

**PEMODELAN PENINGKATAN EFISIENSI FOTOVOLTAIK NIRKABEL**

**DAYA MENGGUNAKAN RELAY MAGNETIK**

Tenuman Zebua<sup>1</sup>, Despaleri Perangin-angin<sup>1</sup>, Muhammad Irwanto<sup>1</sup>,  
Togar Timoteus Gultom<sup>1</sup>, Winner Parluhutan Nainggolan<sup>1</sup>,  
Muhammad Iqbal Balatif<sup>1</sup>, Muhamad Azlin Karo-karo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi*

*Universitas Prima Indonesia*

*Jalan Sampul No 3 Medan Telp/Fax: 061-4578870/4578890*

*E-mail : despaleriperanginangin@unprimdn.ac.id*

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem Photovoltaic Wireless Power Transfer (PVWPT) yang menggunakan relay magnetik sebagai bagian dari sistem distribusi energi nirkabel. Metode yang digunakan melibatkan pemodelan matematis dari sistem PVWPT, termasuk koil pemancar dan penerima dengan mutual inductance, serta penggunaan relay magnetik untuk mengontrol aliran energi.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan relay magnetik dalam sistem PVWPT dapat meningkatkan efisiensi dan keamanan transfer energi nirkabel, sambil memberikan kontrol yang lebih baik atas aliran energi dalam berbagai situasi operasional. Penggunaan relay magnetik dalam sistem PVWPT merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk mentransfer energi nirkabel secara efisien dan andal, dengan potensi untuk diterapkan dalam berbagai aplikasi di bidang energi terbarukan dan teknologi nirkabel. PVWPT dengan magnetik relay cenderung memiliki efisiensi transfer energi yang lebih tinggi daripada PVWPT tanpa magnetik relay. Penggunaan relay magnetik memungkinkan pengendalian yang lebih presisi atas aliran energi, mengurangi kerugian energi selama transfer. Memberikan kontrol yang lebih baik dan perlindungan yang lebih terkoordinasi terhadap aliran energi. Relay magnetik memungkinkan pengendalian otomatis dan respons cepat terhadap situasi darurat, seperti arus berlebih atau tegangan yang tidak stabil.

Kata Kunci: Koil-Pengirim, Koil- Penerima, Magnetik Relay, Modul PV

**ABSTRACT**

*The study aims to analyze a Photovoltaic Wireless Power Transfer (PVWPT) system that uses magnetic relays as part of a wireless energy distribution system. The method used involved mathematical modeling of PVWPT systems, including transmitter coils and receivers with mutual inductance, as well as the use of magnetic relays to control the flow of energy. Research results show that the use of magnetic relays in PVWPT systems can improve the efficiency and security of wireless energy transfer, while providing better control over the energy flow in a variety of operational situations. The use of magnetic relays in PVWPT systems is a promising approach to wireless energy transfer efficiently and reliably, with the potential to be applied in a variety of applications in the field of renewable energy and wireless technology. The use of magnetic relays allows for more precise control over energy flows, reducing energy losses during transfers. Provides better control and more coordinated protection against the flow of energy. Magnetic relays enable automatic control and rapid response to emergency situations, such as excess current or unstable voltage.*

*Keywords: Coil-Transmitter, Coil-Receiver, Magnetic Relay, PV Module*

**PENDAHULUAN**

*Latar Belakang`*

Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat kita tangkap dari matahari berkat radiasi elektromagnetik yang dipancarkannya. Ini adalah produk dari reaksi atom konstan yang terjadi di dalamnya, di mana sejumlah besar atom bergabung untuk membentuk reaksi nuklir raksasa yang menghasilkan panas dan energi.

Energi matahari sangat besar sehingga energi yang diterima dalam satu jam setara dengan konsumsi energi dunia dalam satu tahun. Ini adalah alasan mengapa pengembangan teknologi surya sangat penting dan akan membawa manfaat global yang besar di masa depan, membantu mengurangi polusi, mengurangi perubahan iklim, meningkatkan keberlanjutan, dan mengurangi ketergantungan pada energi terbarukan.

