

TUGAS AKHIR

ANALISIS SISTEM HARVESTING ENERGY DARI SIGNAL RF MENJADI ARUS LISTRIK DC

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

ARIDHO ARFAN
2007220009



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Aridho Arfan

NPM : 2007220009

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Sistem Harvesting Energy Dari Signal RF Menjadi Arus Listrik DC

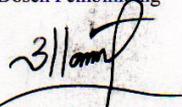
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 8 November 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. M. Fitra Zambak, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji I



Rimbawati, S.T., M.T.

Dosen Penguji II



Noorly Kyalina, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Faisal Pasiribu S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Aridho Arfan
Tempat/ Tanggal Lahir : KP Bukit/ 29 September 2002
NPM : 2007220009
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Sistem Harvesting Energy Dari Signal RF Menjadi Arus Listrik DC”, Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 8 November 2024

A 1000 Rupiah revenue stamp (Meterai Tempel) with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '1000', and 'METERAI TEMPEL'. The serial number 'FF4C1ALX36636544' is visible at the bottom left of the stamp. The signature is written in black ink over the stamp.

Aridho Arfan

ABSTRAK

Sistem harvesting energy dari sinyal RF memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif. Penelitian ini berfokus pada kinerja sistem harvesting energy yang mengkonversi sinyal RF menjadi arus listrik DC menggunakan komponen seperti dioda Schottky BAT-17 dan kapasitor MKM 100V 1nF. Pengujian dilakukan pada jarak 1m, 3m, dan 5m dengan hasil V_{pp} sebesar 30,4 mV pada jarak 1m dan 3m, serta 45,6 mV pada jarak 5m. Tegangan yang diperoleh menurun seiring bertambahnya jarak: 3,35 V pada 1m, 3,19 V pada 3m, dan 2,85 V pada 5m. Efisiensi konversi energi juga menurun seiring bertambahnya jarak. Pada kinerja jangka panjang menunjukkan stabilitas yang baik meski ada penurunan tegangan dan efisiensi. Hambatan teknis seperti penurunan sinyal dan efisiensi dapat diatasi dengan optimasi jaringan pencocokan. Kesimpulannya, sistem ini efisien dalam kondisi tertentu namun memerlukan optimasi lebih lanjut.

Kata kunci: *Harvesting energy, sinyal RF, arus listrik DC, dioda Schottky, efisiensi konversi, kinerja jangka Panjang*

ABSTRAK

The RF signal energy harvesting system holds great potential as an alternative energy source. This research focuses on the performance of an energy harvesting system that converts RF signals into DC electricity using components such as the Schottky diode BAT-17 and the MKM 100V 1nF capacitor. Testing was conducted at distances of 1m, 3m, and 5m, yielding a V_{pp} of 30.4 mV at 1m and 3m, and 45.6 mV at 5m. The voltage obtained decreased as the distance increased: 3.35 V at 1m, 3.19 V at 3m, and 2.85 V at 5m. The energy conversion efficiency also declined with increasing distance. In long-term performance, the system demonstrated good stability despite a reduction in voltage and efficiency. Technical challenges such as signal degradation and efficiency losses can be addressed by optimizing the matching network. In conclusion, this system is efficient under certain conditions but requires further optimization.

Keywords: *Harvesting energy, RF signal, DC current, Schottky diode, conversion efficiency, long-term performance*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, maka skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Salam dan salawat semoga selalu tercurah pada baginda Rasulullah Muhammad SAW. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“ANALISIS SISTEM HARVESTING ENERGY DARI SIGNAL RF MENJADI ARUS LISTRIK DC”**. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program sarjana Strata Satu di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan yang telah di berikan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Secara khusus rasa terima kasih tersebut saya sampaikan kepada:

1. Ayahanda tercinta M. Rafiq dan Ibunda tersayang Suriana, Orang tua penulis yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini baik motivasi, nasihat, materi maupun do'a..
2. Bapak Dr. Agussani MAP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Dr. M. Fitra Zambak, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Rimbawati, S.T., M.T. Selaku Penguji Satu Dalam Pelaksanaan Tugas Akhir Saya.
5. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T. Selaku Penguji Dua Dalam Pelaksanaan Tugas Akhir Saya.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman Seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020
12. Teman-teman Ikatan Mahasiswa Elektro periode 2022/2023 yang telah banyak memberi pengalaman serta ilmu dalam dunia organisasi

Penulis menyadari adanya kemungkinan terjadi kekeliruan ataupun kelebihan dan kekurangan kesalahan-kesalahan di dalam penyusunan tugas akhir ini, mungkin masih banyak kekurangannya. Oleh sebab itu saya mengharapkan kritik dan saran. Semoga tugas akhir ini dapat membawa manfaat yang sebesar-besarnya bagi penulis sendiri maupun bagi dunia pendidikan pada umumnya, khususnya untuk Fakultas Teknik Elektro. Terimah kasih atas segala perhatiannya penulis mengucapkan terimah kasih kembali.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 1 April 2024

Aridho Arfan

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRAK</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Sistematis Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Harvesting Energy	8
2.3 Frekuensi Radio (RF).....	10
2.3.1 Propagasi Frekuensi Radio (RF)	11
2.4 Antena	12
2.4.1 Perhitungan Parameter Antena.....	15
2.5 Matching Network (Pencocok Jaringan)	16
2.6 Rectenna (Rectifier Antenna)	17
2.6.1 Rangkaian Voltage Multiplier.....	19
2.6.2 Penyearah Gelombang.....	21
2.7 Filter	23
2.7.1 Filter Kapasitor.....	25
2.7.2 Full wave Rectifier dengan Filter Kapasitor	26
2.8 Daya Listrik	27

2.8.1 Arus Listrik	30
2.8.2 Tegangan Listrik	31
2.9 Dioda Schottky BAT-17	32
2.10 Software Multisim	34
2.11 Osiloskop	35
2.12 Transmitter	36
BAB 3 METODE PENELITIAN	37
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	37
3.1.1 Tempat.....	37
3.1.2 Waktu	37
3.2 Alat dan Bahan.....	38
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	38
3.4 Prosedur Pengujian	38
3.5 Analisis Sistem Harvesting Energy	40
3.5.1 Rangkaian Harvesting Energy.....	40
3.5.2 Transmitter (Handy Talky).....	41
3.5.3 Multimeter Digital.....	42
3.5.4 Osiloskop.....	43
3.5.5 Frekuensi counter (GOOIT GV560)	43
3.6 Blok Diagram Harvesting Energy.....	44
3.6.1 Diagram Konfigurasi Antena Wajanbolic.....	44
3.6.2 Diagram Rectifier Model Dickson 7 Stage	45
3.6.3 Diagram Rangkaian Filter	46
3.7 Rangkaian Keseluruhan Sistem Harvesting Energy RF	46
3.8 Metode Penelitian	47
BAB 4 ANALISIS DAN HASIL	49
4.1 Analisis dan hasil pengujian dari sistem harvesting energy	49
4.1.1. Pengukuran Sinyal Input RF	49
4.1.2. Analisis Bentuk Sinyal dan gelombang Output DC.....	52
4.1.3 Analisis Gelombang Rippel	58
4.1.4 Kinerja Terhadap respon variasi sinyal dan intensitas sinyal ...	62
4.2. Efisiensi Konversi energi	63

4.2.1. Pengukuran tegangan dan arus output DC	63
4.3 Stabilitas Terhadap penggunaan jangka panjang	66
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	37
Tabel 4. 1 Pengukuran	50
Tabel 4. 2 Pengukuran Arus DC.....	64
Tabel 4. 3 Pengukuran Selama 30 Menit.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	11
Gambar 2. 2 Ilustrasi fenomena refleksi pada propagasi gelombang radio. 12	
Gambar 2. 3 Antena Wajan Bolic.....	15
Gambar 2. 4 Diagram Perhitungan Wajan Bolic.....	15
Gambar 2. 5 Rangkaian Voltage Doubler.....	20
Gambar 2. 6 Rangkaian Full Wave Voltage Doubler.....	21
Gambar 2. 7 Penyearah Setengah Gelombang	22
Gambar 2. 8 Penyearah Gelombang Penuh	23
Gambar 2. 9 Diagram Filter Lowpass	24
Gambar 2. 10 Diagram Filter Highpass.....	24
Gambar 2. 11 Diagram Filter Bandpass	25
Gambar 2. 12 Diagram Filter kapasitor	26
Gambar 2. 13 Rangkaian Full wave Rectifier dengan Filter Kapasitor.....	27
Gambar 2. 14 Grafik perbandingan hubungan antara arus.....	31
Gambar 2. 15 HSMS-285C- SOT-23/SOT-143 Single	33
Gambar 2. 16 Dioda Schottky BAT-17	34
Gambar 2. 17 Software Multisim	35
Gambar 2. 18 Osiloskop	36
Gambar 2. 19 Transmisi RF Energi.....	37
Gambar 3. 1 Tampak Belakang Rangkaian Harvesting Energy.....	41
Gambar 3. 2 Tampak Depan Rangkaian Harvesting Energy.....	41
Gambar 3. 3 Transmitter Handy Talky (HT).....	42
Gambar 3. 4 Multimeter Digital	42
Gambar 3. 5 Osiloskop	43
Gambar 3. 6 Frekuensi Counter.....	43
Gambar 3. 7 Diagram Rangkaian Harvesting Energy	44
Gambar 3. 8 Diagram Konfigurasi Antena Wajanbolic	44
Gambar 3. 9 Diagram Rectifier model Dickson 7 stage.....	45
Gambar 3. 10 Diagram Rangkaian Filter.....	46
Gambar 3. 11 Rangkaian Keseluruhan Sistem Harvesting Energy RF	46
Gambar 3. 12 Diagram Alir Penelitian.....	48

Gambar 4. 1 Sinyal Input Rf.....	49
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengukuran	51
Gambar 4. 3 Frekuensi Sinyal RF 1 Meter	53
Gambar 4. 4 Frekuensi Sinyal RF 3 Meter	55
Gambar 4. 5 Frekuensi Sinyal RF 5 Meter	57
Gambar 4. 6 Gelombang Ripple 1 Meter.....	59
Gambar 4. 7 Gelombang Ripple 3 Meter.....	60
Gambar 4. 8 Gelombang Ripple 5 Meter.....	61
Gambar 4. 9 Variasi dan Intensitas Sinyal.....	62
Gambar 4. 10 Grafik Daya Berdasarkan Frekuensi.....	66
Gambar 4. 11 Prototype RF Harvesting Energy	67
Gambar 4. 12 Grafik Interval Pengukuran Selama 30 Menit	68
Gambar 4. 13 Hasil Pengukuran 30 menit.....	69
Gambar 4. 14 Proses Pengambilan Data Tegangan.....	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, teknologi pemanenan energi dari sinyal radio frekuensi (RF) telah menjadi topik penelitian yang menarik dalam pengembangan sistem energi terbarukan. Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) menjadi salah satu sumber alternatif penyediaan energi, karena selain memiliki dampak yang rendah terhadap kerusakan lingkungan, juga menjamin keberlanjutan energi hingga masa mendatang. Ketersediaan energi bersih dan terjangkau telah menjadi salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan 2030, dimana keberlanjutan energi menjadi isu global serta memerlukan komitmen pemerintah pusat maupun pemerintah lokal untuk turut melaksanakan tujuan tersebut. Pada tahun 2018, penggunaan energi baru dan energi terbarukan nasional baru mencapai 11,68% dan masih jauh dari yang ditargetkan (Setyono et al., 2019).

Teknologi IoT berkembang pesat beberapa tahun ini, ditandai dengan semakin maraknya penggunaan sensor nirkabel dan peralatan yang menggunakan RFID. Dengan semakin meningkatnya ketergantungan pada perangkat nirkabel dan IoT, kebutuhan akan sumber energi yang efisien dan mandiri semakin mendesak. Pemanenan Energi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC menawarkan potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya listrik konvensional. Pemanenan energi frekuensi radio (RF energy harvesting) merupakan proses pengumpulan energi dengan memanfaatkan sinyal RF sebagai sumbernya. Sinyal RF biasanya di pancarkan oleh Base Transceiver Station (BTS), broadcasting station dan handphone seluler. Energi frekuensi radio yang dipancarkan oleh sumber yang menghasilkan medan elektromagnetik tinggi, tetapi melalui pembangkit listrik sirkuit terkait dengan antena penerima, ditangkap dan dikonversikan menjadi tegangan DC yang dapat digunakan untuk perangkat elektronik berdaya rendah (Situmeang et al., 2019).

Dengan memanfaatkan sinyal RF yang sudah ada di sekitar kita, teknologi ini memiliki potensi untuk mengurangi Kebutuhan energi hingga

saat ini kebanyakan mengharapkan hanya dari fosil. Padahal sumber fosil seiring berjalannya waktu akan habis terpakai. Salah satu solusi menanggulangi hal tersebut adalah dengan pemanenan energi pada frekuensi radio. Misalkan kita membayangkan suatu kota yang penuh dengan perangkat komunikasi nirkabel, seperti stasiun radio, jaringan seluler, dan perangkat Wi-Fi. Sinyal RF dari perangkat-perangkat ini merambat melalui udara dengan frekuensi yang bervariasi, membentuk lanskap elektromagnetik yang padat, bayangkan gedung perkantoran dengan antena khusus yang menangkap sinyal RF di sekitarnya. Distribusi merata sinyal RF di gedung atau kota menciptakan peluang untuk menempatkan lebih banyak antena harvesting energy, meningkatkan potensi total energi yang dapat dihasilkan.

Meskipun konsep pemanenan energi dari sinyal RF menjanjikan, tantangan teknis masih perlu diatasi. Sejauh ini, penelitian-penelitian sebelumnya telah memfokuskan pada peningkatan efisiensi konversi energi dan optimasi desain antena untuk meningkatkan tangkapan sinyal. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menggali potensi penuh dan mengatasi hambatan-hambatan teknis yang dapat membatasi implementasi praktis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dan menganalisis sistem harvesting energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC, dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam mengatasi tantangan teknis dan mendorong kemajuan teknologi energi terbarukan.

Penelitian ini juga relevan dalam konteks penerapan teknologi energi terbarukan di lingkungan perkotaan, di mana sinyal RF tersebar luas. Dengan memanfaatkan sumber energi yang telah ada di sekitar kita, dapat membuka pintu untuk solusi energi yang lebih terdistribusi dan ramah lingkungan. Pemanenan energi ini menghasilkan jumlah daya yang kecil untuk menyuplai perangkat berdaya rendah. Terkait pemanenan energi ini, maka diperlukan suatu alat berupa *antenna* untuk menangkap gelombang elektromagnetik dari sumber pemancar frekuensi radio dan *rectifier* untuk mengonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC (Aditama et al., 2019). Penelitian ini juga relevan dikarenakan menggunakan antena wajan bolic karena memiliki reflektor parabolik yang memungkinkannya

untuk mengumpulkan dan memfokuskan sinyal RF ke titik fokus, sehingga hal ini dapat meningkatkan daya terima dan kinerja antenna.

Secara ekonomis, penerapan teknologi ini dapat mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan perangkat nirkabel, sekaligus membantu mengatasi keterbatasan daya baterai. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki potensi untuk menjadi landasan bagi pengembangan solusi energi terbarukan yang ekonomis dan berkelanjutan. Dengan mengeksplorasi potensi teknologi pemanenan energi dari sinyal RF, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dan kontribusi positif terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan di masa depan. Dengan adanya sistem pemanenan energi dari sinyal RF, diharapkan juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pembangunan kota cerdas dan perangkat-perangkat pintar yang memerlukan sumber energi yang efisien.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana performa sistem harvesting energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC dalam menghasilkan daya listrik?
2. Apa saja hambatan teknis yang dihadapi dalam mengimplementasikan sistem harvesting energy dari sinyal RF, dan bagaimana cara mengatasi kendala tersebut?
3. Bagaimana antenna Wajan Bolic dapat menangkap sinyal radio frekuensi menjadi arus listrik DC?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis performa sistem harvesting energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC
2. Mengidentifikasi dan menganalisis hambatan teknis yang mungkin muncul selama implementasi sistem harvesting energy dari sinyal RF.
3. Menganalisis bagaimana sinyal radio frekuensi yang ditangkap oleh antenna Wajan Bolic dikonversi menjadi arus listrik DC.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sistem harvesting energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC dengan menganalisis performa sistem, mengidentifikasi dan mengatasi hambatan teknis, serta mengoptimalkan desain antena Wajan Bolic. Dengan pemahaman mendalam tentang ketersediaan energi RF dan aspek teknis proses harvesting, penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya RF yang tersedia, memberikan panduan praktis untuk meningkatkan kinerja sistem, dan memastikan stabilitas serta efisiensi dalam penggunaan jangka panjang. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya menjadi terobosan teknologi inovatif, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam upaya mengatasi krisis energi dengan solusi yang berkelanjutan, merangsang transformasi menuju masyarakat yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

1. Penelitian akan memfokuskan pada evaluasi mendalam terhadap performa sistem harvesting energy dari sinyal radio frekuensi (RF) menjadi arus listrik DC. Ini mencakup pengukuran efisiensi konversi energi, daya yang dihasilkan, dan kinerja sistem.
2. Ruang lingkup juga akan mencakup pengukuran dan performa sistem harvesting energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC.
3. Penelitian ini akan mempelajari bagaimana antena Wajan Bolic dapat menangkap sinyal radio frekuensi dan mengkonversinya menjadi arus listrik DC.

1.6 Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Energi merupakan suatu entitas yang selalu kita rasakan dan butuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Ada berbagai macam perwujudan energi yang sering dijumpai seperti energi gerak, energi panas, energi cahaya, energi listrik, energi elektromagnetik dan lainnya. Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat, Banyak teknologi yang semakin maju dan modern, Salah satunya yaitu perkembangan teknologi telekomunikasi. Semakin banyaknya alat atau perangkat komunikasi dan transmisi data saat ini memuat sumber pemancar gelombang radio atau radio frequency (RF) banyak ditemui seperti pemancar radio, BTS seluler, stasiun televisi, transmitter wireless, dan perangkat yang berbasis RF lainnya. Pemancar tersebut menyebabkan banyaknya gelombang elektromagnetik berada di alam sekitar. Dari hal tersebut muncul berbagai penelitian yang kini telah dikembangkan guna dapat memanfaatkan energi yang terdapat pada gelombang elektromagnetik yang berada disekitar sebagai sumber energi alternative disebut juga Energy Harvesting (Novian Rahmatur Rajab et al., 2019).

Harvesting energy atau pengambilan energi dari lingkungan sekitar telah menjadi fokus utama dalam riset energi terbarukan. Pemanfaatan sumber energi yang ada di sekitar, termasuk RF telah menarik perhatian karena dapat mengatasi keterbatasan sumber daya konvensional. Analisis karakteristik sinyal RF, seperti frekuensi, kekuatan, dan modulasi, menjadi fokus utama dalam memahami potensi energi yang dapat diekstraksi dari lingkungan sekitar. Pemanenan energi atau energy harvesting adalah proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang radio frekuensi (RF), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen gelombang elektromagnetik ini adalah rectifier yang diintegrasikan dengan antenna. Antena penerima yang terintegrasi dengan rangkaian penyearah gelombang penuh mengkonversi energi radiasi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC (Aditama et al., 2019).

Dalam sistem harvesting energy signifikansi sinyal Radio Frequency (RF) merupakan elemen kunci dalam teknologi harvesting energy. Sinyal RF yang tersebar luas di lingkungan kita menciptakan potensi besar sebagai sumber daya energi alternatif yang dapat dimanfaatkan secara efisien. Pemanenan energi adalah proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang radio frekuensi (RF), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen gelombang elektromagnetik ini adalah rectifier yang diintegrasikan dengan antena.

Konversi energi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC membutuhkan suatu sistem yang efisien. Berbagai teknologi dan metode konversi telah dikembangkan, seperti rectenna (rectifying antenna) yang merubah energi elektromagnetik menjadi energi listrik DC. Rectenna merupakan gabungan dari rectifier dan antenna yaitu sebuah perangkat dimana berfungsi mengubah gelombang elektromagnetik menjadi daya listrik (Novian Rahmatur Rajab et al., 2019). Beberapa faktor yang memengaruhi output rectenna antara lain adalah topologi antena, rangkaian rectifier, dan kombinasi keduanya. Topologi dan susunan antena, misalnya disusun dalam array, diharapkan mampu menangkap sinyal RF secara maksimal, sehingga dapat memperbaiki RF power harvesting. Pemahaman mendalam terkait mekanisme konversi ini penting untuk merancang sistem Harvesting Energy yang efektif.

Sejumlah penelitian telah dilakukan dalam domain Harvesting Energy dari sinyal RF seperti yang dilakukan oleh Hamka Ikhlasul Amal NZ, Arfianto Fahmi dan Yuyu Wahyu (2016). Dalam penelitiannya disebutkan bahwa Energy harvesting atau pemanenan energi merupakan proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang RF (radio frekuensi), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rectifier berhasil mengonversi sinyal AC menjadi tegangan listrik DC. Pengukuran output menggunakan antena double quad menghasilkan 0.954 Volt (indoor), 1.206

Volt (outdoor), dan 2.604 Volt (frekuensi kerja TV UHF) (Ikhlasul et al., 2016).

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Muhammad Novian Rahmatur Rajab, Koesmarijanto dan Rachmad Saptono, yaitu tentang Perancangan Rangkaian Rectifier Pada Sistem RF Energy Harvesting Dengan Antena Televisi Pada Frekuensi Uhf menjelaskan bahwa Rectifier yang diintegrasikan dengan antena TV dapat diubah menjadi sinyal RF pada frekuensi UHF (470 MHz – 807 MHz) menjadi energi tegangan DC sebagai sistem Energy Harvesting. Pada pengujian menggunakan antena TV sebagai penangkap sinyal RF dari pemancar, tegangan terbesar yang didapat mencapai 1.019 V pada rangkaian 6-stage, dan berupa tegangan DC (Novian Rahmatur Rajab et al., 2019).

Berdasarkan penelitian diatas, Maka akan dilakukan analisis lebih mendalam mengenai Sistem Harvesting Energy dari Signal RF Menjadi Arus Listrik DC. Fokus utama dalam penelitian ini adalah Menganalisis performa sistem harvesting energy, Mengidentifikasi hambatan teknis yang muncul dan Meneliti Bagaimana antena Wajan Bolic dapat menangkap sinyal radio frekuensi menjadi arus listrik DC agar Harvesting energy atau pengambilan energi dari signal RF lebih maksimal.

