

Rectenna Sebagai *Wireless Power Transfer*

1st Wilda Akmal

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

wildaakmal@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Farhan Alfariz Siregar

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

aansiregar@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Tubagus Qadafi Ibrahimovic

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

tubagusqadafi@student.telkomuniversity.ac.id

4th Levy Olivia Nur

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

levyolivia@student.telkomuniversity.ac.id

5th Budi Prasetya

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

budiprasetya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Keterbatasan akses listrik dan ketidakstabilan kualitas daya di berbagai wilayah mendorong kebutuhan akan sistem pencahayaan LED yang fleksibel dan ramah lingkungan. Penelitian ini mengembangkan sistem Wireless Power Transfer (WPT) berbasis rectenna untuk mengoperasikan lampu LED tanpa kabel. Sistem rectenna dirancang menggunakan antena mikrostrip yang beroperasi pada frekuensi 1,8-2,4 GHz dan rangkaian rectifier bertingkat dengan dioda Schottky untuk konversi gelombang elektromagnetik menjadi arus DC. Hasil simulasi menunjukkan performa antena yang memadai dengan return loss -16,423 dB (1,8 GHz) dan -15,695 dB (2,4 GHz), serta gain 2,076 dBi dan 2,007 dBi pada masing-masing frekuensi. Namun, realisasi fisik menunjukkan penurunan gain menjadi 1,7131 dBi dan 1,6913 dBi dengan perubahan polarisasi dari linear ke elips. Pengujian rectenna berhasil menghasilkan tegangan output, tetapi belum mencukupi untuk pengoperasian LED yang stabil karena keterbatasan komponen dioda penyearah. Sistem menunjukkan potensi untuk aplikasi transfer daya nirkabel pada pencahayaan LED, namun memerlukan optimasi lebih lanjut pada desain rangkaian rectifier untuk memenuhi kebutuhan daya beban.

Kata kunci— *Antena, LED, Rectifier, Rectenna, Wireless Power Transfer.*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan lampu LED pada sumber listrik konvensional menimbulkan tantangan signifikan dalam penyediaan pencahayaan yang berkelanjutan dan fleksibel. Permasalahan utama meliputi akses listrik terbatas di daerah pedesaan dan terpencil, ketidakstabilan kualitas listrik yang mengakibatkan peningkatan biaya pemeliharaan, serta dampak lingkungan dari pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim.

Teknologi Wireless Power Transfer (WPT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Sistem WPT memungkinkan transfer energi tanpa kontak fisik, sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi penggunaan lampu LED. Implementasi WPT pada sistem

pencahayaan LED berpotensi memberikan keunggulan berupa operasi otomatis tanpa kabel, pengisian daya berkelanjutan, dan pencahayaan yang stabil tanpa ketergantungan pada infrastruktur listrik konvensional.

Dengan demikian, pengembangan sistem WPT untuk aplikasi pencahayaan LED menjadi sangat relevan sebagai alternatif solusi energi yang ramah lingkungan dan dapat diandalkan, terutama untuk wilayah dengan akses listrik terbatas atau kualitas listrik yang tidak stabil.

1.2 Analisis Masalah

Dari hasil latar belakang dapat disimpulkan bahwa ada beberapa analisa masalah.

1. Aspek manufakturabilitas

Pengembangan antena dalam sistem WPT memerlukan optimasi gain dan efisiensi radiasi yang tinggi untuk memastikan transfer daya elektromagnetik yang efektif ke rectenna dalam mendukung operasi pencahayaan LED.

2. Aspek teknologi

Implementasi sistem WPT melalui antena masih menghadapi tantangan teknis berupa keterbatasan efisiensi transfer daya dan stabilitas gelombang elektromagnetik, sehingga membutuhkan pengembangan teknologi antena yang lebih canggih untuk aplikasi praktis.

3. Aspek ekonomi

Pengembangan antena untuk sistem WPT memerlukan pendekatan holistik yang mencakup aspek teknis, ekonomi, dan regulasi untuk mengatasi keterbatasan biaya produksi tinggi dan kurangnya ekosistem pendukung dalam implementasi teknologi secara berkelanjutan.

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan analisa masalah, terdapat beberapa tujuan dibuatnya penelitian terkait, diantaranya:

1. Merancang dan mengembangkan antena yang terintegrasi dengan rectifier untuk sistem Wireless Power Transfer (WPT) yang bekerja pada rentang frekuensi 1,8 GHz hingga 2,4 GHz.

2. Meningkatkan efisiensi penerimaan gelombang elektromagnetik oleh antena agar mampu menyalakan lampu LED secara stabil tanpa menggunakan kabel.
3. Mengoptimalkan desain antena agar memiliki nilai gain yang memadai dan return loss yang rendah untuk mendukung performa transmisi daya secara maksimal.
4. Memastikan aspek manufakturabilitas dari antena yang dikembangkan sehingga solusi yang dihasilkan bersifat efektif secara teknis, ekonomis, dan mudah untuk diproduksi.

II. KAJIAN TEORI

2.1 Wireless Power Transfer (WPT)

Wireless Power Transfer (WPT) merupakan teknologi yang memungkinkan pengiriman energi listrik tanpa media konduktif fisik seperti kabel. Teknologi ini menghapus kebutuhan akan kabel daya konvensional dan menawarkan metode yang praktis serta efisien untuk mengisi daya atau memberikan energi pada berbagai perangkat[1].

Ada beberapa metode yang digunakan dalam WPT:

1. Resonansi magnetik
2. Mikro gelombang
3. Induksi elektromagnetik

2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah jenis antena yang terdiri dari konduktor logam yang ditempatkan di atas groundplane dengan lapisan dielektrik di antara keduanya[2].