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas pulau-pulau yang kecil dan banyak yang terpencil menyebabkan sulit untuk dijangkau oleh jaringan listrik yang bersifat terpusat. Untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah-daerah semacam ini, salah satu jenis energi yang potensial untuk dikembangkan adalah energi surya menggunakan energi surya fotovoltaik. Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) atau secara umum dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik (PLTS Fotovoltaik) Selain dapat digunakan untuk program listrik perdesaan, peluang pemanfaatan energi surya lainnya misalnya, lampu penerangan jalan dan lingkungan, listrik untuk rumah peribadatan. sangat ideal untuk dipasang di tempat-tempat ini karena kebutuhannya relatif kecil (K. Zhang *et al.*, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem Photovoltaic Wireless Power Transfer (PVWPT) yang menggunakan relay magnetik sebagai bagian dari sistem distribusi energi nirkabel

**METODE PENELITIAN**

*Bahan dan Alat*

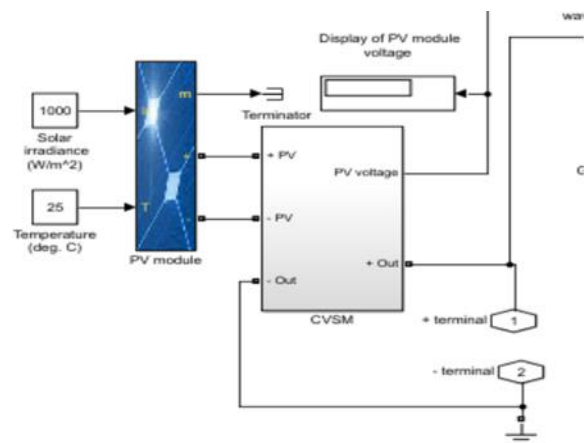
1. Memodelkan PV Modul

Modul PV bertindak sebagai sumber utama energi dalam sistem. Ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui

efek fotovoltaik, yang kemudian dapat ditransfer secara nirkabel ke koil penerima. Modul PV terintegrasi dengan relay magnetik untuk mengatur aliran energi secara efisien. Ini memungkinkan kontrol yang tepat atas transfer daya nirkabel, memastikan efisiensi yang optimal dalam proses tersebut. Modul PV dapat menyesuaikan output daya sesuai dengan variasi dalam intensitas cahaya matahari. Ini memungkinkan sistem untuk tetap efisien dalam berbagai kondisi pencahayaan, seperti saat cuaca berubah atau selama periode hari yang berbeda.

Tabel 1. Spesifikasi Modul PV

Parameter	Nilai
Number cell per module	60
Maximum power (watt)	255, 285
Open circuit voltage (volt)	38,1
Short circuit current (ampere)	8, 83
Temperature coefficient of open circuit voltage (%/°C)	-0.31
Temperature coefficient of short circuit current (%/°C)	0.05



Gambar 1 Modul PV

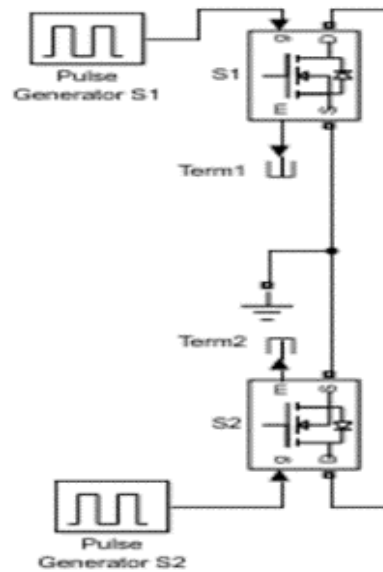
Hasil dari Tabel 1 akan disajikan dalam bentuk kurva arus, tegangan, dan daya beserta persentase kesalahan dimana radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>. dan suhu 25°C. berdasarkan gambar di atas dibuat sebuah modul PV

sederhana beserta set blok converter di matlab simulink data pada tabel di atas diisi pada modul blok PV.

