

Rancang Bangun Rectenna Untuk Energy Harvesting Pada Frekuensi Radio Amatir VHF 155 MHz

La Safril ¹, Dwi Edi Setyawan ² and Muhammad Yanuar Hariyawan ³

¹ Affiliation 1; safrihizazul@student.telkomuniversity.ac.id

² Affiliation 2; ediset@telkomuniversity.ac.id

³ Affiliation 3; myanuar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak: Dimasa mendatang perangkat IoT berdaya rendah akan semakin sering diterapkan pada berbagai bidang. Salah satu implementasi perangkat IoT adalah pemantauan lingkungan didaerah rural. Permasalahan saat ini, perangkat IoT tersebut masih bergantung pada baterai. Nantinya diharapkan untuk tidak lagi bergantung pada baterai. Adapun solusi yang memungkinkan untuk permasalahan tersebut adalah teknik RF *energy harvesting*. Teknik ini memungkinkan gelombang elektromagnetik yang tersebar dilingkungan dapat dikonversi menjadi energi listrik. Energi tersebut dapat digunakan sebagai pengganti sumber energi baterai pada perangkat IoT. Teknik RF *energy harvesting* membutuhkan perangkat *hardware* yang disebut sebagai *rectenna*. Pada daerah rural, pancaran gelombang elektromagnetik umumnya berasal dari radio amatir. Untuk itu pada tugas akhir ini dibuat rancang bangun *rectenna* pada frekuensi radio amatir 155 MHz. Sehingga pada percobaan yang dilakukan dengan rentang frekuensi VHF 155 MHz didapatkan bahwa *rectenna* dapat bekerja dengan hasil nilai tegangan yang dihasilkan adalah sebesar 2.702 mV dan mampu menghidupkan LED pada rangkaian PCB

Kata Kunci: *Rectenna; Radio Frequency; Energy Harvesting*

Rectenna Design For Energy Harvesting At 155 MHz Amateur Radio Frequency

Abstract: In the future, low-power IoT devices will be increasingly applied to various fields. One of the implementations of IoT devices is environmental monitoring in rural areas. The current problem is that these IoT devices still depend on batteries. Later it is expected to no longer depend on batteries. The possible solution to the problem is the RF energy harvesting technique. This technique allows electromagnetic waves scattered in the environment to be converted into electrical energy. This energy can be used as a substitute for battery energy sources in IoT devices. RF energy harvesting technique

requires a hardware device called rectenna. In rural areas, electromagnetic wave emission generally comes from amateur radio. For this reason, in this final project, a rectenna design is made at the VHF 155 MHz amateur radio frequency. So that in the experiments conducted with the VHF 155 MHz frequency range, it was found that the rectenna could work with the results of the voltage value generated was 2.702 mV and was able to turn on the LED on the PCB circuit.

Keywords: Rectenna; Radio Frequency; Energy Harvesting

1. Pendahuluan

Sumber energi telah menjadi kebutuhan esensial bagi masyarakat di berbagai negara, termasuk diantaranya Indonesia. Seiring dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan dibidang energi, serta terus berkembangnya kebutuhan masyarakat, dan bertambahnya jumlah penduduk, penggunaan energi juga terus mengalami peningkatan. Permasalahan utama yang perlu diatasi adalah ketergantungan pada energi fosil yang tidak terbarukan dan ketersediaannya semakin menipis. Oleh sebab itulah, energi baru dan terbarukan (EBT) dapat menjadi alternatif yang menjanjikan sebagai sumber energi. Banyak sumber energi di sekitar kita yang bisa dimanfaatkan sebagai energi terbarukan, sebagai contoh tenaga angin untuk PLTA, matahari dengan PLTSnya, dan frekuensi radio (RF). Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, termasuk diantaranya adalah telekomunikasi sehingga telah menyediakan layanan berbasis komunikasi melalui nirkabel memanfaatkan gelombang dari radio untuk mengirimkan sebuah informasi. Hal ini membuat EBT berfokus pada pemanenan energi, di mana gelombang sinyal dari radio dalam bentuk gelombang elektromagnetik ditangkap kemudian dikonversi sehingga menjadi sebuah listrik DC. Dengan demikian energi ini menghasilkan daya yang kecil tetapi dapat terus menyuplai semua perangkat berdaya rendah. Dalam proses ini, dibutuhkan alat seperti antena untuk menangkap sinyal elektromagnetik dari sumber pemancarnya frekuensi radio dan rectifier untuk mengonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan sebuah tegangan DC.