A. Parameter antena

1. Return Loss

Merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan.

$$RL(dB) = 20 \log \Gamma$$

2. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Merupakan rasio perbandingan antara gelombang datang dan gelombang pantul di mana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri.

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

3. Gain

Merupakan kemampuan antena dalam mengarahkan radiasi sinyal ke arah tertentu atau menerima radiasi sinyal dari arah tertentu.

$$G_{Rx} = S_{21} - G_{Tx} + L_{Tx} + F_{SL} + L_{Rx}$$

4. Bandwidth

Merupakan rentang frekuensi di mana antena dapat memancarkan dan menerima daya secara efektif. Dalam praktiknya, bandwidth sangat berkaitan dengan nilai VSWR dan frekuensi.

$$BW = f_2 - f_1$$

5. Pola Radiasi

Merupakan diagram grafis dari radiasi daya yang dipancarkan oleh antena.

6. Polarisasi

Merupakan arah getaran gelombang yang dipancarkan atau diterima oleh antena. Untuk

menentukan polarisasi, dapat dihitung nilai axial ratio.

$$AR(Axial Ratio) = \frac{Major Axis}{Minor Axis}, 1 < AR < \infty$$

B. Penentuan Dimensi Antena

1. Jari-jari patch (a)

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

2. Lebar feed (Wf)

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \times \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \times \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

3. Panjang feed (Lf)

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4}$$

4. Lebar ground plane (Wg)

$$W_g = 6h + W_f + D_{patch}$$

5. Panjang ground plane (Lg)

$$L_g = 6h + L_f + D_{patch}$$

2.3 Rangkaian Rectifier

Rectifier atau penyearah merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) menggunakan satu atau beberapa dioda yang bertindak seperti katup satu arah yang memungkinkan arus mengalir dalam satu arah[3].

Rectifier terbagi menjadi dua kategori utama:

1. Penyearah setengah gelombang
2. Penyearah gelombang penuh

A. Arus listrik

Arus listrik merupakan aliran partikel bermuatan, seperti elektron atau ion, yang bergerak melalui suatu konduktor

$$I = \frac{V}{R}$$

B. Tegangan

Tegangan merupakan selisih potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik.

$$V = I \times R$$

C. Daya

Daya listrik merupakan laju perubahan energi listrik dalam suatu rangkaian, atau jumlah energi listrik yang digunakan atau dihasilkan per satuan waktu.

$$P = V \times I$$

D. Voltage multiplier

Voltage multiplier merupakan sebuah rangkaian elektronika yang mengisi kapasitor dari tegangan input dan dari proses pengisian ini secara ideal, tegangan yang dihasilkan mengalami peningkatan dua kali lipat dari tegangan input.

$$V_n = 2n \times V_{in}$$

E. Reaktansi kapasitif

Reaktansi kapasitif adalah hambatan terhadap aliran arus bolak-balik (AC) yang disebabkan oleh kapasitor.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

2.4 Integrasi Antena Mikrostrip dan Rectifier

Integrasi antara antena dan rangkaian penyearah disebut sebagai *rectenna* (*rectifying antenna*), yaitu sistem terintegrasi yang secara langsung mengubah gelombang elektromagnetik yang ditangkap oleh antena akan dialirkan ke rangkaian *rectifier*, yang berfungsi mengubah sinyal AC menjadi energi listrik DC yang dapat digunakan oleh beban[4].

2.5 Aplikasi pada Beban LED

Salah satu implementasi praktis dari sistem *rectenna* adalah untuk menyalakan lampu *Light Emitting Diode* (LED). LED merupakan beban elektronik yang umum digunakan karena karakteristik dayanya rendah serta memberikan indikator visual yang jelas. Dalam penelitian dan eksperimen sistem WPT, LED sering digunakan sebagai indikator keberhasilan transfer daya.

III. METODE

Pada penelitian ini memberikan gambaran rancangan yang dibuat.

3.1 Spesifikasi Sistem

A. Spesifikasi antena

TABEL 1
Spesifikasi antena

Parameter	Keterangan
Frekuensi Kerja	1,8 GHz – 2,4 GHz
Bandwidth	≥ 100 MHz
VSWR	1 ≤ VSWR < 2
Return Loss	< -10 dB
Gain	≥ 2 dBi
Pola Radiasi	Omnidireksional
Polarisasi	Linear

B. Spesifikasi rectifier

TABEL 2
Spesifikasi rectifier

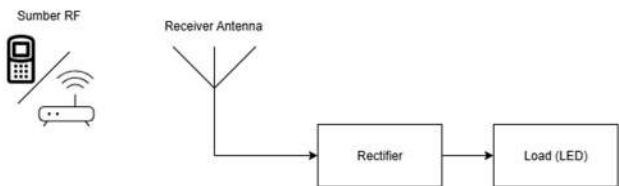
Parameter	Keterangan
Tegangan	3 V
Arus	200 mA

C. Spesifikasi lampu LED

TABEL 3
Spesifikasi lampu LED

Parameter	Keterangan
Tegangan	2 V
Arus	20 mA

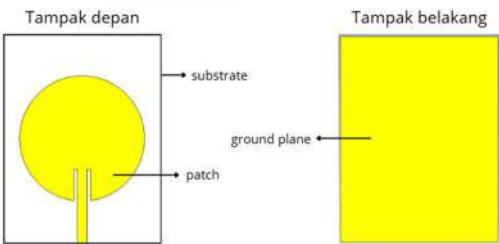
3.2 Desain Sistem



GAMBAR 1
Blok diagram sistem

Gambar 1 merupakan diagram blok sistem yang digunakan. Antena mikrostrip sebagai *receiver* antena berfungsi untuk menerima gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari sumber sebanyak mungkin dari udara lalu diteruskan menuju rangkaian *rectifier*. Antena mikrostrip ini dirancang dengan rentang frekuensi 1,8 GHz hingga 2,4 GHz. Setelah gelombang elektromagnetik diterima oleh *rectifier* maka gelombang elektromagnetik dalam keadaan AC diubah menjadi arus listrik DC. Rangkaian *rectifier* ini terdiri dari komponen dioda dan kapasitor. Sistem terakhir dalam blok diagram ini adalah sebuah perangkat yang menggunakan tegangan DC yang sudah diubah oleh *rectifier*. Komponen yang digunakan pada blok diagram *load* adalah LED sebagai indikator keberhasilan sistem ini.

