



Analisis Pengaruh Material Magnetik Kumputan Sekunder Terhadap Gelombang Elektromagnetik Pada *Wireless Power Transmission Tesla Coil*

Putri Nuraisah^{1*}, Agus Sukandi¹, Mochammad Syujak¹, dan Budi Santoso¹

¹Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Tesla Coil adalah perangkat yang dapat menghasilkan tegangan tinggi mulai dari ribuan volt hingga jutaan volt. Alat ini dapat menghasilkan listrik tegangan tinggi, arus pendek, dan frekuensi tinggi dari arus listrik bolak-balik yang diterapkan pada transformator, dan memungkinkan untuk mentransmisikan energi listrik dari kumparan tanpa menghubungkan dua kumparan dan belitan. Prinsip Kerja yang dimanfaatkan dalam Tesla Coil adalah Prinsip Resonansi Induksi Elektromagnetik. Material magnetik yang digunakan pada kumparan sekunder tesla coil dapat mempengaruhi efisiensi transmisi, medan magnet dan daya rugi-rugi yang keluar pada setiap bahan. Penelitian ini menggunakan dua jenis bahan material magnetik yaitu bahan aluminium dan bahan tembaga untuk mendapatkan material magnetik yang ideal dan efisien pada kumparan sekunder tesla coil. Penelitian ini didapatkan bahan tembaga 30 cm menghasilkan medan magnet paling tinggi sebesar 18.23 uT dan efisiensi transmisi 4.75% dapat menyalakan dua led seri dengan jarak 45 cm sedangkan bahan aluminium memiliki medan magnet terkecil sebesar 10.35 uT dengan efisiensi transmisi 0.46 % dapat menyalakan satu led dengan jarak 20 cm.

Kata-kata kunci: Tesla Coil, Induksi Elektromagnetik, Transfer Energi, Material Magnetik

Abstract

Tesla Coil is a device that can generate high voltages ranging from thousands of volts to millions of volts. This tool can generate high voltage, short circuit, and high frequency electricity from alternating electric current applied to the transformer, and it is possible to transmit electrical energy from the coil without connecting the two coils and windings. The working principle used in the Tesla Coil is the Electromagnetic Induction Resonance Principle. The magnetic material used can affect the transmission efficiency, magnetic field and power losses that come out of each material. This study uses 2 types of magnetic materials, namely aluminum and copper materials to obtain an ideal and efficient magnetic material for the Tesla coil secondary coil. This study resulted in copper 30 cm having a magnetic field of 18.23 uT and a transmission efficiency of 4.75% can light 2 series leds with a distance of 45 cm and aluminum material has the smallest magnetic field of 10.35 uT with a transmission efficiency of 0.46% can turn on 1 led with a distance of 20 cm.

Keywords: Tesla Coil, Electromagnetic Induction, Energy Transfer

* Corresponding author E-mail address: putri.nuraisah.tm19@mhs.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun, dan dengan pertumbuhan masyarakat modern, kebutuhan energi listrik meningkat sebanding dengan kegiatan ekonomi dan jumlah penduduk di wilayah tersebut [1]. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, transmisi tradisional memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan, seperti mesin dan peralatan yang menua mempengaruhi tingkat pasokan, batas kabel transmisi yang tidak cocok untuk tubuh, bawah air dan lingkungan lainnya, perubahan lingkungan yang merugikan mempengaruhi kinerja catu daya, serta potensi bahaya keselamatan dalam operasi [2]. Oleh karena itu, salah satu solusi yang baik adalah mengaplikasikan konsep transmisi daya nirkabel.

Wireless Power Transmission (WPT) atau transfer daya nirkabel, yang merupakan suatu konsep untuk menghantarkan atau mengirimkan energi tanpa menggunakan kabel [3]. Transmisi daya nirkabel ini berguna untuk menyalakan perangkat listrik di mana kabel yang digunakan tidak nyaman, berbahaya, atau tidak memungkinkan. Pada abad ke-19 Nikola Tesla yang pertama kali mengembangkan atau mencoba mentransmisikan tegangan melalui udara atau dengan kata lain tanpa perantara kabel (*wireless*). Energi disuplai dalam bentuk gelombang elektromagnetik dari satu atau lebih pemancar ke satu atau lebih pemancar, tanpa menggunakan penyambung fisik (seperti kabel) di antara pemancar dan penerima [4].