Konsep utama dari rectenna adalah memanfaatkan energi yang berasal dari sumber yang ada di lingkungan untuk meningkatkan kinerja baterai atau melakukan operasi tanpa baterai. Teknologi ini memungkinkan pengiriman daya melalui media nirkabel atau wireless, dan terus berkembang. Teknik energy harvesting yang menggunakan sumber energi ramah lingkungan menjadi alternatif yang menjanjikan karena menggunakan sumber energi yang sudah ada dan dapat diintegrasikan pada rectifier dan antena. Rectenna biasanya berasal dari sebuah antena dan rangkaian penyearah (rectifier). Antena dipakai untuk mengumpulkan gelombang sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber RF. Energi yang dikumpulkan oleh antena pada rangkaian Rectenna akan diteruskan ke rangkaian penyearah (rectifier) untuk kemudian diproses menjadi arus listrik searah (DC).

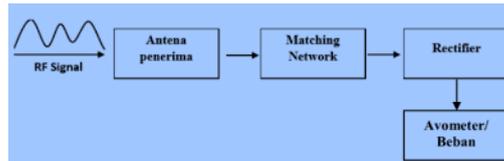
2. Tinjauan Pustaka

2.1. RF Energi Harvesting

Energi harvesting merupakan proses pengambilan energi yang kemudian langsung diubah menjadi arus listrik untuk perangkat berdaya kecil hingga menengah, misalkan node sensor nirkabel otonom, elektronik konsumen, dan lain-lain. Proses ini mengandalkan energi non-konvensional yang diubah melalui sebuah rangkaian pada listrik menjadi tegangan keluaran DC. Sumber energi ini dapat berasal dari gelombang sinyal radio (RF), energi panas, energi alam, energi matahari, dan lainnya [8].

2.1.1. Rectenna

Rectenna adalah antenna yang digabungkan dengan rangkaian penyearah (rectifier), atau bisa juga disebut sebagai perangkat yang mampu mengubah gelombang RF menjadi tegangan DC. Pada dasarnya, rectenna berfungsi untuk mengkonversi energi RF menjadi tegangan DC. Istilah ini merupakan kombinasi dari dua kata: rectifier dan antenna. Antena berfungsi untuk menerima energi RF yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik AC (alternating current). Selanjutnya, rectifier mengkonversi sinyal AC tersebut menjadi tegangan DC [11].



Gambar 1. Block Diagram rectenna

2.1.2. Rectifier

Rectifier adalah sebuah proses di mana energi ditangkap dan langsung diubah menjadi arus listrik untuk perangkat kecil dan menengah seperti node sensor nirkabel otonom, elektronik konsumen, dan kendaraan. Energi harvesting memanfaatkan sumber energi non-konvensional yang diubah melalui rangkaian listrik menjadi tegangan DC output. Sumber energi ini bisa berasal dari luar, seperti gelombang radio (RF), energi air, energi alam, energi matahari, dan lain sebagainya.