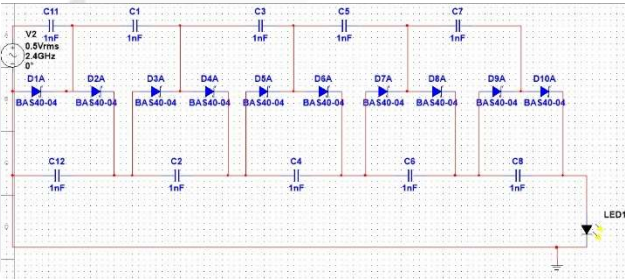
A. Desain antena



GAMBAR 2
Desain antena

Pada perancangan ini, komponen utama yang digunakan adalah antena mikrostrip, yang terdiri dari tiga lapisan utama seperti pada gambar 2, yaitu *patch*, *substrate*, dan *ground plane*. Untuk menguji apakah desain awal telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan, dilakukan proses simulasi menggunakan *software CST Studio Suite*, yang berfungsi sebagai aplikasi simulasi berbasis 3D. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian desain antena dengan parameter teknis yang dirancang sejak awal. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh bentuk fisik dan struktur antena sesuai dengan rancangan awal yang telah dibuat, yang selanjutnya dijadikan acuan untuk tahap implementasi lebih lanjut.

B. Skematik rangkaian rectifier



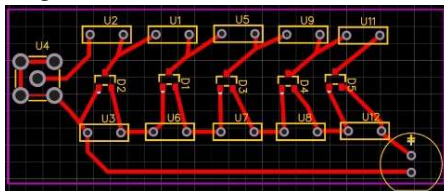
GAMBAR 3
Skematik rangkaian rectifier

Rangkaian *rectifier* multistage atau *voltage multiplier* pada gambar 3 dirancang menggunakan *software NI Multisim 14.2* ini berfungsi untuk mengkonversi sinyal RF dengan frekuensi 2,4 GHz dan tegangan input 0,5 Vrms menjadi tegangan DC yang lebih tinggi. Rangkaian ini menggunakan sepuluh dioda Schottky tipe BAS 40-04 yang dipilih karena karakteristiknya yang memiliki tegangan *forward* rendah dan waktu *switching* cepat, sehingga cocok untuk aplikasi frekuensi tinggi. Komponen kapasitor dengan nilai 1 nF disusun dalam dua jalur berbeda dengan fungsi yang spesifik: kapasitor jalur atas (C11, C1, C3, C5, C7)

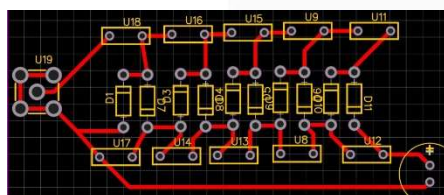
berperan sebagai elemen pemompa yang mengisi muatan pada siklus negatif dan melepaskannya pada siklus positif, sedangkan kapasitor jalur bawah (C12, C2, C4, C6, C8) berfungsi sebagai penyimpan muatan untuk menjaga kestabilan tegangan DC di setiap tahap.

Prinsip kerja rangkaian ini berdasarkan pada interaksi antara dioda dan kapasitor yang memungkinkan terjadinya akumulasi tegangan secara bertahap dari satu stage ke stage berikutnya. Setiap tahap akan menghasilkan peningkatan tegangan yang kemudian diteruskan ke tahap selanjutnya, sehingga menghasilkan tegangan output akhir yang jauh lebih tinggi dibandingkan tegangan input awal. Tegangan output yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menyalakan LED yang berfungsi sebagai indikator visual bahwa rangkaian berhasil mengkonversi energi RF menjadi energi listrik DC. Meskipun secara teoritis rangkaian ini mampu menghasilkan tegangan DC yang tinggi, efektivitas dan keberhasilannya sangat bergantung pada beberapa faktor penting seperti besarnya sinyal input yang diterima, kualitas komponen yang digunakan, serta kondisi optimasi lingkungan sistem, dimana input yang terlalu kecil dapat menyebabkan output tidak mencukupi untuk mengaktifkan LED.

C. Perancangan desain PCB



GAMBAR 4 Desain PCB rectifier 1



GAMBAR 5
Desain PCB rectifier 2

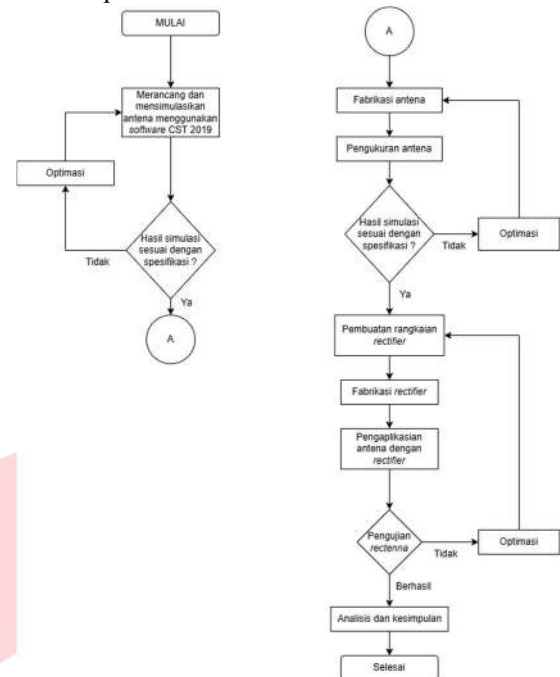
Desain PCB pada gambar 5 dan 6 dirancang sesuai dengan skematik rangkaian *rectifier* pada *software* NI Multisim 14.2. Desain PCB yang akan di fabrikasi ini dirancang menggunakan *software online EASYEDA*.

