

Desain dan Implementasi Kumputan Transmitter-Receiver pada Sistem Wireless Power Transfer untuk Perangkat IoT

1st Naila Mada Amani

School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
nailamadaa@student.telkomuniversity.
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 — Kumputan (*coil*) merupakan komponen utama pada sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis *Magnetic Resonance Coupling* (MRC) yang menentukan efisiensi transfer daya antara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Penelitian ini berfokus pada perancangan dan analisis *coil multilayer* untuk mendukung suplai daya perangkat *Internet of Things* (IoT). Metode yang digunakan meliputi pembuatan *coil* dengan variasi diameter kawat (0,3 mm dan 0,6 mm) serta jumlah lilitan (50, 100, 300, dan 400 lilitan) pada diameter *coil* 12,2 cm. Setiap konfigurasi diuji pada jarak transfer 0–20 cm untuk mengukur tegangan *output*, arus, dan efisiensi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi *coil transmitter* 50 lilitan dan *receiver* 150 lilitan dengan kawat berdiameter 0,6 mm menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 72,6% pada frekuensi resonansi 14,4 kHz dengan daya transfer 6,1 Watt. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan parameter fisik *coil* berpengaruh signifikan terhadap kinerja sistem WPT, sehingga desain *coil* yang tepat dapat meningkatkan keandalan suplai daya untuk perangkat IoT.

Kata kunci— *coil*, *Wireless Power Transfer*, *Magnetic Resonance Coupling*, *Internet of Things*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) mendorong penerapan sistem cerdas untuk meningkatkan efisiensi pemantauan dan pengelolaan berbagai aspek kehidupan. Perangkat IoT seperti sensor suhu, kelembapan, dan perangkat pemantau lainnya sering ditempatkan di lokasi sulit dijangkau, sehingga menghadapi kendala suplai daya. Baterai konvensional memiliki kapasitas terbatas dan memerlukan penggantian rutin, sementara penggunaan kabel dapat mengganggu instalasi serta membatasi fleksibilitas penempatan perangkat.

Salah satu solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT) yang mentransfer energi listrik tanpa kabel melalui medan elektromagnetik. Sistem WPT berbasis *Magnetic Resonance Coupling* (MRC) cocok untuk perangkat berdaya rendah seperti IoT karena efisien pada jarak dekat. Dalam sistem ini, kumparan (*coil*) berperan penting sebagai penghubung energi antara pemancar (*transmitter coil*) yang mengubah arus

listrik menjadi medan magnet, dan penerima (*receiver coil*) yang mengubah kembali medan magnet menjadi energi listrik yang dapat digunakan perangkat.

Kinerja *coil* dipengaruhi oleh parameter fisik seperti diameter kawat, jumlah lilitan, diameter kumparan, dan jarak antar-*coil*. Pemilihan parameter yang tepat dapat meningkatkan *mutual inductance*, *coupling coefficient*, dan efisiensi transfer daya. Penelitian ini memfokuskan pada perancangan dan analisis *coil multilayer* dengan variasi diameter kawat dan jumlah lilitan untuk mengetahui konfigurasi yang menghasilkan efisiensi terbaik pada sistem WPT untuk aplikasi IoT. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan desain *coil* yang andal dan mendukung pengoperasian perangkat IoT secara berkelanjutan tanpa sering mengganti baterai.

II. KAJIAN TEORI

A. *Wireless Power Transfer* (WPT)

Wireless Power Transfer (WPT) adalah teknologi transfer energi listrik tanpa kabel melalui medan elektromagnetik. Dua metode utamanya adalah kopling induktif dan kopling resonansi elektromagnetik[1], yang keduanya menggunakan kumparan *transmitter* dan *receiver* sebagai komponen utama. *Transmitter coil* mengubah arus menjadi medan magnet, sedangkan *receiver coil* menangkap medan tersebut dan mengubahnya kembali menjadi listrik.

B. Prinsip Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah proses timbulnya Gaya Gerak Listrik (GGL) akibat perubahan fluks magnetik di sekitar penghantar, sebagaimana dijelaskan oleh Hukum Faraday dan Hukum Lenz[2]. Menurut Hukum Faraday, tegangan induksi pada kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnet yang melaluinya[3], dituliskan pada persamaan (1) berikut.

$$\varepsilon = -N \times \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Hukum Lenz menyatakan bahwa arah arus induksi selalu melawan perubahan fluks magnet penyebabnya[2]. Prinsip

ini menjelaskan mekanisme transfer daya pada WPT, di mana perubahan medan magnet pada *transmitter coil* menghasilkan tegangan induksi pada *receiver coil*.