2.1.3. Antena

Antena adalah alat yang digunakan untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik, tergantung pada penggunaan dan frekuensi tertentu. Bentuk antena dapat bervariasi, mulai dari seutas kabel hingga tipe dipole dan yagi. Antena adalah perangkat pasif tanpa catu daya yang tidak meningkatkan kekuatan sinyal radio, melainkan hanya membantu mengonsentrasikan dan memfokuskan sinyal, serupa dengan reflektor pada lampu senter. Antena memiliki dua fungsi utama: pertama, sebagai perangkat penyearahan yang menyesuaikan sifat-sifat gelombang elektromagnetik di ruang bebas dengan gelombang elektromagnetik di saluran transmisi; dan kedua, sebagai perangkat pengarah yang mengarahkan gelombang elektromagnetik ke arah yang diinginkan atau diperlukan [10].

2.1.4. Radio Frekuensi

Sinyal frekuensi radio adalah gelombang elektromagnetik yang dimanfaatkan oleh sistem komunikasi untuk mentransmisikan informasi melalui udara dari satu lokasi ke lokasi lain dalam rentang frekuensi sekitar 3 KHz hingga 3 GHz. Rentang ini sesuai dengan frekuensi gelombang radio dan arus bolak-balik yang membawa sinyal radio.

2.1.5. Radio Amatir

Radio amatir merupakan komunikasi yang dilakukan dua arah melalui sebuah radio yang diakui sebagai kegiatan amatir. Aktivitas ini mencakup latihan, komunikasi antar anggota, dan eksplorasi teknik radio oleh para penggemar radio amatir. Penggemar radio amatir adalah individu yang memiliki minat dan keahlian dalam bidang teknik elektronika radio dan komunikasi tanpa tujuan komersial. Mereka menggunakan radio amatir untuk kepentingan pribadi tanpa mencari keuntungan finansial dan memiliki izin untuk mengoperasikan perangkat tersebut. Istilah "amatir" menunjukkan bahwa mereka menekuni hobi ini tanpa bayaran; mereka tidak menerima kompensasi untuk komunikasi atau penelitian lebih lanjut di bidang ini.

Teknologi yang dimanfaatkan oleh radio amatir adalah radio transceiver, dengan contoh sederhana berupa handy talky (HT). Sebuah stasiun radio amatir biasanya dilengkapi dengan radio, sumber daya, kabel, dan antena. Beberapa merek radio yang umum digunakan antara lain Motorola, Icom, Kenwood, Yaesu, Alinco, dan lainnya.

2.1.6. Voltage Standing Wave Ratio

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah parameter yang digunakan untuk menilai efisiensi dan kualitas transmisi sinyal dalam sistem transmisi gelombang elektromagnetik, khususnya pada frekuensi tinggi seperti pada komunikasi nirkabel dan sistem radar. VSWR menunjukkan seberapa baik sistem transmisi cocok dengan impedansi antara perangkat pemancar dan penerima, serta antena yang digunakan. VSWR mengukur rasio antara tegangan maksimum dan minimum gelombang berdiri pada sistem transmisi.

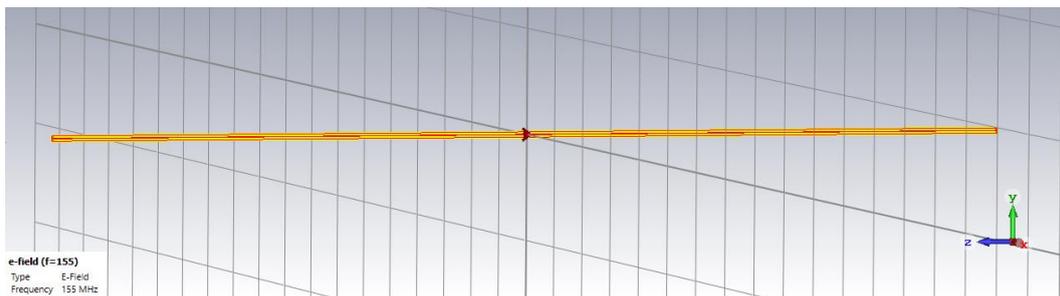
2.1.7. Spektrum VHF (Very High Frequency)