Umumnya, konsep ini menggunakan induksi elektromagnetik, resonansi magnetik, frekuensi radio dan lainnya. Dalam mentransfer daya tanpa kabel maka media udara digunakan sebagai media perantaranya. *Wireless Power Transmission* telah ada sejak tahun 1856 dalam bentuk saling induksi [5]. Induksi digunakan kemungkinan untuk mengirim dan menerima sinyal melalui jarak yang cukup jauh. Namun, untuk mendapatkan daya yang signifikan dengan cara tersebut, induktor harus ditempatkan pada tempat yang cukup berdekatan [6]. Apabila kopling resonansi digunakan, dimana induktor ada pada frekuensi yang sama, maka daya dapat ditransmisikan dalam rentang beberapa meter [7].

Salah satu konsep penyaluran energi listrik yang masih dalam tahap riset yaitu transfer daya nirkabel. Transfer nirkabel adalah suatu konsep untuk menghantarkan atau mengirimkan energi tanpa menggunakan kabel. Secara umum, teorinya dapat digambarkan dengan pengiriman daya listrik dari suatu alat ke alat yang lain atau bisa disebut juga pengiriman daya listrik dari *transmitter* ke *receiver* [8]. Tetapi kendala yang saat ini sedang terjadi, yaitu masih rendahnya persentase output efisiensi dari rangkaian transmitter, sehingga dibutuhkan penyempurnaan dan perbaikan agar efisiensi dapat terus ditingkatkan.

Tesla coil atau Kumputan Tesla merupakan alat yang menerapkan cara kerja trafo, mampu menghasilkan tegangan tinggi, frekuensi tinggi dengan arus yang kecil dan menghasilkan induksi elektromagnetik untuk ditransfer energi listriknya ke beban. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi ialah dengan memperbanyak lilitan pada coil atau N. Jumlah lilitan atau N sangat mempengaruhi tegangan yang dibangkitkan. Adapun faktor yang memengaruhi besarnya induksi elektromagnetik yang terjadi di kumparan seperti, kecepatan magnet atau perubahan jumlah garis-garis magnet (fluks magnet), jumlah lilitan, dan panjang lilitan [9] [10]. Kumputan trafo tesla dibagi menjadi dua bagian yaitu kumparan primer dan sekunder [5]. Kumputan sekunder yang akan menghasilkan gelombang elektromagnetik yang akan tersampaikan ke *receiver*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan tembaga dan bahan aluminium masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda. Karakteristik bahan tembaga yaitu memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sebesar 5.96×10^8 dua kali lebih besar dibandingkan aluminium, hambatan jenis yang lebih kecil sebesar 1.98×10^{-7} dua kali lebih kecil dibandingkan aluminium dan tahan terhadap perubahan termal sedangkan karakteristik aluminium yaitu harga lebih ekonomis dibandingkan tembaga dan permeabilitas bahan yang lebih besar [11] [12]. Pada penelitian ini, penulis menguji pengaruh material magnetik kumparan sekunder *transmitter* terhadap transmisi gelombang elektromagnetik untuk mendapatkan material kumparan yang optimal dan ideal pada *wireless power transmission tesla coil*.

