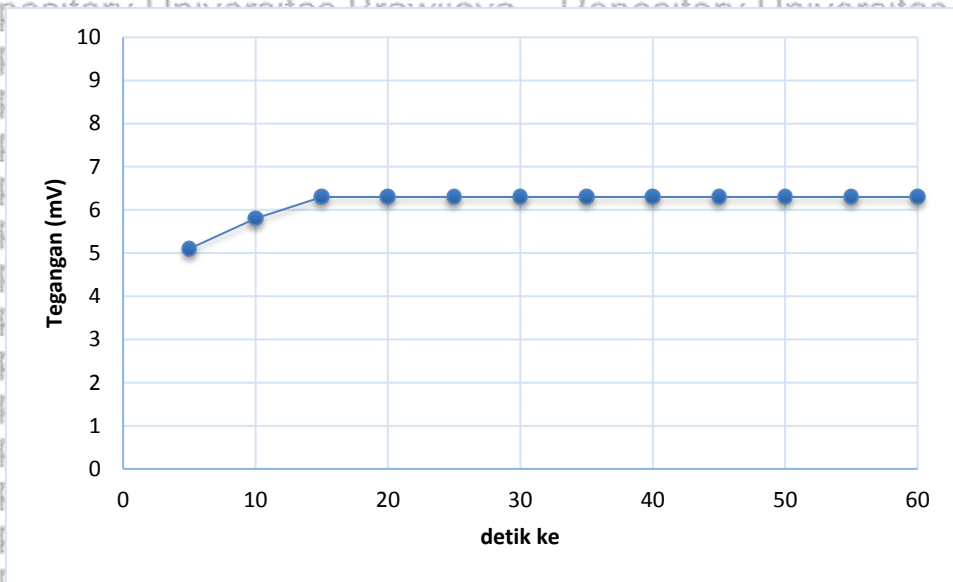
Gambar 4.19 a



Gambar 4.19 b



Gambar 4.19 c



Gambar 4.19 d

Gambar 4. 19 Grafik pengukuran tegangan *output rectenna* : Pengukuran *rectenna* dengan jarak 1 meter dari *transmitter* (a), 2 meter (b), 3 meter (c), 4 meter (d).
Sumber: Hasil Pengujian (2018)

Hasil dari pengukuran tegangan keluaran *rectenna* yang terbaik didapat pada jarak 1 meter dari pemancar GSM dimana didapatkan tegangan keluaran sebesar 7 mV. Tegangan yang didapatkan cukup kecil dan begitu juga pada jarak yang diberikan dimana pada gambar 4.19 dapat dilihat bahwa penambahan jarak yang diberikan terhadap *rectenna* dan pemancar GSM adalah berbanding terbalik dimana semakin jauh jarak *rectenna* dan pemancar GSM maka semakin kecil pula tegangan keluaran yang dihasilkan dari *rectenna*. Tegangan paling

kecil pada rectenna adalah pada jarak 4 meter dengan tegangan keluaran DC pada rectenna sebesar 6.3 mV.

4.8 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dan Kinerja Output pada Rectenna

Berdasarkan data yang didapatkan dari data sheet power harvester P2110B dan hasil pengukuran tegangan keluaran pada rectifier dapat dilakukan beberapa analisa. Pada tabel.4.4 dapat diketahui perbandingan tegangan keluaran rectifier dari data sheet dan hasil pengukuran rectifier yang diberikan masukan frekuensi GSM 904 MHz dari signal generator yang dicatu secara langsung tanpa menggunakan antenna microstrip dan menggunakan antenna microstrip.

Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Tabulasi Perbandingan Pengukuran *rectifier* dan pengukuran *rectenna* dengan menggunakan *module powerharvester* P2110B

Parameter	Karakteristik <i>Power Harvester</i> P2110B	Pengukuran Rectifier	Pengukuran <i>rectenna</i>
<i>Input Radio Frekuensi</i>	902 – 928 MHz	904 MHz	904 MHz
Hasil Konversi Tegangan (mV)	2.000 – 5.500	3.383	7

Sumber: Hasil Pengujian (2018)

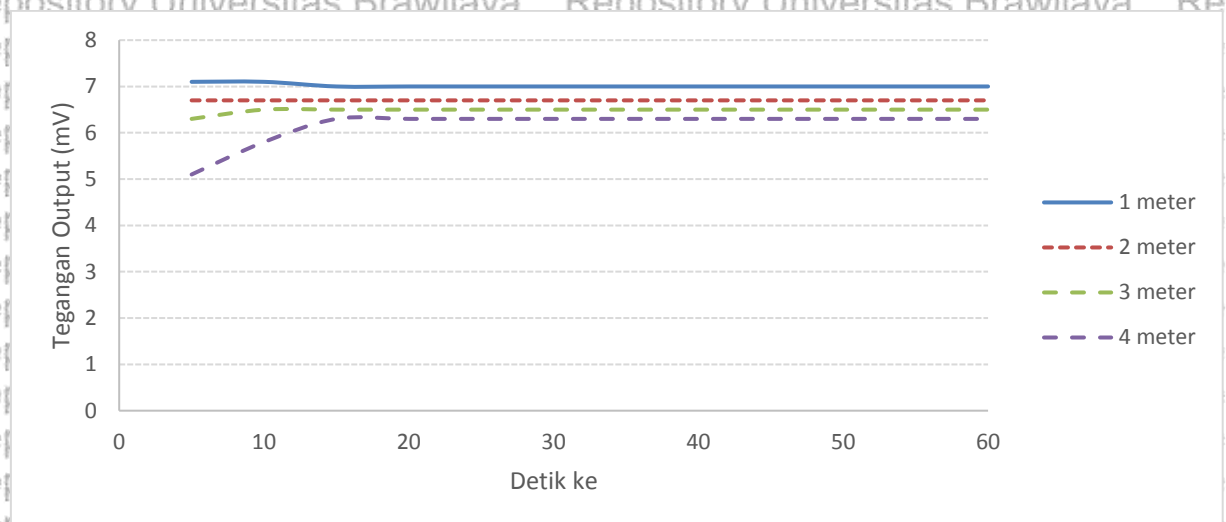
Dapat dilihat dari tabel diatas frekuensi masukan yang dilakukan terhadap pengukuran rectifier dan rectenna masih dalam cakupan frekuensi yang efisien terhadap karakteristik power harvester P2110B. Pengukuran yang dilakukan terhadap rectifier mendapatkan hasil yang ideal, dimana rectifier mampu mengkonversi tegangan AC menjadi DC dengan hasil keluaran yang sesuai dengan karakter power harvester P2110B sehingga diketahui bahwa pada frekuensi 904 MHz rectifier masih dapat mengkonversi gelombang elektromagnetik dengan baik. Tetapi pada saat pengukuran rectifier yang diintegrasikan dengan antenna microstrip yang telah difabrikasi (rectenna), hasil konversinya menjadi kecil hingga 7 mV. Ini diakibatkan oleh antenna yang difabrikasi masih memiliki gain yang tidak maksimal. Dapat dilihat pada tabel.4.3 gain yang dihasilkan dari antenna microstip rectangular patch yang telah difabrikasi memiliki gain sebesar 3.85 dBi pada frekuensi kerja 904 MHz. Hal ini tidak sesuai dengan hasil simulasi antenna yang dilakukan menggunakan CST 2010 yaitu sebesar 5.19 dBi. Gain yang berkurang pada antenna yang telah difabrikasi menyebabkan

berkurangnya kemampuan antenna microstrip rectangular patch dalam menangkap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari transmitter. Rugi-rugi juga terjadi pada sambungan antara port antenna dan juga rectifier. Hal tersebut juga berpengaruh terhadap tegangan keluaran hasil konversi gelombang elektromagnetik pada rectenna sehingga hanya mampu mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC sebesar 7 mV. Dan terakhir, dapat dianalisa pada tabel 4.4 dimana pemberian jarak antara transmitter dan rectenna mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan. Semakin jauh jarak yang diberikan antara transmitter GSM 904 MHz terhadap rectenna maka semakin kecil juga hasil tegangan yang dapat dikonversi rectenna.