2. Memodelkan driver pulsa dan inverter setengah jembatan.

Dalam sistem transfer daya fotovoltaik nirkabel menggunakan relay magnetik, inverter memainkan peran penting dalam mengubah energi listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh modul PV menjadi energi listrik bolak-balik (AC) yang dapat ditransfer melalui relay magnetik. Inverter berperan dalam mengoptimalkan efisiensi konversi energi dari DC ke AC (Butar-Butar *et al.*, 2020). Ini termasuk mengurangi kerugian daya selama proses konversi untuk memaksimalkan jumlah energi yang tersedia untuk transfer melalui relay magnetik. Inverter memonitor tegangan dan frekuensi output AC untuk memastikan konsistensi dan keandalan energi yang disuplai ke koil penerima. Ini termasuk menjaga tegangan output dalam batas yang aman dan mempertahankan frekuensi yang stabil sesuai dengan standar jaringan listrik.

Pulse driver dalam konteks sistem transfer daya fotovoltaik nirkabel menggunakan magnetik relay adalah komponen yang bertanggung jawab untuk mengontrol impuls atau pulsa energi listrik yang ditransfer dari transmitter coil ke receiver coil (Alam *et al.*, 2020). Peran utama dari pulse driver adalah untuk menghasilkan impuls energi listrik dengan interval waktu yang tepat dan kekuatan yang sesuai untuk memastikan transfer daya yang efisien dan stabil antara dua coil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2. Selain itu pulse driver juga dapat berperan dalam perlindungan sistem dari kondisi yang tidak diinginkan, seperti lonjakan tegangan atau arus yang dapat merusak komponen sistem. Ini dapat dilakukan dengan memantau kondisi operasional dan mengatur respons sistem yang sesuai dan berperan dalam perlindungan sistem dari kondisi yang tidak diinginkan, seperti lonjakan tegangan atau arus yang dapat merusak komponen sistem. Ini dapat dilakukan dengan memantau kondisi operasional dan mengatur respons sistem yang sesuai.



Gambar 2. Inverter

3. Koil pengirim, Koil penerima, dan Magnetic Relay

Dalam sistem transfer daya fotovoltaik nirkabel menggunakan relay magnetik, koil pemancar dan penerima memiliki peran penting dalam mentransfer energi secara induktif antara sumber daya (modul PV) dan perangkat penerima (Kraiem *et al.*, 2022). Koil pemancar adalah bagian dari sistem yang terhubung dengan modul PV dan bertanggung jawab untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan untuk transfer daya nirkabel. Ketika arus listrik mengalir melalui koil pemancar menciptakan medan magnet yang mengalami perubahan di sekitar koil tersebut. Perubahan medan magnet ini menginduksi arus listrik dalam koil penerima yang berdekatan, menginduksi arus listrik dalam koil penerima. Induksi arus listrik dalam koil penerima yang disebabkan oleh mutual inductance menghasilkan transfer energi nirkabel antara koil pemancar dan penerima. Arus listrik yang dihasilkan dalam koil penerima kemudian digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan oleh perangkat elektronik atau untuk mengisi baterai.

Setelah memodelkan koil pengirim dan penerima langkah selanjut nya dalah membuat model magnetik relay dimana relay magnetik berfungsi sebagai kontrol aliran energi, sinkronisasi dan penjadwalan, perlindungan,

sistem pemutusan darurat dan, pemeliharaan efisiensi dan magnetik relay terletak di antara koil pemancar dan koil penerima. Koil pengirim, magnetik relay, dan koil penerima dihubungkan sejajar dengan kapasitor dimana nilai induktansi dari parameter ini di peroleh dari persamaan berikut

$$(1) f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_c C}}$$

Untuk membuat model koil pengirim dan penerima di perlukan juga nilai induktansi kumparan ( $L_c$ ) (1), tahanan kumparan ( $R_c$ ) (5), induktansi bersama ( $M$ ) (6), dalam proses ini kumparan solenoida digunakan juga dengan ukuran diameter ( $d_c^2$ ), jumlah belitan ( $N_c^2$ ), dan panjang ( $l_c$ ) (4) serta luas penampang kawat ( $A_w$ ) (3). Irwanto *et al.*, 2023).