C. Resonansi LC (*LC Tank*)

Resonansi LC terjadi ketika kumparan (induktor) dan kapasitor diatur sedemikian rupa sehingga berosilasi pada frekuensi tertentu. Frekuensi resonansi ini ditentukan oleh nilai induktansi (L) dan kapasitansi (C) dari rangkaian LC, dengan rumus sebagai berikut:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Kesesuaian frekuensi resonansi antara *transmitter* dan *receiver* sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi WPT. Ketidakesesuaian (*mismatch*) dapat menyebabkan penurunan daya signifikan dan efisiensi rendah[4].

D. Hukum Ohm

Hukum Ohm menjelaskan besarnya kuat arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatannya[5]. Persamaan Hukum Ohm dituliskan sebagai berikut.

$$V = I \times R \quad (3)$$

Pada persamaan (3) tersebut, V adalah tegangan listrik (volt), I adalah arus listrik (ampere), dan R adalah hambatan listrik (ohm). Dalam sistem WPT, Hukum Ohm digunakan untuk menganalisis hubungan tegangan, arus, dan hambatan pada kumparan, di mana hambatan akibat resistansi kawat tembaga memengaruhi daya yang ditransfer.

E. Medan Magnet

Medan magnet berperan penting dalam berbagai aplikasi teknologi dan biasanya dihasilkan oleh kumparan berarus listrik. Kumparan *Helmholtz* biasanya sering digunakan untuk menghasilkan medan magnet seragam, meskipun terbatas pada volume kecil[6]. Pada sistem *Wireless Power Transfer* (WPT), *coil* dirancang untuk menciptakan medan magnet optimal agar energi dapat ditransfer secara efisien dari *transmitter coil* ke *receiver coil*.

F. Kopling Magnetik

Kopling magnetik adalah mekanisme transfer energi antara dua kumparan melalui medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik pada kumparan *transmitter*[7]. Efektivitas kopling ditentukan oleh koefisien kopling (*coupling coefficient*), yang dipengaruhi oleh jarak, orientasi, ukuran, dan bentuk kumparan. Dalam sistem *Wireless Power Transfer* (WPT), kopling magnetik yang optimal memungkinkan transfer daya yang lebih efisien, sedangkan kopling yang lemah akan menyebabkan rugi-rugi energi dan menurunkan kinerja sistem.

G. Impedansi

Impedansi adalah hambatan total yang dialami arus listrik pada rangkaian arus bolak-balik (AC), yang merupakan kombinasi resistansi dan reaktansi. Nilai impedansi dipengaruhi oleh frekuensi sinyal, induktansi, dan kapasitansi rangkaian, sehingga dapat berbeda pada setiap kondisi

operasi. Dalam sistem *Wireless Power Transfer* (WPT), kesesuaian impedansi antara *transmitter* dan *receiver* sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi transfer daya dan meminimalkan rugi-rugi energi.

H. Mutual Inductance

Dalam konteks sistem *Wireless Power Transfer* (WPT), dua kumparan yang tidak terhubung langsung saling mempengaruhi melalui medan magnet, di mana perubahan arus pada kumparan pengirim menghasilkan fluks magnet yang memotong kumparan penerima[3]. Berdasarkan Hukum Faraday, interaksi ini dinyatakan dalam bentuk yang melibatkan *mutual inductance*.

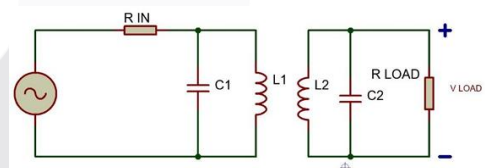
III. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisis kinerja *coil* pada sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis resonansi induktif. Tujuannya adalah menentukan konfigurasi *coil transmitter* dan *receiver* yang menghasilkan daya serta efisiensi transfer tertinggi pada jarak tertentu. Parameter utama yang divariasikan adalah jumlah lilitan, diameter kawat, dan jarak antar-*coil*.