3.3 Metode Pengukuran

TABEL 4
Metode pengukuran sistem

Sistem	Keterangan
Antena	Pengukuran untuk parameter antenna dilakukan menggunakan <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA).
Rectifier	Pengukuran untuk parameter rectifier dilakukan menggunakan multimeter.

3.4 Detail Implementasi



GAMBAR 6

Flowchart implementasi sistem

Implementasi penelitian pada gambar 6 ini dimulai dengan perancangan dan simulasi antenna mikrostrip menggunakan *software* untuk memperoleh desain yang memenuhi spesifikasi teknis seperti frekuensi kerja, return loss, VSWR, pola radiasi, dan gain. Setelah hasil simulasi memenuhi target melalui proses optimasi parameter desain, antenna difabrikasi secara fisik dan diuji di laboratorium menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) dan antenna horn untuk mengukur karakteristik kinerjanya. Tahap berikutnya adalah perancangan dan fabrikasi rangkaian rectifier yang disesuaikan dengan kebutuhan daya beban dan karakteristik frekuensi antenna. Setelah kedua komponen berfungsi optimal secara terpisah, dilakukan integrasi menjadi sistem rectenna yang kemudian diuji menggunakan antenna horn sebagai pemancar dan signal generator sebagai sumber frekuensi untuk mengevaluasi kemampuannya mengkonversi gelombang RF menjadi daya DC.

Pengujian rectenna meliputi pengukuran tegangan dan arus DC pada berbagai variasi jarak dan frekuensi, dengan kriteria keberhasilan berupa LED yang menyala dan output tegangan yang stabil. Jika hasil belum memenuhi kriteria, dilakukan optimasi pada antenna, rectifier, atau integrasinya, namun jika berhasil maka implementasi dinyatakan sukses. Tahap akhir berupa analisis hasil pengujian dan penarikan kesimpulan yang mencakup evaluasi performa sistem secara keseluruhan serta identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil seperti jarak, frekuensi, dan kondisi lingkungan. Analisis ini menjadi dasar pemberian rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut sistem rectenna, sehingga memberikan gambaran menyeluruh tentang efektivitas dan potensi aplikasi teknologi wireless power transfer ini.

A. Antena mikrostrip

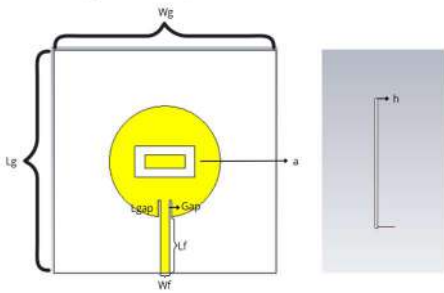
Pada pengimplementasian antenna mikrostrip ini, langkah awal yang dilakukan adalah penentuan dimensi dan bentuk dasar antenna yang akan dirancang. Pada tahap awal perancangan, perlu dilakukan perhitungan untuk menetapkan

ukuran dimensi antenna mikrostrip yang tepat agar sesuai dengan frekuensi dari 1,8 GHz hingga 2,4 GHz[5]. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh dimensi awal antenna mikrostrip yang terdapat pada tabel 5.

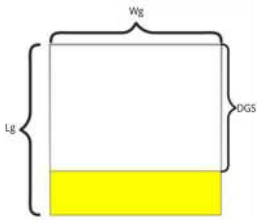
TABEL 5
Dimensi awal antenna

Parameter	Nilai
Lebar <i>feed</i> (Wf)	3,11 mm
Panjang <i>feed</i> (Lf)	18,75 mm
Lebar <i>ground plane</i> (Wg)	52,19 mm
Panjang <i>ground plane</i> (Lg)	67,83 mm
Gap inset feed (Gap)	1 mm
Panjang inset feed (Lgap)	10 mm
Jari-jari <i>patch</i> (a)	19,74 mm
Ketebalan substrat (h)	1,6 mm

Setelah itu, dilakukan proses optimasi dengan mengubah dimensi antenna mikrostrip guna memperoleh parameter yang lebih optimal. Setelah proses optimasi, digunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS) serta penambahan slot pada struktur antenna untuk mengatasi keterbatasan yang terdapat pada desain awal[6]. Gambar 6 dan 7 merupakan kombinasi dari kedua modifikasi ini mampu menghasilkan kinerja antenna yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam perancangan.