2.2 Harvesting Energy

Energy Harvesting merupakan suatu inovatif proses pengekstrakan energi dari sekitar kita, mengubahnya menjadi sumber daya untuk mendukung operasional perangkat berdaya rendah. Sumber energi ini melibatkan gelombang elektromagnetik, seperti yang dihasilkan oleh frekuensi radio atau gelombang mikro dari infrastruktur telekomunikasi seperti pemancar radio, sensor, atau perangkat seluler. Meskipun potensi energi yang bisa diambil dari gelombang elektromagnetik masih terbatas jika dibandingkan dengan baterai konvensional, keberhasilannya bergantung pada desain dan karakteristik antena yang digunakan. Proses ini dimulai dengan menangkap sinyal RF menggunakan antena yang sesuai. Sinyal yang ditangkap kemudian diubah menjadi tegangan AC melalui proses dioda

penyearah. Selanjutnya, tegangan AC tersebut diubah menjadi arus listrik DC melalui rangkaian penyearah dan filter. Dengan demikian, energi RF yang diterima dapat dimanfaatkan untuk menyediakan catu daya yang diperlukan untuk perangkat elektronik tanpa memerlukan sumber daya eksternal, memberikan solusi yang ramah lingkungan dan mandiri secara energi. Pemanenan energi ini merupakan salah satu alternatif konversi energi, di mana melalui proses ini dapat menghasilkan daya listrik yang dapat digunakan pada perangkat yang membutuhkan daya yang kecil (Kusmadi & Taufiq, 2022).

Penting untuk memahami prinsip kerja di balik efisiensi harvesting energy. Efisiensi merupakan ukuran seberapa efektif suatu sistem dalam mengubah energi yang tersedia menjadi energi yang berguna. Dalam konteks harvesting energy, efisiensi sistem tergantung pada sejumlah faktor, termasuk efisiensi antena dalam menangkap sinyal RF, kehilangan energi dalam proses konversi, dan keandalan sistem dalam beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen gelombang elektromagnetik ini adalah rectifier yang diintegrasikan dengan antena. Rectifier, atau yang sering disebut penyearah gelombang, memainkan peran kunci dalam ekosistem catu daya dengan mengubah sinyal tegangan bolak-balik AC menjadi tegangan searah DC. Dalam proses ini, bintang utamanya adalah dioda, yang dikonfigurasi secara canggih dalam kondisi forward bias untuk menciptakan transformasi yang mendalam dan andal. Sedangkan, antena merupakan alat untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik yang bergantung kepada pemakaian dan penggunaan frekuensinya, antena bisa berwujud dalam berbagai bentuk, mulai dari seutas kabel, dipole, atau pun yagi (Novian Rahmatur Rajab et al., 2019).

Sinyal RF, yang sering dihasilkan oleh berbagai perangkat nirkabel dan transmisi radio, memiliki potensi energi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan daya listrik. Sinyal ini kemudian ditangkap oleh antena khusus, yang berperan sebagai penangkap energi, dan diarahkan ke sirkuit harvesting energy. Proses konversi energi RF ke arus listrik DC melibatkan beberapa

komponen utama dalam sirkuit harvesting. Dioda penyearah RF digunakan untuk merubah sinyal AC menjadi arus DC, sedangkan kapasitor bertugas menyimpan energi yang dihasilkan. Sebagai bagian dari proses konversi ini, pemilihan perangkat semikonduktor yang tepat menjadi kunci untuk memastikan efisiensi dan keberhasilan sistem. Dalam konteks harvesting energy RF, resonansi menjadi faktor penting karena dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan energi dari sinyal RF (Saputra et al., 2020). Nilai frekuensi resonansi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: L= Nilai induktor dalam satuan Henry (H)

C= Nilai kapasitor dalam satuan Farad (F)

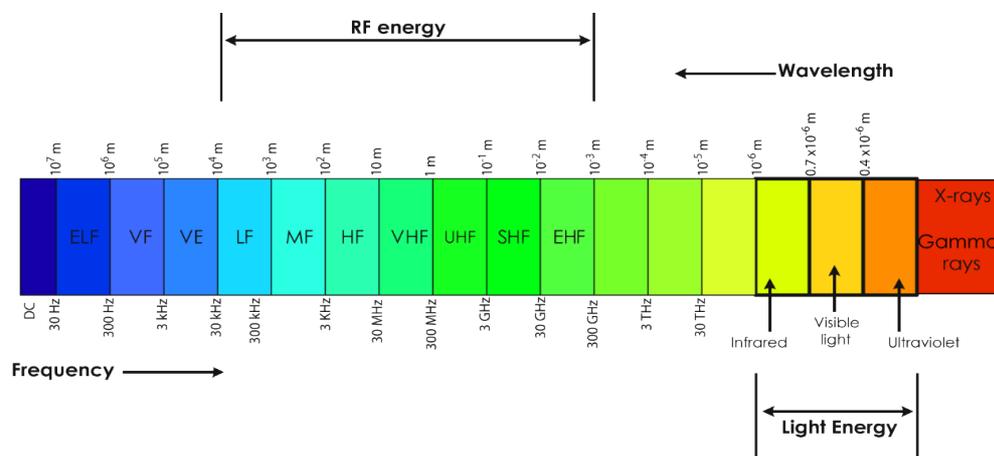
2.3 Frekuensi Radio (RF)

Sinyal radio frekuensi atau Radio Frequency (RF) adalah gelombang radiasi elektromagnetik yang bergerak melalui udara dalam rentang frekuensi antara 30 Hz hingga 300 GHz. Sinyal RF umumnya diterapkan secara luas dalam teknologi komunikasi dan transmisi data. Transmisi RF mengacu pada proses pengiriman sinyal elektromagnetik dalam bentuk gelombang radio melalui medium udara atau ruang hampa. Penggunaan rentang frekuensi untuk transmisi sinyal RF bervariasi sesuai dengan aplikasi teknologi komunikasi tertentu. Sebagai contoh, transmisi radio menggunakan rentang frekuensi 30-300 MHz, sementara stasiun televisi menggunakan Ultra High Frequency (UHF) dengan rentang frekuensi 0,3-3 GHz. Untuk komunikasi seluler GSM (Global System for Mobile), digunakan frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz, sementara frekuensi 2,4 GHz digunakan untuk transmisi jaringan area lokal nirkabel.

Memahami gelombang elektromagnetik sangat penting dalam merancang sistem RF WPH (Wireless Power Harvesting). Frekuensi 400-900 MHz dipilih karena frekuensi ini memancarkan daya yang lebih besar daripada frekuensi yang lain. Dengan demikian sensitivitas komponen yang digunakan diharapkan mampu menerima daya yang kecil. Perilaku

gelombang elektromagnetik bervariasi tergantung pada jarak, frekuensi, dan lingkungan penghantar. Bergantung pada kebutuhan aplikasi, perancang perlu memilih parameter yang sesuai untuk gelombang elektromagnetik guna mendapatkan hasil terbaik. Perilaku gelombang elektromagnetik tergantung pada jarak dari antenna pengirim. Karakteristik ini dikategorikan ke dalam dua segmen medan jauh dan medan dekat (Sulaeman & Wardah, 2019).

Karakteristik penting lainnya dari sinyal RF adalah kemampuannya untuk merambat melalui udara tanpa memerlukan media fisik. Penangkap energi mengumpulkan energi dari sinyal RF acak dari pengguna lain di lingkungan, seperti sinyal TV, WIFI, dan stasiun seluler. seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.1 Energi RF tersedia baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan, siang dan malam, menjadikannya pilihan menarik untuk perangkat sensor daya rendah. Hambatan terbesar dari energi RF adalah kerapatan energi yang rendah akibat hilangnya penyebaran. Sinyal RF juga dapat direfleksikan, difraksi, dan dibiaskan oleh objek atau struktur fisik, yang dapat dimanfaatkan atau menjadi tantangan dalam harvesting energy, tergantung pada desain antenna dan sistem (Ahmed et al., 2021).



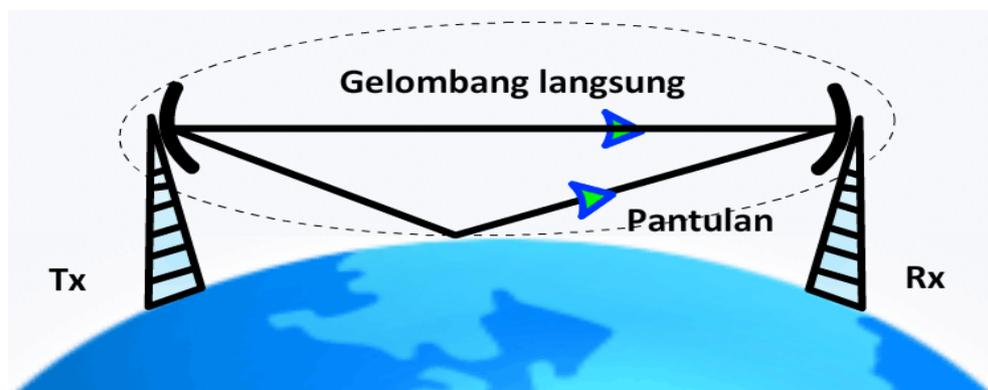
Gambar 2. 1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

2.3.1 Propagasi Frekuensi Radio (RF)

Propagasi adalah proses penyebaran gelombang mikro melalui udara dari antenna pemancar ke antenna penerima, yang bisa mencakup jarak hingga ribuan kilometer. Media yang digunakan untuk propagasi, juga dikenal sebagai saluran transmisi gelombang, dapat berupa fisik seperti

sepasang kawat konduktor atau kabel koaksial, maupun non-fisik seperti gelombang radio atau sinar laser. Pengetahuan tentang propagasi gelombang radio sangatlah penting untuk memahami rintangan dan gangguan dalam lingkungan komunikasi radio yang bergerak. Hal ini juga krusial dalam perencanaan dan operasional komunikasi menggunakan gelombang radio, memastikan kelancaran komunikasi.

Pada saat gelombang elektromagnetik menabrak suatu material, biasanya gelombang akan melemah atau teredam. Banyak daya yang hilang akan sangat tergantung pada frekuensi yang digunakan dan tentunya material yang ditabrak. Namun, ada material yang cocok dengan gelombang radio, yaitu air. Lapisan air merupakan penghalang gelombang mikro. Aturan terjadinya pantulan cukup sederhana, sudut masuk gelombang ke permukaan akan sama dengan sudut pantulan sinyal. Sebuah bentuk parabolik akan menggunakan efek ini untuk mengkonsentrasikan gelombang radio yang tersebar di permukaannya menuju satu tujuan (Kurniawan Usman, 2018).



Gambar 2.2 Ilustrasi fenomena refleksi pada propagasi gelombang radio

2.4 Antena

Antena RF pada dasarnya adalah struktur yang dirancang untuk menangkap gelombang elektromagnetik dan mengonduksinya ke dalam sistem konversi energi. Dalam sistem harvesting energy, antena berperan sebagai antarmuka utama antara lingkungan yang mengandung sinyal RF dan sirkuit konversi yang mengubah energi tersebut menjadi arus listrik DC. Keberhasilan harvesting energy sangat bergantung pada efisiensi antena dalam menangkap sinyal RF yang tersedia di sekitarnya. Antena juga

tergolong sebagai Transduser karena dapat mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Gain antenna mencerminkan kemampuan antenna untuk meningkatkan kekuatan sinyal yang diterima. Dalam analisis harvesting energy, pemilihan antenna dengan gain yang optimal dapat meningkatkan efisiensi penangkapan energi (Yoganto, 2018).

Pemancaran adalah proses perpindahan gelombang radio atau elektromagnetik dari saluran transmisi ke ruang bebas melalui antenna pemancar. Sedangkan penerimaan merupakan proses menerima gelombang radio atau elektromagnetik dari ruang bebas melalui antenna penerima. Karena antenna berperan sebagai perantara antara saluran transmisi dan udara, maka penting bagi antenna untuk memiliki sifat yang sesuai. Selain itu, kualitas antenna juga berpengaruh pada efisiensi dan kehandalan dalam proses pemanenan energi ini. Salah satu jenis antenna dengan gain yang mampu meningkatkan efisiensi adalah antenna dengan nama Wajan Bolic. Wajan Bolic adalah sebuah antenna nirkabel yang terbuat dari wajan yang telah dimodifikasi sehingga dapat digunakan untuk memperkuat sinyal radio, selain itu dengan biaya yang relatif murah yang dapat dibangun dimana saja. Antena wajanbolic adalah antenna directional yang mempunyai keterarahan sinyal, Wajan bolic termasuk dalam jenis antenna parabolik berarah karena bentuk fisiknya menggunakan kurva kerucut, dan hanya memancarkan daya ke arah tertentu (Nofrianti et al., 2021).

Wajanbolic secara umum terdiri atas reflektor dan waveguide. Jadi, diperlukan perhitungan untuk memperhitungkan parameternya yang berupa titik focus reflector, panjang gelombang radio di udara, panjang gelombang radio di dalam waveguide, diameter pipa, panjang pipa yang dilapisi aluminium, panjang pipa keseluruhan dan jarak minimum. Antena wajan bolic dapat digunakan untuk menangkap sinyal dalam rentang frekuensi yang luas, dari beberapa megahertz (MHz) hingga beberapa gigahertz (GHz) atau bahkan frekuensi yang lebih tinggi. Namun, untuk aplikasi tertentu, seperti komunikasi satelit, antenna wajan bolic sering digunakan untuk menangkap sinyal pada frekuensi yang lebih tinggi, seperti Ku-band (12-18 GHz) atau C-band (4-8 GHz). Prinsip kerja antenna Wajan bolic yaitu dengan

menempatkan bagian sensitif antena pada titik fokus parabola(wajan) sehingga semua gelombang electromagnet yang mengenai wajan akan terkumpul dan diterima oleh bagian sensitif tersebut.

Jangkauan kerja antena wajan bolic dapat mencapai 1-2 km dalam keadaan posisi LOS / tanpa halangan apapun pada penerima dengan pengirim. Dalam aplikasi penggunaannya antena wajanbolic harus dalam kondisi Line of Sight (LoS) antara antenna pemancar (Base Station) dan antenna penerima yang mana memungkinkan transmisi atau penerimaan sinyal yang efektif. Hal ini karena antena wajan bolic, terutama saat digunakan untuk komunikasi nirkabel atau penerimaan sinyal, memerlukan jalur yang tidak terhalangi antara antena pengirim dan penerima untuk mengoptimalkan kinerjanya (Hakim, 2017).

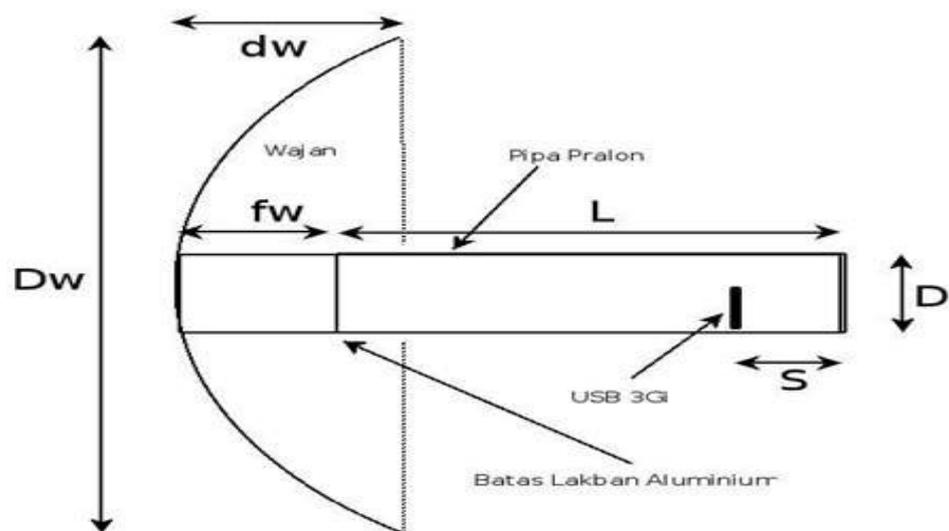
Resonansi dalam harvesting energy RF menggunakan antena wajan bolic memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penangkapan energi dari sinyal RF. Ketika antena wajan bolic diresonansikan dengan frekuensi sinyal RF yang ingin ditangkap, ini menghasilkan peningkatan dramatis dalam pengambilan energi dari lingkungan sekitarnya. Resonansi memungkinkan antena untuk menyerap lebih banyak energi dari sinyal RF yang sesuai dengan frekuensi resonansi, sementara secara efektif mengabaikan sinyal dengan frekuensi yang tidak sesuai. Hal ini mengoptimalkan kinerja sistem harvesting energy dengan meningkatkan efisiensi penangkapan energi dan mengurangi kehilangan energi akibat interferensi atau noise. Dengan memanfaatkan konsep resonansi ini, sistem harvesting energy dapat mencapai hasil yang lebih baik dalam mengubah energi dari sinyal RF menjadi listrik DC yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi elektronik.



Gambar 2.3 Antena Wajan Bolic

2.4.1 Perhitungan Parameter Antena

Untuk memahami karakteristik dan kinerja sebuah antena wajan bolic, kita perlu mempelajari metode dan teknik yang digunakan dalam menghitung parameter-parameter kunci yang berkaitan dengan antena tersebut. Beberapa parameter desain antena wajan bolic yang harus dihitung nilainya adalah feeder (f_w) Fokus wajan. Gambar ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2.4 Diagram Perhitungan Wajan Bolic

1. Jarak titik fokus antenna

$$Fw = \frac{w^2}{dw \times 16} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana: Fw = Fokus wajan (Feeder)

Dw = Diameter wajan

dw = Kedalaman wajan

2. Menghitung panjang pipa

Sementara menghitung panjang pipa paralon yang diberi lakban alumunium foil (L) diperlukan langkah yang lebih panjang. Maka perhitungan harus dilakukan pertama kali yaitu panjang gelombang radio 900 Mhz. Menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda \frac{c}{f} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana: C = Kecepatan cahaya

F = Frekuensi operasi yang digunakan

2.5 Matching Network (Pencocok Jaringan)

Dalam praktiknya, pengembangan rangkaian pengambilan energi RF menghadapi tantangan utama terkait dengan perilaku nonlinier dioda dan amplitudo yang rendah dari sinyal masukan. Akibat dari nonlinieritas dioda, impedansi penyearah mengalami variasi tergantung pada daya masukan, frekuensi, dan resistansi beban, yang akhirnya membatasi kinerja rangkaian pada frekuensi yang terbatas, serta menghambat transfer daya maksimum. Meskipun demikian, secara praktis, isu ini tidak menjadi perhatian utama di sini karena daya yang tersedia tidak mencapai tingkat tersebut. Faktanya, kekhawatiran utama dalam merancang rangkaian harvesting adalah ketersediaan level daya RF yang memadai. Sinyal RF yang diterima oleh antenna tidak dapat mengaktifkan dioda penyearah, sehingga mengurangi efisiensi rangkaian. Dalam situasi seperti ini, penggunaan jaringan pencocokan atau matching network dapat secara efektif mengatasi masalah ini dengan memastikan transfer daya maksimal dari sumber ke beban. Penggunaan jaringan pencocokan dapat diimplementasikan baik dengan

menggunakan elemen terkonsentrasi, seperti resistor, induktor, dan kapasitor, maupun elemen tersebar.

Komponen utama yang digunakan dalam matching network ini adalah resistor 100 Ohm, induktor 100nH, dan kapasitor 0.33pF. Resistor 100 Ohm dipilih berdasarkan analisis impedansi untuk mencapai matching yang baik, mengurangi refleksi sinyal, dan meningkatkan efisiensi transfer daya. Induktor 100nH digunakan untuk menyesuaikan impedansi dan menyaring frekuensi yang tidak diinginkan, dipilih karena nilai ini memberikan induktansi yang tepat pada frekuensi target, membantu memaksimalkan efisiensi transfer daya. Kapasitor 0.33pF bekerja bersama induktor untuk membentuk rangkaian LC yang mengatur resonansi dan memastikan matching impedansi yang baik. Namun, perlu dicatat bahwa desain jaringan pencocokan menjadi lebih menantang ketika mempertimbangkan perilaku nonlinier dioda. Pada konteks kriteria pemilihan jaringan pencocokan dan mengevaluasi berbagai batasan desain, seperti lebar pita, efisiensi, kerugian elemen, dan faktor Q, yang dapat membatasi kinerja rangkaian harvesting (Singh et al., 2015).

2.6 Rectenna (Rectifier Antenna)

Rectenna merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengubah sinyal gelombang radio menjadi energi listrik. Rectifier atau penyearah gelombang adalah bagian dari power supply / catu daya yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi sinyal tegangan bolak-balik AC (Alternating Current) menjadi tegangan searah DC (Direct Current). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfigurasi secara forward bias. Dalam sebuah power supply tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator stepdown. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (transformer), penyearah gelombang / rectifier (dioda) dan filter (kapasitor)(Saputra et al., 2020).

Sinyal elektromagnetik frekuensi 400-900 MHz merupakan sinyal AC (*Alternating Current*) maka sinyal AC yang ditangkap antenna perlu

disearahkan menjadi sinyal DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfiguarsikan secara forward bias (tegangan pada anoda lebih tinggi daripada pada katoda, sehingga arus dapat mengalir melalui dioda dengan mudah). Dioda Schottky dipilih karena memiliki tegangan ambang yang rendah dan waktu pemulihan yang cepat, sehingga lebih efisien dalam mengubah sinyal RF menjadi energi listrik. Komponen lainnya yang digunakan rectifier ini adalah Kapasitor dengan nilai 1nF, kapasitor tersebut dipilih karena mampu bekerja dengan baik pada frekuensi tinggi dan nilai ini memberikan keseimbangan yang baik antara kapasitas penyimpanan dan respons frekuensi. Ketika Dioda menerima arus bolak-balik (AC), hanya setengah gelombang yang diteruskan, sementara setengah gelombang yang lain diblokir. Secara mendasar, konsep penyearah gelombang dapat dibedakan menjadi dua jenis, yakni penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh (Suwandi, 2021).