B. Rancangan Coil

Sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) ini menggunakan kumparan (*coil*) dari *copper wire* karena konduktivitasnya tinggi, mudah diperoleh, tahan secara mekanis, dan lebih efisien dibanding bahan seperti aluminium. Model *multilayer coil* dipilih untuk meningkatkan kepadatan lilitan dan kopling magnetik, sehingga transfer daya lebih stabil. Gangguan akibat kapasitansi antar-lapisan diminimalkan melalui desain dan isolasi yang tepat, dengan keunggulan tetap mudah dibuat dan dianalisis untuk pengujian maupun pengembangan.



Gambar 1. Skematik *coil*.

Gambar 1 menunjukkan skematik rangkaian WPT berbasis resonansi induktif, dengan sisi *transmitter* berisi R_{IN} , C_1 , dan L_1 , serta sisi *receiver* berisi L_2 , C_2 , dan R_{LOAD} . Kedua sisi membentuk rangkaian LC resonansi paralel yang disetel pada frekuensi sama untuk memaksimalkan efisiensi transfer daya nirkabel. Tegangan keluaran pada R_{LOAD} dihasilkan melalui kopling magnetik antara kumparan L_1 dan L_2 .

C. Spesifikasi Coil

Pada sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) ini, *coil* berperan sebagai elemen utama transfer daya induktif yang terdiri dari *transmitter coil* untuk memancarkan daya dan *receiver coil* untuk menerimanya. Seluruh *coil* memiliki diameter lingkaran 12 cm guna menjaga keseragaman karakteristik geometris, memudahkan penyetelan frekuensi resonansi, dan meningkatkan kualitas kopling magnetik.

Bahan yang digunakan adalah kawat tembaga (*copper wire*) dengan dua variasi diameter, yaitu 0,3 mm dan 0,6 mm, untuk mengevaluasi pengaruh ukuran kawat terhadap resistansi, induktansi, dan efisiensi transfer daya. Kawat tembaga dipilih karena memiliki konduktivitas tinggi, ketahanan mekanis baik, serta mudah dibentuk menjadi lilitan.

Tabel 1. Spesifikasi *coil*.

No	Jumlah Lilitan	Diameter Coil (cm)	Diameter Kawat Tembaga (mm)	Resistansi Coil (Ω)	Induktansi Coil (H)
1	200	12	0,3	20	$9,71 \times 10^{-3}$
2	250	12	0,3	24	$14,7 \times 10^{-3}$
3	300	12	0,3	29	$20,5 \times 10^{-3}$
4	350	12	0,3	34	$26,3 \times 10^{-3}$
5	400	12	0,3	39	$33,5 \times 10^{-3}$
6	50	12	0,6	1,3	$7,09 \times 10^{-4}$
7	100	12	0,6	2,6	$2,30 \times 10^{-3}$
8	150	12	0,6	3,8	$4,92 \times 10^{-3}$
9	200	12	0,6	5,1	$8,38 \times 10^{-3}$
10	250	12	0,6	6,3	$12,3 \times 10^{-3}$

Tabel 1 menyajikan spesifikasi teknis *coil* yang digunakan, meliputi jumlah lilitan, diameter *coil*, diameter kawat, resistansi, dan induktansi. Peningkatan jumlah lilitan terlihat berbanding lurus dengan kenaikan nilai resistansi dan induktansi. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah lilitan memengaruhi karakteristik listrik *coil* secara signifikan.

D. Metode Pengukuran

Metode pengukuran *coil* dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah lilitan, diameter kawat, dan jarak terhadap kinerja transfer daya *Wireless Power Transfer* (WPT). Sistem ini beroperasi pada frekuensi resonansi 14 kHz sesuai hasil keluaran *inverter*, sehingga transfer daya lebih efisien. Pengujian menggunakan multimeter digital pada kombinasi kawat 0,3 mm (*receiver* 200–400 lilitan) dan 0,6 mm (*receiver* 50–250 lilitan) dengan *transmitter* 50, 300, dan 400 lilitan, serta variasi jarak 0–20 cm. *Transmitter* diposisikan vertikal, *receiver* sejajar, jarak diukur dengan meteran, dan setiap skenario diulang dua kali untuk memastikan data akurat. Untuk bentuk fisik *coil* yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Representasi bentuk *coil*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skenario Pengujian