2. METODE PENELITIAN

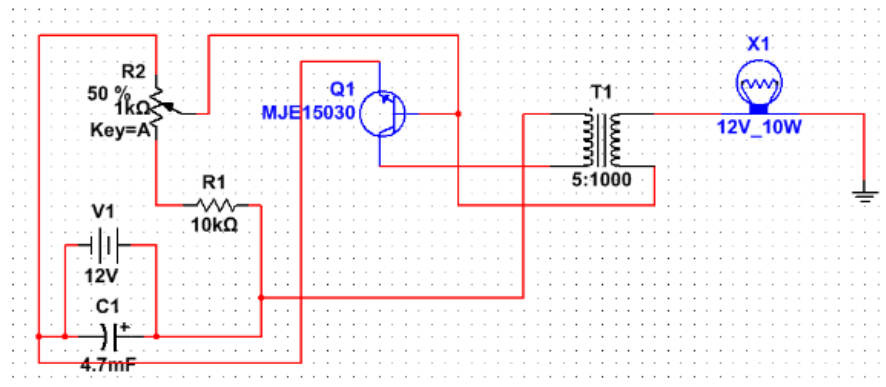
Pada penelitian prototipe *tesla coil* ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta. Data yang diperoleh nantinya berupa data kuantitatif yang berupa angka-angka. Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan material pada kumparan sekunder *transmitter tesla coil*. Data yang didapat kemudian dianalisis secara kuantitatif dan dibuat grafik. Parameter yang di analisis adalah medan magnet, medan listrik, induktansi, tegangan dan arus yang disajikan. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian :

Perancangan Alat

Metode perancangan alat *wireless power transmission tesla coil* pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

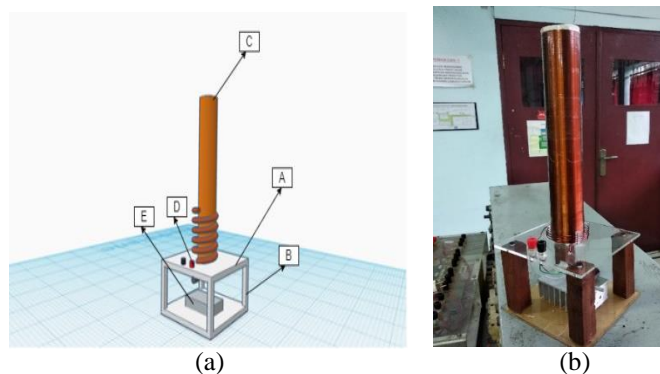
1. Pembuatan lilitan kawat sekunder email tembaga (Cu) berukuran 0,3 mm dan kawat sekunder email aluminium (Al) berukuran 0.3 mm pada sisi pemancar (*transmitter*) ukuran 30 cm dengan lilitan 1000 dan tiang pemancar (*transmitter*) ukuran 20 cm dengan lilitan 666.
2. Pembuatan rangkaian *osilator tesla coil* pada sisi pemancar (*transmitter*) menggunakan komponen transistor C2703, kapasitor 4700 mF, resistor 10k Ω .

Catu daya yang digunakan berkisar pada tegangan 10 – 14 Volt dengan arus yang digunakan 0,3 – 1 ampere. Perancangan sistem kelistrikan pada tesla coil menggunakan *Software multisim*. Dengan perancangan sistem kelistrikan pada *transmitter tesla coil* adalah pemancar daya nirkabel pada penelitian ini. Rangkaian ini dimulai dari power supply dc menuju kapasitor 4,7mF lalu akan masuk ke potensiometer untuk mengatur tegangan yang masuk, setelah dari potensiometer akan masuk ke transistor tipe C2703 keluaran dari transistor masuk ke kumparan inductor tesla coil dan sisi negatif kapasitor. Setelah proses itu arus bolak-balik diteruskan ke kumparan primer yang berupa komponen induktor (L) dan menghasilkan medan magnet yang akan ditransfer ke kumparan sekunder yang berupa komponen yang sama yaitu induktor [13]. Hasil tersebut ditransfer kepada beban yang akan digunakan yaitu lampu. Sistem kelistrikan *transmitter* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian *Transmitter*

Desain prototipe pada sisi pemancar (*transmitter*) *tesla coil* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain *Tesla Coil* diberikan pada gambar (a). Gambar (b) Realisasi Alat

- a) Akrilik ukuran 15 cm x 15 cm x 0,5 cm sebagai wadah *transmitter*
- b) Kayu ukuran 5 cm x 5 cm x 10 cm sebagai penyanggah lapisan atas dan lapisan bawah akrilik.
- c) Pipa PVC ukuran 1,58 *inchi* sebagai lilitan kumparan sekunder.
- d) Sepasang *binding post banana*.
- e) *Heatsink* ukuran 10 cm x 5 cm.