GAMBAR 7
Desain antenna mikrostrip tampak depan dan samping



GAMBAR 8
Desain antenna mikrostrip tampak belakang

TABEL 6
Dimensi antenna setelah optimasi

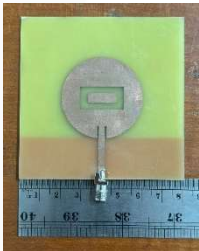
Parameter	Nilai
Lebar <i>feed</i> (Wf)	3,11 mm
Panjang <i>feed</i> (Lf)	19 mm
Lebar <i>ground plane</i> (Wg)	80 mm
Panjang <i>ground plane</i> (Lg)	80 mm
Gap inset feed (Gap)	0,8 mm
Panjang inset feed (Lgap)	6 mm
Jari-jari <i>patch</i> (a)	20 mm
Ketebalan substrat (h)	1,6 mm
Wslot	19 mm

Lslot	3 mm
Wslot2	3,55 mm
Lslot2	11 mm
DGS	59,30 mm

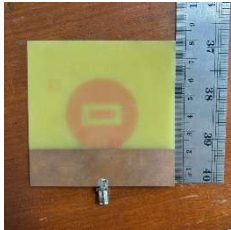
Tabel 7 berikut merupakan hasil simulasi dari desain antenna mikrostrip yang telah dirancang berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

TABEL 7
Hasil simulasi parameter desain antenna

Parameter	Spesifikasi	Simulasi
Bandwidth	≥ 100 MHz	1,48 GHz
VSWR	$1 \leq \text{VSWR} < 2$	1,8 GHz: 1,35 2,4 GHz: 1,39
Return Loss	< -10 dB	1,8 GHz : -16,423 dB 2,4 GHz: -15,695 dB
Gain	≥ 2 dBi	1,8 GHz : 2,076 dBi 2,4 GHz: 2,007 dBi
Pola Radiasi	Omnidireksional	1,8 GHz: Omnidireksional 2,4 GHz: Omnidireksional
Polarisasi	Linear	1,8 GHz: Linear 2,4 GHz: Linear



GAMBAR 9
Fabrikasi antenna mikrostrip tampak depan



GAMBAR 10
Fabrikasi antenna mikrostrip tampak belakang

Tabel 8 berikut merupakan hasil pengukuran dari realisasi antenna mikrostrip yang telah dirancang berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

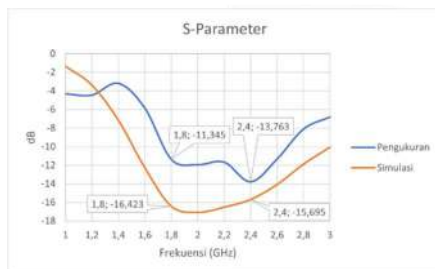
TABEL 8
Hasil pengukuran parameter fabrikasi antenna

Parameter	Spesifikasi	Realisasi
Bandwidth	≥ 100 MHz	900 MHz
VSWR	$1 \leq \text{VSWR} < 2$	1,8 GHz : 1,6547 2,4 GHz: 1,6291

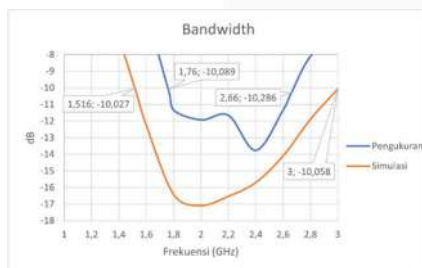
Return Loss	< -10 dB	1,8 GHz : -11,345 dB
		2,4 GHz: -13,763 dB
Gain	≥ 2 dBi	1,8 GHz : 1,7131 dBi
		2,4 GHz: 1,6913 dBi
Pola Radiasi	Omnidireksional	1,8 GHz: Omnidireksional
		2,4 GHz: Omnidireksional
Polarisasi	Linear	1,8 GHz: Elips
		2,4 GHz: Elips