Pemilihan rangkaian penyearah (*rectifier*) dalam sistem RF *energy harvesting* ini harus mempertimbangkan fakta bahwa sistem akan bekerja pada level daya yang rendah, sehingga perlu digunakan rangkaian penyearah yang sederhana, bisa digunakan dan efisien saat bekerja pada level daya yang kecil. Rangkaian Rectifier bekerja saat gelombang AC memulai setengah siklus positif pertama berupa gelombang sinusoidal $V_{in} = A \sin(\omega t)$. Efisiensi dari sistem *Rectenna* pada dasarnya setara dengan fungsi transfer. Definisi umum dari setiap efisiensi (η) yang digunakan di sini adalah rasio output daya keluar P_{out} atas daya masukan P_{in} , dengan rumus:

$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

P_{in} = daya input yang diterima dari sinyal RF

P_{out} = daya output yang dihasilkan oleh sistem

Satuan yang digunakan pada penggunaan sinyal RF menggunakan satuan dBm. dBm adalah singkatan dari decibel milivolt, merupakan satuan perbandingan level sinyal. Jika nilainya positif maka disebut factor penguatan

(gain), jika nilainya negatif disebut redaman (loss). Untuk mengkonversi satuan Watt ke dalam dBm dapat menggunakan rumus:

$$P \text{ dBm} = 10 \text{ LOG} \frac{P(\text{watt})}{1 \text{ mW}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$P \text{ dBm}$ = Daya dalam satuan dBm

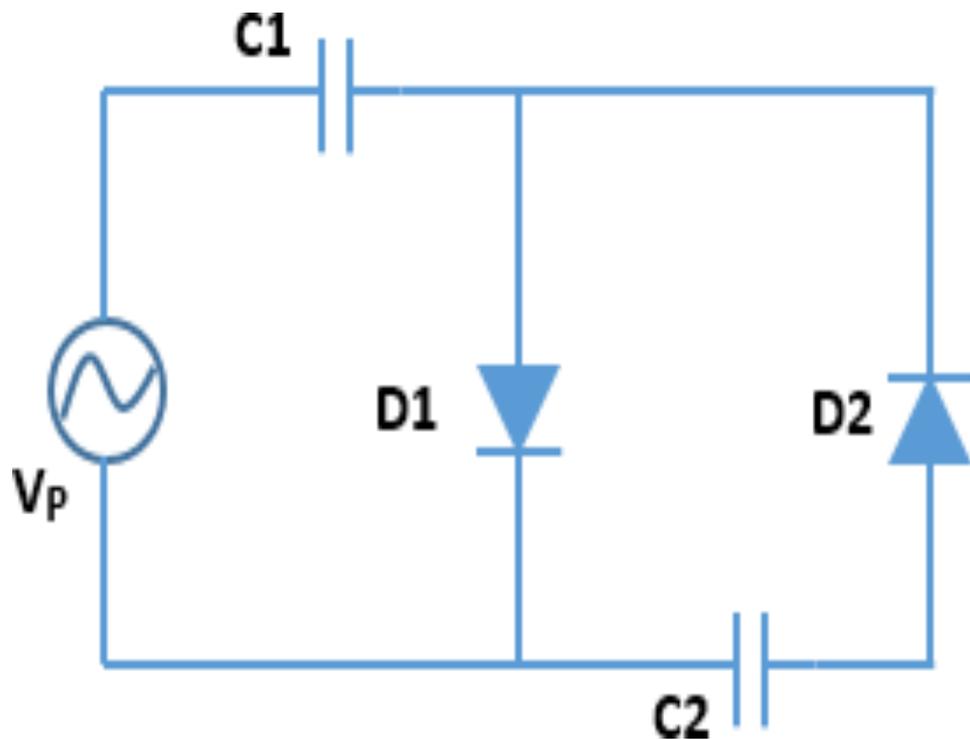
$P (\text{watt})$ = Daya dalam satuan watt

2.6.1 Rangkaian Voltage Multiplier

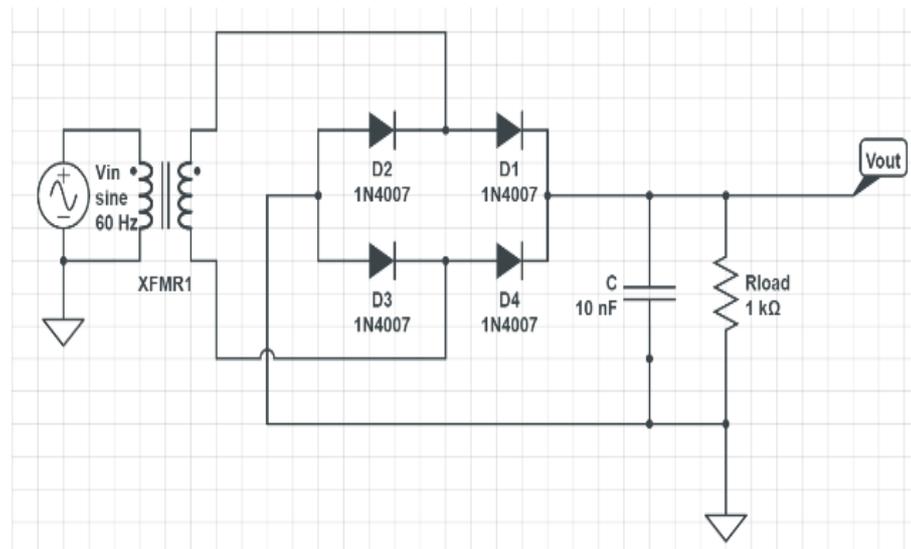
Voltage Multiplier adalah suatu metode dalam rectifier yang bertujuan mengubah tegangan AC menjadi DC, dan diterapkan dalam berbagai aplikasi sirkuit listrik dan perangkat elektronik, termasuk pada microwave ovens, elektrostatik, alat uji tegangan tinggi, dan sebagainya. Teknik ini merupakan varian khusus dari rangkaian dioda penyearah, yang memiliki potensi untuk menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi daripada tegangan input yang diterapkan. Selain itu, Voltage Multiplier digunakan untuk menghasilkan tegangan DC yang tinggi dari pasokan tegangan AC yang memiliki tingkat kekuatan relatif rendah (Aviantoro et al., 2016).

Pada tingkat paling dasar, rangkaian ini melalui bentuk Rectifier yang mengambil tegangan AC sebagai input dan menghasilkan tegangan DC yang dua kali lipat. Voltage doubler adalah salah satu dari berbagai jenis Voltage multiplier yang tersedia. Sebagian besar dari rangkaian Voltage doubler dapat dianggap sebagai tahap tunggal dari Multiplier yang lebih kompleks. Rangkaian Voltage multiplier dapat digunakan dalam beberapa macam bentuk susunan seperti Villard, dickson, resonant villard, dan resonant dickson. Dalam rangkaian Voltage multiplier jumlah stage yang semakin banyak akan semakin besar pula nilai tegangan DC yang dihasilkan rangkaian Voltage multiplier. Dalam penggunaan rangkaian voltage multiplier, jenis komponen yang digunakan seperti dioda Schottky, Kapasitor dan resistor.

Jika tegangan puncak input melebihi ambang tegangan dioda (V_{th}), dioda D1 akan mengalirkan arus dalam fase forward bias atau menjadi terbuka. Sebagai hasilnya, kapasitor C1 akan menyimpan muatan sehingga $V_{c1} = A - V_{th}$. D2 akan menjadi terbuka karena reverse bias. Pada siklus negatif gelombang sinusoidal, arus mengalir melalui kapasitor C2 dan dioda D1, membuat D1 reverse bias atau terbuka, sedangkan D2 menjadi terbuka. Output pada kapasitor C2 akan terisi muatan sebesar tegangan input ditambah tegangan yang tersimpan pada C1. Dari proses ini, dapat disimpulkan bahwa tegangan output C2 lebih besar dua kali tegangan puncak input dikurangi tegangan threshold diode. Output rangkaian Voltage Doubler pada dasarnya adalah sinyal AC dengan offset DC atau keluaran berupa sinyal DC yang mengandung noise (Novian Rahmatur Rajab et al., 2019).



Gambar 2.5 Rangkaian Voltage Doubler

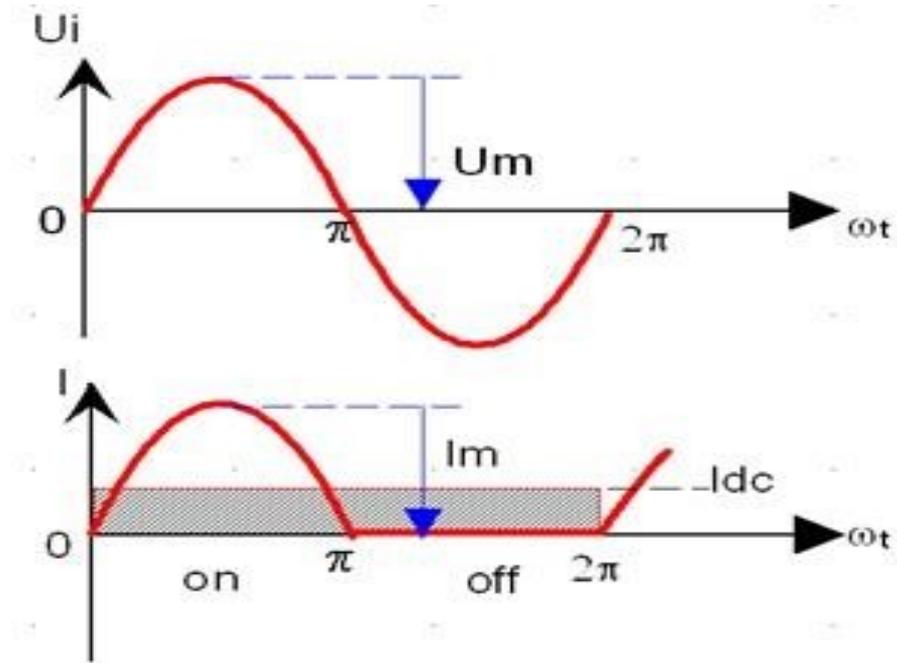


Gambar 2.6 Rangkaian Full Wave Voltage Doubler

2.6.2 Penyearah Gelombang

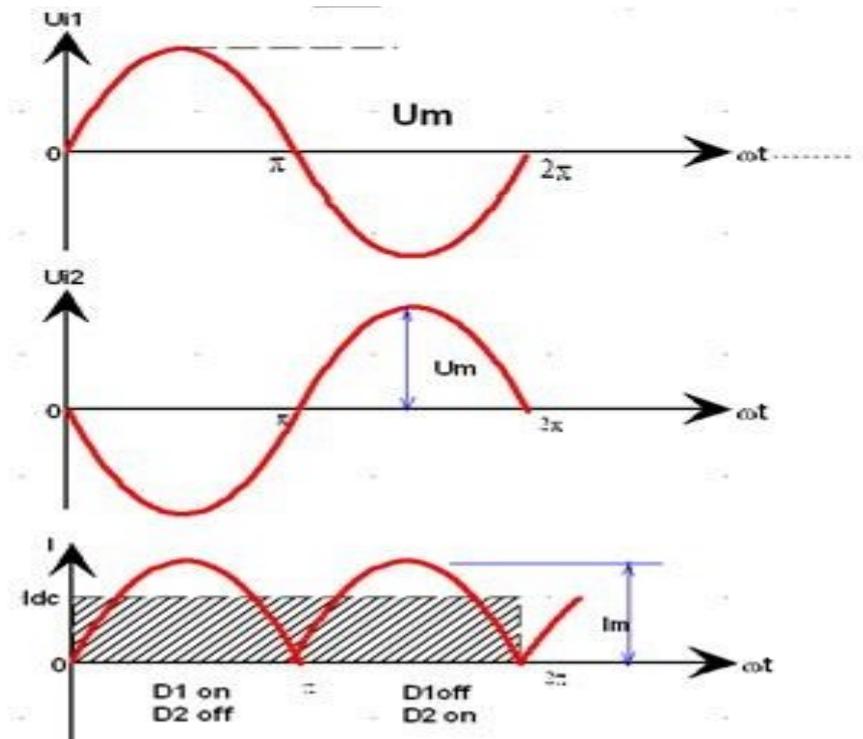
Kunci utama dari mengubah sinyal frekuensi (Hz) menjadi arus listrik searah (DC) terletak pada penggunaan komponen penyearah yang tepat, seperti dioda. Dioda memungkinkan arus mengalir hanya dalam satu arah, sehingga dapat digunakan untuk mengubah sinyal AC menjadi DC. Proses ini terjadi melalui dua tahap utama:

1. Penyearahan Setengah Gelombang (Half-Wave Rectification): Penyearah setengah gelombang memiliki arus rendah kurang lebih dari 1 Ampere. Namun, *half-wave rectifier* menyebabkan bias arus yang besar atau menghalangi tegangan. Dalam tahap ini, sinyal AC masuk ke dioda, yang memungkinkan arus mengalir hanya saat tegangan input positif. Sebagai hasilnya, setengah dari gelombang sinyal AC diubah menjadi arus listrik DC. Pada saat gelombang sinus bergerak dari 0° sampai dengan 180° , dioda on sehingga arus mengalir dari dioda ke beban RL dan kembali ke sumber CT. Pada saat gelombang sinus bergerak dari 180° sampai dengan 360° , dioda off, sehingga arus tidak mengalir. Dengan demikian pada beban hanya dilewati arus setengah periode saja.



Gambar 2.7 Penyearah Setengah Gelombang

2. Penyearahan Penuh Gelombang (Full-Wave Rectification): Mempunyai *ripple* gelombang lebih kecil berdasarkan variasi nilai kapasitansi Untuk menghasilkan output DC yang lebih stabil dan kontinu, digunakan sirkuit penyearah penuh gelombang. Dalam sirkuit ini, dioda-dioda yang disusun secara spesifik memastikan bahwa arus hanya mengalir dalam satu arah, bahkan ketika tegangan input berubah polaritas (Fadhil Aulia & Mulyadi, 2023). Pada saat gelombang sinus bergerak dari 0 sampai dengan 180° , dioda D1 on dan dioda D2 off, sehingga arus mengalir dari D1 ke beban RL dan kembali ke sumber CT. Pada saat gelombang sinus bergerak dari 180° sampai dengan 360° , dioda D2 on dan dioda D1 off, sehingga arus mengalir dari D2 ke beban RL dan kembali ke sumber CT. Dengan demikian pada beban dilewati arus dari D1 dan D2, sehingga bentuk output pada beban adalah penyearahan gelombang penuh.



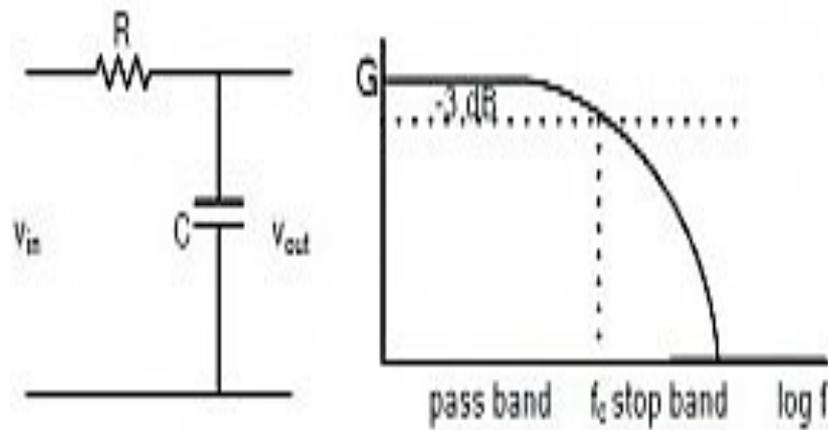
Gambar 2.8 Penyearah Gelombang Penuh

2.7 Filter

Filter merupakan piranti listrik yang telah diatur sedemikian rupa untuk memiliki karakteristik kelebihan selektivitas pada frekuensi tertentu. Fungsinya adalah untuk membiarkan sinyal yang bergerak dalam rentang frekuensi tertentu melintas dengan leluasa (bandpass), sementara pada frekuensi yang berbeda akan menunjukkan kemampuannya untuk meredam sinyal (stop band). Dengan kata lain, filter menjadi semacam penjaga ketat, memastikan hanya sinyal yang diinginkan yang dapat melintas tanpa hambatan (Koesmarijanto, 2020). Beberapa klasifikasi filter berdasarkan respon frekuensinya, yaitu:

1. Filter Lowpass

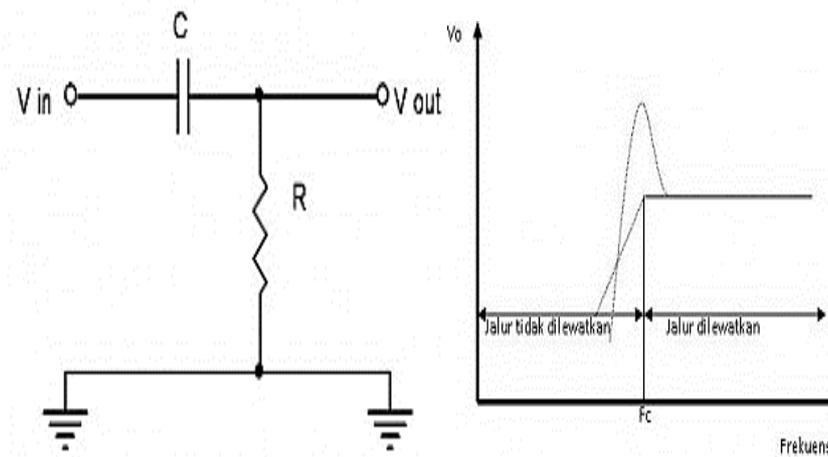
Filter lowpass adalah jenis filter elektronik yang dirancang untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi rendah dan meredam sinyal dengan frekuensi tinggi. Filter ini memiliki peran khusus dalam membentuk respons frekuensi dalam berbagai aplikasi elektronik. Jenis filter ini juga melewatkan sinyal dengan frekuensi lebih rendah dari nilai frekuensi cut-off.



Gambar 2.9 Diagram Filter Lowpass

2. Filter Highpass

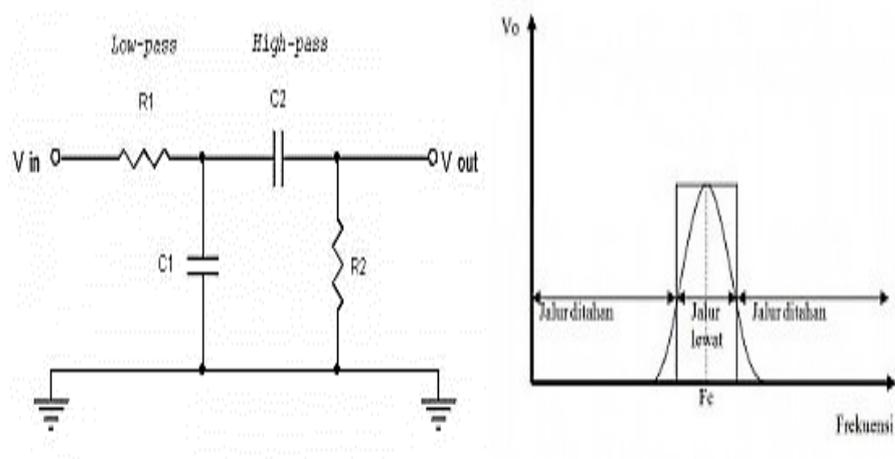
Filter Highpass (HPF) adalah salah satu tipe filter sirkuit elektronik yang dirancang untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi tinggi dan meredam sinyal dengan frekuensi rendah. Filter ini mempunyai karakteristik selektivitas yang membuatnya efektif dalam memisahkan komponen frekuensi dalam suatu sinyal.



Gambar 2.10 Diagram Filter Highpass

3. Filter Bandpass

Merupakan jenis filter yang melewatkan sinyal dengan frekuensi di antara 2 nilai frekuensi cut-off atau dengan kata lain meneruskan sinyal yang frekuensinya berada dalam rentang passband.



Gambar 2.11 Diagram Filter Bandpass

Kapasitor pada filter bandpass dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot R} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

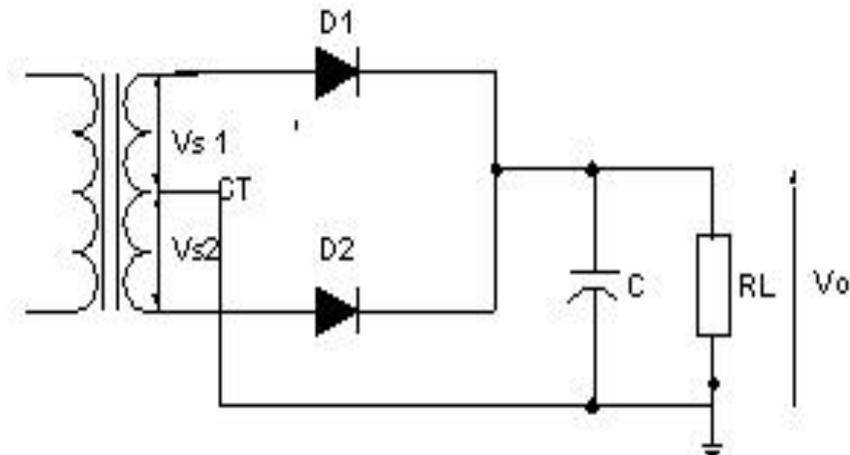
C = nilai kapasitor yang dicari

f_c = frekuensi pusat dari filter bandpass

R = resistansi yang ada dalam sirkuit

2.7.1 Filter Kapasitor

Filter kapasitor merupakan salah satu jenis filter yang memanfaatkan kapasitor untuk meredam atau membiarkan sinyal-sinyal tertentu dalam rangkaian listrik. Filter dalam rangkaian penyearah digunakan untuk memperkecil tegangan ripple, sehingga dapat diperoleh tegangan keluaran yang lebih rata, baik untuk penyearah gelombang setengah maupun gelombang penuh. Filter diperlukan karena rangkaian – rangkaian elektronik memerlukan sumber tegangan DC yang tetap, baik untuk keperluan sumber daya dan pembiasan yang sesuai operasi rangkaian. Rangkaian filter dapat dibentuk dari kapasitor (C), induktor (L) atau keduanya.