Pengujian *coil transmitter* dan *receiver* dilakukan sejajar dengan variasi jarak 0–20 cm (kenaikan 5 cm) dan pengukuran tegangan *output* menggunakan multimeter digital untuk presisi. Tujuannya menentukan jarak maksimum efektif sistem *Wireless Power Transfer* (WPT)

serta mengevaluasi pengaruh diameter kawat *enamel* 0,3 mm dan 0,6 mm. Pengujian menilai tegangan *output*, efisiensi, dan stabilitas tiap konfigurasi. Berikut merupakan skenario pengujian pada *coil*:

1. Siapkan *accu* 12V 7,5Ah sebagai sumber daya dan rangkaian pengujian (*inverter*, *coil transmitter*, *coil receiver*, *rectifier*, multimeter digital, dan meteran).
2. Periksa semua bagian untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik, dan sambungkan *accu* ke *inverter* dengan polaritas yang benar.
3. Hubungkan *output inverter* ke *coil transmitter* yang diletakkan lurus dan stabil di permukaan datar.
4. Tempatkan *coil receiver* sejajar dan menghadap *coil transmitter*, lalu atur jarak sesuai parameter pengujian (0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan 20 cm).
5. Sambungkan *output coil receiver* ke *rectifier*, lalu ukur tegangan dan arus menggunakan multimeter digital.
6. Lakukan pengujian untuk setiap variasi jarak dan diameter kawat *coil* (0,3 mm dan 0,6 mm), catat data tegangan, arus, daya, serta efisiensi.
7. Bandingkan hasil dari setiap konfigurasi untuk menentukan parameter *coil* terbaik.

B. Hasil dan Analisis Data Pengujian

Bagian ini menyajikan hasil pengujian *coil transmitter* dan *receiver* pada sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) dengan variasi jarak dan diameter kawat. Data tegangan, arus, daya, dan efisiensi dianalisis untuk menilai pengaruh parameter fisik *coil* terhadap kinerja transfer daya. Setiap konfigurasi dibandingkan untuk menentukan desain *coil* yang paling optimal.

1. Pengujian Daya

Tabel 2. 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) 1 x V
	Transmitter	Receiver				
0,3	200	0	0	16	15	240
		5	5	4	2,2	8,8
		10	10	0	0	0
		15	15	0	0	0
		20	20	0	0	0
		0	0	16,5	10,4	171,6
		5	5	4,5	2,3	10,35
		10	10	2,6	0,8	2,08
		15	15	0	0	0
		20	20	0	0	0
	250	0	0	13,4	9,1	121,94
		5	5	3,8	1,7	6,46
		10	10	2,6	0,5	1,3
		15	15	0	0	0
		20	20	0	0	0
		0	0	11,5	9,6	110,4
		5	5	3,4	1	3,4
		10	10	2,2	0,2	0,44
		15	15	1,9	0,1	0,19
		20	20	1,8	0,1	0,18
	300	0	0	8,8	6,4	56,32
		5	5	2,9	0,8	2,32
		10	10	2	0,1	0,2
		15	15	1,8	0,1	0,18
		20	20	1,6	0,01	0,016

Tabel 2 merupakan pengujian dengan kawat 0,3 mm pada *transmitter* 300 lilitan, menunjukkan daya tertinggi pada jarak 0 cm dengan *receiver* 200 lilitan (240 mW), diikuti 250 lilitan (171,6 mW), dan menurun pada jumlah lilitan lebih banyak. Peningkatan jarak hingga 15–20 cm membuat daya hampir nol akibat lemahnya kopling induktif. Efisiensi maksimum terjadi pada jarak dekat dengan lilitan optimal 200–250, sementara lilitan berlebih menurunkan daya karena resistansi dan penurunan kualitas kopling. Karena

pengukuran tanpa beban, diperlukan uji lanjutan dengan beban nyata untuk hasil lebih akurat.

Tabel 3. 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) IxV
	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	13.7	9.2	126.04
			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	0.1	0.19
			15	1.7	0.1	0.17
			20	0	0	0

Tabel 3 merupakan pengujian dengan *transmitter* 400 lilitan menunjukkan daya maksimum pada jarak 0 cm dengan *receiver* 200 lilitan (137,16 mW), diikuti 250 lilitan (126,04 mW), dan menurun pada jumlah lilitan lebih banyak. Semua konfigurasi mengalami penurunan signifikan di atas 10 cm, menandakan jarak dekat paling efisien. Lilitan optimal berada pada kisaran 200–250, sementara penambahan di atasnya menurunkan daya akibat resistansi dan melemahnya kopling induktif.

