

Penggunaan Rectifier dan DC-DC Step Down pada Sistem Wireless Power Transfer untuk IoT

1st Azahra Meidira Nur Suryana Putri
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
azahrameidira@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Levy Olivia Nur
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3rd Dhoni Putra Setiawan
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
setiawandhoni@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Wireless Power Transfer (WPT) adalah teknologi yang memanfaatkan induksi elektromagnetik untuk mentransfer daya tanpa kabel. Pada sistem ini, tegangan yang diterima oleh kumpulan penerima masih berbentuk AC sehingga memerlukan proses penyearahan dan penyesuaian tegangan agar sesuai dengan kebutuhan perangkat Internet of Things (IoT). Komponen utama yang digunakan adalah *full-wave bridge rectifier* dan *DC-DC step down converter* berbasis LM2596. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *rectifier* mampu mengubah tegangan AC sebesar 7,12 V menjadi tegangan DC sebesar 8,76 V dengan riak tegangan rendah. Selanjutnya, *buck converter* menurunkan tegangan DC tersebut menjadi 5,00 V yang stabil, sesuai kebutuhan modul IoT.

Kata kunci— *Wireless Power Transfer, Rectifier, DC-DC Step Down, IoT, Buck Converter*

I. PENDAHULUAN

Penerapan teknologi Wireless Power Transfer (WPT) semakin meluas dalam mendukung sistem Internet of Things (IoT), terutama pada perangkat yang ditempatkan di lokasi sulit dijangkau[1]. WPT memanfaatkan induksi elektromagnetik untuk mentransfer daya secara nirkabel, mengurangi ketergantungan pada kabel fisik dan mempermudah proses pengisian daya perangkat.

Namun, tegangan keluaran dari kumpulan penerima WPT masih berbentuk AC, sehingga diperlukan proses penyearahan menggunakan *rectifier*. Selain itu, tegangan DC hasil penyearahan sering kali tidak sesuai dengan spesifikasi perangkat IoT. Oleh karena itu, diperlukan *DC-DC step down converter* untuk menurunkan tegangan dengan efisiensi tinggi dan kestabilan yang baik. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja *full-wave bridge rectifier* dan *buck converter* dalam sistem WPT untuk memastikan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan modul IoT.

II. KAJIAN TEORI

A. Wireless Power Transfer

Wireless Power Transfer (WPT) Wireless Power Transfer (WPT) adalah teknologi yang memungkinkan transfer daya listrik tanpa media kabel dengan memanfaatkan medan elektromagnetik yang dihasilkan melalui induksi magnetik[2]. Prinsip kerjanya dimulai dari kumpulan pengirim (*transmitter coil*) yang mengubah energi listrik menjadi medan magnet, kemudian medan ini ditangkap oleh kumpulan penerima (*receiver coil*) untuk dikonversi kembali

menjadi energi listrik. Teknologi WPT telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengisian perangkat elektronik portabel, perangkat Internet of Things (IoT), kendaraan listrik, dan sistem sensor jarak jauh. Keunggulan utama WPT adalah kemampuannya memberikan suplai daya tanpa koneksi fisik, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi keausan pada konektor mekanis[3][4].

B. Rectifier

Rectifier adalah rangkaian yang berfungsi mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC), yang dibutuhkan oleh sebagian besar rangkaian elektronik. Terdapat beberapa jenis penyearah, seperti *half-wave rectifier*, *full-wave center tap rectifier*, dan *full-wave bridge rectifier*. Dalam penelitian ini digunakan *full-wave bridge rectifier* yang tersusun dari empat buah dioda dalam konfigurasi jembatan. Rangkaian ini mampu memanfaatkan kedua sisi gelombang AC untuk menghasilkan tegangan DC dengan riak yang lebih rendah dibandingkan penyearah setengah gelombang. Prinsip kerjanya adalah pada setengah siklus positif dua dioda aktif menghantarkan arus, sedangkan dua dioda lainnya non-aktif, dan pada setengah siklus negatif, dua dioda yang sebelumnya non-aktif menjadi aktif, namun arus keluaran tetap searah. Untuk mendapatkan tegangan DC yang lebih stabil, sebuah kapasitor filter dipasang pada bagian keluaran untuk menyimpan muatan pada puncak gelombang dan melepaskannya saat tegangan mulai menurun.