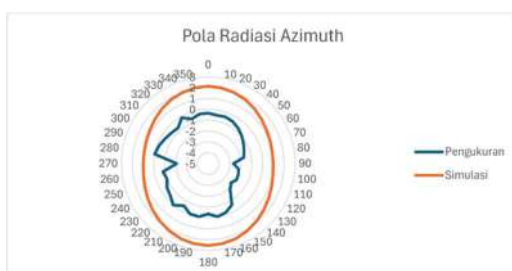
GAMBAR 11
VSWR



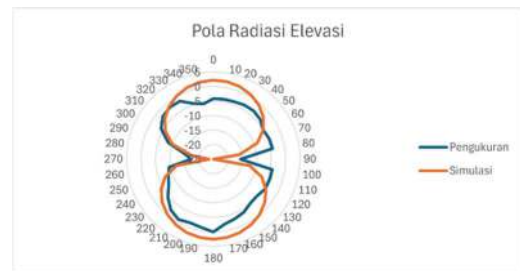
GAMBAR 12
Return loss



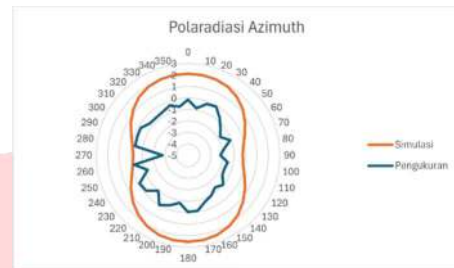
GAMBAR 13
Bandwidth



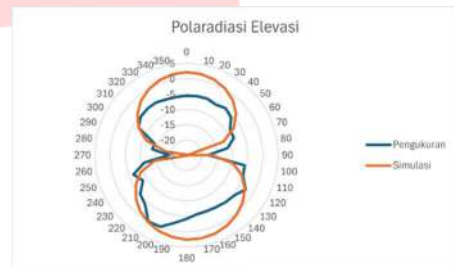
GAMBAR 14
Pola radiasi azimuth 1,8 GHz



GAMBAR 15
Pola radiasi elevasi 1,8 GHz

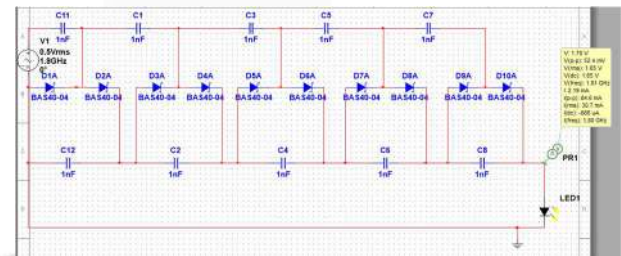


GAMBAR 16
Pola radiasi azimuth 2,4 GHz

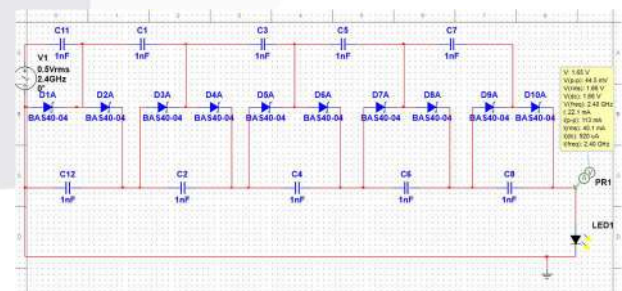


GAMBAR 17
Pola radiasi elevasi 2,4 GHz

B. Rectifier



(a) Frekuensi 1,8 GHz



(b) Frekuensi 2,4 GHz
GAMBAR 18
Rangkaian rectifier

Berdasarkan hasil simulasi pada desain rangkaian *voltage multiplier 5 stage* dengan frekuensi input sesuai dengan gambar 10 dan tegangan input sebesar 0.5 Vrms, didapatkan tegangan keluaran DC sebesar 1.7 V pada frekuensi 1,8 GHz dan 1,65 V pada frekuensi 2,4 GHz, lalu arus DC pada frekuensi 1,8 GHz sebesar 2,19 mA dan pada frekuensi 2,4 GHz sebesar 22,1 mA tetapi terus berubah-ubah secara naik

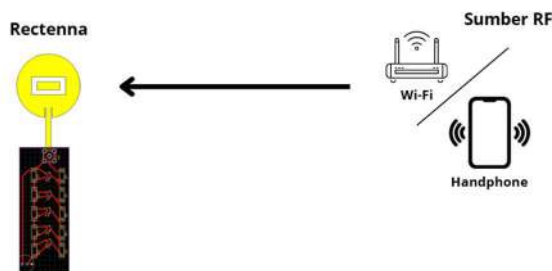
turun. Tegangan ini cukup untuk menyalakan LED bertegangan rendah seperti LED merah, kuning, atau hijau yang umumnya memerlukan tegangan sekitar 1.6–2.0 V. Dengan total 10 dioda BAS40-04 dan 10 kapasitor 1 nF, rangkaian ini mampu menggandakan tegangan dari sinyal input RF yang kecil menjadi tegangan DC yang lebih stabil. Pada simulasi dihasilkan bahwa LED berkedip dikarenakan ketidakstabilan arus yang dihasilkan oleh voltage multiplier 5 stage. Hasil dari simulasi ini menunjukkan bahwa desain rangkaian sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan untuk aplikasi *wireless power transfer*. Tetapi dibutuhkan tegangan yang lebih besar jika penggunaannya untuk pengisian baterai atau catu daya sensor aktif.

Pada pengukuran realisasi, dilakukan di laboratorium antenna dengan cara menghubungkan PCB yang sudah di fabrikasi dan sudah dipasang komponen dengan signal generator. Lalu pada signal generator di inputkan frekuensi sebesar 1,8 GHz dan 2,4 GHz serta di inputkan nilai amplitudo sebesar 7dBm. Kemudian dilakukan pengukuran tegangan *output* menggunakan *multimeter*.

TABEL 9
Hasil pengukuran rectifier

Dioda	Output Tegangan (V)	
	1,8 GHz	2,4 GHz
BAS 40-04	1,141	1
1N5711	1,116	1,240

3.5 Metode Pengujian



GAMBAR 19
Skema pengujian sistem

Gambar 11 menunjukkan skema pengujian sistem *rectenna* yang dilakukan pada sebuah ruangan. Pengujian ini menggunakan konfigurasi di mana Wi-Fi dan *handphone* berfungsi sebagai pemancar, sedangkan *rectenna* bertindak sebagai penerima sinyal. Sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh Wi-Fi dan *handphone* diarahkan ke *rectenna*. *Rectenna* yang terhubung menggunakan konektor male to male SMA kemudian menerima sinyal tersebut dan mengubahnya menjadi energi listrik. Arah panah pada gambar menunjukkan alur transmisi sinyal dari pemancar (Wi-Fi dan *handphone*) menuju ke penerima (*rectenna*). Dari pengujian tersebut, diharapkan sistem *rectenna* ini mampu menerima daya dan mengkonversinya menjadi energi listrik DC sehingga tegangan output yang dihasilkan mencukupi untuk menyalakan lampu LED.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Rectenna 1 (*Handphone*)



GAMBAR 20
Pengujian rectenna 1

Gambar 5.3 merupakan pengujian *rectenna* yang dilakukan pada sebuah ruangan dengan konfigurasi *handphone* sebagai pemancar dan *rectenna* sebagai penerima sinyal. *Rectenna* kemudian menerima sinyal gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh *handphone*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak antara antenna horn dan *rectenna*, mulai dari 1 cm hingga 10 cm dengan interval setiap 1 cm, guna mengamati perubahan kinerja *rectenna* terhadap variasi jarak.