Pengambilan Data

Pada proses ini, parameter yang diambil berupa medan magnet, medan listrik, induktansi, tegangan dan arus pada bahan tembaga dan bahan aluminium dengan masing-masing bahan menggunakan tinggi *transmitter* 30 cm mempunyai jumlah lilitan 1000 serta tinggi *transmitter* 20 cm mempunyai jumlah lilitan 666.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Percobaan

Pengukuran menggunakan *power supply* dengan keluaran 10 V – 14 V untuk tegangan input *tesla coil*. Dan arus input 0,3 A – 1 A.

Data Hasil Percobaan Transmitter

Percobaan transmitter menggunakan parameter yang diambil adalah medan magnet, medan listrik dan nilai induktansi. Data hasil percobaan *transmitter* dapat dilihat Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil Percobaan *Transmitter*

Bahan	Panjang Kawat (cm)	Induktansi (mH)	Tegangan input (V)	Arus input (A)	Medan Magnet (uT)	Medan Listrik (V/m)	Cepat Rambat Gelombang (m/s)
Tembaga	30	5.55	10	0.3	10.85	436	40.18433
			12	0.8	13.36	627	46.93114
			14	1	18.23	926	50.79539
	20	3.35	10	0.3	7.89	303	38.40304
			12	0.8	10.6	451	42.54717
			14	1	14.55	729	50.10309
Aluminium	30	3.02	10	0.3	8.67	328	37.8316
			12	0.8	13.42	482	35.91654
			14	1	16.22	791	48.76695
	20	1.73	10	0.3	7.73	286	36.99871
			12	0.8	9.36	329	35.14957
			14	1	15.36	625	40.6901

Data Hasil Percobaan Receiver

Pengukuran receiver menggunakan lampu indikator dengan daya sebesar 3 watt mengambil parameter adalah tegangan dan arus yang keluar serta jarak terjauh beban. Data hasil percobaan receiver dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Percobaan *Receiver*

Bahan	Panjang Pipa (cm)	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)	Arus Output(A)	Beban
Tembaga	30	14	2.65	0.25	Jarak 50 cm dengan 2 LED seri
	20	14	0.841	0.15	Jarak 35 cm dengan 2 LED seri
Aluminium	30	14	1.331	0.21	jarak 45 cm dengan 2 LED seri
	20	14	0.541	0.12	jarak 20 cm dengan 1 LED

Data Hasil Perhitungan

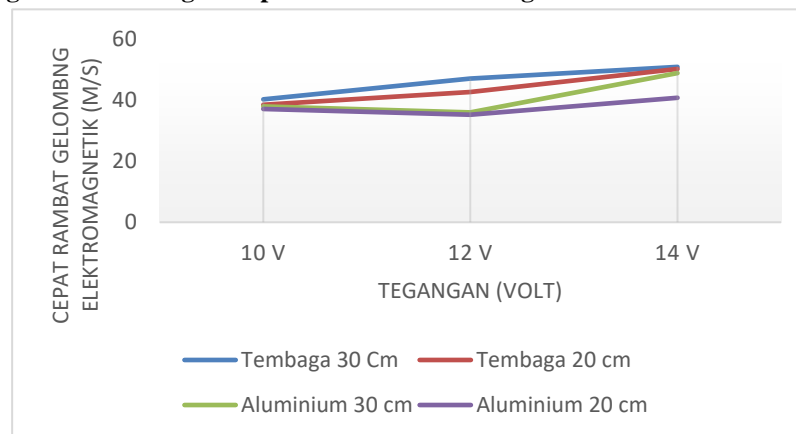
Hasil perhitungan rugi-rugi daya bahan aluminium dan bahan tembaga dengan tegangan input 14 V dan arus input 1 A. Data hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan

Bahan	Panjang Kawat (cm)	Hambatan Kawat (Ω)	Daya input (W)	Daya rugi-rugi bahan (W)	Daya output (W)	Effisiensi transmiter	Effisiensi transmisi
Tembaga	30	0.0713	14	0.0713	0.6625	99.49%	4.75 %
	20	0.0475	14	0.0475	0.1261	99.66%	0.94 %
Aluminium	30	0.1125	14	0.1125	0.2795	98.00%	2.01 %
	20	0.075	14	0.0750	0.0649	99.46%	0.46 %

Grafik Analisa Data

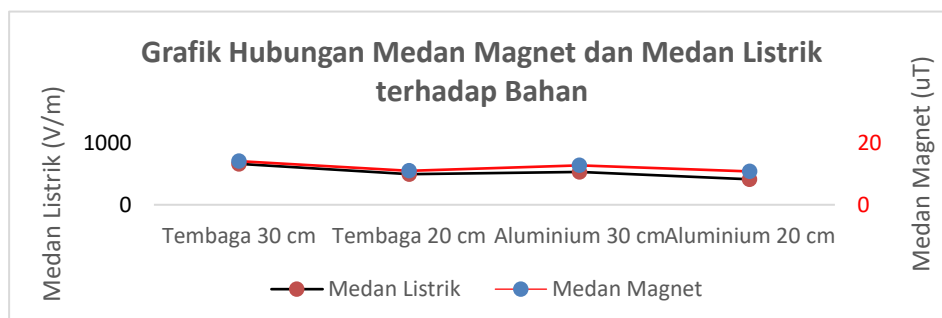
Grafik Hubungan Bahan Dengan Cepat Rambat Gelombang



Gambar 4. Grafik Hubungan Gelombang Elektromagnetik terhadap Bahan

Pada grafik Gambar 4. didapatkan hasil perhitungan cepat rambat gelombang elektromagnetik dari data percobaan medan magnet dan medan listrik terhadap bahan yang digunakan dengan tegangan 10 -14 Volt. Dimana bahan tembaga 30 cm memiliki nilai cepat rambat gelombang elektromagnetik lebih besar dibandingkan bahan aluminium dengan nilai sebesar 50.79 m/s, bahan tembaga 20 cm memiliki nilai sebesar 50.11 m/s, bahan aluminium 30 cm memiliki nilai sebesar 48.76 m/s, bahan aluminium 20 cm memiliki nilai sebesar 40.69 m/s. Dari grafik tersebut terlihat semakin besar tegangan maka cepat rambat gelombang elektromagnetik semakin besar pada setiap bahan. Dimana bahan tembaga memiliki nilai cepat rambat gelombang elektromagnetik dibandingkan bahan aluminium.

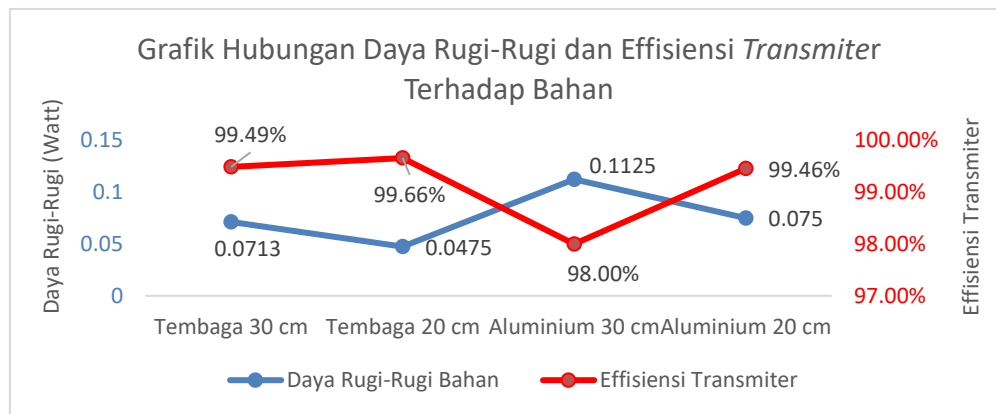
Grafik Hubungan Medan Magnet dan Medan Listrik Terhadap Bahan