C. DC-DC step down converter

DC-DC step down converter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC masukan menjadi tegangan DC keluaran yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan beban. Pada penelitian ini digunakan buck converter berbasis IC LM2596 yang memiliki efisiensi konversi tinggi dan kestabilan tegangan yang baik. Prinsip kerjanya adalah menyimpan energi dalam induktor ketika saklar internal IC aktif (*on*), kemudian melepaskan energi tersebut ke beban melalui dioda ketika saklar non-aktif (*off*). Tegangan keluaran dapat diatur dengan mengubah *duty cycle* sinyal PWM yang mengendalikan saklar. Komponen utama buck converter meliputi saklar elektronik, induktor, dioda, dan kapasitor keluaran. Keunggulan utama buck converter adalah efisiensinya yang dapat mencapai 80–95% serta

kemampuannya memberikan tegangan yang stabil dan rendah riak, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang memerlukan suplai daya presisi seperti modul IoT pada sistem WPT.

D. Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem adalah perbandingan antara daya keluaran (*output power*) dan daya masukan (*input power*) yang dinyatakan dalam persen. Nilai ini menunjukkan seberapa besar daya yang diterima beban dibandingkan dengan daya yang disuplai dari sumber. Rumus efisiensi dapat dituliskan sebagai:

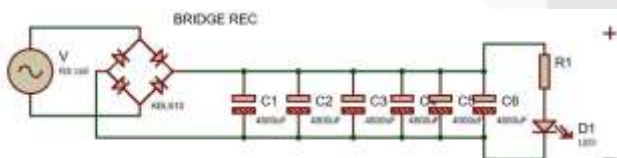
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Pada sistem WPT, rugi daya dapat terjadi di tahap induksi elektromagnetik, proses penyearahan (*rectifier*), dan konversi DC-DC (*buck converter*). Faktor penyebab rugi daya antara lain *forward voltage drop* pada dioda rectifier, rugi tembaga pada induktor, rugi switching, dan disipasi panas pada komponen. Dengan desain yang tepat, *full-wave bridge rectifier* dapat mencapai efisiensi di atas 90%, sementara buck converter berbasis IC LM2596 dapat mencapai efisiensi 85–95% pada beban optimal. Efisiensi total sistem merupakan hasil perkalian efisiensi dari setiap tahap konversi, sehingga optimasi pada masing-masing tahap sangat penting untuk memaksimalkan daya yang diterima oleh perangkat IoT.

III. METODE

1. Rectifier

Rangkaian penyearah *full-wave bridge* pada sistem WPT berfungsi mengubah tegangan AC yang diterima *coil* penerima menjadi tegangan DC yang stabil untuk proses pengisian baterai. Proses penyearahan dilakukan menggunakan modul KBL610 yang terhubung dengan enam kapasitor elektrolit berkapasitansi total 28.800 μF , sehingga mampu menghasilkan keluaran yang lebih halus. Untuk memastikan kualitas daya, rangkaian dilengkapi LED indikator sebagai penanda ketersediaan tegangan DC, serta kapasitor *bypass* 0,1 μF yang berperan meredam derau frekuensi tinggi. Berikut merupakan skematik dari rangkaian *rectifier* yang digunakan dalam sistem, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

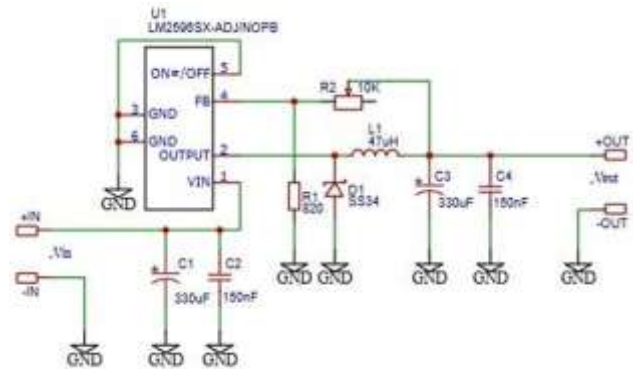


Gambar 1. Skematik rangkaian *rectifier*.

2. DC-DC Stepdown Converter

Stepdown DC-DC converter adalah rangkaian elektronika daya yang menurunkan tegangan DC *input* menjadi tegangan *output* DC yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. Menggunakan IC LM2596, induktor, dioda, dan kapasitor, energi dialirkan dalam bentuk pulsa dan diratakan oleh filter

LC. Saklar berfrekuensi tinggi mengatur durasi pengisian dan pelepasan energi ke beban untuk menghasilkan tegangan *output* sesuai kebutuhan.