TABEL 10
Hasil pengujian rectenna 1

Jarak (cm)	Output Tegangan (mV)	
	Dioda BAS 40-04	Dioda 1N5711
1	31,9	80,8
2	10,9	57,2
3	10,1	67,7
4	18,6	72,9
5	14,5	106
6	5,9	108,9
7	4,7	129
8	3,1	108,6
9	11	81,1
10	15,9	67

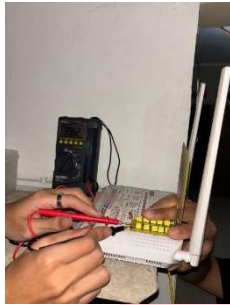
Berdasarkan hasil pengujian *rectenna* pada tabel 10 terhadap variasi jarak antara antenna horn dan *rectenna* dengan dua jenis dioda, yaitu BAS 40-04 dan 1N5711, diperoleh hasil yang menunjukkan adanya perbedaan kinerja yang signifikan antara keduanya. Pada dioda BAS 40-04, output tegangan yang dihasilkan cenderung fluktuatif dan tidak menunjukkan pola yang konsisten. Tegangan tertinggi tercatat pada jarak 1 cm sebesar 31,9 mV, sementara tegangan terendah terjadi pada jarak 8 cm sebesar 3,1 mV. Beberapa nilai tegangan mengalami kenaikan tiba-tiba pada jarak tertentu, seperti pada jarak 4 cm (18,6 mV) dan 10 cm (15,9 mV), yang diduga disebabkan oleh pantulan sinyal, dan interferensi lingkungan.

Sementara itu, penggunaan dioda 1N5711 menunjukkan performa yang jauh lebih baik dibandingkan BAS 40-04. Tegangan output yang dihasilkan relatif lebih tinggi dan cenderung lebih stabil meskipun terdapat fluktuasi kecil. Tegangan tertinggi dicapai pada jarak 7 cm sebesar 129 mV, sedangkan tegangan terendah tercatat pada jarak 2 cm sebesar 57,2 mV. Secara umum, dioda 1N5711 mampu mempertahankan output tegangan yang tinggi di hampir semua jarak pengujian, yang menunjukkan bahwa dioda ini memiliki karakteristik penyearahan sinyal frekuensi tinggi yang lebih efektif.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jenis dioda sangat mempengaruhi kinerja *rectenna* dalam menghasilkan

output tegangan. Dioda 1N5711 terbukti memberikan performa yang lebih optimal dibandingkan BAS 40-04 dalam konteks pengujian ini. Hal ini menjadikan dioda 1N5711 sebagai pilihan yang lebih tepat untuk digunakan pada sistem rectenna, terutama dalam aplikasi energy harvesting dari sinyal RF.

4.2 Hasil Pengujian Rectenna 2 (Wi-Fi)



GAMBAR 21
Pengujian rectenna 2

Gambar 13 merupakan pengujian rectenna yang dilakukan pada sebuah ruangan dengan konfigurasi Wi-Fi sebagai pemancar dan rectenna sebagai penerima sinyal. Rectenna kemudian menerima sinyal gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh Wi-Fi. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak antara antena horn dan rectenna, mulai dari 1 cm hingga 10 cm dengan interval setiap 1 cm, guna mengamati perubahan kinerja *rectenna* terhadap variasi jarak.

TABEL 11
Hasil pengujian rectenna 2

Jarak (cm)	Output Tegangan (mV)	
	Dioda BAS 40-04	Dioda 1N5711
1	239,8	396,2
2	99,3	334,9
3	69	369,8
4	28,2	55,3
5	22,9	51,5
6	20,1	66,3
7	178	43,9
8	120	174,2
9	99	189,5
10	65,6	52,4

Berdasarkan hasil pengujian rectenna pada tabel 11 dengan sumber sinyal dari Wi-Fi, diperoleh perbedaan kinerja yang cukup mencolok antara dua jenis dioda yang digunakan, yaitu BAS 40-04 dan 1N5711. Pada penggunaan dioda BAS 40-04, tegangan output tertinggi tercatat sebesar 239,8 mV pada jarak 1 cm. Namun, seiring bertambahnya jarak, tegangan output mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga mencapai 22,9 mV pada jarak 5 cm. Setelah jarak tersebut, tegangan menunjukkan fluktuasi, dengan kenaikan tak terduga seperti pada jarak 7 cm sebesar 178 mV dan 8 cm sebesar 120 mV. Perubahan ini kemungkinan disebabkan oleh pantulan sinyal atau gangguan interferensi di lingkungan pengujian.

Sementara itu, dioda 1N5711 menunjukkan performa yang jauh lebih baik dan stabil dalam menerima serta menyalurkan sinyal Wi-Fi. Pada jarak 1 cm, tegangan output mencapai 396,2 mV, dan meskipun terjadi sedikit penurunan pada jarak 2 cm dan 3 cm, nilainya tetap tinggi,

masing-masing sebesar 334,9 mV dan 369,8 mV. Tegangan memang mengalami penurunan di jarak 4 cm hingga 6 cm, tetapi kembali meningkat secara signifikan pada jarak 9 cm sebesar 189,5 mV. Konsistensi nilai output tegangan ini menunjukkan bahwa dioda 1N5711 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap sinyal frekuensi tinggi seperti Wi-Fi, bahkan ketika jarak dengan sumber sinyal semakin jauh.

Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa jenis dioda sangat memengaruhi performa rectenna. Dioda 1N5711 mampu menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan BAS 40-04. Oleh karena itu, dioda 1N5711 lebih direkomendasikan untuk digunakan dalam aplikasi rectenna berbasis sinyal Wi-Fi, terutama dalam skenario energi harvesting, karena lebih efisien dalam menangkap dan menyalurkan sinyal meskipun pada variasi jarak yang berbeda.