Gambar 5. Grafik Hubungan Medan Magnet dan Medan Listrik Terhadap Bahan

Pada grafik Gambar 5. dapat dilihat perbandingan besar medan magnet dan medan listrik pada bahan tembaga dan aluminium dengan ukuran panjang 30 cm dan 20 cm setiap masing-masing bahan. Semakin banyak lilitan memengaruhi nilai medan magnet pada suatu bahan. Dimana terlihat pada grafik tembaga 30 cm memiliki medan magnet sebesar 14.14 uT dan aluminium 30 cm memiliki medan magnet sebesar 10.81 uT dibandingkan dengan tembaga 20 cm dan aluminium 20 cm memiliki besaran medan magnet lebih kecil. Selain itu medan listrik dipengaruhi oleh konduktivitas, bahan tembaga memiliki besaran konduktivitas lebih besar dibandingkan aluminium. Besaran medan listrik bahan tembaga 30 cm senilai 663 V/m dan aluminium 30 cm memiliki medan listrik dari percobaan sebesar 533 V/m.

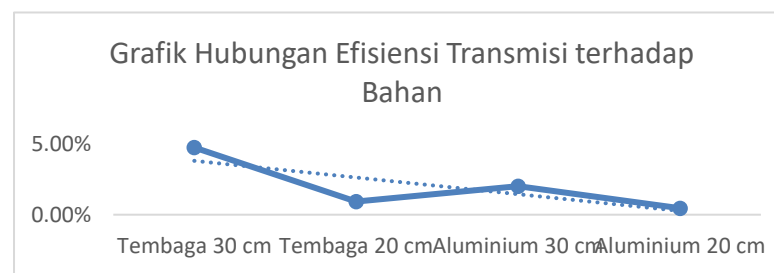
Grafik Hubungan Daya Rugi-Rugi dan Effisiensi Transmitter



Gambar 6. Grafik Hubungan Daya Rugi-Rugi dan Effisiensi Transmitter

Dari grafik Gambar 6. dapat dilihat pengaruh bahan yang digunakan terhadap daya rugi-rugi dan efisiensi *transmitter*. Bahan tembaga 20 cm memiliki daya rugi-rugi terkecil berdasarkan perhitungan memiliki nilai sebesar 0.0475 W dan efisiensi *transmitter* sebesar 99.66% sedangkan bahan aluminium 30 cm memiliki daya rugi-rugi terbesar memiliki nilai sebesar 0.1125 W dan efisiensi *transmitter* sebesar 98%. Dari tren grafik tersebut dapat disimpulkan semakin besar daya rugi-rugi bahan maka efisiensi *transmitter* akan semakin kecil.

Grafik Hubungan Efisiensi Transmisi Terhadap Bahan



Gambar 7. Grafik Hubungan Efisiensi Transmisi Terhadap Bahan

Pada grafik Gambar 7. diperoleh dari data pengukuran daya keluaran tesla coil. Terlihat pada grafik bahan ukuran 30 cm memiliki efisiensi transmisi yang lebih besar dibandingkan 20 cm hal ini dipengaruhi jumlah lilitan bahan sehingga menghasilkan medan magnet dan medan listrik yang besar. Bahan tembaga 30 cm memiliki efisiensi transmisi terbesar dengan nilai efisiensi sebesar 4.75% dapat menyalakan 2 buah lampu led seri sampai jarak 50 cm dan bahan aluminium 20 cm memiliki efisiensi transmisi terkecil dengan nilai efisiensi sebesar 0.46% dapat menyalakan 1 buah lampu led pada sampai jarak 20 cm.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Medan magnet dipengaruhi oleh nilai induktansi dan jumlah lilitan. Panjang pipa 30 cm menghasilkan medan magnet yang lebih besar dibandingkan 20 cm. medan listrik dipengaruhi oleh konduktivitas bahan yang digunakan. Bahan tembaga memiliki nilai medan listrik yang lebih besar dibandingkan bahan aluminium.
2. Pada bahan tembaga memiliki efisiensi transmisi 4.7% sedangkan aluminium sebesar 2.17%.