Very High Frequency adalah rentang frekuensi radio antara 30 MHz dan 300 MHz. Frekuensi di bawah VHF disebut high frequency (HF), sedangkan frekuensi di atasnya dikenal sebagai ultra high frequency (UHF). Saat ini, VHF merupakan bagian frekuensi terendah yang digunakan secara praktis, sementara sistem baru cenderung menggunakan frekuensi SHF dan EHF yang berada di atas UHF. Penggunaan umum VHF meliputi Penyiaran radio FM, siaran televisi, pemancar telepon seluler darat (untuk keperluan darurat, bisnis, dan militer), komunikasi data jarak jauh menggunakan modem radio, radio amatir, komunikasi maritim, komunikasi pengendalian lalu lintas udara, serta sistem navigasi udara seperti VOR, DME, dan ILS.

3. Metode dan Pemodelan

3.1. Desain dan Perancangan Antena Dipole menggunakan CST Studio 2019

Langkah pertama dalam merancang antena adalah menetapkan parameter yang diinginkan. Dimensi antena menjadi fokus utama sebelum melakukan perancangan dan simulasi menggunakan perangkat lunak simulator CST Studio Suite 2019. Untuk menentukan dimensi tersebut, beberapa faktor kunci perlu diperhitungkan, seperti panjang elemen antena, jarak antar elemen, dan posisi pengumpan.



Gambar 2. Antena Dipole with CST Studio 2019

Setelah menetapkan parameter dan menghitung dimensi antena, langkah berikutnya adalah merancang dan memproduksi PCB antenna. Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak CST Studio 2019 dan EAGLE untuk desain antena microstrip. Kedua perangkat lunak tersebut dikembangkan oleh perusahaan menengah yang mengkhususkan diri dalam simulasi medan elektromagnetik dalam struktur tiga dimensi. Proses fabrikasi antena dipole dilakukan dengan menggunakan layanan dari penyedia eksternal.

Rumus untuk menghitung panjang antena dalam meter adalah :

$$L(\lambda) = c/f \quad (1)$$

Keterangan:

L adalah panjang gelombang (mm)

c adalah kecepatan cahaya (m/s)

f adalah frekuensi (MHz)

3.2. Uji Coba Pengukuran

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan antenna untuk menangkap gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik tersebut diubah oleh antenna menjadi sinyal listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian diterima oleh rangkaian penyearah. Rangkaian penyearah ini berfungsi mengubah sinyal listrik AC menjadi sinyal listrik arus searah (DC). Hasil dari voltage multiplier yang dirancang diuji menggunakan sumber energi RF dari handly talky (HT). Level daya yang dipancarkan oleh HT diukur dengan voltmeter. Tujuannya adalah mengukur tegangan DC yang dihasilkan oleh voltage multiplier menggunakan voltmeter untuk melihat besaran tegangan yang dihasilkan. Hasil uji coba pada rentang jarak 10 cm hingga 10 meter (1000 cm) menunjukkan tegangan tertinggi sebesar 2,702 mV dan tegangan terendah sebesar 10 mV. Pada rentang jarak 10 cm hingga 1 meter, tegangan yang dihasilkan oleh rectenna mampu menghidupkan LED pada komponen PCB rectifier. Namun, pada jarak di atas 1 meter hingga 10 meter, LED tersebut tidak menyala meskipun masih ada tegangan yang terukur.