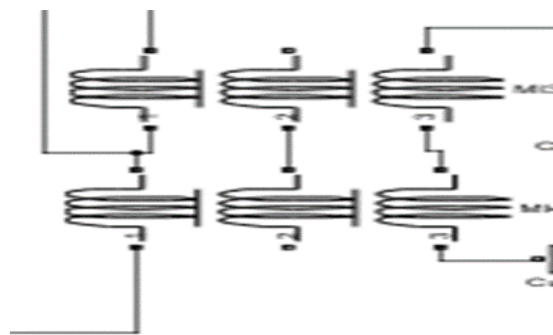
$$(2) d_c^2 N_c^2 - 40 d_w L_c N_c - 18 d_c L_c = 0$$

$$(3) A_w = \frac{1}{4} \pi d_w^2$$

$$(4) l_c = \pi d_w N_c$$

$$(5) R_c = \rho \frac{l_c}{A_w}$$

$$(6) M_{sr} = \frac{\pi \mu_0 N^2 r_s^2 r_r^2 \times 10^{-4}}{\sqrt{(d_{sr}^2 + r_r^2)^3}}$$

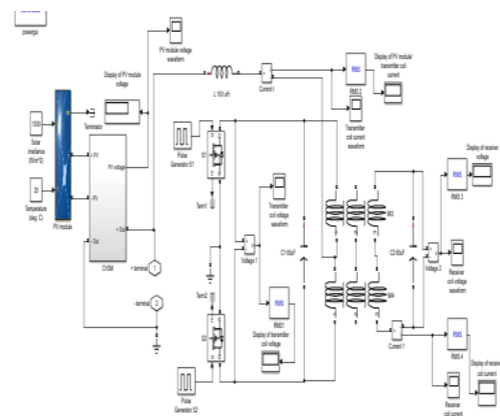


Gambar 3. Koil Pengirim, Relay Magnetik dan Koil Penerima

Pada Gambar 3, koil penerima dan koil pengirim memiliki jarak jarak antara koil pengirim dan penerima disebut sebagai induktansi bersama. Induktansi bersama, juga dikenal sebagai mutual inductance dalam bahasa Inggris, merujuk pada fenomena ketika dua atau lebih kumparan induktif saling mempengaruhi dan menghasilkan fluks magnetik yang saling terkait. Induktansi

bersama terjadi ketika perubahan arus pada satu kumparan menghasilkan fluks magnetik yang melintasi kumparan lainnya, dan fluks ini kemudian menginduksi tegangan pada kumparan tersebut Induktansi bersama diukur dalam satuan henry (H) dan merupakan parameter penting dalam kumparan yang terhubung dalam suatu rangkaian induktif.

#### 4. Pemodelan keseluruhan pwwpt dengan Magnetik Relay



Gambar 4. Model Keseluruhan PVWPT Dengan Magnetik Relay

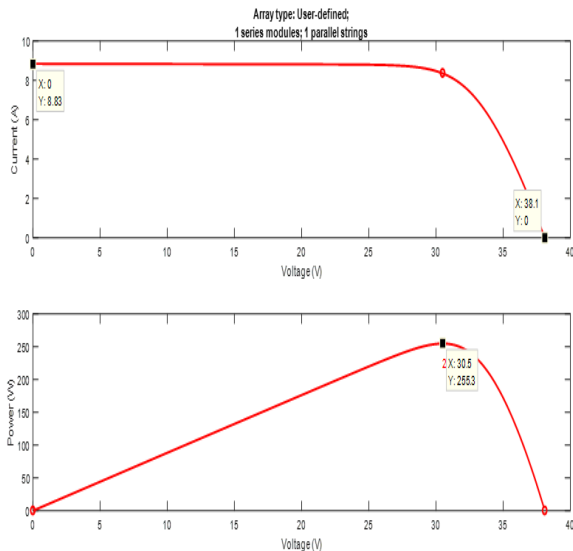
Ini adalah gambar model keseluruhan sistem transfer daya fotovoltaik nirkabel dengan menggunakan magnetik relay yang dibangun secara keseluruhan yang dibangun oleh modul fotovoltaik, pulse generator, inverter, koil pengirim, koil penerima, dan magnetik relay (Singh, *et al.*, 2020). Selanjut nya kita akan mengamati dan menganalisis performa sistem pwwpt dengan relay magnetik ataupun tidak menggunakan relay magnetik pada jarak 1 meter. Hasil dari performanya akan dalam bentuk grafik sinusoidal (tegangan AC) yang di peroleh dari konversi dari tegangan DC yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik. (Khan *et al.*, 2019)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Performa modul photovoltaic dianalisa menggunakan radiasi matahari sebesar 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu sebesar 25°C, hasil dari kinerja sistem disajikan dalam bentuk kurva arus, tegangan, dan daya. Berdasarkan modul pv tersebut memiliki tegangan rangkaian terbuka sebesar 38,1 V selanjutnya tegangan itu akan masuk ke inverter untuk di ubah dari tegangan dc ke tegangan ac lalu mensuplay tegangan ac