Gambar 2.12 Diagram Filter kapasitor

2.7.2 Full wave Rectifier dengan Filter Kapasitor

Rectifier dengan filter kapasitor adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengubah gelombang AC menjadi gelombang DC. Full-wave rectifier diaplikasikan untuk mengurangi ripple output gelombang dengan single phase (Fadhil Aulia & Mulyadi, 2023). Dalam rangkaian ini, dioda digunakan sebagai elemen kunci. Half-wave rectifier memblokir sisi sinyal negatif dari gelombang AC dan membiarkan sisi sinyal positifnya. Sementara itu, rectifier yang digunakan dalam penelitian ini adalah full-wave rectifier, yang menyearahkan kedua sisi gelombang sehingga menghasilkan ripple yang lebih kecil dibandingkan dengan half-wave rectifier. Dimana Semakin kecil nilai R_F , semakin baik kualitas tegangan DC yang dihasilkan, berdasarkan rumus:

$$R_F = \frac{V_r}{V_{dc}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

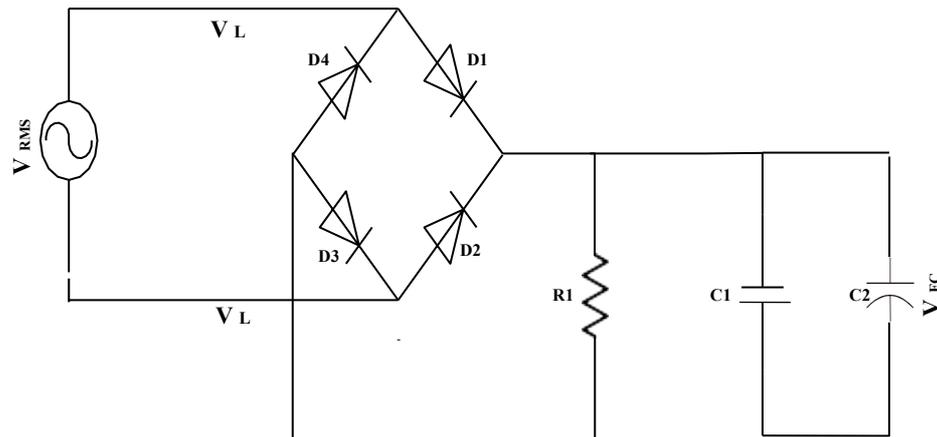
R_F = Radio Frekuensi

V_r = Merupakan tegangan fluktuatif pada keluaran filter kapasitor

V_{dc} = Merupakan tegangan searah pada keluaran filter kapasitor

Dalam prinsipnya, arus bolak-balik (AC) mengandung dua sisi gelombang, yakni sisi positif dan sisi negatif, membentuk pola sinusoidal. Saat sisi positif dari gelombang arus AC memasuki dioda, dioda akan mengalami bias maju (forward bias) dan memungkinkan arus untuk melewatinya. Di sisi lain, ketika gelombang arus AC bersifat negatif, dioda

akan berada dalam kondisi bias mundur (reverse bias), menghambat perjalanan sinyal negatif tersebut. Kapasitor digunakan sebagai filter untuk meratakan tegangan dan menekan gejala gelombang kecil (ripple) yang mungkin terjadi selama proses penyearahan gelombang AC (Giyantara et al., 2019).



Gambar 2.13 Rangkaian Full wave Rectifier dengan Filter Kapasitor

Tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian rectifier dengan filter kapasitor ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{FC} = V_L - (2 \cdot V_D) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$FVL = V_{rms} \times \sqrt{2} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

V_{fc} =Tegangan keluaran dari filter kapasitor,

V_L =Tegangan awal setelah diberi beban,

V_{rms} =Tegangan root mean square

V_D = Tegangan internal dari diode

2.8 Daya Listrik

Daya listrik adalah besaran yang mengukur besarnya energi listrik yang digunakan oleh sebuah rangkaian listrik dalam satu satuan waktu. Terutama dalam konteks penelitian sistem harvesting energy dari frekuensi RF menjadi arus listrik DC. Persoalan daya listrik ini tidak hanya penting dalam dunia teknik elektro, tetapi juga memiliki dimensi yang dapat

dieksplorasi melalui pendekatan matematis dan statistika. Pendekatan statistika, khususnya analisis regresi, memungkinkan kita untuk mengembangkan model matematis yang akurat guna memahami dan mengoptimalkan proses harvesting energy. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang analisis regresi dan metode statistik lainnya menjadi sangat penting untuk mencapai hasil penelitian yang dapat diandalkan dan bermakna. Daya listrik dinyatakan dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Secara umum, daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

P =Daya Listrik dengan satuan Watt

V =Tegangan Listrik dengan satuan Volt

I =Arus Listrik dengan satuan Ampere

Daya listrik juga memiliki peran krusial dalam mengukur performa suatu perangkat elektronik atau sistem listrik secara keseluruhan. Pemahaman terhadap daya listrik membantu dalam mengevaluasi efisiensi perangkat, mengidentifikasi potensi pemakaian energi berlebih, dan merancang solusi yang ramah lingkungan. Dengan mengetahui seberapa besar daya listrik yang digunakan, pengguna dan perancang sistem listrik dapat mengambil langkah-langkah untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mendukung keberlanjutan, dan mengurangi dampak lingkungan. Semakin tinggi tegangan atau arus yang digunakan, semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan. Daya listrik dapat digunakan untuk mengukur daya yang diperlukan oleh perangkat listrik seperti lampu, kipas angin, mesin cuci, atau komputer. Pengukuran daya listrik ini berguna untuk menghitung besarnya biaya listrik yang harus dibayarkan oleh konsumen, karena biaya listrik biasanya dihitung berdasarkan konsumsi daya listrik yang dilakukan oleh konsumen dalam satu satuan waktu (Ilmi, 2019). Terdapat tiga jenis daya listrik, diantaranya yaitu:

1. Daya Tampak

Daya tampak (apparent power) merupakan kombinasi daya aktif dan daya reaktif dalam sebuah rangkaian listrik. Daya ini diukur dalam satuan voltampere (VA) dan dinyatakan sebagai besaran kompleks,

dengan bagian real mewakili daya aktif dan bagian imajiner mewakili daya reaktif. Daya tampak mencerminkan total daya yang diperlukan oleh rangkaian untuk mengalirkan arus melalui perangkat listrik atau beban. Meskipun daya tampak mencakup total kebutuhan daya, tidak seluruhnya digunakan untuk melakukan kerja nyata, karena sebagian daya tersebut dialokasikan untuk menghasilkan medan magnet. Rumus daya tampak adalah sebagai berikut:

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

S = Daya Tampak(VA)

V = Tegangan Listrik dengan satuan Volt

I = Arus Listrik dengan satuan Ampere

2. Daya Aktif

Daya aktif (active power) adalah komponen dari daya tampak yang secara efektif digunakan untuk melakukan kerja pada perangkat listrik atau beban. Diukur dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW), daya aktif merepresentasikan energi yang sesungguhnya dikonsumsi dan dinyatakan sebagai besaran real dalam bentuk bilangan riil. Daya aktif ini dihasilkan dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir melalui beban, menggambarkan seberapa efisien energi listrik diubah menjadi bentuk kerja yang dapat digunakan. Rumus daya aktif adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos (\varnothing) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan Listrik dengan satuan Volt

I = Arus Listrik dengan satuan Ampere

$\cos (\varnothing)$ = Faktor daya

3. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik, yang menggambarkan besarnya daya yang dibutuhkan oleh suatu beban untuk mempertahankan medan magnet dalam perangkat seperti motor dan transformator. Keberadaan daya reaktif ini sangat mempengaruhi efisiensi dan stabilitas sistem, menjadikannya aspek yang menarik dan penting untuk dianalisis dalam studi teknik elektro. Rumus daya reaktif adalah sebagai berikut:

$$Q = V \times I \times \sin(\phi) \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

Q = Daya Reaktif (Watt)

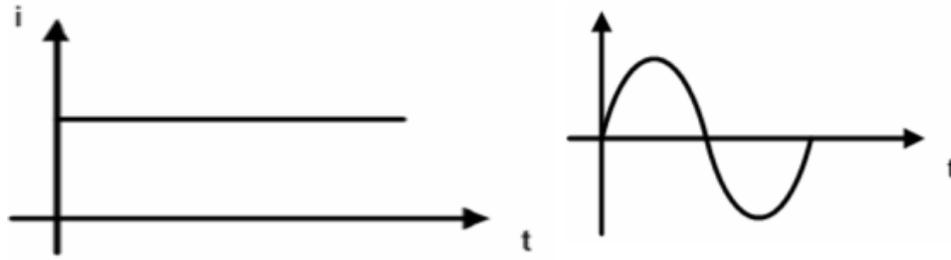
V = Tegangan Listrik dengan satuan Volt

I = Arus Listrik dengan satuan Ampere

$\sin(\phi)$ = Sinus dari sudut fase antara tegangan dan arus

2.8.1 Arus Listrik

Arus listrik atau dalam bahasa Inggris sering disebut dengan *Electric Current* adalah muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam tiap satuan waktu. Muatan listrik pada dasarnya dibawa oleh Elektron dan Proton di dalam sebuah atom. Proton memiliki muatan positif, sedangkan Elektron memiliki muatan negatif. Namun, Proton sebagian besar hanya bergerak di dalam inti atom. Jadi, tugas untuk membawa muatan dari satu tempat ke tempat lainnya ini ditangani oleh Elektron. Arus terbagi atas dua yaitu arus searah dan arus bolak balik. Arus searah mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya dimana pun kita meninjau arus tersebut pada waktu berbeda akan mendapatkan nilai yang sama. Sedangkan arus bolak balik adalah arus yang mempunyai nilai yang berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk perioda waktu tertentu. Berikut merupakan Grafik tentang arus DC dan AC.



Gambar 2.14 Grafik perbandingan hubungan antara arus dengan waktu t pada DC dan AC

Tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) adalah salah satu parameter penting dalam analisis sinyal AC (bolak-balik). V_{pp} mengukur perbedaan antara nilai maksimum (puncak positif) dan nilai minimum (puncak negatif) dari suatu sinyal. Dalam konteks arus listrik, memahami V_{pp} membantu kita dalam mendesain dan menganalisis rangkaian yang menggunakan sumber tegangan AC. Rumus untuk menghitung V_{pp} adalah sebagai berikut:

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

V_{pp} = Tegangan puncak ke puncak (Peak-to-Peak Voltage)

V_{max} = Nilai tegangan maksimum (puncak positif)

V_{min} = Nilai tegangan minimum (puncak negatif)

2.8.2 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu unit muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya, diukur dalam satuan Volt. Tegangan ini, sering disebut sebagai beda potensial listrik, menggambarkan perbedaan energi potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian. Potensial listrik suatu benda lebih tinggi daripada benda lain jika memiliki lebih banyak muatan positif dibandingkan dengan yang lain. Pada dasarnya, potensial listrik adalah jumlah muatan yang ada dalam suatu benda. Tegangan listrik berperan sebagai gaya yang mendorong perpindahan elektron melalui konduktor; semakin tinggi tegangan, semakin besar kemampuannya untuk mendorong elektron melalui rangkaian tersebut.

Tegangan listrik dapat dianalogikan sebagai tekanan air dalam sebuah tangki. Semakin tinggi tangki air di atas outlet, semakin besar tekanan

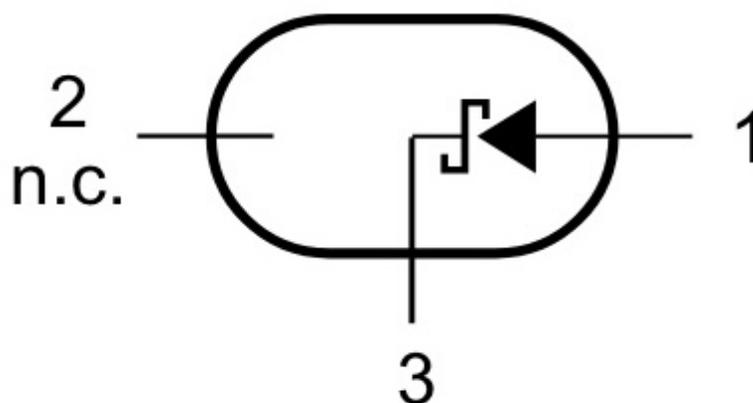
airnya karena lebih banyak energi yang dilepaskan. Demikian pula dengan tegangan listrik: semakin tinggi tegangannya, semakin besar energi potensialnya karena semakin banyak elektron yang dilepaskan. Saat dua distribusi muatan listrik dipisahkan oleh jarak tertentu, akan terjadi gaya listrik di antara keduanya. Jika distribusi muatan tersebut sama (keduanya positif atau negatif), maka akan terjadi gaya tolak-menolak. Sebaliknya, jika distribusi muatan berbeda (satu positif dan satu negatif), maka akan terjadi gaya tarik-menarik. Saat kedua distribusi muatan ini disambungkan dengan rangkaian atau beban, muatan positif yang lebih sedikit akan dipengaruhi oleh kedua distribusi muatan tersebut. Sumber tegangan listrik yang konstan biasanya disebut tegangan DC (tegangan searah), sedangkan sumber tegangan listrik yang bervariasi secara berkala dengan waktu disebut tegangan AC (tegangan bolak-balik). Tegangan listrik diukur dalam satuan Volt, yang dilambangkan dengan simbol "V". Satu Volt dapat didefinisikan sebagai tekanan listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan 1 Ampere arus listrik melalui konduktor dengan resistansi 1 Ohm (Andi Rosman, 2019).

2.9 Dioda Schottky BAT-17

Dioda adalah komponen elektronika dengan 2 terminal (anoda dan katoda) dan terbentuk dari dua jenis semikonduktor (silikon jenis N dan silikon jenis P) yang tersambung. Bahan ini mampu dialiri arus secara relatif mudah dalam satu arah. Dioda dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran serta amat berguna. Dari pengertian dioda, maka pada simbol dioda terdapat tanda menyerupai anak panah yang menunjukkan arah aliran arus listrik. Pada diode terdapat daerah deplesi yaitu daerah yang merupakan perbatasan antar sambungan semikonduktor. Dengan adanya pertukaran elektron dengan hole akan saling meniadakan muatan yang mengakibatkan terjadinya daerah tanpa muatan bebas pada sambungan p-n, yang disebut daerah deplesi (Rheina Aurely et al., n.d.).

Dioda Schottky adalah tipe khusus dari dioda dengan tegangan yang rendah. Ketika arus mengalir melalui dioda akan ditahan oleh hambatan internal, yang menyebabkan tegangannya menjadi kecil di terminal dioda.

Dioda Schottky memiliki kelebihan melewati frekuensi yang tinggi dengan daya input yang rendah. Dioda normal antara 0.7-1.7 volt, sementara dioda Schottky tegangan kira-kira antara 0.15-0.45 volt. Dioda Schottky terdiri dari metal-semiconductor junction, biasanya antara logam dan silikon atau germanium. Dalam p-n junction konvensional, elektron bergerak dari area n-type ke area p-type dan sebaliknya. Namun, dioda Schottky menggunakan perbedaan potensial antara logam dan semikonduktor untuk memfasilitasi aliran arus (Heptaniarti et al., 2024).



Gambar 2.15 HSMS-285C- SOT-23/SOT-143 Single

Salah satu keunggulan utama dioda Schottky adalah voltase ambang yang lebih rendah dibandingkan dengan dioda p-n junction. Ini menghasilkan respons waktu yang lebih cepat dan kehilangan daya yang lebih kecil, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan efisiensi dan kinerja tinggi. Dioda Schottky dapat menggunakan berbagai kombinasi material logam-semikonduktor, seperti platinum-silikon, titanium-silikon, atau logam khusus lainnya. Dioda ini juga dapat bekerja pada frekuensi tinggi hingga 3 GHz. Dioda Schottky dalam kondisi unbiased, tingkat energy electron pada tipe -n sangat rendah jika dibandingkan dengan logam. sehingga electron tidak dapat mengalir melalui penghalang dioda Schottky. Dalam kondisi forward biased electron disisi semikonduktor tipe-n mendapat energy untuk melewati penghalang dan masuk ke wilayah logam dengan energy yang besar dan menimbulkan

panas, maka dioda Schottky disebut juga dioda pembawa panas. Dioda Schottky tidak memiliki noise yang berlebihan, tegangan drop pada dioda Schottky berada sekitar 0,2 – 0,3 Volt lebih kecil dari dioda silicon lain dengan tegangan drop 0,6 – 0,7 Volt (shodikin, 2019).



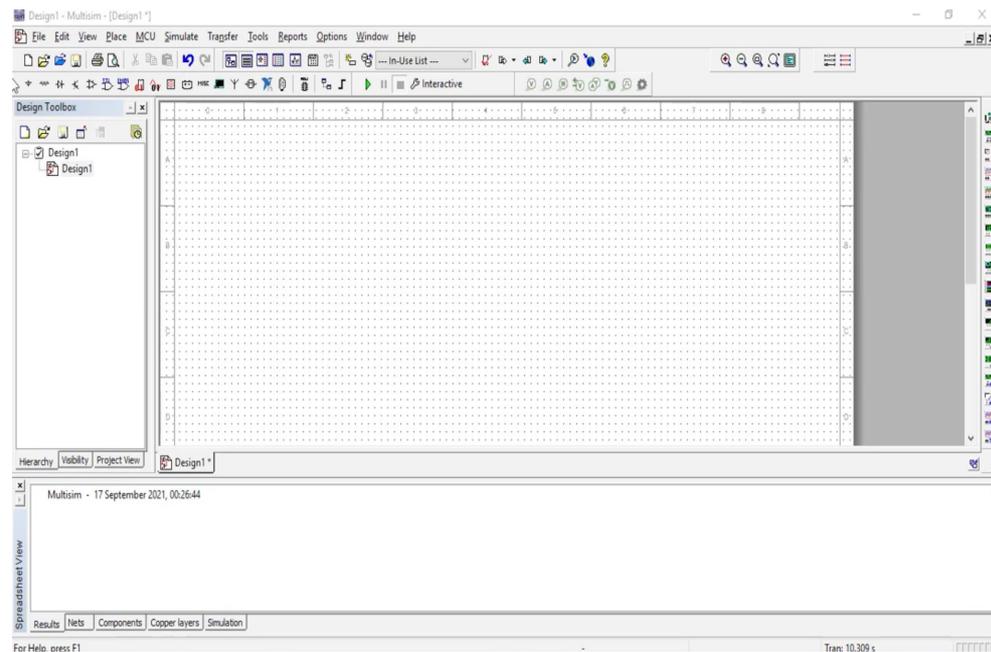
Gambar 2.16 Dioda Schottky BAT-17

2.10 Software Multisim

Multisim sebagai perangkat lunak simulasi sirkuit elektronik unggulan yang dikembangkan oleh National Instruments, memainkan peran sentral dalam penelitian ini. Melalui antarmuka pengguna yang intuitif dan visual, Multisim memungkinkan para peneliti untuk merancang, mensimulasikan, dan menganalisis sirkuit elektronik dengan presisi tinggi. Kelebihan utamanya terletak pada kemampuannya menyediakan berbagai komponen dan perangkat simulasi yang dapat disesuaikan, mencakup sumber daya listrik, resistor, kapasitor, induktor, dan banyak lagi. Kemampuan simulasi transien dan AC/DC dari Multisim memungkinkan analisis mendalam terhadap respons sirkuit terhadap berbagai stimulus, memberikan gambaran komprehensif tentang kinerja sistem elektronik sebelum tahap implementasi fisiknya.

Multisim memungkinkan peneliti untuk merancang sirkuit RF harvesting dengan berbagai komponen, termasuk antena, penyearah (rectifier), dan elemen penyimpan energi. Sistem ini diintegrasikan dengan

perangkat keras yang dirancang untuk menangkap energi dari sinyal RF dan mengubahnya menjadi arus listrik DC yang dapat digunakan. Selain itu, penelitian ini akan mencakup simulasi variasi parameter sistem seperti frekuensi sinyal RF, besar daya, dan efisiensi konversi energi. Hasil simulasi akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan dan mendapatkan wawasan yang mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi harvesting energi RF (Indra & Shariff, 2020).



Gambar 2.17 Software Multisim

2.11 Osiloskop

Osiloskop adalah alat ukur besaran listrik yang digunakan untuk memetakan sinyal listrik. Secara umum, osiloskop berfungsi untuk menganalisis tingkah laku besaran yang berubah-ubah terhadap waktu yang ditampilkan pada layar, sehingga kita dapat melihat bentuk sinyal yang sedang diamati. Dengan osiloskop, kita dapat mengetahui berbagai parameter penting dari sinyal seperti frekuensi, periode, dan tegangan. Selain itu, dengan sedikit penyetulan, kita juga bisa mengetahui beda fasa antara sinyal masukan dan sinyal keluaran. Beberapa fungsi osiloskop lainnya adalah mengukur besar tegangan listrik dan hubungannya terhadap waktu, mengukur frekuensi, serta membedakan arus AC dan arus DC. Ada beberapa jenis

gelombang yang dapat ditampilkan pada layar osiloskop, yaitu gelombang sinusoida, gelombang blok, gelombang gigi gergaji, dan gelombang segitiga (Alfian Putra Sambanyu, 2018).

Osiloskop menggunakan prinsip kerja tabung sinar katoda. Pada tabung sinar katoda terdapat dua elektroda, yaitu katoda dan anoda. Katoda adalah suatu logam yang dihubungkan pada kutub negatif sehingga mengalami reduksi. Sementara anoda didefinisikan sebagai logam yang dihubungkan dengan kutub positif sehingga mengalami oksidasi. Osiloskop membantu dalam memetakan bentuk sinyal RF yang diterima dan memastikan bahwa sinyal tersebut dapat dikonversi dengan baik menjadi arus DC yang stabil.



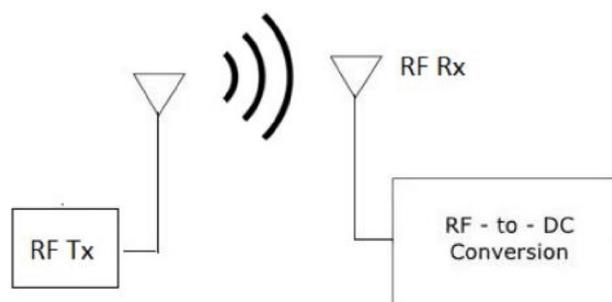
Gambar 2.18 Osiloskop

2.12 Transmitter

Transmitter merupakan perangkat yang mengirimkan sinyal RF (Radio Frequency) melalui udara. Teknologi Global System for Mobile (GSM) merupakan salah satu sistem komunikasi seluler yang populer di seluruh dunia. Sistem ini menonjol dengan jaringan yang luas dan keunggulan layanan komunikasi, memungkinkan pelanggan untuk berkomunikasi secara bebas di area layanan tanpa mengalami gangguan jaringan atau pemutusan hubungan dengan Mobile Station (MS) yang bersifat fleksibel. Dalam konteks komunikasi seluler. Salah satu pemancar yang dapat digunakan sebagai trnasmiter dalam Harvesting energy adalah Handy Talky.