Tabel 4. 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) IxV
	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	5	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	27.5	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	209.55
			5	5.1	2.6	13.26
			10	1.7	0.001	0.0017
			15	0	0	0
			20	0	0	0

Tabel 4 merupakan pengujian *receiver* kawat 0,6 mm menunjukkan daya maksimum pada jarak 0 cm, dengan 150 lilitan menghasilkan 242 mW, 200 lilitan 280 mW, dan 250 lilitan 209,55 mW. Daya menurun tajam seiring bertambahnya jarak, dengan hampir semua konfigurasi kehilangan *output* di atas 5–10 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa kawat *receiver* berdiameter lebih besar dengan jumlah lilitan optimal 200–250 dapat meningkatkan efisiensi transfer daya pada jarak dekat.

Tabel 5. 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) IxV
	Transmitter	Receiver				
0,6	100	50	0	9.1	211	1920.1
			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	5.8	19.3	111.94
			10	1.9	8.1	15.39
			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	53	2098.8
			5	14.8	9.9	146.52
			10	5.8	3.3	19.14
			15	1.6	0.001	0.0016
			20	0	0	0
		250	0	41	39	1599
			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 merupakan pengujian *transmitter* 100 lilitan dengan *receiver* kawat 0,6 mm menunjukkan daya tertinggi pada 200 lilitan (2098,8 mW), diikuti 150 lilitan (1944,54 mW) dan 50 lilitan (1920,1 mW) pada jarak 0 cm. Daya stabil hingga 5 cm, lalu menurun signifikan di atas 10 cm. Efisiensi optimal dicapai pada jarak sangat dekat dengan lilitan *receiver* 100–200, sedangkan penambahan lilitan berlebih justru meningkatkan resistansi dan menurunkan efisiensi.

Tabel 6. 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) IxV
	Transmitter	Receiver				
0.6	50	50	0	16.12	373	6012.76
			5	3.3	59	194.7
			10	0	0	0
			15	0	0	0
			20	0	0	0
		100	0	35	159.3	5575.5
			5	7.4	20.5	151.7
			10	1.7	7.7	13.09
			15	1.45	0.001	0.00145
			20	0	0	0
		150	0	56	108.8	6092.8
			5	15.37	15.8	242.846
			10	4.5	6.6	29.7
			15	1.5	2.7	4.05
			20	0	0	0
		200	0	55.9	79.2	4427.28
			5	18.22	11.3	205.886
			10	6.5	4.4	28.6
			15	1.7	1.9	3.23
			20	0	0	0
		250	0	54.7	58.2	3183.54
			5	16.26	7.8	126.828
			10	6.98	3.1	21.638
			15	3.8	1.5	5.7
			20	2.76	0.7	1.932

: coil yang dipilih
: coil dengan daya terbesar

Tabel 6 merupakan pengujian menunjukkan konfigurasi *receiver* 150 lilitan menghasilkan daya tertinggi 6092,8 mW, diikuti 50 dan 100 lilitan, dengan efisiensi optimal pada rentang 100–150 lilitan untuk *transmitter* 50 lilitan. Penambahan lilitan di atas 200 menurunkan daya akibat resistansi dan ketidaksesuaian impedansi. Efisiensi terbaik dicapai pada jarak 0–5 cm dan turun drastis di atas 10 cm.

Untuk aplikasi pengisian baterai IoT, dipilih 100 lilitan karena sesuai dengan spesifikasi *rectifier* sehingga sistem tetap optimal dan aman. Tabel 7 di bawah menunjukkan

spesifikasi *coil* yang digunakan untuk aplikasi pengisian baterai IoT. Nilai induktansi dan kapasitansi dihitung menggunakan persamaan frekuensi resonansi, sehingga kedua *coil* memiliki frekuensi resonansi sebesar 14 kHz. Pemilihan parameter ini memastikan efisiensi transfer daya yang tinggi sekaligus menjaga kestabilan sistem pada saat pengisian baterai.

Tabel 7. *Coil* yang digunakan untuk pengisian IoT.