4. Hasil dan Analisa

4.1. Perancangan Antena Dipole

Perancangan adalah tahap penting dalam pembuatan perangkat elektronik. Namun, sebelum merancang perangkat kerja, perlu dilakukan perencanaan yang baik untuk mencapai hasil yang memuaskan. Antena dipole adalah salah satu jenis antenna paling sederhana dan umum digunakan dalam komunikasi nirkabel. Antena ini biasanya digunakan pada frekuensi radio VHF (Very High Frequency) dan UHF (Ultra High Frequency). Antena dipole terdiri dari dua konduktor paralel yang sejajar dan biasanya dipasang secara horizontal atau vertikal. Antena dipole ini dirancang untuk beroperasi pada frekuensi radio amatir 155 MHz seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Antena Dipole

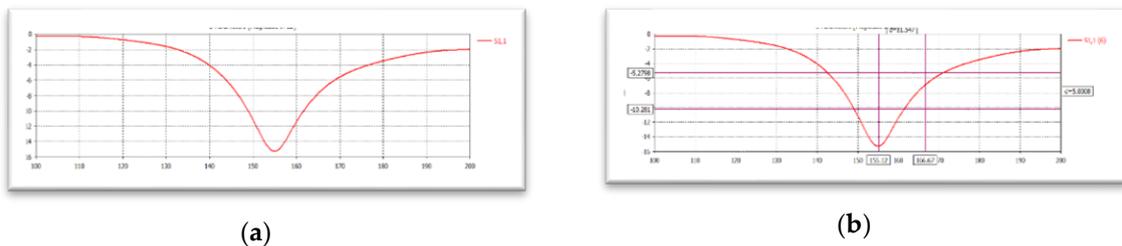
Pada gambar 3 merupakan proses pengukuran dan pengujian *rectenna* pada frekuensi VHF 155 MHz. Dimana pada gambar tersebut diperlihatkan sebuah komponen LED berwarna hijau menyala yang terdapat pada PCB *rectifier* menandakan bahwa tegangan yang dihasilkan dari pengukuran tersebut mampu menghidupkan perangkat berdaya rendah.

4.2. Perancangan Antena Dipole Menggunakan CST

Untuk merancang dan mensimulasikan antena dipole, diperlukan perangkat lunak yang disebut CST Studio Suite. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, perancangan dapat dilakukan dengan lebih kompleks. Berikut adalah hasil perancangan dan simulasi antena dipole menggunakan CST Studio dan ditampilkan pada gambar 4.

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan CST Studio Suite 2019, pada gambar tersebut menunjukkan titik frekuensi 155 Mhz pada rentang frekuensi 100 – 200 Mhz dengan nilai dB sebesar -5.2798 dan -10.281 yang ditunjukkan pada gambar 4.

Adapun pada simulai yang dilakukan didapatkan nilai VSWR dari titik terendahnya pada frekuensi 155 MHz adalah 1.6426. Maka untuk itu jika nilai VSWR adalah 1.6426, itu adalah tanda bahwa pencocokan impedansi antara antena dan jalur transmisi yang menghubungkannya cukup baik.



Gambar 4. (a) S-Parameter Antena; (b) Nilai return loss (dB)

4.3. Pengukuran Tegangan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *rectenna* berhasil mengumpulkan energi dari frekuensi radio amatir VHF 155 MHz dengan efisiensi yang memadai. Hasil ini menunjukkan potensi penggunaan *rectenna* dalam aplikasi *energy harvesting* di lingkungan frekuensi VHF 155 MHz. Berikut ini adalah hasil dari pengolahan data berupa pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 1. Hasil Pengukuran

Jarak (cm)	Tegangan (Volt)
10	2,702
20	2,530
30	2,405
40	2,310
50	2,340
60	2,160
70	1,923
80	1,250
90	1,170
100	1,154
200	1,120
300	514
400	576
500	270
600	109
700	53
800	74
900	27
1000	10