ke koil pengirim. Disimulasikan pada suhu 25°C dan radiasi sebesar 1000 W/m<sup>2</sup> pada jarak 1 meter

*Peforma Modul PV*



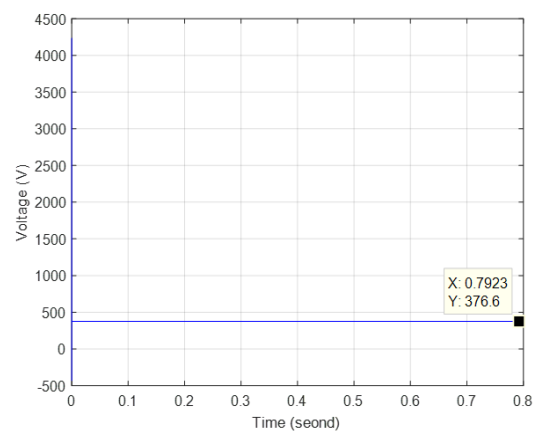
Gambar 5 Kurva I-V dan P-V pada Modul PV

Gambar 5 adalah gambar kurva performa modul PV dimana Pada tingkat radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C, modul PV menghasilkan arus sebesar 8,38 A ketika tegangan yang diberikan adalah 38,1 V. Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik akan berubah jika beroperasi pada kondisi radiasi matahari yang lebih tinggi atau lebih rendah dari 1000 W/m<sup>2</sup>, atau jika beroperasi pada suhu yang berbeda dari 25°C (Islam *et al.*, 2019) . Sebagai contoh, arus dan daya yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik dapat meningkat dengan intensitas cahaya matahari yang lebih tinggi, dan sebaliknya. mulai dengan nilai arus nol ketika tegangan nol, meningkat secara eksponensial dengan peningkatan tegangan hingga mencapai titik puncak arus maksimum (Imax) sebesar 255,3 w dan tegangan 30,5 V. Setelah mencapai titik MPP, arus menurun seiring dengan peningkatan tegangan.

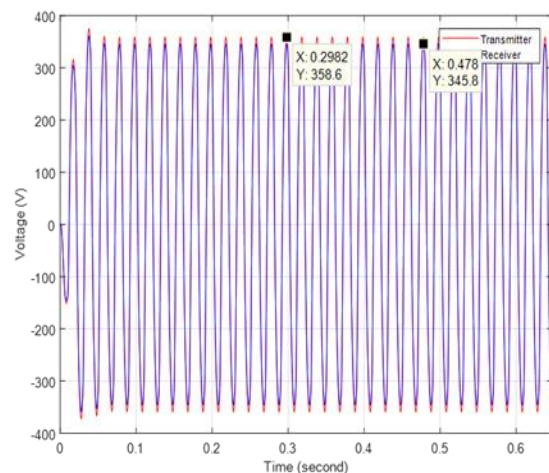
*Peforma Koil Pengirim Dan Penerima*

Gambar rangkaian PVWPT menunjukkan bahwa tegangan keluaran DC sebesar 233,6 V diubah menjadi gelombang AC. Ini terjadi karena kapasitor 60µF dan induktor 100 µH terhubung secara seri di tengah koil penerima dan kemudian terhubung

ke koil pengirim. Kabel tembaga yang digunakan di kedua koil ini memiliki diameter 1,25 mm, resistivitas 1,68 x 10<sup>-8</sup> Ωm, dan diameter kabel 49 cm, menurut persamaan 3 sampai 5 hambatan kumparan nya adalah 2,08. Pada PVWPT dengan magnetic relay dengan radiasi1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C dan jarak 1 meter pada koil pengirim mengirim tegangan sebesar 345,8 V dan menerima arus sebesar 8,781 A pada koil penerima menerima arus sebesar 358,6 V dan menerima arus sebesar 11,94 A ( J. Zhang *et al.*, 2019).