Gambar 2. Skematik DC-DC Step down converter.

Gambar 2 menunjukkan skematik *step-down converter* dengan IC LM2596 sebagai regulator utama. Tegangan *input* difilter, lalu dikendalikan oleh LM2596 melalui induktor dan distabilkan oleh kapasitor. Dioda zener menjaga arus saat *switching* mati, dan resistor dengan pin *feedback* mengatur tegangan *output* secara presisi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tegangan dan Arus dari Output Rectifier

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, sistem diuji menggunakan lima transmitter dan dua jenis receiver dengan variasi diameter kawat (0,3 mm dan 0,6 mm), jumlah lilitan, dan jarak antar kumparan (0–20 cm). Jumlah lilitan pada transmitter divariasikan sebanyak 50, 300, dan 400, sedangkan pada receiver disesuaikan dengan diameter kawat. Seluruh kombinasi diuji menggunakan multimeter, dan hasil pengujian disajikan sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian diameter kawat Rx 0,3mm dengan Tx 300 lilitan (0,3 mm).

Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW) I x V
	Transmitter	Receiver				
0,3	200		0	16	15	240
			5	4	2,2	8,8
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		250	0	16,5	10,4	171,6
			5	4,5	2,3	10,35
			10	2,6	0,8	2,08
			15	0	0	0
			20	0	0	0
	300		0	13,4	9,1	121,94
			5	3,8	1,7	6,46
			10	2,6	0,5	1,3
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		350	0	11,5	9,6	110,4
			5	3,4	1	3,4
			10	2,2	0,2	0,44
			15	1,9	0,1	0,19
			20	1,8	0,1	0,18
	400		0	8,8	6,4	56,32
			5	2,9	0,8	2,32
			10	2	0,1	0,2
			15	1,8	0,1	0,18
		450	0	1,6	0,01	0,016

Tabel 2. Pengujian diameter kawat Rx 0,3mm dengan Tx 400 lilitan (0,3 mm).

Diameter kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt) IsV
	Transmitter	Receiver				
0,3	400	200	0	12,7	10,8	137,16
			5	4	1,7	6,8
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		250	0	11,7	9,2	128,04
			5	5,2	1,3	6,76
			10	2,4	0,01	0,024
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		300	0	13	5,2	67,6
			5	3,5	1	3,5
			10	2,4	0,3	0,72
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		350	0	9	4,8	43,2
			5	3	0,9	2,7
			10	2,1	0,2	0,42
			15	1,8	0,1	0,18
			20	1,7	0,001	0,0017
		400	0	7,6	4,6	34,96
			5	3,1	0,6	1,86
			10	1,9	0,3	0,19
			15	1,7	0,1	0,17
			20	0	0	0

Tabel 3. Pengujian diameter kawat Rx 0,6mm dengan Tx 300 lilitan (0,3 mm).

Diameter kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt) IsV
	Transmitter	Receiver				
0,6	300 (Tx=0,3mm)	50	0	2,5	6	15
			5	0	0	0
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		100	0	7	27,2	136
			5	2,2	0,001	0,0022
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		150	0	8,8	29,5	242
			5	3	0,001	0,003
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		200	0	14	20	280
			5	4,8	3,3	15,84
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		250	0	16,5	12,7	208,55
			5	5,1	2,6	13,26
			10	1,7	0,001	0,0017
			15	0	0	0
			20	0	0	0

Tabel 4. Pengujian diameter kawat Rx 0,6mm dengan Tx 100 lilitan (0,6 mm).

Diameter kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt) IsV
	Transmitter	Receiver				
0,6	100	50	0	9,1	21,1	190,1
			5	2,4	28	67,2
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		100	0	17,7	103,8	1837,26
			5	7,8	16,3	111,94
			10	1,9	8,1	13,39
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		150	0	27,7	70,2	1944,54
			5	10	14,7	147
			10	2,6	5,3	13,78
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		200	0	39,6	23	2098,8
			5	14,8	9,8	146,52
			10	5,8	3,3	19,14
			15	1,6	0,001	0,0016
			20	0	0	0
		250	0	41	30	1990
			5	10,9	7,6	82,84
			10	5	2,5	12,5
			15	3,2	1	3,2
			20	0	0	0

Tabel 5. Pengujian diameter kawat Rx 0,6mm dengan Tx 50 lilitan (0,6 mm).