Gambar 5. Grafik Pengukuran Tegangan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dan pengolahan data secara terperinci atas hasil uji coba yang dilakukan, maka hasil pengukuran ditemukan bahwa frekuensi radio amatir VHF 155 MHz dapat bekerja dengan baik pada perangkat berdaya rendah. Namun pada proses pengukuran ditemukan bahwa jarak mempengaruhi besar tegangan yang dihasilkan pada rectenna. Pada tabel diagram menunjukkan besaran tegangan (mV) yang dihasilkan pada saat pengukuran dengan tingkat tegangan yang berbeda pada setiap jarak yang di ukur tegangannya. Pada tabel diagram tersebut menunjukkan jarak yang diukur dimulai dari 10 – 1000 cm. Hal yang mempengaruhi jarak diatas 1 – 10 meter yang tidak bisa menghidupkan LED tapi memiliki nilai tegangan adalah Hal tersebut terjadi dikarenakan Dioda BAT 1N5711 adalah dioda semikonduktor yang memiliki fungsi sebagai penyearah (rectifier). Dioda ini biasanya digunakan dalam *rectenna* untuk melakukan fungsi penyearahan pada gelombang elektromagnetik yang diterima oleh antena. Ketika gelombang elektromagnetik datang, dioda ini mengizinkan aliran arus hanya dalam satu arah (biasanya arus positif) dan mencegah aliran arus dalam arah sebaliknya. Dengan demikian, gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi yang datang dapat diubah menjadi arus searah (DC) yang dapat digunakan untuk mengisi baterai atau menyediakan daya untuk perangkat elektronik. Adapun penggunaan Kapasitor keramik 100 pF adalah komponen kapasitor yang digunakan dalam *rectenna* untuk tujuan penyaringan. Setelah dioda melakukan penyearahan, sinyal DC yang dihasilkan mungkin masih memiliki komponen frekuensi tinggi atau noise dari sinyal gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan. Kapasitor keramik 100 pF berperan sebagai penyaring untuk menghilangkan *noise* tersebut dan menghasilkan sinyal DC yang lebih bersih dan stabil. Kapasitor ini juga membantu menyimpan muatan listrik sementara dan melepaskannya saat diperlukan, sehingga membantu menstabilkan tegangan keluaran pada *rectenna*.

Jadi, dioda BAT 1N5711 bertanggung jawab untuk melakukan penyearahan gelombang elektromagnetik menjadi sinyal DC, sedangkan kapasitor keramik 100 pF berperan dalam menyaring dan menstabilkan tegangan keluaran dari *rectenna*. Kedua komponen ini bekerja sama untuk mengubah energi gelombang elektromagnetik menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk aplikasi daya nirkabel atau pengisian baterai pada perangkat elektronik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan hasil simulasi pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rectenna yang dirancang berhasil mengimplementasikan prinsip kerja energy harvesting pada frekuensi VHF 155 MHz, yaitu mengubah sinyal RF AC menjadi DC. Pengujian dilakukan dengan mendekatkan rectenna pada pemancar handy talky (HT) VHF 155 MHz dalam jarak kurang dari 100 cm, menghasilkan tegangan maksimum sebesar 2.702 mV. Hasil tegangan keluaran rectenna dipengaruhi secara signifikan oleh jarak antara antena pemancar gelombang elektromagnetik dengan rectenna tersebut, di mana semakin dekat jaraknya, semakin besar tegangan keluaran yang dihasilkan, dan sebaliknya.