NO.	Jumlah Lilitan	Diameter Coil (cm)	Diameter Kawat Tembaga (mm)	Induktansi Coil (H)	Kapasitansi (C)
1.	50	12	0,6	$7,09 \times 10^{-4}$ H	$1,82 \times 10^{-7}$ F
2.	100	12	0,6	$2,30 \times 10^{-3}$ H	$5,61 \times 10^{-8}$ F

2. Pengujian Efisiensi

Dalam pengujian efisiensi dilakukan dengan membandingkan daya *output coil* penerima terhadap daya *input coil* pemancar menggunakan persamaan (4) berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Daya *input* dihitung berdasarkan Hukum Ohm dari hasil pengukuran tegangan dan arus, di mana tegangan *input inverter* adalah 12 V dan arus 0,7 A, sehingga didapatkan nilai P_{IN} sebesar 8400 mW melalui persamaan (5).

$$P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN} \quad (5)$$

Nilai *input* ini kemudian dibandingkan dengan daya *output* dari setiap pengujian *coil* untuk menentukan persentase efisiensi masing-masing konfigurasi.

Tabel 8. 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	56.32	0.67
			5	8400	2.32	0.028
			10	8400	0.2	0.002
			15	8400	0.18	0.002
			20	8400	0.016	0

Tabel 8 merupakan pengujian dengan kawat 0,3 mm dan *transmitter* 300 lilitan menunjukkan efisiensi tertinggi pada *receiver* 250 lilitan, yaitu 2,043% dengan daya 171,6 mW pada jarak 5 cm. *Receiver* 300 lilitan mencatat efisiensi 1,452%, sedangkan 200, 350, dan 400 lilitan memiliki efisiensi lebih rendah. Efisiensi optimal dicapai pada jarak <10 cm dan menurun tajam pada jarak lebih jauh, sehingga

diperlukan optimasi desain kumparan dan frekuensi resonansi.

Tabel 9. 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 9 merupakan pengujian dengan kawat 0,3 mm dan *transmitter* 400 lilitan menunjukkan efisiensi tertinggi pada *receiver* 200 lilitan, yaitu 1,633% dengan daya 137,16 mW pada jarak 0 cm, diikuti 250 lilitan dengan efisiensi 1,50%. *Receiver* 300 dan 350 lilitan mencatat efisiensi 0,805% dan 0,514%, sedangkan 400 lilitan hanya 0,416%. Efisiensi optimal dicapai pada jarak <5 cm, sementara jumlah lilitan yang terlalu sedikit atau terlalu banyak menurunkan kinerja.

Tabel 10. 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	0.179
			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	280	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	13.26	0.158
			10	8400	0.0017	0
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0

Tabel 10 merupakan pengujian *transmitter* 300 lilitan (kawat 0,3 mm) dengan *receiver* kawat 0,6 mm menunjukkan hasil terbaik pada konfigurasi 150 lilitan dengan efisiensi 3,333% dan daya 280 mW pada jarak 5 cm, diikuti 200 lilitan dengan efisiensi 2,495%. *Receiver* 100 lilitan memiliki efisiensi 1,619%, sedangkan 250 lilitan hanya 0,158%. Efisiensi tertinggi terjadi pada jarak <10 cm dan menurun tajam pada jarak lebih jauh, sehingga jumlah lilitan optimal penting untuk menjaga efisiensi dan stabilitas transfer daya.

Tabel 11. 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	15.39	0.183
			15	8400	0	0
			20	8400	0	0
	100	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	2098.8	24.986
			5	8400	146.52	1.744
			10	8400	19.14	0.228
			15	8400	0.0016	0
			20	8400	0	0
	250	250	0	8400	1599	19.036
			5	8400	82.84	0.986
			10	8400	12.5	0.149
			15	8400	3.2	0.038
			20	8400	0	0

Tabel 11 merupakan pengujian dengan kawat 0,6 mm dan *transmitter* 100 lilitan menunjukkan efisiensi tertinggi pada *receiver* 200 lilitan sebesar 24,986% dengan daya 2098,8 mW pada jarak 0 cm, diikuti 150 lilitan (23,149%). *Receiver* 50 dan 100 lilitan mencatat efisiensi 22,858% dan 21,872%, sedangkan 250 lilitan sedikit lebih rendah pada 19,036%. Semua konfigurasi mengalami penurunan tajam di atas 5 cm dan hampir nol pada jarak >15 cm, menandakan konfigurasi ini paling optimal pada jarak sangat dekat.