Tabel 4. 7 Tabulasi Perbandingan simulasi dan pengukuran antenna hasil fabrikasi

Parameter Antenna		Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Bandwidth	Rentang Frekuensi (MHz)	912-918	897-906
	Total Bandwidth	6	9
Gain	Frekuensi Kerja (MHz)	915	904
	Niai Gain (dBi)	5.19	3.85
VSWR	VSWR Terbaik	1.3	1.5
Return Loss	RL Terbaik	-17,2	-13.8

Sumber: Hasil Pengujian (2018)



Gambar 4. 20 Grafik Variasi Jarak Pengukuran Tegangan Output Rectenna

Sumber: Hasil Pengujian (2018)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengukuran, serta analisis yang dilakukan dari rectenna yang telah dibuat, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan antenna microstrip rectangular patch, dengan bahan FR-4 (*Flame Retardant*) Glass Epoxy dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4.5, pada frekuensi 915 MHz, didapatkan dimensi dari antenna sebagai berikut :

Variabel	Dimensi (mm)
W (lebar patch)	98.8
L (panjang patch)	84.08
a (lebar potongan patch)	25
W_a (lebar saluran transmisi pradiasi)	0.897
W_T (lebar saluran transformer)	2.29
W_L (lebar saluran transmisi 50 Ω)	5.68
L_a (panjang saluran transmisi pradiasi)	23.8
L_T (panjang saluran transformer)	9.2
L_L (panjang saluran transmisi 50 Ω)	11.95
W_g (lebar ground plane)	123.5
L_g (panjang ground plane)	136.6

2. Fabrikasi dari antenna sangat berpengaruh terhadap parameter antenna yang akan diukur. Saluran transmisi menggunakan *feed line* menjadi pilihan yang cukup gampang terhadap fabrikasi dari antenna microstrip. Dari analisis disimpulkan masih memiliki banyak kekurangan karena sangat berpengaruh terhadap parameter dari



antena yang difabrikasi. Sehingga pada antenna yang difabrikasi memiliki pergeseran frekuensi kerja yang berbeda seperti pada simulasi menggunakan CST 2010.

3. Impedansi dari *antenna microstrip rectangular patch* sudah *matching* dengan input pada rangkaian *rectifier* yang menggunakan *module power harvester P2110B*, karena port SMA yang digunakan sama-sama memiliki impedansi sebesar 50Ω .
4. Nilai tegangan keluaran yang dihasilkan rectenna berpengaruh terhadap variasi jarak yang diberikan terhadap *rectenna* dan pemancar. Dari analisis disimpulkan bahwa semakin dekat jarak yang diberikan dari *rectenna* dengan pemancar maka tegangan keluaran (*output*) rectenna akan semakin besar, begitu pula sebaliknya.

5.2 Saran

Adapun saran yang ingin penulis berikan demi pengembangan skripsi ini selanjutnya, antara lain :

1. Sebagai saran pengembangan penelitian rectenna selanjutnya, dapat dilakukan dengan menggunakan antenna yang memiliki gain yang besar serta mampu menangkap gelombang elektro magnetic dengan bandwidth yang lebar.
2. Antenna microstrip yang digunakan sebagai penangkap gelombang elektromagnetik dapat dilakukan pengoptimalisasi lebih lanjut dengan membuat konfigurasi patch array serta mempertimbangkan feed line yang digunakan agar didapatkan hasil yang lebih baik dan optimal.