Diameter kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt) IsV
	Transmitter	Receiver				
0,6	50	50	0	16,12	373	6012,76
			5	3,3	99	194,7
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		100	0	38	188,2	6958,8
			5	7,4	20,9	151,7
			10	1,7	7,7	13,09
			15	1,45	0,001	0,00145
			20	0	0	0
		150	0	74	188,8	6992,6
			5	15,37	15,8	242,846
			10	4,5	6,6	28,7
			15	1,5	2,7	4,05
			20	0	0	0
		200	0	55,9	70,2	4427,28
			5	16,22	11,3	205,886
			10	6,5	4,4	28,6
			15	1,7	0,9	3,23
			20	0	0	0
		250	0	54,7	58,2	3183,54
			5	16,20	7,6	120,828
			10	8,90	3,1	23,658
			15	3,8	1,5	5,7
			20	2,76	0,7	1,932

 : coil yang dipilih
 : coil dengan daya terbesar

Pengujian menunjukkan daya tertinggi 6,09 Watt dicapai pada konfigurasi *transmitter* 50 lilitan dan *receiver* 150 lilitan (diameter kawat 0,6 mm) pada jarak 0 cm, dengan tegangan 56 Volt dan arus 108,8 mA. Rentang 100–150 lilitan *receiver* memberikan efisiensi terbaik, sedangkan lilitan lebih sedikit atau lebih banyak menghasilkan daya lebih rendah akibat peningkatan resistansi dan ketidaksesuaian impedansi. Efisiensi sangat tinggi pada jarak 0–5 cm, menurun drastis setelah 10 cm, dan hampir nol di atas 15 cm, menegaskan pentingnya kombinasi lilitan dan jarak yang tepat untuk kinerja optimal sistem WPT.

Berdasarkan perhitungan teoritis, sistem WPT dengan konfigurasi coil *transmitter* 50 lilitan dan *receiver* 100 lilitan (diameter 12 cm, kawat 0,6 mm) pada frekuensi resonansi 14,4 kHz dan koefisien kopling $k=0,4k=0,4$ diprediksi menghasilkan tegangan RMS sebesar 22,87 V. Perhitungan ini dilakukan dengan prinsip induksi elektromagnetik dan *mutual inductance*, sebagai berikut:

Tabel 6. Parameter perhitungan teoritis.

Parameter	Nilai
Induksi Transmitter (L_{Tx})	709 μ H
Induksi Receiver (L_{Rx})	2,3 mH
Koefisien Kopling (k)	0,4
Frekuensi Kerja (f)	14,4 kHz
Arus Pemancar (I_0)	0,7 A

Sehingga:

- Mutual induktansi

$$M = 0,4 \sqrt{709 \times 10^{-6} \times 2,3 \times 10^{-3}} \approx 0,511 \text{ mH} \quad (2)$$

- Turunan Arus

$$I(t) = 0,7 \sin(2\pi ft) = 63318,5 \cos(2\pi ft) \quad (3)$$

- Tegangan induktansi

$$V(t) = M \cdot \frac{dI}{dt} = 0,511 \times 10^{-3} \times 63318,5 \cos(2\pi ft) \quad (4)$$

$$V(t) = 32,36 \cos(2\pi ft) \rightarrow V_{\text{peak}} = 32,36 \text{ V}$$

- Tegangan RMS

$$V_{\text{RMS}} = \frac{V_{\text{peak}}}{\sqrt{2}} = \frac{32,36}{\sqrt{2}} = 22,87 \text{ V} \quad (5)$$

Hasil pengujian aktual menggunakan konfigurasi coil yang sama menghasilkan tegangan sebesar 35 V DC pada jarak 0 cm setelah melalui proses penyearahan menggunakan *full-wave bridge rectifier*. Nilai ini lebih tinggi dari prediksi teoritis, kemungkinan akibat nilai koefisien kopling aktual yang lebih besar dari asumsi awal karena jarak antar coil yang sangat dekat dan posisi sejajar.