4.3 Rangkuman Hasil Pengujian

TABEL 12
Rangkuman hasil pengujian

Jarak (cm)	Output Tegangan (mV)				Tercapai/ Tidak Tercapai
	Handphone		Wi-Fi		
	BAS 40- 04	1N5711	BAS 40- 04	1N5711	
1	31,9	80,8	239,8	396,2	Tidak tercapai
2	10,9	57,2	99,3	334,9	Tidak tercapai
3	10,1	67,7	69	369,8	Tidak tercapai
4	18,6	72,9	28,2	55,3	Tidak tercapai
5	14,5	106	22,9	51,5	Tidak tercapai
6	5,9	108,9	20,1	66,3	Tidak tercapai
7	4,7	129	178	43,9	Tidak tercapai
8	3,1	108,6	120	174,2	Tidak tercapai
9	11	81,1	99	189,5	Tidak tercapai
10	15,9	67	65,6	52,4	Tidak tercapai

Berdasarkan tabel 12, dilakukan pengujian terhadap kinerja *rectenna* dalam menangkap dan mengubah gelombang RF menjadi energi listrik menggunakan handphone dan Wi-Fi sebagai sumber sinyal dengan rentang jarak yang berbeda. Hasil dari kedua pengujian menunjukkan bahwa *rectenna* mampu menghasilkan tegangan output, namun belum cukup untuk menyalakan LED secara langsung.

Salah satu faktor utama yang menyebabkan kegagalan LED menyala adalah keterbatasan komponen dioda penyearah yang digunakan dalam rangkaian *rectenna*. Akibatnya, meskipun sinyal dapat disalurkan, tegangan output yang dihasilkan tetap belum cukup untuk menyalakan LED. Dengan demikian, dari kedua hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun *rectenna* menunjukkan potensi dalam menangkap dan mengubah sinyal RF menjadi energi listrik, kinerjanya sangat tergantung pada pemilihan

komponen penyearah. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan efisiensi *rectenna*, baik dari sisi optimasi antena, pemilihan komponen yang lebih optimal, pengembangan desain rangkaian maupun penggunaan penyearah bertingkat yang lebih kompleks agar meningkatkan tegangan output mencapai ambang minimum yang dibutuhkan oleh beban.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian sistem Wireless Power Transfer (WPT) menggunakan antena mikrostrip yang terintegrasi dengan rectifier untuk menyalakan lampu LED telah berhasil dilakukan melalui tahapan perancangan, simulasi, dan pengujian. Antena mikrostrip berhasil dirancang dan dikembangkan untuk beroperasi pada rentang frekuensi 1,8 GHz hingga 2,4 GHz dengan rangkaian rectifier yang disimulasikan untuk konversi sinyal RF menjadi DC. Meskipun sistem *rectenna* mampu menghasilkan tegangan output dari gelombang RF, hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan belum cukup memadai untuk menyalakan lampu LED secara langsung dan konsisten, yang disebabkan oleh keterbatasan dioda penyearah yang digunakan pada rangkaian *rectenna* sehingga tegangan output belum mencukupi kebutuhan beban.

Dari sisi performa antena, optimalisasi desain melalui simulasi berhasil meningkatkan return loss hingga memenuhi spesifikasi dengan nilai -16,423 dB pada frekuensi 1,8 GHz dan -15,695 dB pada frekuensi 2,4 GHz. Gain simulasi juga berhasil mencapai target spesifikasi dengan nilai 2,076 dBi pada 1,8 GHz dan 2,007 dBi pada 2,4 GHz. Namun, hasil realisasi menunjukkan perbedaan dengan simulasi, dimana return loss masih memenuhi spesifikasi dengan nilai -11,345 dB pada 1,8 GHz dan -13,763 dB pada 2,4 GHz, tetapi gain realisasi mengalami penurunan menjadi 1,7131 dBi pada 1,8 GHz dan 1,6913 dBi pada 2,4 GHz yang tidak mencapai target yang diinginkan.

Karakteristik pola radiasi antena menunjukkan hasil yang konsisten antara simulasi dan realisasi, yaitu omnidireksional sesuai dengan target spesifikasi yang ditetapkan. Akan tetapi, terjadi perubahan signifikan pada karakteristik polarisasi antena, dimana polarisasi yang ditargetkan linear berubah

menjadi elips pada hasil realisasi akibat modifikasi *groundplane* dan penambahan slot. Perubahan ini menyebabkan terjadinya cross polarization dan penurunan efisiensi penerimaan daya, yang turut berkontribusi pada tidak optimalnya kinerja sistem *rectenna* secara keseluruhan dalam aplikasi wireless power transfer untuk menyalakan LED.

REFERENSI

- [1] T. Tidwell, "Membongkar Rahasia Transfer Daya Nirkabel: Teknologi, Manfaat, dan Keterbatasannya." Accessed: Jul. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.nemko.com/blog/wireless-power-transfer>
- [2] C. A. Balanis, "[ENG_C.A.Balanis]_Antenna.Theory.Analysis.and .Design_2ed_(Wiley_1997).pdf," 1997.
- [3] L. Aprilita, "Pengertian Rectifier." Accessed: Jun. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/514799729/Pengertian-Rectifier>
- [4] N. Mustofa, D. Jatmiko, and E. Suseno, "Studi Rectenna (Rectifier Antenna) Untuk Mengubah Gelombang Elektromagnetik Rf Menjadi Sumber Tegangan Dc," *Youngster Phys. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 27–34, 2016.
- [5] C. Mukta, M. Rahman, and A. Z. M. T. Islam, "Design of a Compact Circular Microstrip Patch Antenna for WLAN Applications," *Int. J. AdHoc Netw. Syst.*, vol. 11, no. 03, pp. 01–11, 2021, doi: 10.5121/ijans.2021.11301.
- [6] M. Kuwazuru and M. Nunokawa, "Design of an Ultrawideband," vol. 56, no. 2, pp. 430–434, 2014.