Handie Talkie (HT) adalah perangkat komunikasi dua arah yang menggunakan frekuensi radio untuk mentransmisikan suara dan data. Dalam konteks harvesting energy, HT dapat berfungsi sebagai sumber sinyal RF yang dipanen energinya. HT umumnya beroperasi pada frekuensi UHF (300 MHz hingga 3 GHz), yang menjadikannya ideal untuk eksperimen harvesting energy. Frekuensi UHF memiliki panjang gelombang yang lebih pendek, memungkinkan penetrasi yang baik melalui berbagai media dan lingkungan. Oleh karena itu, HT dapat menghasilkan sinyal RF yang stabil dan konsisten, yang dapat dimanfaatkan oleh sistem harvesting energy untuk mengkonversi sinyal RF menjadi arus listrik DC.

Pemanenan energi RF sebagai mekanisme transfer energi dapat menyediakan pasokan yang relatif berkelanjutan dengan ketersediaan yang mudah. Jika dibandingkan dengan metode pemanenan energi lainnya (seperti getaran, tenaga surya, atau termal), pemanenan energi RF memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas dan keberlanjutan. Energi RF dapat diakses kapan saja dan di mana saja selama ada sumber sinyal radio, seperti pemancar HT atau menara BTS, yang beroperasi di sekitar area tersebut (Sherazi et al., 2022).



Gambar 2.19 Transmisi RF Energi

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari Desember 2023 sampai Juni 2024.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

NO	Uraian	Bulan							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3								
4	Pengumpulan Data Sistem Harvesting Energy								
5	Analisa Data								
6	Seminar hasil								
7	Sidang Akhir								

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian harvesting energy RF
2. Transmitter (Handy Talky)
3. Multimeter
4. Osiloskop
5. Frekuensi counter (GOOIT GV560)

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan untuk memperoleh data primer berupa melakukan pemantauan intensif terhadap sinyal RF yang diambil dari transmitter menggunakan antena. Selanjutnya, eksperimen akan dilakukan untuk mengonfirmasi kemampuan harvesting energy dari sinyal RF tersebut dengan memanfaatkan sistem harvesting yang telah dirancang. Data pengukuran dan hasil eksperimen ini akan menjadi landasan utama dalam menganalisis efisiensi dan performa sistem harvesting energy secara keseluruhan. Data yang akan diambil meliputi:

1. Data sinyal RF (Hz)
2. Data tegangan (Volt)
3. Data efisiensi energy (%)
4. Data sinyal dan gelombang
5. Kinerja sistem Harvesting Energy

3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dari awal hingga akhir saat melakukan pengukuran pada sistem Harvesting Energy.

A. Pengukuran Tegangan Input

1. Menyambungkan sumber sinyal RF ke input sistem harvesting energy
2. Menggunakan osiloskop untuk mengukur tegangan input.
3. Menempatkan probe osiloskop pada titik input tegangan
4. Catat tegangan yang ditampilkan pada osiloskop

B. Pengukuran Tegangan Output

1. Pertama menyambungkan multimeter ke output sistem harvesting energy
2. Lalu pastikan polaritas probe multimeter sesuai dengan polaritas output
3. Setelah itu catat tegangan DC yang ditampilkan pada voltmeter

C. Pengukuran Arus Output

1. Pertama menyambungkan multimeter ke output sistem harvesting energy dengan beban
2. Lalu memastikan koneksi yang tepat untuk menghindari kerusakan alat ukur
3. Catat arus DC yang ditampilkan pada Multimeter

D. Pengukuran Frekuensi Input

1. Pertama sambungkan osiloskop ke input sistem harvesting energy
2. Lalu Tempatkan probe pada titik input frekuensi
3. Catat frekuensi sinyal RF yang ditampilkan pada alat ukur

E. Pengukuran Tegangan Puncak Ke Puncak (V_{PP})

1. Pertama sambungkan osiloskop ke bagian input sistem harvesting energy
2. Tempatkan Probe pada titik input tegangan, lalu Sambungkan ground clip probe ke ground sistem dan ujung probe ke titik input tegangan
3. Atur Osiloskop untuk Menampilkan Sinyal secara Penuh seperti memilih kanal yang digunakan(CH1), mengatur skala tegangan (V/div), atur skala waktu per divisi (T/div) dan mengatur pemicu (trigger) untuk stabilitas sistem
4. Catat Tegangan Puncak ke Puncak yang Ditampilkan pada Osiloskop

F. Pengukuran Ripple Tegangan Output (V_{ripple})

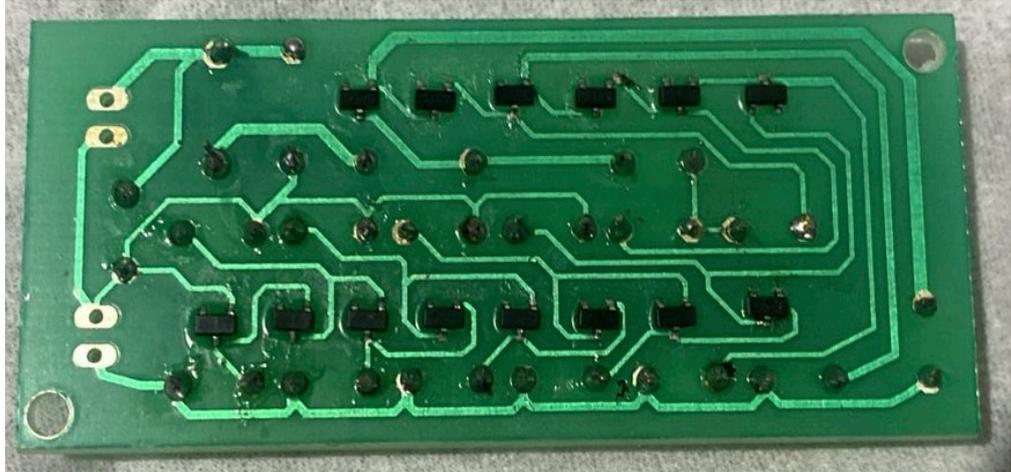
1. Pertama sambungkan osiloskop ke bagian input sistem harvesting energy
2. Tempatkan Probe pada titik input tegangan, lalu Sambungkan ground clip probe ke ground sistem dan ujung probe ke titik input tegangan
3. Atur Osiloskop untuk Menampilkan Sinyal secara Penuh seperti memilih kanal yang digunakan(CH1), mengatur kopling ke AC, mengatur skala tegangan ke nilai yang rendah (V/div), atur skala waktu per divisi ke nilai yang memungkinkan untuk melihat detail ripple (T/div) dan mengatur pemicu (trigger) pada komponen sinyal AC untuk stabilisasi tampilan ripple.
4. Catat Ripple Tegangan yang Ditampilkan pada Osiloskop

3.5 Analisis Sistem Harvesting Energy

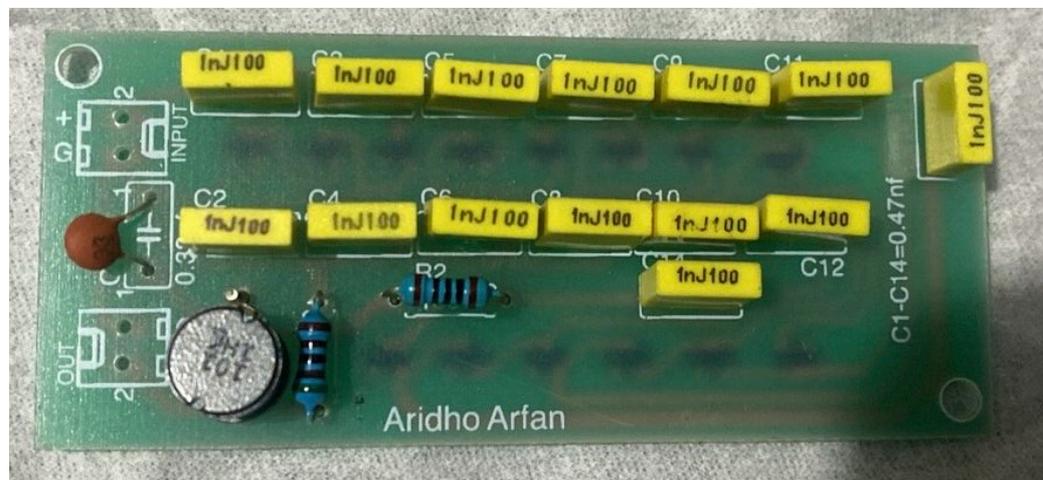
Analisis yang akan dilakukan dalam sistem harvesting energy ini menggunakan beberapa parameter alat ukur dan alat pengoperasian Harvesting Energy seperti berikut:

3.5.1 Rangkaian Harvesting Energy

Rangkaian yang digunakan terdiri dari beberapa komponen utama yang dirancang untuk mengubah sinyal RF menjadi arus listrik DC. Komponen utama dalam rangkaian ini termasuk antena wajan bolic yang berfungsi menangkap sinyal RF dari pemancar atau HT. Sinyal yang ditangkap kemudian diteruskan ke rangkaian rectifier model Dickson 7, yang terdiri dari 14 dioda Schottky BAT-17 dan 14 kapasitor MKM 100V 1nF, untuk mengubah sinyal RF menjadi arus searah (DC). Untuk mengoptimalkan kinerja dan memaksimalkan efisiensi konversi energi, rangkaian ini juga dilengkapi dengan matching network atau filter yang terdiri dari 1 resistor 100 ohm, 1 induktor 100nH, dan 1 kapasitor 0,33pF yang membantu dalam menyesuaikan impedansi antena dengan rangkaian rectifier.



Gambar 3. 1 Tampak Belakang Rangkaian Harvesting Energy



Gambar 3. 2 Tampak Depan Rangkaian Harvesting Energy

3.5.2 Transmitter (Handy Talky)

Penggunaan Handy Talky sebagai transmitter dalam analisis sistem harvesting energi dari frekuensi RF menjadi arus listrik DC, fokusnya adalah pada potensi perangkat tersebut sebagai sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan. Dengan memanfaatkan teknologi yang telah ada, Handy Talky dapat diintegrasikan ke dalam sistem untuk mengumpulkan energi dari sinyal RF yang diterima dan mengubahnya menjadi arus listrik DC.



Gambar 3. 3 Transmitter Handy Talky (HT)

3.5.3 Multimeter Digital

Penggunaan multimeter menjadi krusial sebagai alat ukur untuk memantau dan mengukur parameter-parameter elektrik yang terlibat dalam proses konversi energi. Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan (voltage), arus (current) pada berbagai titik dalam sistem. Tegangan dan arus menjadi parameter utama yang diukur untuk memahami efisiensi konversi energi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC.



Gambar 3. 4 Multimeter Digital

3.5.4 Osiloskop

Alat untuk memonitor dan merekam sinyal input dan output pada sistem ini menggunakan osiloskop. Alat ini membantu agar dapat melihat karakteristik gelombang sinyal dan memastikan bahwa konversi energi berlangsung sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 3. 5 Osiloskop

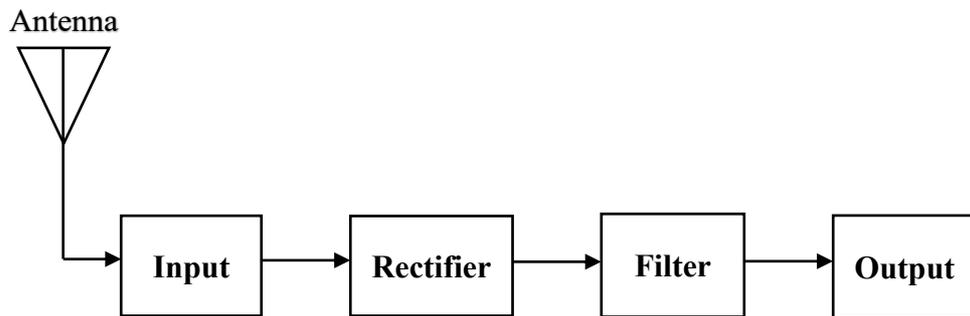
3.5.5 Frekuensi counter (GOOIT GV560)

Penggunaan Frekuensi Meter GOOIT GV560 memiliki peran sentral sebagai alat ukur untuk memonitor dan menganalisis frekuensi sinyal radio frekuensi (RF). Frekuensi meter ini menjadi krusial dalam mengidentifikasi dan mengukur tingkat frekuensi yang diterima oleh antenna pada sistem harvesting energy. Selain itu, alat ini dapat membantu dalam mengoptimalkan desain antenna dan sistem rectenna dengan menyediakan data yang akurat tentang frekuensi sinyal yang dihasilkan oleh lingkungan sekitar.



Gambar 3. 6 Frekuensi Counter

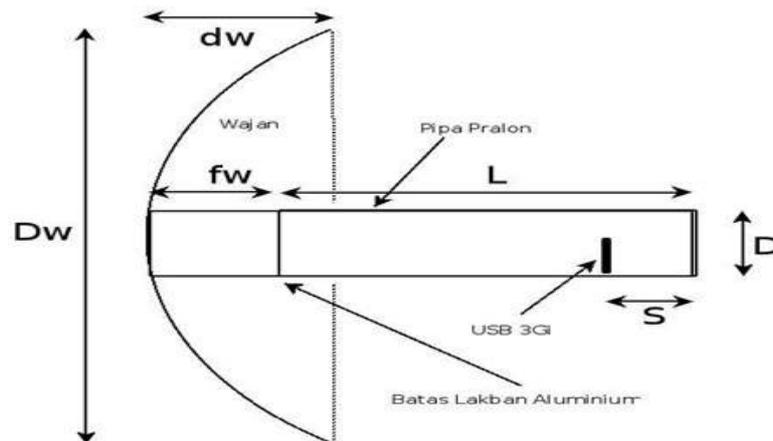
3.6 Blok Diagram Harvesting Energy



Gambar 3. 7 Diagram Rangkaian Harvesting Energy

Blok diagram harvesting energy ini menggambarkan proses konversi sinyal RF menjadi arus listrik DC yang dapat disimpan. Antena bertindak sebagai penerima sinyal RF yang diubah menjadi sinyal listrik AC. Sinyal tersebut kemudian diarahkan ke rectifier model Dickson 7, jenis rangkaian rectifier yang efektif mengubah sinyal AC menjadi arus DC. Filter kemudian digunakan untuk menyaring dan meratakan sinyal DC, meminimalkan fluktuasi dan ripple. Dengan kombinasi antena, rectifier model Dickson 7 dan filter, blok diagram ini membentuk sistem harvesting energy yang efisien dan dapat diterapkan dalam berbagai konteks.

3.6.1 Diagram Konfigurasi Antena Wajanbolic

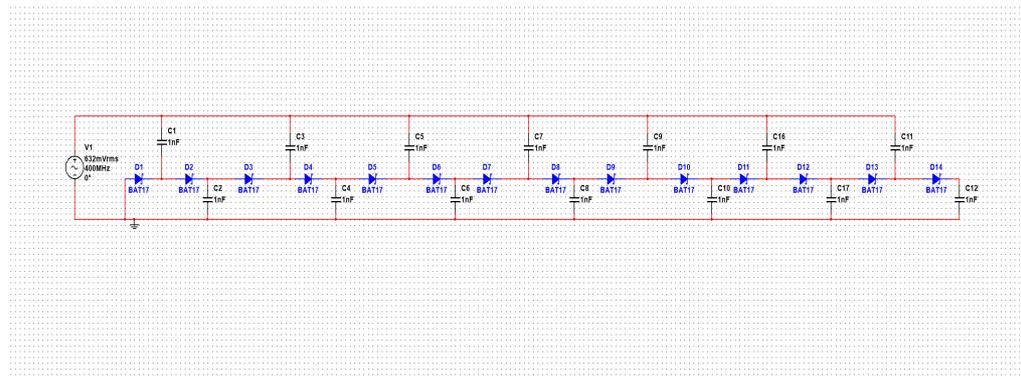


Gambar 3. 8 Diagram Konfigurasi Antena Wajanbolic

Antena wajan bolic, yang umumnya terdiri dari wajan parabola dan elemen transmisi, dipilih karena kemampuannya dalam merkonsentrasikan dan memfokuskan sinyal RF pada titik fokusnya. Konfigurasi ini

memungkinkan peningkatan efisiensi dalam menangkap energi RF yang tersebar di lingkungan sekitar. Analisis terhadap desain, dimensi, dan orientasi antenna wajan bolic menjadi fokus utama dalam memastikan bahwa antenna mampu optimal dalam mengumpulkan energi dari sinyal RF yang ada.

3.6.2 Diagram Rectifier Model Dickson 7 Stage



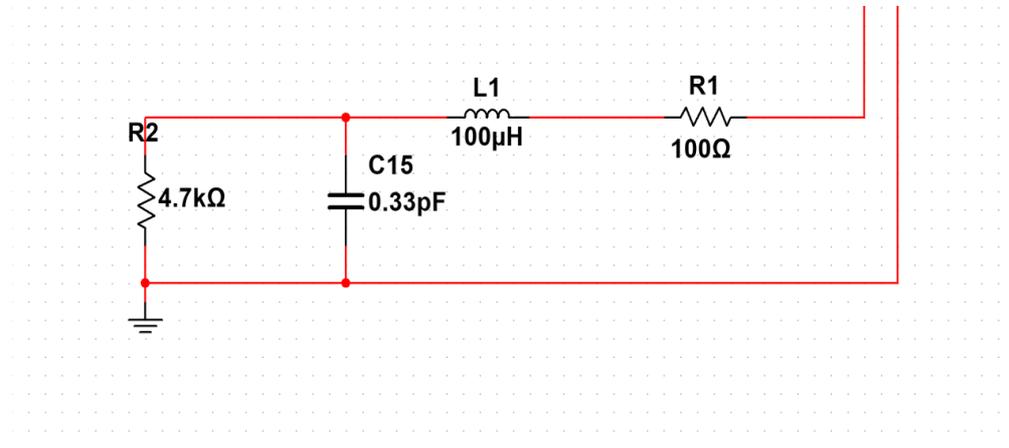
Gambar 3. 9 Diagram Rectifier model Dickson 7 stage

Rangkaian pelipat arus Dickson, juga dikenal sebagai pengganda tegangan Dickson atau rangkaian Dickson Charge Pump, adalah jenis rangkaian pelipat arus yang memanfaatkan kapasitor untuk mengumpulkan muatan dan memperbesar tegangan keluaran. Rangkaian ini terdiri dari beberapa tahap pengganda tegangan yang dihubungkan secara seri. Efisiensi dapat terpengaruh oleh kebocoran muatan pada dioda dan resistansi internal kapasitor. Selain itu, sinyal keluaran akan mengandung komponen harmonik dan perlu di-filter untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih halus. Komponen yang digunakan dalam rangkaian ini berupa Dioda Schottky BAT 17 dan Kapasitor 1 nF yang dirangkai sedemikian rupa agar dapat menghasilkan keluaran yang optimal.

Model penyearah yang dirancang adalah modifikasi model penyearah Dickson di mana pada sisi konstruksi rangkaian dasarnya diterapkan beberapa rangkaian pengganda tegangan yang disusun bertingkat sesuai hasil pengembangan modifikasi yang ditunjukkan. Penyearah gelombang dengan model Dickson yang disusun tujuh tingkat dengan menggunakan dioda Schottky BAT 17. Rangkaian ini menghasilkan tegangan output 5,45 V dan arus $1,26 \times 10^{-5}$ A dicapai pada tingkat masukan daya 10

dBm dengan menggunakan beban $10\text{ k}\Omega$, efisiensi daya pada rangkaian ini mencapai 37,82%.

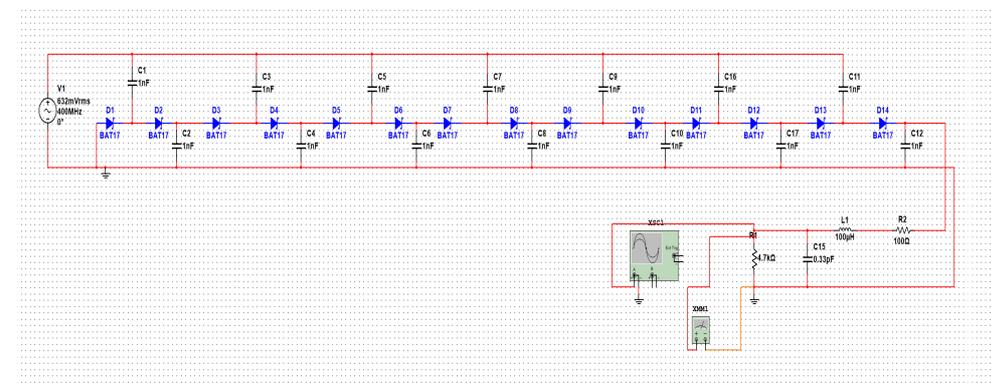
3.6.3 Diagram Rangkaian Filter



Gambar 3. 10 Diagram Rangkaian Filter

Filter ini dirancang untuk memungkinkan sinyal-sinyal dengan frekuensi tertentu dalam suatu rentang pita frekuensi tertentu untuk melewati, sementara meredam atau memblokir sinyal-sinyal di luar rentang tersebut. Bandpass Filter memiliki karakteristik penguatan yang optimal di sekitar frekuensi cut-off untuk mempertahankan kestabilan amplitudo sinyal keluaran. Dengan membatasi penerimaan sinyal pada rentang frekuensi tertentu, BPF memastikan bahwa hanya sinyal pada frekuensi yang diinginkan yang diambil dan diubah menjadi energi.