Saran

1. Teliti dalam pengukuran.
2. Hindari perangkat elektronik saat mengukur medan magnet dan medan listrik.
3. Memvariasikan panjang lilitan *receiver tesla coil*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UP2M Politeknik Negeri Jakarta atas dukungan finansialnya pada penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada Program Studi Teknik Konversi Energi dan Jurusan Teknik Mesin atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. T. Wardhana, A. Rusdinar, and Zulfi, "Desain Dan Implementasi Wireless Charging Untuk Baterai 12 Volt 12 Ampere Hour Pada Automatic Guided Vehicle (Design and Implementation Wireless Charging for 12Volt 12Ampere Hour Battery on Automatic Guided Vehicle)," *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 24–33, 2016.
- [2] M. Muchtar, "A-002 Terobosan Baru Transmisi Energi Listrik Tanpa Kabel (Wireless Electricity Transfer)," *Pros. Conf. Smart-Green Technol. Electr. Inf. Syst.*, no. November, pp. 14–15, 2013.
- [3] M. B. Hulaimi, M. Ir.Herry Setyawan, and S. M. M.Aan Auliq, "Perancangan Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel Menggunakan Osilator Sebagai Pembangkit Frekwensi," pp. 1–20, 2015.
- [4] M. I. Yasyak, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "Analisa Permeabilitas Material Stator Pada Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator 12 Slot 8 Pole Menggunakan Finite Element Method," 2021.
- [5] M. Program *et al.*, "Rancang Bangun Tesla Coil Gun Pemancar Transfer Daya Listrik Beban Lampu," vol. 8, no. 3, pp. 19–28, 2021.
- [6] Salomo, Erwin, U. Malik, and M. Ginting, "Analisa Pengaruh Inti Koil Terhadap Medan Magnetik Dan Muatan Pada Kapasitor Dalam Rangkaian Seri LC," *J. Ilm. Edu Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 79–85, 2017.
- [7] J. Siburian, "Karakteristik transformator," *J. Teknol. Energi UDA*, vol. VIII, no. 21, pp. 21, 23, 2019.
- [8] M. E. Nurlana, A. Murnomo, and I. A. Abstrak, "Pembuatan Power Supply dengan Tegangan Keluaran Variabel Menggunakan Keypad Berbasis Arduino Uno," *Edu Elektr. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 53–59, 2019, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eduel/article/view/27045>
- [9] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljačić, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Science (80-.)*, vol. 317, no. 5834, pp. 83–86, 2007, doi: 10.1126/science.1143254.
- [10] E. Circuits, E. S. Manual, T. Bank, E. T. Olds, and T. Bank, "Fundamentals Of Electric Circuits 4th Edition Alexander Sadiku Solution Manual Pdf Fundamentals Of Electric Circuits 4th Edition Alexander Sadiku Solution Manual Pdf Alexander Sadiku 3rd Edition Solution Fundamentals Of . - fundamentals of electric circui," 2015.
- [11] E. Kasli, V. R. Dewi, and H. Mazlina, "Analisis Nilai Hambatan Jenis Aluminium Berdasarkan Panjang Kawat Yang Berbeda," *J. Pendidik. Fis. dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, pp. 141–145, 2020, doi: 10.29303/jpft.v6i1.1455.
- [12] H. Fahmi, "Alumina Diperkuat Serbuk Aluminium Dan Tembaga," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 42–48, 2015.
- [13] P. N. Pratama, T. I. Sumaryada, and E. Rustami, "Desain Sistem Transfer Energi Nirkabel Berbasis TeslaCoil," *Www.Repository.Ipb.Ac.Id*, 2022, [Online]. Available: <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/88883>