Referensi

1. M. N. R. Rajab, Koesmariyanto, and R. Saptono, "Perancangan Rangkaian Rectifier pada Sistem RF Energy Harvesting dengan Antena Televisi pada Frekuensi UHF," *J. JARTEL*, vol. 9, no. 4, pp. 464–469, 2019.
2. E. P. F. BG Parubak Dirton, Yuwono Rudy, "RANCANG BANGUN ANTENA PENYEARAH (RECTIFIER ANTENNA) UNTUK PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 1800 MHz PUBLIKASI," *Lincoln Arsyad*, vol. 3, no. 2, pp. 1–46, 2014, [Online]. Available: <http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127>
3. S. Buwarda and A. Azis, "Rancang Bangun Multi Frekuensi Rectenna Untuk Energy Harvesting Gelombang Elektromagnetik," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 49–53, 2021, doi: 10.33387/protek.v8i1.2534.
4. Sus Sulianti Natalia; Dr. Heroe Wijanto Ir M.T; Dr. Yuyu Wahyu Ir M.T, "Perancangan dan Realisasi Rectenna Pada Frekuensi Wifi Untuk Elektromagnetik Harvesting (Panen Gelombang Elektromagnetik)," *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 2229–2237, 2018.
5. D. Kurniawan, E. Dahlan, and A. Pratama, "Antena Mikrostrip Circular Array Dual Frekuensi," *J. EECCIS*, vol. 4, no. 1, pp. 39–44, 2010.
6. M. N. Silalahi and A. H. Rambe, "Analisis Antena Mikrostrip Dengan Teknik Planar Array," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 2 No. 3, pp. 84–89, 2013.
7. A. D. Setiawan, D. Ramdani, A. Charisma, and A. Najmurokhman, "Rancang Bangun Antena Log Periodic Dipole Array untuk Aplikasi Energy Harvesting Sinyal Seluler," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 17, no. 2, p. 84, 2018, doi: 10.26874/jt.vol17no2.81.\
8. NZ, Hamka Ikhlusal Amal. 2016. Perancangan Dan Realisasi Sistem Rf Energy Harvesting Pada Frekuensi UHF. e-Proceeding of Engineering. Vol.3, No.1.2016, PP.568-575.
9. Y. Hanudry, S. Putra, E. Roza, and A. Cahyasiwi, "Rancang Bangun Antena Biquadpada Frekuensi Kerja LTE (Long Term Evolution) 710 MHz," *Semin. Nas. TEKNOKA_FT UHAMKA*, pp. 112–120, 2016.
10. I. Adam, M. N. M. Yasin, S. Z. Ibrahim, and N. Haris, "Development of Cascaded Voltage Doubler Rectifier for Rf Energy Harvesting," *J. Teknol.*, vol. 84, no. 2, pp. 153–161, 2022, doi: 10.11113/jurnalteknologi.v84.17405.
11. Antony., Arman Sani. 2015. Rancang Bangun Power Harvester Untuk Transfer Daya Wireless Menggunakan Antena Tv Frekuensi 470 – 860 MHz. Singuda Ensikom. Vol.12, No.34.2015, PP.119-123.
12. M. I. Marzuki and B. Irawan, "Analisa Propagasi Gelombang Continuous Wave Pada Radio Amatir di Frequency 21 MHz," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 7, no. 2, p. 213, 2017, doi: 10.22441/incomtech.v7i2.1169
13. A. Purwadi, D. T. Utomo, and P. Harahap, "Sistem Mitigasi Bencana Tanah Longsor Berbasis Gelombang Radio," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 70–75, 2023, doi: 10.30596/rele.v5i2.13080.
14. B. Maharmi, "Simulasi Gangguan Sistem Jaringan Komunikasi Radio VHF (Very High Frequency)," *J. SAINSTEK*, vol. 1, no. 2, pp. 37–44, 2013, [Online]. Available: <https://ejournal.stpp-yds.ac.id/index.php/js/article/view/48>
15. S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: survey and implications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 3, pp. 443–461, 2011.
16. Aviantoro, Aditya Putra. 2016. Perancangan Dan Implementasi Rectifier Antena Dengan Menggunakan Teknik Voltage Multiplier Untuk Frekuensi UHF. Jurnal Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom
17. Natalia A, S. S., Wijanto, H., & Wahyu, Y. (2018). Perancangan dan Realisasi Rectenna Pada Frekuensi WiFi Untuk Elektromagnetik Harvesting (Panen Gelombang Elektromagnetik). *Jurnal Teknik*, 5(2) 2229-2237
18. ALAYDRUS, Mudrik. "Antena Prinsip dan Aplikasi". *Graha Ilmu. Yogyakarta. Cetakan pertama*, 2011