3.7 Rangkaian Keseluruhan Sistem Harvesting Energy RF



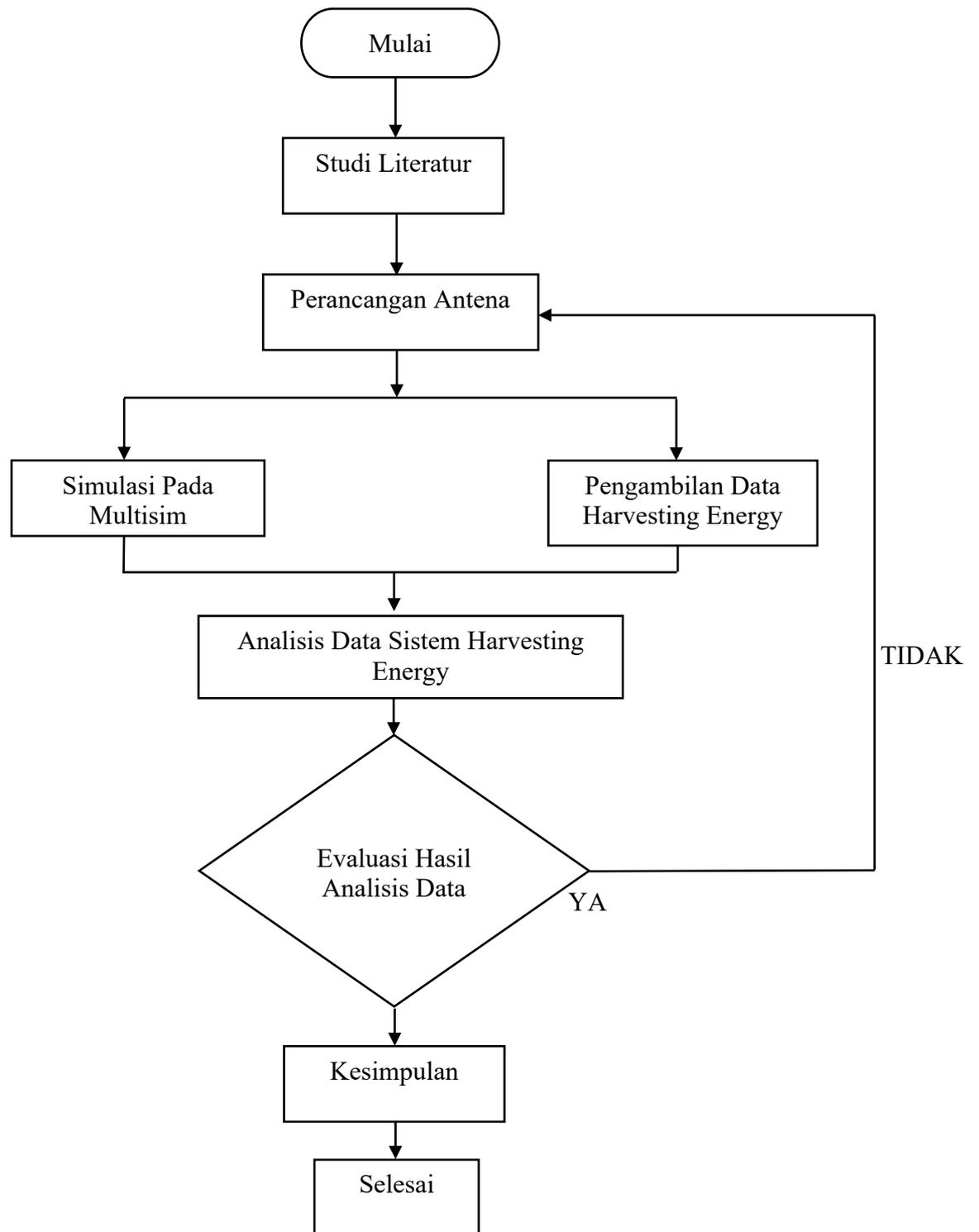
Gambar 3. 11 Rangkaian Keseluruhan Sistem Harvesting Energy RF

Melalui gambar rangkaian keseluruhan diatas, input dari sinyal radio frekuensi berupa 400 MHz akan masuk lalu mengalir melewati rangkaian Rectifier model Dickson 7 stage, setelah itu akan langsung masuk ke Filter sebelum mengalir keluar ke area saving energy, yang mana kegunaan filter disini juga dapat mengurangi jumlah noise yang dihasilkan dari pemanenan energy. Hasil simulasi dapat dilihat menggunakan osiloskop dan multimeter untuk melihat output dari rangkaian harvesting energy.

3.8 Metode Penelitian

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode kuantitatif dengan mengambil data pengukuran berupa melakukan pemantauan intensif terhadap sinyal RF yang diambil dari transmiter menggunakan antena dan disimulasi komputer untuk menunjukkan kemampuan harvesting energy dari sinyal RF tersebut dengan memanfaatkan sistem harvesting yang telah dirancang dan dilakukan pada bulan Maret sampai Juni 2024 bertempat di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui peneliti dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
2. Melakukan perancangan untuk antena yang akan digunakan
3. Melakukan simulasi sistem harvesting menggunakan Sofeware Multisim
4. Melakukan pengambilan data sinyal RF, tegangan, efisiensi energi, sinyal dan gelombang serta kinerja sistem harvesting energi
5. Melakukan Perhitungan dan analisa data
6. Melakukan analisis dan evaluasi hasil data terhadap sistem harvesting energy
7. Mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilaksanakan
8. Selesai, Berikut Diagram Alir Serta Proses Penelitian dapat dilihat pada gambar 3.12 Berikut



Gambar 3. 12 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

ANALISIS DAN HASIL

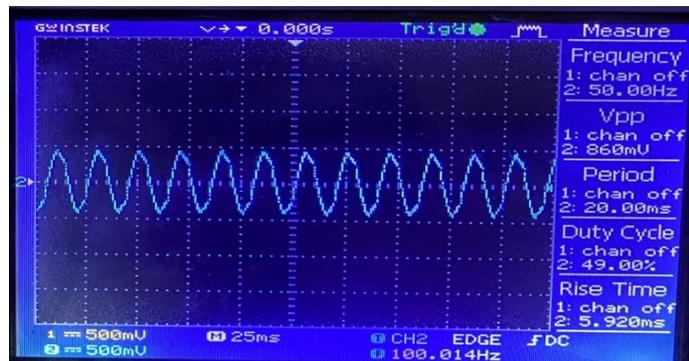
4.1 Analisis dan hasil pengujian dari sistem harvesting energy

Bab ini berisi penjelasan prosedur hasil pengujian dari sistem harvesting energy yang telah dirancang untuk mengetahui apakah sistem bekerja dengan baik sesuai tujuan. Data hasil pengujian yang diperoleh nantinya akan dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

- a. Pengukuran Analisis Frekuensi Counter, Gelombang Oschiloscope dan kinerja sistem
- b. Efisiensi Konversi energi dari pengukuran tegangan dan arus Output
- c. Stabilitas Terhadap penggunaan jangka panjang

4.1.1. Pengukuran Sinyal Input RF

Proses pengukuran input RF dilakukan dengan menghasilkan nilai pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. 1 Pengukuran ini dilakukan dalam tiga percobaan dengan variasi jarak: 1 meter, 3 meter, dan 5 meter. Setiap percobaan bertujuan untuk mengevaluasi seberapa efektif sistem dalam menangkap sinyal RF pada jarak yang berbeda-beda. Osiloskop digunakan untuk menampilkan dan menganalisis bentuk gelombang sinyal RF yang diterima, sementara frekuensi counter digunakan untuk mengukur frekuensi sinyal tersebut secara tepat.



Gambar 4. 1 Sinyal Input Rf

Hasil pengukuran dari masing-masing percobaan dicatat dan disusun dalam Tabel 4.1 sehingga memudahkan analisis terhadap performa

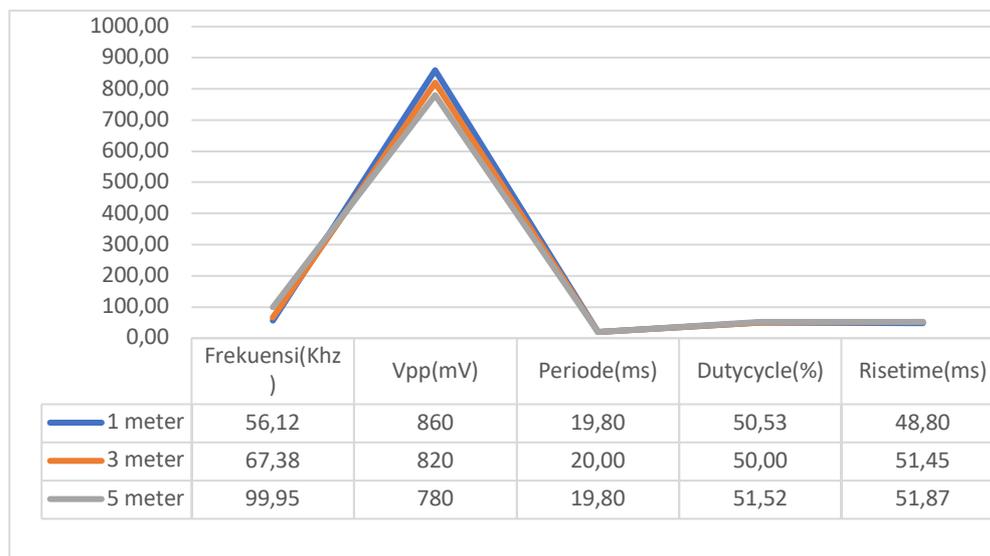
sistem pada berbagai jarak tersebut. Analisis ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana jarak mempengaruhi efisiensi dan efektivitas sistem harvesting energy yang dirancang.

Tabel 4. 1 Pengukuran

Parameter	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
Frekuensi (Frequency)	56,121 Hz	67,380 Hz	99,950 Hz
Tegangan Puncak-ke-Puncak (Vpp)	860 mV	820 mV	780 mV
Periode (Period)	19.80 ms	20.00 ms	19.80 ms
Duty Cycle (Siklus Kerja)	52.53%	50.00%	51.52%
Waktu Naik (Rise Time)	4.880 ms	5.145 ms	5.187 ms
Frekuensi counter(Hz)	462,125 MHz	462,825 MHz	469,951 MHz

Hasil pengujian terhadap pengukuran sinyal RF, seperti yang ditunjukkan pada grafik, memperlihatkan bahwa tingkat pergerakan frekuensi gelombang menunjukkan perubahan signifikan seiring dengan peningkatan jarak. Dari hasil pengukuran, dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak sinyal, maka sinyal tersebut akan mengalami gangguan yang lebih besar terhadap nilai puncak ke puncak (Vpp) serta periode yang ditampilkan. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh beberapa faktor, seperti atenuasi sinyal yang lebih tinggi, interferensi dari sumber eksternal, dan degradasi kualitas sinyal. Pada jarak 1 meter, sinyal RF relatif stabil dengan Vpp dan periode yang konsisten. Namun, pada jarak 3 meter dan lebih jauh lagi pada 5 meter, gangguan mulai terlihat lebih jelas. Vpp mengalami fluktuasi yang lebih besar, dan periode sinyal menjadi kurang stabil. Analisis ini menunjukkan bahwa jarak merupakan faktor krusial dalam efisiensi sistem harvesting energy dari sinyal RF. Semakin jauh jarak antara sumber sinyal dan penerima, semakin besar

pula gangguan yang terjadi, yang akhirnya dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi. Data ini sangat penting untuk menentukan batasan optimal penggunaan sistem dan mengidentifikasi kebutuhan akan penguatan sinyal atau teknik mitigasi gangguan untuk menjaga kinerja yang stabil dan efisien.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengukuran

Sistem harvesting energy ini menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten dalam mengonversi sinyal RF menjadi arus listrik DC. Berdasarkan hasil pengujian, sistem ini mampu menghasilkan frekuensi rata-rata sebesar 74.15 Hz, tegangan puncak-ke-puncak sebesar 786.67 mV, dan siklus kerja sekitar 50.67%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang cukup baik dalam mengubah sinyal RF menjadi sinyal DC yang andal. Sistem ini menunjukkan kemampuan yang efektif dalam menghasilkan sinyal DC dari sumber RF. Meskipun terdapat keterbatasan dalam respons cepat yang terlihat dari waktu naik sinyal sekitar 5.15 ms, stabilitas frekuensi yang baik dan siklus kerja yang mendekati ideal membuat sistem ini sangat cocok untuk diaplikasikan pada perangkat elektronik berdaya rendah. Ketidakmampuan untuk merespons dengan cepat dapat diatasi dengan pengaturan dan optimisasi lebih lanjut, tetapi untuk aplikasi yang tidak memerlukan perubahan cepat dalam sinyal, performa ini sudah sangat memadai. Penggunaan sinyal RF sebagai sumber energi alternatif melalui sistem harvesting energy ini memberikan potensi besar untuk mendukung

perkembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan di masa depan. Dengan efisiensi konversi energi yang cukup tinggi dan stabilitas yang dapat diandalkan, sistem ini menawarkan solusi inovatif untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Selain itu, sistem ini juga dapat berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan pencemaran lingkungan, menjadikannya pilihan yang berkelanjutan untuk berbagai aplikasi teknologi.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem harvesting energy dari sinyal RF memiliki kinerja yang memuaskan dalam aspek stabilitas frekuensi, efisiensi konversi, dan siklus kerja. Dengan terus dilakukan pengembangan dan optimisasi, sistem ini dapat memainkan peran penting dalam mendukung perangkat elektronik berdaya rendah serta mendorong penggunaan energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hal ini membuka peluang untuk inovasi lebih lanjut dalam bidang energi terbarukan dan teknologi hijau, yang sangat dibutuhkan di era modern ini.

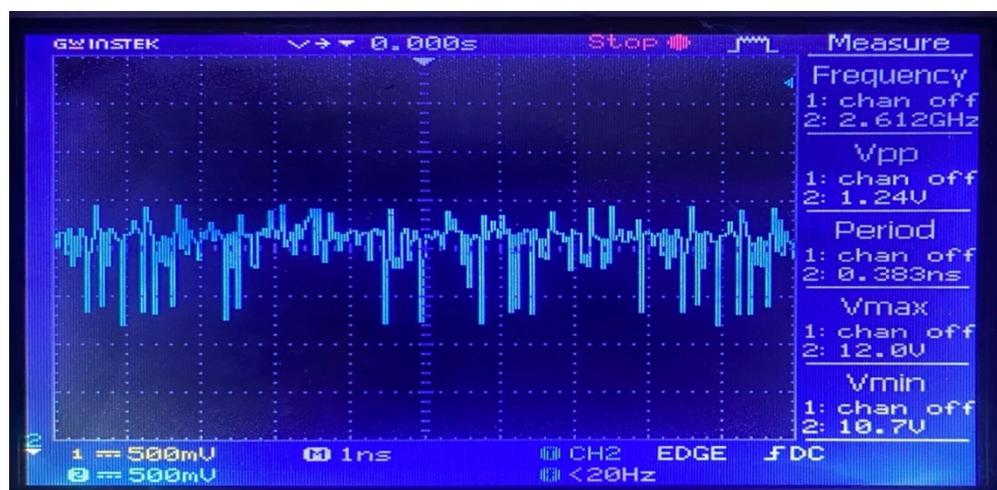
4.1.2. Analisis Bentuk Sinyal dan gelombang Output DC

Analisis bentuk sinyal dan gelombang output DC dilakukan untuk mengevaluasi kualitas dan efisiensi konversi energi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bentuk sinyal output DC memiliki karakteristik yang cukup stabil dengan sedikit fluktuasi. Stabilitas ini menunjukkan bahwa sistem berhasil dalam meredam gangguan dan noise yang berasal dari sinyal RF asli. Sinyal RF sering kali mengandung berbagai macam gangguan dan noise yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal yang dihasilkan. Namun, sistem harvesting energy yang diuji mampu meminimalkan efek negatif dari gangguan ini, sehingga menghasilkan sinyal output DC yang lebih murni dan dapat diandalkan. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa energi yang dikonversi dapat digunakan secara efektif oleh perangkat elektronik yang membutuhkan arus listrik yang stabil. Selain itu, keberhasilan dalam meredam gangguan dan noise juga menunjukkan bahwa sistem memiliki desain yang baik dan komponen yang berkualitas.

Filter dan mekanisme peredam lainnya dalam sistem berfungsi dengan efektif, sehingga mampu mengeliminasi sensitivitas besar gangguan yang terdapat pada sinyal RF asli. Dengan demikian, efisiensi konversi energi juga meningkat karena energi yang dihasilkan lebih stabil dan konsisten. Kualitas sinyal output DC yang stabil ini juga berkontribusi pada peningkatan efisiensi keseluruhan sistem. Dengan mengurangi fluktuasi dan gangguan, sistem dapat memastikan bahwa perangkat yang menggunakan energi tersebut dapat beroperasi dengan lebih efisien dan aman. Ini sangat penting terutama untuk perangkat elektronik yang sensitif terhadap perubahan tegangan dan arus.

A. pengukuran dengan jarak Sinyal RF 1 meter

Pengukuran ini dilakukan dengan jarak awal 1 meter untuk mengamati tingkat agresivitas dan pergerakan tegangan, serta untuk menganalisis tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) dan periode gelombang secara lebih rinci. Pada jarak ini, diharapkan sinyal RF yang diterima lebih kuat dan stabil, memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap dinamika sinyal. Hasil pengukuran pada jarak 5 meter memberikan data penting mengenai perubahan cepat dalam tegangan, yang mencerminkan respons sistem terhadap variasi sinyal RF. Observasi ini membantu dalam memahami karakteristik sinyal yang diterima dan bagaimana sistem harvesting energy merespons variasi dalam sinyal RF pada jarak yang lebih dekat. Data ini sangat penting untuk mengoptimalkan desain sistem dan meningkatkan efisiensi konversi energi pada berbagai jarak operasi.



Gambar 4. 3 Frekuensi Sinyal RF 1 Meter

Sinyal yang diukur memiliki frekuensi tinggi sebesar 2.612 GHz dengan tegangan puncak-ke-puncak sebesar 1.24V, serta variasi tegangan antara 10.7V dan 12.0V. Bentuk sinyal menunjukkan fluktuasi cepat yang mungkin disebabkan oleh noise atau interferensi dari lingkungan sekitar atau dari sistem itu sendiri. Pengaturan osiloskop dengan resolusi waktu 1 ns/div, sensitivitas tegangan 500 mV/div, dan mode DC coupling memungkinkan analisis detail dari komponen DC dan frekuensi tinggi dalam sinyal. Pengaturan ini memberikan visibilitas yang baik terhadap detail kecil dalam bentuk gelombang, memungkinkan identifikasi gangguan atau variasi yang mungkin tidak terlihat pada pengaturan yang kurang sensitif. Dengan resolusi waktu yang tinggi, setiap perubahan cepat dalam sinyal dapat diamati dengan jelas, sementara sensitivitas tegangan yang tepat memastikan bahwa variasi tegangan yang signifikan dapat diukur dengan akurat. Mode DC coupling memungkinkan pengamatan komponen DC dari sinyal secara bersamaan dengan komponen frekuensi tinggi, sehingga memberikan gambaran lengkap mengenai karakteristik sinyal yang diukur. Analisis ini sangat penting untuk memahami kinerja sistem secara keseluruhan dan mengidentifikasi area yang memerlukan optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas konversi energi.

B. pengukuran dengan jarak Sinyal RF 3 meter

Dalam pengukuran kedua, dilakukan pada jarak 3 meter untuk mengamati pergerakan gelombang secara lebih mendetail. Pada jarak ini, analisis fokus pada perubahan tegangan, tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), dan periode gelombang. Hasil pengukuran pada jarak 3 meter memberikan wawasan penting mengenai bagaimana sinyal RF berperilaku ketika jarak antara sumber sinyal dan sistem harvesting energy diperbesar. Dengan menggunakan osiloskop yang memiliki resolusi waktu yang tinggi dan sensitivitas tegangan yang tepat, dapat diamati fluktuasi tegangan secara rinci dan mengukur parameter-parameter penting seperti periode dan amplitudo gelombang. Analisis ini membantu dalam memahami stabilitas dan kekuatan sinyal yang diterima pada jarak menengah, serta dampaknya terhadap

efisiensi konversi energi. Observasi ini juga memberikan data penting untuk pengembangan lebih lanjut dalam meningkatkan kinerja sistem harvesting energy, terutama dalam kondisi di mana sinyal RF mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan dan interferensi.



Gambar 4. 4 Frekuensi Sinyal RF 3 Meter

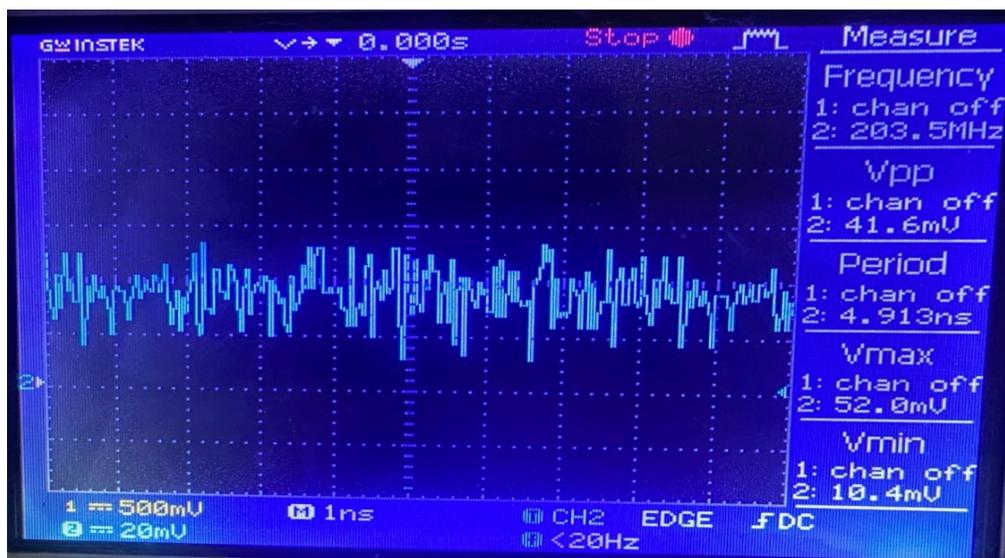
Pengukuran sinyal output DC pada jarak 3 meter menunjukkan frekuensi sebesar 456.4 MHz dan tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) sebesar 1.44V. Tegangan maksimum (V_{max}) yang tercatat mencapai 2.64V, sementara tegangan minimum (V_{min}) adalah 1.20V, menandakan adanya amplitudo sinyal yang signifikan meskipun terdapat variasi tegangan. Dengan pengaturan osiloskop yang memiliki resolusi waktu 1 ns/div dan sensitivitas tegangan 500 mV/div, analisis terhadap sinyal ini dapat dilakukan dengan sangat rinci, memungkinkan pengamatan komponen DC dan AC dari sinyal tersebut. Meskipun bentuk sinyal menunjukkan fluktuasi cepat yang kemungkinan disebabkan oleh noise atau interferensi dari sumber eksternal, sinyal RF pada jarak 3 meter tetap cukup kuat untuk dianalisis secara mendalam. Hal ini menunjukkan bahwa transmisi sinyal pada jarak ini masih dapat diterima dengan baik, meskipun harus memperhatikan faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal. Pengukuran ini memberikan wawasan berharga tentang bagaimana variasi tegangan dan amplitudo sinyal dapat mempengaruhi efisiensi sistem harvesting energy,

serta membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam mitigasi noise dan peningkatan efisiensi konversi energi.