Tabel 12. 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	6092.8	72.533
			5	8400	242.846	2.891
			10	8400	29.7	0.354
			15	8400	4.05	0.048
			20	8400	0	0
		200	0	8400	4427.28	52.706
			5	8400	205.886	2.451
			10	8400	28.6	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	21.638	0.258
			15	8400	5.7	0.068
			20	8400	1.932	0.023

Tabel 12 menunjukkan bahwa pada diameter kawat 0,6 mm dengan *transmitter* 50 lilitan, konfigurasi *receiver* 100 lilitan memberikan efisiensi tinggi sebesar 66,375% pada jarak 0 cm, dengan penurunan efisiensi yang relatif lebih landai dibandingkan konfigurasi *receiver* yang terlalu sedikit (50 lilitan) atau terlalu banyak (200–250 lilitan). Jumlah lilitan moderat (sekitar 100) memberikan keseimbangan antara induktansi untuk resonansi dan resistansi yang rendah sehingga rugi daya akibat panas dapat diminimalkan. Konfigurasi ini juga lebih stabil dan lebih mudah dibuat secara mekanis, sehingga dipilih sebagai konfigurasi optimal.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, sistem WPT menghasilkan daya maksimum 6,1 Watt pada konfigurasi *transmitter* 50 lilitan dan *receiver* 150 lilitan menggunakan kawat *enamel* 0,6 mm berdiameter 12,2 cm. Dengan daya input 8,4 Watt, diperoleh efisiensi 72,6%, menunjukkan kinerja baik untuk transfer daya nirkabel berbasis resonansi sederhana. Kehilangan daya 2,3 Watt disebabkan rugi-rugi *switching* pada rangkaian ZVS, rugi induktif pada kumparan, serta konversi daya pada penyearah dan regulator, yang masih dapat dikurangi melalui optimasi resonansi dan penyesuaian posisi kumparan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis resonansi induktif dengan desain kumparan *multilayer* menunjukkan bahwa parameter fisik seperti jumlah lilitan, diameter kawat, dan jarak antar kumparan berpengaruh signifikan terhadap kinerja transfer daya. Konfigurasi terbaik diperoleh pada *transmitter* 50 lilitan dan *receiver* 150 lilitan dengan kawat berdiameter 0,6 mm, yang menghasilkan daya maksimum 6,1 Watt dan efisiensi 72,6% pada jarak 0 cm. Efisiensi menurun tajam seiring bertambahnya jarak di atas 10 cm, menunjukkan bahwa sistem paling optimal digunakan pada jarak dekat. Pemilihan jumlah lilitan yang moderat dan diameter kawat yang sesuai mampu mengurangi resistansi, menjaga kesesuaian impedansi, serta memaksimalkan kopling magnetik, sehingga mendukung pengisian daya perangkat IoT secara efisien dan stabil.

REFERENSI

- [1] Takehiro Imura, *Wireless Power Transfer Using Magnetic and Electric Resonance Coupling Techniques*. Springer Nature Singapore, 2020.
- [2] Prastyaningrum Ihtiari, Kartikawati Sulistyanning, and Antika Roseanne, "View of PENGARUH MEDIA KIT GGL INDUKSI ELEKTROMAGNETIK TERHADAP KEMAMPUAN PEMAHAMAN KONSEP GGL INDUKSI," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 3, Apr. 2022.
- [3] P. Kinsler, "Faraday's Law and Magnetic Induction: Cause and Effect, Experiment and Theory," *Physics (Switzerland)*, vol. 2, no. 2, pp. 150–163, Jun. 2020, doi: 10.3390/physics2020009.
- [4] A. K. Prasajo and I. Surjati, "Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Prinsip Resonansi Induktif Elektromagnetik dan Blocking Oscillator dengan Coil Berbentuk Spiral Mendatar," *JURNAL ELEKTRO*, vol. 12, pp. 97–102, Oct. 2019.
- [5] Yasu Mustika Ratna and Hadi Fathul Charis, "View of Pengaruh Tegangan Terhadap Besar Kuat Arus Listrik Pada Persamaan Hukum Ohm".
- [6] P. WIBOWO, P. BAKTI, and I. SUPONO, "Sistem Verifikasi Medan Magnet untuk Sumber Magnet Kumparan Sejajar," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik*

Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, vol. 10, no. 2, p. 379, Apr. 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i2.379.

- [7] A. Yousuf, T. K. Das, M. E. Khallil, N. A. A. Aziz, M. J. Rana, and S. Hossain, "Comparison Study of Inductive Coupling and Magnetic Resonant Coupling

Method for Wireless Power Transmission of Electric Vehicles," in *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 2021, pp. 737–741. doi: 10.1109/ICREST51555.2021.9331096.