Perbandingan ini menunjukkan bahwa desain teoritis cukup merepresentasikan kinerja sistem, namun kondisi aktual dapat menghasilkan performa lebih tinggi. Proses penyearahan pada rectifier berperan penting dalam menghasilkan tegangan DC yang lebih besar dan stabil sebelum tahap penurunan tegangan oleh DC-DC step down untuk memenuhi kebutuhan beban IoT.

B. Analisis Efisiensi Output Rectifier

Dalam pengujian ini, efisiensi sistem WPT dievaluasi berdasarkan variasi jumlah lilitan pada kumparan pemancar dan penerima. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan membandingkan daya keluaran yang dihasilkan oleh kumparan penerima terhadap daya masukan yang diberikan pada kumparan pemancar. P_{in} dan P_{out} merupakan daya input yang dihitung berdasarkan Hukum Ohm dengan persamaan perhitungan daya. Untuk mengetahui daya input dan output diperlukan nilai tegangan (V) dan arus (I). Input tegangan sebesar 12V dengan input arus yang dibutuhkan inverter sebesar 0,7 A atau 700 mA. Sehingga perhitungan daya input sebagai berikut:

$$P_{\text{IN}} = V_{\text{IN}} \times I_{\text{IN}}$$

$$P_{\text{IN}} = 12 \text{ V} \times 700 \text{ mA}$$

$$P_{\text{IN}} = 8400 \text{ mW}$$

Daya input sebesar 8400 mW, akan dibandingkan dengan daya output hasil dari pengujian tegangan dan arus

yang dihasilkan dari masing-masing coil untuk menghasilkan persentase efisiensi dari masing-masing pengujian.

Tabel 1. Efisiensi kawat Rx 0,3mm dengan Tx 300 lilitan (0,3 mm).

Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Daya (mW)		Efisiensi
	Transmitter	Receiver		Input	Output	
0,3	300	200	0	8400	240	2.857
			5	8400	8.8	0.105
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		250	0	8400	171.6	2.043
			5	8400	10.35	0.123
			10	8400	2.08	0.025
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		300	0	8400	121.94	1.452
			5	8400	6.46	0.077
			10	8400	1.3	0.015
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		350	0	8400	110.4	1.314
			5	8400	3.4	0.04
			10	8400	0.44	0.005
			15	8400	0.19	0.002
			20	8400	0.18	0.002
		400	0	8400	36.32	0.07
			5	8400	2.32	0.028
			10	8400	0.2	0.002
			15	8400	0.18	0.002
			20	8400	0.016	0

Tabel 2. Efisiensi kawat Rx 0,3mm dengan Tx 400 lilitan (0,3 mm).

Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Daya (mW)		Efisiensi
	Transmitter	Receiver		Input	Output	
0,3	400	200	0	8400	137.16	1.633
			5	8400	6.8	0.081
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		250	0	8400	126.04	1.500
			5	8400	6.76	0.08
			10	8400	0.024	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		300	0	8400	67.6	0.805
			5	8400	3.5	0.042
			10	8400	0.72	0.009
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		350	0	8400	43.2	0.514
			5	8400	2.7	0.032
			10	8400	0.42	0.005
			15	8400	0.18	0.002
			20	8400	0.0017	0
		400	0	8400	34.96	0.416
			5	8400	1.86	0.022
			10	8400	0.19	0.002
			15	8400	0.17	0.002
			20	8400	0	0

Tabel 3. Efisiensi kawat Rx 0,6mm dengan Tx 300 lilitan (0,3 mm).

Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Daya (mW)		Efisiensi
	Transmitter	Receiver		Input	Output	
0,6	300 (Tx=0,3mm)	50	0	8400	15	0,176
			5	8400	0	0
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		100	0	8400	136	1,619
			5	8400	0,0022	0
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		150	0	8400	242	2,881
			5	8400	0,003	0
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		200	0	8400	200	3,333
			5	8400	15,84	0,189
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		250	0	8400	209,55	2,495
			5	8400	17,26	0,158
			10	8400	0,0017	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0

Tabel 4. Efisiensi kawat Rx 0,6mm dengan Tx 100 lilitan (0,6 mm).

Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Daya (mW)		Efisiensi
	Transmitter	Receiver		Input	Output	
0,6	100	50	0	8400	1920,1	22,858
			5	8400	67,2	0,8
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		100	0	8400	1837,26	21,872
			5	8400	111,94	1,333
			10	8400	18,39	0,183
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		150	0	8400	1944,54	23,149
			5	8400	147	1,75
			10	8400	13,78	0,164
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		200	0	8400	2088,8	24,986
			5	8400	146,52	1,744
			10	8400	19,14	0,228
			15	8400	0,0016	0
			20	8400	0	0
		250	0	8400	1599	19,016
			5	8400	82,84	0,986
			10	8400	12,8	0,149
			15	8400	3,2	0,038
			20	8400	0	0

Tabel 5. Efisiensi kawat Rx 0,6mm dengan Tx 50 lilitan (0,6 mm).

Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan		Jarak (cm)	Daya (mW)		Efisiensi
	Transmitter	Receiver		Input	Output	
0,6	50	50	0	8400	6012,76	71,58
			5	8400	194,7	2,318
			10	8400	0	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
		100	0	8400	5575,5	66,375
			5	8400	151,7	1,806
			10	8400	13,09	0,156
			15	8400	0,00145	0
			20	8400	0	0
		150	0	8400	8092,8	92,533
			5	8400	242,846	2,891
			10	8400	29,7	0,354
			15	8400	4,03	0,048
			20	8400	0	0
		200	0	8400	4427,28	52,596
			5	8400	205,886	2,451
			10	8400	28,8	0,34
			15	8400	3,23	0,038
			20	8400	0	0
		250	0	8400	3183,54	37,899
			5	8400	126,828	1,51
			10	8400	21,678	0,258
			15	8400	5,7	0,068
			20	8400	1,932	0,023

Hasil pengujian menunjukkan jumlah lilitan kumparan *receiver* sangat memengaruhi efisiensi dan stabilitas sistem WPT. Dengan diameter kawat 0,6 mm dan *transmitter* 100 lilitan, efisiensi mencapai 66,38% pada jarak 0 cm, menurun lebih landai dibanding konfigurasi lilitan terlalu sedikit atau terlalu banyak. Jumlah lilitan moderat menjaga keseimbangan induktansi dan resistansi, sehingga rugi daya berkurang dan bentuk *coil* tetap rapi.

Konfigurasi terbaik diperoleh pada *transmitter* 50 lilitan dan *receiver* 150 lilitan (diameter kawat 0,6 mm, diameter *coil* 12,2 cm), menghasilkan daya *output* 6,1 Watt dari *input* 8,4 Watt. Efisiensi dihitung menggunakan persamaan 6 seperti berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\eta = \frac{6,1}{8,4} \times 100\% = 72,6\%$$

Kehilangan daya sebesar 2,3 Watt disebabkan rugi *switching* pada rangkaian ZVS, rugi induktif pada kumparan, serta konversi daya pada penyearah dan regulator, yang masih dapat dikurangi melalui optimasi resonansi dan penyalarsan posisi kumparan.

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem Wireless Power Transfer (WPT) dengan rectifier full-wave bridge dan buck converter LM2596 mampu menghasilkan output DC yang stabil dan sesuai untuk perangkat IoT. Tegangan AC hasil induksi sebesar 7,12 V berhasil disearahkan menjadi 8,76 V DC dengan riak rendah, kemudian diturunkan menjadi tegangan stabil 5,00 V oleh buck converter. Konfigurasi paling efisien diperoleh pada transmitter 50 lilitan dan receiver 150 lilitan (kawat 0,6 mm) dengan output daya 6,1 Watt dan efisiensi mencapai 72,6%. Performa sistem sangat dipengaruhi oleh desain kumparan dan jarak antar coil, sehingga penyusunan fisik dan tuning resonansi menjadi kunci keberhasilan transfer daya nirkabel yang efisien untuk aplikasi IoT.

REFERENSI

- [1] J. K. S. Jadon and R. Singh, "Challenges and Opportunities of Internet of Things in Smart Agriculture: A Review," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 653–662. doi: 10.1007/978-981-16-9488-2_62.
- [2] Takehiro Imura, *Wireless Power Transfer Using Magnetic and Electric Resonance Coupling Techniques*. Springer Nature Singapore, 2020.
- [3] Ecc, "Non-beam Wireless Power Transmission (WPT) applications other than WPT-EV operating in various frequency bands below 30 MHz."
- [4] I. Radiocommunication Bureau, "REPORT ITU-R SM.2392-1 - Applications of wireless power transmission via radio frequency beam," 2016. [Online]. Available: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>