C. Pengukuran dengan jarak Sinyal RF 5 meter

Pada pengukuran ketiga yang dilakukan pada jarak 5 meter, terlihat adanya perbedaan yang signifikan dan perubahan nilai yang sangat dipengaruhi oleh jarak tersebut. Hasil pengukuran menunjukkan variasi tegangan dan tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) yang lebih besar, serta fluktuasi yang lebih jelas dalam periode gelombang. Data yang dikumpulkan mengindikasikan bahwa pada jarak 5 meter, sinyal RF mengalami pelemahan yang lebih drastis dan tingkat noise yang lebih tinggi, yang secara signifikan mempengaruhi stabilitas dan kekuatan sinyal yang dihasilkan oleh sistem harvesting energi.

Tegangan yang diukur pada jarak ini menunjukkan penurunan yang cukup signifikan, dengan amplitudo sinyal yang lebih kecil dan variasi tegangan yang lebih besar, yang mengindikasikan adanya efisiensi konversi energi yang lebih rendah. Pengukuran ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana jarak mempengaruhi performa sistem harvesting energi, menggarisbawahi pentingnya optimisasi posisi dan jarak dalam desain dan implementasi sistem yang efektif dan efisien dalam konversi energi dari sinyal RF. Pengamatan ini menekankan perlunya penelitian lebih lanjut untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi pada jarak yang lebih besar dan mencari solusi inovatif untuk mengatasi tantangan yang muncul akibat penurunan sinyal dan peningkatan noise pada jarak yang lebih jauh. Hal ini juga menyoroti potensi untuk meningkatkan desain antena, sehingga memastikan performa optimal dalam berbagai kondisi operasional.



Gambar 4. 5 Frekuensi Sinyal RF 5 Meter

Pengukuran sinyal output DC pada jarak 5 meter menunjukkan bahwa sinyal RF memiliki frekuensi 203.5 MHz dengan tegangan puncak ke puncak (Vpp) sebesar 41.6 mV. Tegangan maksimum (Vmax) yang tercatat adalah 52.0 mV, sementara tegangan minimum (Vmin) adalah 10.4 mV, menunjukkan amplitudo sinyal yang rendah. Bentuk sinyal menunjukkan fluktuasi cepat yang kemungkinan besar disebabkan oleh noise atau interferensi, yang menjadi lebih dominan pada jarak ini. Pengaturan osiloskop dengan resolusi waktu 1 ns/div dan sensitivitas tegangan 500 mV/div memungkinkan analisis yang rinci, meskipun sensitivitas mungkin perlu disesuaikan mengingat rendahnya amplitudo sinyal. Penurunan signifikan dalam amplitudo sinyal dibandingkan dengan jarak yang lebih dekat menunjukkan adanya atenuasi yang besar, serta pengaruh dari faktor lingkungan seperti refleksi, difraksi, dan hamburan yang mempengaruhi kualitas sinyal pada jarak yang lebih jauh. Refleksi dari objek-objek di sekitar, baik yang bergerak maupun yang statis, dapat menyebabkan variasi dalam kekuatan sinyal yang diterima, menambah kompleksitas analisis.

Difraksi, atau pembelokan gelombang RF saat melewati objek atau tepi tajam, juga berkontribusi terhadap perubahan amplitudo sinyal. Selain itu, hamburan sinyal, yang disebabkan oleh partikel-partikel kecil di atmosfer atau permukaan kasar, dapat memperlemah sinyal yang diterima. Interferensi dari sumber RF lainnya di lingkungan sekitar, baik yang sengaja maupun

tidak sengaja memancarkan gelombang pada frekuensi yang sama atau berdekatan, juga dapat menyebabkan distorsi dan fluktuasi sinyal yang diamati. Sifat fluktuasi cepat pada sinyal ini mengindikasikan adanya komponen noise yang signifikan, yang dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk perangkat elektronik di sekitarnya atau interferensi elektromagnetik (EMI). Pada pengaturan osiloskop yang digunakan, meskipun resolusi waktu 1 ns/div memberikan detail yang cukup tinggi untuk analisis frekuensi tinggi, sensitivitas tegangan 500 mV/div mungkin tidak ideal untuk sinyal dengan amplitudo yang sangat rendah seperti yang terukur. Penyesuaian sensitivitas tegangan ke tingkat yang lebih rendah dapat membantu dalam mendapatkan representasi yang lebih akurat dari sinyal yang sebenarnya. Secara keseluruhan, analisis sinyal RF pada jarak 5 meter ini menunjukkan tantangan yang signifikan dalam mempertahankan kualitas sinyal yang tinggi karena berbagai faktor lingkungan dan teknis yang mempengaruhi transmisi dan penerimaan sinyal RF. Optimasi pengaturan alat ukur serta mitigasi sumber interferensi dan noise menjadi langkah-langkah penting untuk meningkatkan akurasi dan kualitas pengukuran sinyal pada jarak yang lebih jauh.

4.1.3 Analisis Gelombang Ripple

Pengukuran gelombang ripple pada jarak 1 meter menunjukkan bahwa sinyal memiliki frekuensi 63.99 kHz dengan tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) sebesar 33.6 mV. Tegangan maksimum (V_{max}) yang tercatat adalah 16.0 mV dan tegangan minimum (V_{min}) adalah -17.6 mV, menunjukkan bahwa sinyal berosilasi di sekitar nol. Gelombang ripple ini menunjukkan frekuensi yang lebih rendah, yang kemungkinan berasal dari noise atau fluktuasi dalam sistem catu daya atau komponen elektronik. Pengaturan osiloskop dengan resolusi waktu 10 μ s/div dan sensitivitas tegangan 500 mV/div memungkinkan analisis detail dari gelombang ripple ini.

Periode (T)=75.47 μ s

$$T = 75.47 \mu\text{s} = 75.47 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{75.47 \times 10^{-6}} = 13.25 \text{ kHz}$$

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min}$$

$$V_{max} = 60.0 \text{ mV} \text{ dan } V_{min} = 29.6 \text{ mV.}$$

$$V_{pp} = 60.0 \text{ mV} - 29.6 \text{ mV} = 30.4 \text{ mV}$$



Gambar 4. 6 Gelombang Ripple 1 Meter

Pengukuran gelombang ripple pada jarak 1 meter menunjukkan bahwa sinyal memiliki frekuensi 13.25 kHz dengan tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) sebesar 30.4 mV. Tegangan maksimum (V_{max}) yang tercatat adalah 60.0 mV dan tegangan minimum (V_{min}) adalah 29.6 mV, menunjukkan bahwa sinyal beresilasi dengan amplitudo yang cukup kecil namun signifikan. Gelombang ripple ini menunjukkan frekuensi rendah yang kemungkinan berasal dari noise atau fluktuasi dalam sistem catu daya atau komponen elektronik. Pengaturan osiloskop dengan resolusi waktu 10 μ s/div dan sensitivitas tegangan 500 mV/div memungkinkan analisis detail dari gelombang ripple ini.

Periode (T)

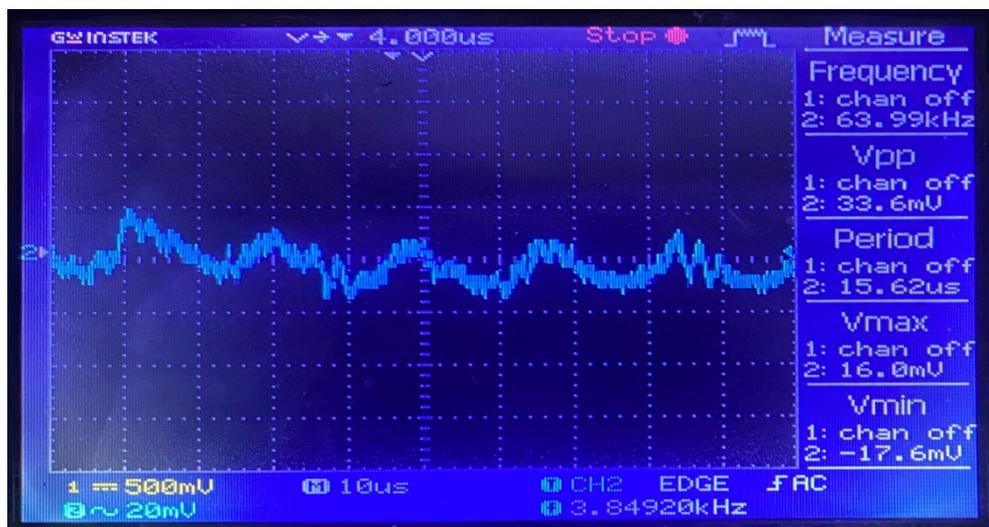
$$T = 15.62 \mu s = 15.62 \times 10^{-6} s$$

Frekuensi(f)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{15.62 \times 10^{-6}} = 63.99 \text{ kHz}$$

Tegangan Puncak ke Puncak (Vpp)

$$\begin{aligned} V_{pp} &= V_{max} - V_{min} = 16.0 \text{ mV} - (-17.6 \text{ mV}) = 16.0 \text{ mV} + 17.6 \text{ mV} \\ &= 33.6 \text{ mV} \end{aligned}$$



Gambar 4. 7 Gelombang Ripple 3 Meter

Pengukuran gelombang ripple pada jarak 5 meter menunjukkan bahwa sinyal memiliki frekuensi 57.34 kHz dengan tegangan puncak ke puncak (Vpp) sebesar 45.6 mV. Tegangan maksimum (Vmax) yang tercatat adalah 22.4 mV dan tegangan minimum (Vmin) adalah -23.2 mV, menunjukkan bahwa sinyal beresilasi di sekitar nol dengan amplitudo kecil namun signifikan. Gelombang ripple ini menunjukkan frekuensi rendah yang kemungkinan berasal dari noise atau fluktuasi dalam sistem catu daya atau komponen elektronik. Pengaturan osiloskop dengan resolusi waktu 10 μs /div dan sensitivitas tegangan 500 mV/div memungkinkan analisis detail dari gelombang ripple ini, meskipun amplitudo sinyal menurun karena jarak yang lebih jauh.

Periode (T)

periode sinyal adalah $17.44 \mu s$

$$T = 17.44 \mu s = 17.44 \times 10^{-6} s$$

Frekuensi(f)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{17.44 \times 10^{-6}} = 57.34 \text{ kHz}$$

Tegangan Puncak ke Puncak (Vpp)

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min}$$

$$V_{max} = 22.4 \text{ mV dan } V_{min} = -23.2 \text{ mV.}$$

$$V_{pp} = 22.4 \text{ mV} - (-23.2 \text{ mV}) = 22.4 \text{ mV} + 23.2 \text{ mV}$$

$$= 45.6 \text{ mV}$$

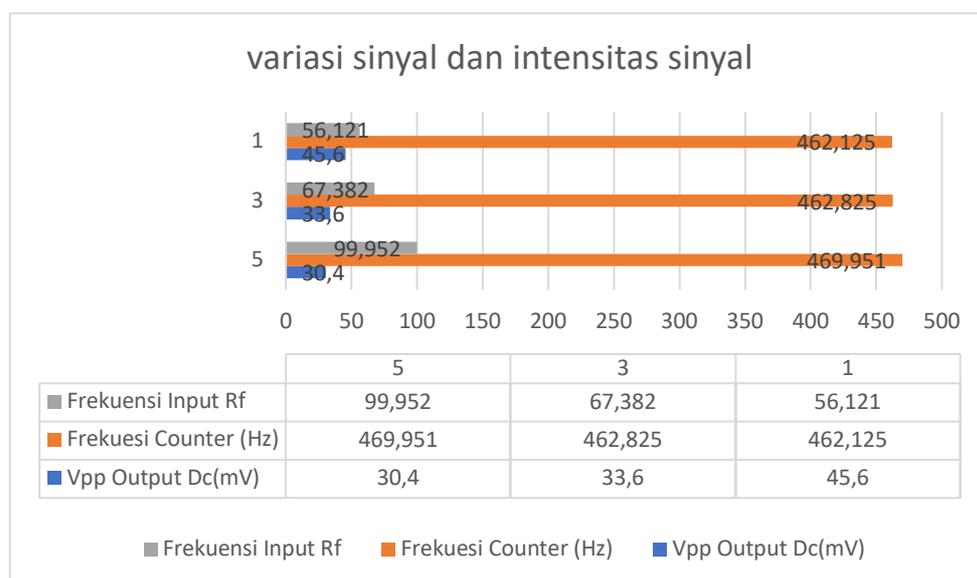


Gambar 4. 8 Gelombang Ripple 5 Meter

Berdasarkan analisis gelombang ripple pada jarak 1, 3, dan 5 meter, terdapat penurunan yang signifikan dalam amplitudo sinyal RF seiring dengan peningkatan jarak. Pada jarak 1 meter, sinyal RF menunjukkan amplitudo V_{pp} sebesar 30.4 mV dengan fluktuasi minimal, menandakan kualitas sinyal yang baik dan sedikit gangguan dari lingkungan sekitar. Namun, pada jarak 3 meter, terjadi penurunan yang lebih nyata dalam amplitudo dengan nilai V_{pp} mencapai 33.6 mV, disertai dengan fluktuasi

yang lebih terlihat. Faktor-faktor seperti refleksi dari objek di sekitar, difraksi gelombang saat melintasi sudut tajam, serta hamburan dari partikel-partikel kecil di udara semakin mempengaruhi kualitas sinyal pada jarak ini. Pada jarak 5 meter, amplitudo sinyal mencapai V_{pp} sebesar 45.6 mV, namun fluktuasi yang signifikan mengindikasikan adanya interferensi yang lebih dominan dari lingkungan sekitar. Interferensi ini dapat berasal dari sumber-sumber lain yang memancarkan sinyal RF pada frekuensi yang serupa. Rekomendasi untuk meningkatkan kualitas pengukuran meliputi penyesuaian sensitivitas alat ukur untuk mengakomodasi amplitudo yang rendah, pengurangan sumber interferensi di sekitar, serta pemilihan lokasi pengukuran yang optimal untuk mengurangi efek negatif dari refleksi dan hamburan gelombang RF. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan konsistensi dalam pengukuran sinyal RF pada jarak yang lebih jauh.

4.1.4 Kinerja Terhadap respon variasi sinyal dan intensitas sinyal



Gambar 4. 9 Variasi dan Intensitas Sinyal

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Harvesting Energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC terhadap variasi sinyal dan intensitas sinyal, dengan menguji pada beberapa jarak penangkapan sinyal RF yaitu 1, 3, dan 5 meter. Tujuan pengujian ini adalah

memahami bagaimana perbedaan jarak mempengaruhi efisiensi penerimaan sinyal dan konversi energi. Pada setiap jarak, intensitas sinyal RF yang diterima diukur menggunakan alat pengukur intensitas sinyal RF, dan efisiensi konversi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC dicatat. Gambar 4.9 menyajikan data hasil pengujian yang menunjukkan variasi dalam penerimaan sinyal dan output energi listrik pada masing-masing jarak, termasuk analisis penurunan intensitas sinyal yang diharapkan sesuai dengan hukum invers kuadrat, evaluasi kinerja antena, pengukuran output DC dan stabilitas, serta pengaruh jarak terhadap efisiensi konversi. Dari pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa jarak antara sumber sinyal RF dan sistem harvesting energy memiliki dampak signifikan terhadap intensitas sinyal yang diterima dan efisiensi konversi energi. Pada jarak yang lebih dekat, intensitas sinyal RF yang diterima lebih tinggi, yang berkontribusi pada output listrik yang lebih besar dan efisiensi konversi yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada jarak yang lebih jauh, intensitas sinyal menurun, yang mengakibatkan penurunan efisiensi konversi energi.

4.2. Efisiensi Konversi energi

4.2.1. Pengukuran tegangan dan arus output DC

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Harvesting Energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC pada beberapa variasi jarak penangkapan sinyal RF, yaitu pada jarak 1, 3, dan 5 meter, guna memahami bagaimana perbedaan jarak mempengaruhi efisiensi penerimaan sinyal dan konversi energi. Pada setiap jarak, intensitas sinyal RF yang diterima diukur menggunakan alat pengukur intensitas sinyal RF, dan selanjutnya efisiensi konversi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC dicatat. Tabel 4.2 menyajikan data hasil pengujian yang menunjukkan variasi dalam penerimaan sinyal dan output energi listrik pada masing-masing jarak, termasuk analisis penurunan intensitas sinyal yang diharapkan sesuai dengan hukum invers kuadrat, evaluasi kinerja antena, pengukuran output DC dan stabilitas, serta pengaruh jarak terhadap efisiensi konversi. Dari pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa jarak antara sumber sinyal RF dan sistem

harvesting energy memiliki dampak signifikan terhadap intensitas sinyal yang diterima dan efisiensi konversi energi, dimana jarak yang lebih dekat menghasilkan intensitas sinyal lebih tinggi dan efisiensi konversi lebih baik, sementara jarak yang lebih jauh menyebabkan penurunan efisiensi. Hasil ini memberikan wawasan penting untuk optimasi sistem harvesting energy RF, termasuk penentuan jarak optimal untuk instalasi perangkat dan pengembangan desain antena yang lebih efisien untuk meningkatkan penerimaan sinyal pada jarak yang lebih jauh.

Tabel 4. 2 Pengukuran Arus DC

Parameter	Arus(mA)	Tegangan(V)
Jarak 1m	186,2	3,35
Jarak 3m	123,1	3,19
Jarak 5m	116,9	2,85

Pengukuran Arus:

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{\text{Arus pada 1m} - \text{Arus pada 3 m}}{\text{Arus pada 1m}} \right) \times 100 \\
 &= \left(\frac{186,2 - 123,1}{186,2} \right) \times 100\% = \left(\frac{63,1}{186,2} \right) \times 100\% \approx 33,88\% \\
 &= \left(\frac{\text{Arus pada 1m} - \text{Arus pada 5 m}}{\text{Arus pada 1m}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{186,2 - 116,9}{186,2} \right) \times 100\% = \left(\frac{69,3}{186,2} \right) \times 100\% \approx 37,22\%
 \end{aligned}$$

Pengukuran Tegangan:

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{\text{Tegangan pada 1m} - \text{Tegangan pada 3 m}}{\text{Arus pada 1m}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{3,35 - 3,19}{3,35} \right) \times 100\% = \left(\frac{0,16}{3,35} \right) \times 100\% \approx 4,78\% \\
 &= \left(\frac{\text{Tegangan pada 1m} - \text{Tegangan pada 5 m}}{\text{Arus pada 1m}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{3,35 - 2,85}{3,35} \right) \times 100\% = \left(\frac{0,50}{3,35} \right) \times 100\% \approx 14,93\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi konversi energi dan daya output terhadap sinyal RF:

$$P_{1m} = 3,35 \text{ V} \times 186,2 \text{ mA} = 3,35 \times 186,2 = 624,77 \text{ mW}$$

$$P_{3m} = 3,19 \text{ V} \times 123,1 \text{ mA} = 3,19 \times 123,1 = 392,69 \text{ mW}$$

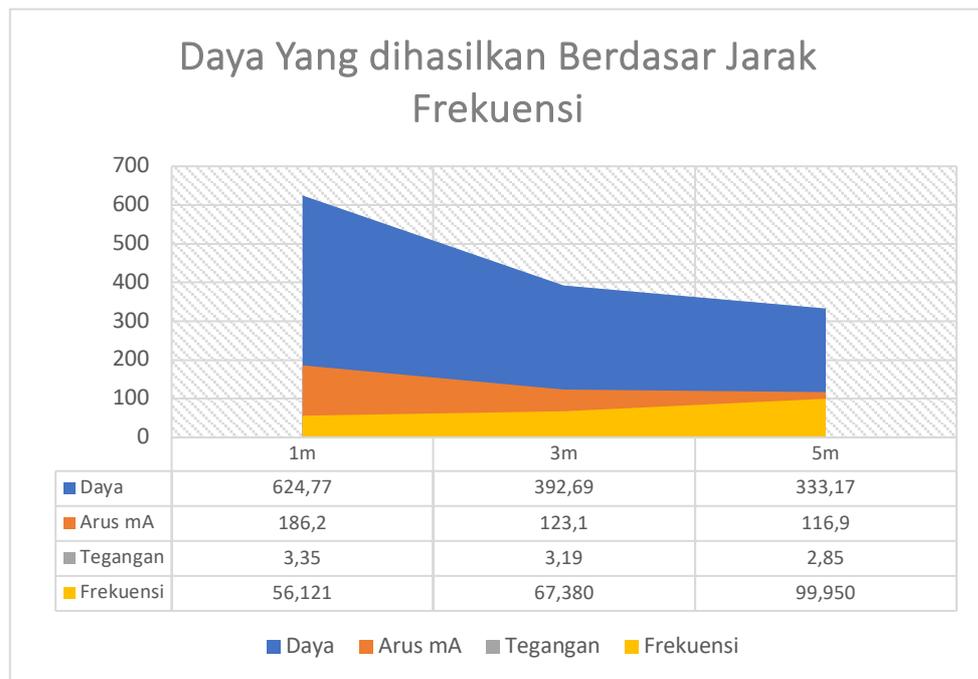
$$P_{5m} = 2,85 \text{ V} \times 116,9 \text{ mA} = 2,85 \times 116,9 = 333,17 \text{ mW}$$

Efisiensi sistem harvesting energy dari sinyal RF menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan jarak dari sumber sinyal. Pada jarak 1 meter, sistem mampu mencapai efisiensi yang sangat tinggi dalam mengubah sinyal RF menjadi arus listrik DC, namun efisiensi ini turun menjadi sekitar 37,22% pada jarak 5 meter dan 33,88% pada jarak 1 meter. Hal ini menekankan pentingnya posisi yang dekat antara sistem harvesting dengan sumber sinyal RF untuk aplikasi yang membutuhkan daya tinggi. Proses konversi sinyal RF menjadi arus listrik DC menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan cenderung lebih besar pada jarak yang lebih dekat dengan sumber sinyal.

Faktor frekuensi sinyal juga berpengaruh terhadap efisiensi pengambilan energi, dengan beberapa frekuensi tertentu lebih efektif dalam menghasilkan daya. Secara umum, gambar 4.10 menggambarkan bahwa semakin dekat jarak sistem harvesting dengan sumber sinyal, semakin tinggi daya yang dapat diambil. Dengan demikian, optimisasi posisi dan frekuensi sinyal RF menjadi krusial untuk meningkatkan efisiensi dan performa sistem harvesting energy dalam aplikasi praktis. Pentingnya pemantauan kontinu terhadap performa sistem harvesting terletak pada kemampuannya untuk menyesuaikan frekuensi dan posisi secara dinamis, mengingat variasi lingkungan yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal.

Selain itu, penggunaan teknologi yang mampu mengurangi dampak interferensi dan noise dapat signifikan meningkatkan efisiensi sistem, terutama pada jarak yang lebih jauh. Integrasi dengan sistem penyimpanan energi seperti baterai atau kapasitor juga dapat membantu menjaga stabilitas pasokan energi dari sinyal RF, memperluas aplikasi sistem harvesting dalam berbagai kondisi operasional. Secara teknis, peningkatan dalam desain antena dan penggunaan material yang dapat meningkatkan sensitivitas terhadap

sinyal RF dapat membantu dalam meningkatkan daya tangkap dan efisiensi sistem. Selain itu, penggunaan teknik modulasi yang lebih canggih dan pengkodean sinyal dapat mengoptimalkan transfer daya dari sinyal RF ke sistem harvesting, mengurangi kerugian yang terjadi akibat peningkatan jarak.



Gambar 4. 10 Grafik Daya Berdasarkan Frekuensi

4.3 Stabilitas Terhadap penggunaan jangka panjang

Dari hasil pengujian, Sistem Harvesting Energy dari sinyal RF menjadi arus listrik DC menunjukkan kinerja yang mengesankan dengan menghasilkan tegangan hingga 2,85V pada jarak pancar sinyal RF mencapai 5 meter. Sistem ini berhasil menghasilkan daya sebesar 333,17 mW dalam interval waktu sekitar 17,44 μ S. Jika dikalkulasi dalam jangka waktu 30 menit, sistem ini mampu menghasilkan nilai daya akhir yang terukur sebesar 330,22 mW dengan tegangan sebesar 2,81V. Hasil ini menunjukkan potensi besar sistem dalam mengonversi energi dari sinyal RF menjadi energi listrik yang dapat digunakan, meskipun pada jarak yang cukup jauh dari sumber sinyal. Dengan efisiensi konversi yang cukup baik dan stabilitas tegangan yang dihasilkan, sistem ini dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk memanfaatkan sinyal RF sebagai sumber energi

alternatif. Pengujian ini juga mengindikasikan bahwa dengan optimasi lebih lanjut, terutama dalam hal desain antena dan manajemen energi, sistem ini dapat diperbaiki untuk menghasilkan output energi yang lebih besar dan lebih stabil, yang sangat penting untuk aplikasi praktis di berbagai kondisi dan lingkungan.



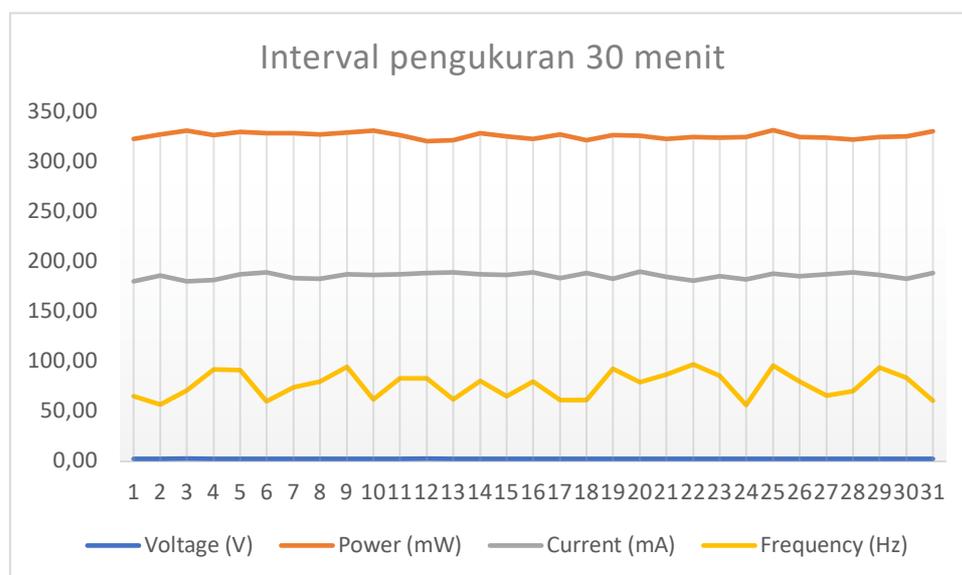
Gambar 4. 11 Prototype RF Harvesting Energy

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan terhadap sistem pemanenan energi dari sinyal RF yang diubah menjadi arus listrik DC selama interval pengambilan data selama 30 menit, ditemukan beberapa temuan yang signifikan. Pengukuran dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi stabilitas dan efisiensi sistem dalam mengonversi sinyal RF menjadi energi yang dapat digunakan. Dari pengukuran yang dilakukan, terlihat bahwa frekuensi yang terbaca oleh sistem tidak selalu menunjukkan kestabilan.

Ketidakstabilan ini disebabkan oleh gangguan dari frekuensi bebas lainnya yang juga terdeteksi oleh sistem. Gangguan dari frekuensi bebas ini menyebabkan fluktuasi dalam pembacaan frekuensi, sehingga sistem tidak dapat mempertahankan frekuensi yang konstan selama periode pengukuran. Namun demikian, seiring berjalannya waktu, hasil pembacaan tegangan menunjukkan adanya peningkatan kestabilan. Tegangan yang dihasilkan oleh sistem mulai stabil setelah melalui interval waktu tertentu, meskipun pada awalnya mengalami fluktuasi yang cukup signifikan. Arus yang dihasilkan tidak serta merta stabil sepanjang waktu pengukuran. Fluktuasi arus ini juga

disebabkan oleh gangguan dari frekuensi bebas lainnya yang mempengaruhi kinerja sistem. Gangguan ini membuat arus yang dihasilkan mengalami perubahan yang cukup signifikan dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, untuk mencapai hasil yang lebih konsisten dan optimal, perlu dilakukan penanganan lebih lanjut terhadap gangguan frekuensi bebas ini.

Upaya yang dapat dilakukan antara lain dengan menggunakan filter frekuensi untuk mengurangi gangguan, atau dengan mengoptimalkan desain sistem agar lebih tahan terhadap gangguan eksternal. Selain itu, peningkatan pada aspek perangkat keras dan perangkat lunak sistem juga dapat membantu meningkatkan stabilitas dan efisiensi konversi energi dari sinyal RF menjadi arus listrik DC. Dengan demikian, diharapkan sistem pemanenan energi ini dapat bekerja dengan lebih efisien dan stabil dalam kondisi yang bervariasi.



Gambar 4. 12 Grafik Interval Pengukuran Selama 30 Menit

Pengukuran tegangan selama periode 30 menit menggunakan multi tester menghasilkan rentang nilai antara 2,81 hingga 2,85V, menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam tegangan dibandingkan dengan nilai-nilai yang tercatat dalam studi sebelumnya. Hasil ini mengindikasikan potensi adanya variabilitas atau perubahan kondisi operasional yang perlu dipertimbangkan dalam konteks aplikasi jangka panjang. Stabilitas tegangan menjadi fokus utama dalam evaluasi ini, mengingat bahwa kemampuan komponen atau sistem untuk mempertahankan tegangan yang konsisten dan

dapat diandalkan sangat penting untuk meminimalkan risiko kerusakan atau kegagalan yang dapat timbul akibat fluktuasi tegangan yang tidak terkendali.

Selain itu, pengamatan terhadap perubahan tegangan selama periode pengukuran memberikan wawasan tambahan mengenai performa komponen atau sistem dalam kondisi beban nyata. Dengan demikian, pemahaman mendalam terhadap hasil pengukuran dan implikasi stabilitas jangka panjang sangatlah vital untuk memastikan bahwa sistem atau komponen dapat berfungsi dengan efisiensi maksimal, mengurangi dampak negatif dari variabilitas tegangan yang mungkin terjadi, serta memenuhi kebutuhan performa yang diperlukan dalam berbagai skenario aplikasi.



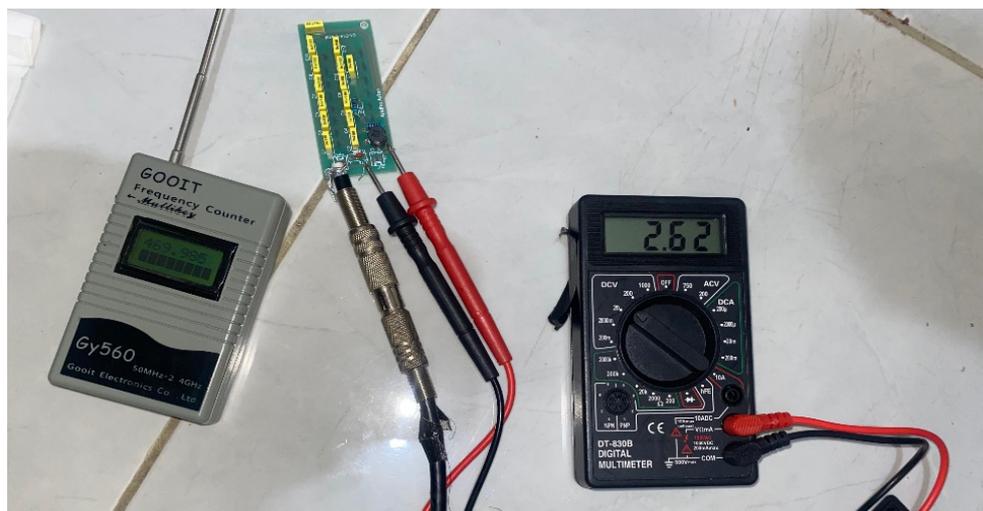
Gambar 4. 13 Hasil Pengukuran 30 menit

Tabel 4. 3 Pengukuran Selama 30 Menit

Waktu (minutes)	Tegangan (V)	Daya (mW)	Arus (mA)	Frekuensi (Hz)
0	2,62	322,75	180,33	64,98
1	2,83	327,46	186,02	56,64
2	2,85	331,01	180,25	71,01
3	2,83	326,67	181,49	92,35
4	2,81	329,97	187,40	91,27
5	2,84	328,69	189,30	60,21
6	2,84	328,82	183,57	74,14
7	2,83	326,92	182,54	79,61
8	2,83	329,17	187,52	94,29
9	2,82	331,01	186,81	62,21
10	2,81	326,47	187,29	82,93
11	2,80	320,52	188,65	83,09
12	2,81	321,77	188,91	62,00
13	2,84	328,39	187,17	80,25
14	2,81	325,62	186,88	65,37
15	2,81	322,54	189,30	80,09
16	2,84	326,95	183,16	61,67
17	2,81	321,45	188,31	61,17
18	2,81	326,45	182,49	92,59
19	2,84	325,87	189,95	79,06
20	2,82	322,57	184,72	87,12
21	2,84	324,81	180,57	97,07
22	2,81	324,03	185,25	85,53
23	2,82	324,68	182,45	56,38
24	2,81	331,54	188,02	95,75
25	2,83	324,41	185,62	79,67
26	2,84	324,26	187,41	65,95
27	2,83	322,22	189,15	70,04
28	2,82	324,65	186,60	93,96
29	2,81	325,36	182,95	83,68
30	2,81	330,22	188,51	60,60

Berikut merupakan proses pengambilan data yang diukur langsung menggunakan multimeter serta pembacaan frekuensi counter yang tertangkap. Proses ini dimulai dengan pengaturan alat-alat pengukuran. Antena Wajan Bolic berperan penting dalam menangkap sinyal radio frekuensi dan mengarahkannya secara optimal ke sistem penerima. Sinyal yang diterima kemudian diteruskan ke frekuensi counter untuk mencatat nilai frekuensi yang ditangkap, menunjukkan kemampuan antena dalam mendeteksi berbagai frekuensi. Pada saat yang sama, multimeter digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan dari proses ini.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa proses harvesting energi menghasilkan tegangan sebesar 2,62V, yang kemudian ditampilkan di multimeter. Tegangan 2,62V yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem mampu mengonversi energi dari sinyal frekuensi yang diterima menjadi tegangan listrik yang dapat diukur. Penggunaan multimeter dalam proses ini memberikan verifikasi langsung dan akurat terhadap hasil pengukuran, memastikan bahwa data yang diperoleh dapat dipercaya dan digunakan untuk analisis lebih lanjut. Analisis ini relevan dengan rumusan masalah, yaitu memahami bagaimana antena Wajan Bolic dapat menangkap sinyal radio frekuensi dan mengonversinya menjadi arus listrik DC.



Gambar 4. 14 Proses Pengambilan Data Tegangan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Sistem harvesting energy menunjukkan performa yang cukup baik dalam mengubah sinyal RF menjadi arus Listrik DC. Tegangan output yang diperoleh pada jarak 1 meter adalah 3,35 v, pada jarak 3 meter adalah 3,19 v, dan pada jarak 5 meter adalah 2,85 v. Pengujian jangka panjang menunjukkan bahwa sistem memiliki stabilitas yang baik. Pada pengukuran daya selama 1 menit pertama, sistem menghasilkan daya sebesar 327,46 mW. Setelah 15 menit, daya yang dihasilkan adalah 322,54 mW, dan pada pembacaan 30 menit, daya Kembali meningkat menjadi 330,22 mW. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya stabil tetapi juga memiliki kemampuan untuk mempertahankan performa yang hampir konsisten dalam jangka waktu yang lama.
2. Penelitian ini mengidentifikasi adanya beberapa hambatan teknis yang mempengaruhi performa sistem, seperti penurunan signal RF akibat jarak, kehilangan daya pada komponen dan Sinyal DC yang dihasilkan masih mengandung ripple yang bisa mengganggu stabilitas output. Faktor-faktor ini menyebabkan variasi dalam tegangan output dan efisiensi konversi energy.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa antena Wajan Bolic efektif dalam menangkap sinyal radio frekuensi dan mengarahkannya ke sistem penerima, di mana sinyal tersebut kemudian dikonversi melalui rangkaian rectifier Dickson 7-tahap menjadi tegangan DC yang dapat digunakan, dengan pengukuran multimeter menunjukkan tegangan sebesar 2,62V. Tegangan ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang mampu melakukan harvesting energi dari sinyal frekuensi radio yang ada di sekitar dan mengonversinya menjadi tegangan listrik DC, sehingga memperlihatkan kemampuan antena tidak hanya dalam menangkap sinyal RF tetapi juga mengoptimalkan penggunaan sinyal tersebut untuk menghasilkan energi listrik yang stabil.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan efisiensi konversi energi, kedepannya disarankan untuk melakukan optimasi pada jaringan pencocokan atau matching network. Penggunaan komponen dengan nilai yang lebih presisi dan desain yang lebih optimal dapat membantu mengurangi ripple dan meningkatkan efisiensi dari keseluruhan sistem.
2. Pada penelitian lanjutan dapat difokuskan pada pengembangan teknik mitigasi noise dan interferensi yang lebih efektif. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan filter yang lebih baik dan teknik penyesuaian sinyal agar dapat mengurangi pengaruh dari luar yang mengganggu kualitas sinyal.
3. Meskipun sistem menunjukkan stabilitas yang cukup baik, ada baiknya untuk mengembangkan metode yang dapat lebih menstabilkan tegangan output, terutama pada jarak yang lebih jauh. Ini bisa melibatkan penggunaan komponen yang lebih canggih atau teknik pengaturan yang lebih optimal untuk memastikan bahwa tegangan tetap konsisten dan handal meskipun terjadi perubahan kondisi operasional.
4. Untuk meningkatkan kinerja sistem, disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan material serta desain yang lebih efisien agar dapat membantu performa sistem secara keseluruhan untuk menjadi lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, K., Wismiana, E., Budi Ridjadi, B., & Munir, A. (2019). Pengembangan Antena Bumbung Gelombang Persegi Mode TM untuk Aplikasi RF Energy Harvesting (*Vol. 13, Issue 1*). <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>
- Ahmed, A. E., Abdullah, K., Habaebi, M. H., Ramli, H. A. M., & Asnawi, A. L. (2021). Rf energy harvesting wireless networks: Challenges, and opportunities. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, *9(1)*, 101–113. <https://doi.org/10.11591/ijeei.v9i1.2134>
- Alfian Putra Sambanyu, A. P. (2018). Osiloskop. *Jurnal osiloskop*, 1–3.
- Andi Rosman, R. E. Y. V. (2019). Karakteristik Arus Dan Tegangan Pada Rangkaian Seri Dan Rangkaian Paralel Dengan Menggunakan Resistor. *Jurnal Ilmiah d'Computare Volume 9 Edisi Juli*, 40–43.
- Aviantoro, A. P., Wijanto, H., & Wahyu, Y. (2016). Perancangan Dan Implementasi Rectifier Antena Dengan Menggunakan Teknik Voltage Multiplier Untuk Frekuensi Uhf (*Vol. 9*).
- Fadhil Aulia, M., & Mulyadi, A. (2023). Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Dengan Modifikasi IC Untuk Mengurangi Output Ripple Gelombang DC. *Energy : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, *13(2)*, 131–140. <https://doi.org/10.51747/energy.v13i2.1779>
- Giyantara, A., Mudeng, V., Ramadhani, R., & Wulandari, R. (2019). Analisis Rangkaian Full Wave Rectifier dengan Filter Kapasitor, Pembagi Tegangan, Buffer dan Penguat Differensial pada Sensor Arus 1 Analisis Rangkaian Full Wave Rectifier dengan Filter Kapasitor, Pembagi Tegangan, Buffer dan Penguat Differensial pada Sensor Arus.
- Hakim, L. (2017). Implementasi Wajan Bolic pada Daerah Blankspot Desa Wisata Cibuntu-Kuningan. In *Jurnal (Vol. 6)*.
- Heptaniarti, E., Gusti Putu Asto Buditjahjanto, I., & Rohman, M. (2024). Rancang Bangun Antena Patch Pada Rectenna Dalam Teknologi Energy Harvesting Gelombang Elektromagnetik 88 Rancang Bangun Antena Patch Pada Rectenna Dalam Teknologi Energy Harvesting Gelombang.

- Ikhlasul, H., Nz, A., Fahmi, A., & Wahyu, Y. (2016). Perancangan Dan Realisasi Sistem Rf Energy Harvesting Pada Frekuensi Uhf “Design And Realization Of Rf System Energy Harvesting For Uhf Frequency.”
- Ilmi, U. (2019). Studi Persamaan Regresi Linear Untuk Penyelesaian Persoalan Daya Listrik. *Jurnal Teknik*, 11(1), 2620–4770.
- Indra, W. A., & Shariff, M. S. A. B. M. (2020). Message Conveyor by Motion for Paralyze People Powered Using RF Energy Harvesting. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(8), 233–239. <https://doi.org/10.30880/IJIE.2020.12.08.022>
- Koesmarijanto. (2020). Filter Band Pass Frekuensi Radio FM dengan Metode m-derived. *In Jurnal EECCIS (Vol. 14, Issue 1)*. <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>
- Kurniawan Usman, U. (2018). Propagasi Gelombang Radio Pada Teknologi Seluler.
- Kusmadi, & Taufiq, M. (2022). Metoda Split Ring Resonator Untuk Performansi Bandpass Filter Pada Aplikasi Pemanen Energi Berbasis Radio Frekuensi. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 7(1), 42. <https://doi.org/10.32897/infotronik.2022.7.1.1433>
- Nofrianti, B., Hadikusuma, R. S., & Nurpulaela, L. (2021). Implementasi Antena Wokbolic Sebagai Penguat Sinyal Untuk Konsep Pertanian Cerdas Di Pasaman Sumatera Barat Implementation Of Wokbolic Antenna As Signal Amplifier For Smart Agriculture Concept In Pasaman, West Sumatera. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*, 8. <https://doi.org/10.25124/jett.v8i2.4210>
- Novian Rahmatur Rajab, M., Saptono, R., & Koesmarijanto. (2019). Perancangan Rangkaian Rectifier Pada Sistem Rf Energy Harvesting Dengan Antena Televisi Pada Frekuensi Uhf (Vol. 9).
- Rheina Aurely, S., Wahyu, E., & Fathima, L. (n.d.). Karakteristik Dioda (E9). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*.
- Saputra, A. W., Farhan, M., Ath-Thariq, H., Bogi, N., Karna, A., Fahmi, A., S1, P., & Telekomunikasi, T. (2020). Pengukuran Kuat Sinyal Gelombang Radio Modulasi Frekuensi (Fm) Berfrekuensi Rendah Pada

Ruang Bebas Strength Measurement Of Radio Wave Signal Frequency Modulation (Fm) With Low Frequency In Free Space.

- Setyono, J., Hari Mardiansjah, F., Febrina Kusumo Astuti, M., & ProfHSoedarto, S. (2019). Potensi Pengembangan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Di Kota Semarang. *In Jurnal Riptek (Vol. 13, Issue 2)*. <http://riptek.semarangkota.go.id>
- Sherazi, H. H. R., Zorbas, D., & O'flynn, B. (2022). A Comprehensive Survey on RF Energy Harvesting: Applications and Performance Determinants. *Sensors, 22(8)*. <https://doi.org/10.3390/s22082990>
- Singh, J., Agrawal, S., & Parihar, M. S. (2015). Performance Analysis of RF Energy Harvesting Circuit with Varying Matching Network Elements and Diode Parameters. *PDPM-Indian Institute of Information Technology, 6–18*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4838.4488>
- Situmeang, H. F., Levy, O., & Nur, S. M. (2019). Perancangan Dan Realisasi Rectenna Array Bow-Tie Dipole Frekuensi 2,4 Ghz Dengan Voltage Multiplier Untuk Energy Harvesting Design And Implementation Bow-Tie Dipole Array Rectenna 2,4 Ghz Frequency With Voltage Multiplier For Energy Harvesting.
- Sulaeman, E., & Wardah, N. (2019). Perancangan Penyearah RF untuk Pemanenan Energi Elektromagnetik pada Band GSM 900 MHz. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), 4(2), 27*. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i2.2019.253-360>
- Suwandi, A. (2021). "Design and Implementation of a Six Stage Wave Rectifier For Radio Frequency Energy Harvesting Applications."
- Yoganto, G. (2018). Rancangan Antena Mikrostrip Rectangular Path Pada Peralatan Secondary Surveillance Radar (Ssr) Dengan Frekuensi 1030 Mhz. *Politeknik Penerbangan Surabaya, 2548–8090*.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Aridho Arfan
Tempat/Tanggal Lahir : KP.BUKIT/ 29 SEPTEMBER 2002
Jenis kelamin : Laki - Laki
Umur : 21 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan : 175 cm / 75 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Dusun Cempaka JL.Swadaya no.20N
No Hp : 0812-6097-1013
Email : arfanridho20@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

TK Nurul Hasanah Tembung : Tahun 2007 - 2008
SD Al-Itqon P.Penang : Tahun 2008 - 2014
SMP Nurul Hasanah Tembung : Tahun 2014 - 2017
SMK Teladan Medan : Tahun 2017 - 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Teknik Elektro : Tahun 2020 - 2024