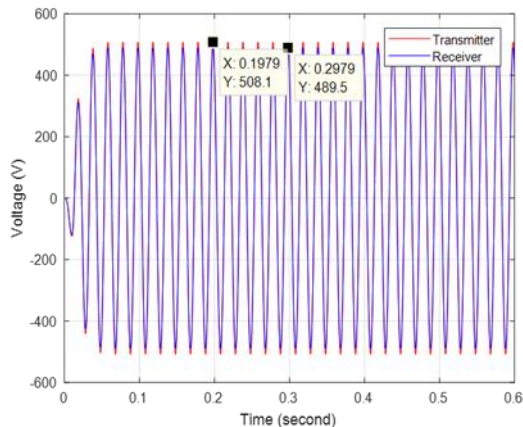


Gambar 6. Output Modul PV



Gambar 7. Grafik Tegangan AC dengan Magnetik Relay

Pada PVWPT tanpa magnetic relay dengan radiasi1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C dan jarak 1 meter pada koil pengirim mengirim tegangan sebesar 489,5 V dan mengirim arus sebesar 8,301 A pada koil penerima menerima tegangan sebesar 508,1 V dan menerima arus sebesar 11,22 A. (Zhang *et al.*, 2020)



Gambar 8. Tegangan AC Tanpa Magnetik Relay

### KESIMPULAN

PVWPT dengan magnetik relay cenderung memiliki efisiensi transfer energi yang lebih tinggi daripada PVWPT tanpa magnetik relay. Penggunaan relay magnetik memungkinkan pengendalian yang lebih presisi atas aliran energi, mengurangi kerugian energi selama transfer. Memberikan kontrol yang lebih baik dan perlindungan yang lebih terkoordinasi terhadap aliran energi. Relay magnetik memungkinkan pengendalian otomatis dan respons cepat terhadap situasi darurat, seperti arus berlebih atau tegangan yang tidak stabil.

### DAFTAR PUSTAKA

Butar-butur A. H., Leong J. H., Irwanto M. 2020. Effect of DC Voltage Source on the Voltage and Current of Transmitter and Receiver Coil of 2.5 kHz Wireless Power Transfer. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 9(2): 484-491. Doi: 10.11591/eei.v9i2.2060.

Alam H., Irwanto M., Mashor Y. M. and Masri M. 2020. Design of Multiple Pulse Width Modulation (MPWM) Transformerless Photovoltaic Inverter (TPVI) System. *Journal of Physics: Conference Series*. 1432: 012056. Doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012056.

Zhang J. *et al.* 2019. Optimization of Magnetic Relay for Wireless Power Transfer in Photovoltaic Systems Using Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 55, no. 3, pp. 1-8, Mar.

2019, doi: 10.1109/TMAG.2019.2894444.

Zhang J. *et al.* 2020. "Optimization of Magnetic Relay for Wireless Power Transfer in Photovoltaic Systems Using Particle Swarm Optimization," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 56, no. 3, pp. 1-8, Mar. 2020, doi: 10.1109/TMAG.2020.2974444.

Khan, M. A., *et al.* 2019. Magnetic Relay-Based Wireless Power Transfer for Photovoltaic Systems with Energy Harvesting. *Journal of Power Electronics* 19.3 (2019): 651-658.

Zhang K. *et al.* 2019. Design and Implementation of a Magnetic Relay-Based Wireless Power Transfer System for Photovoltaic Systems Using Fuzzy Logic Control. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 1441-1448, Apr. 2019, doi: 10.1109/TII.2019.2894445.

Irwanto M., Nugraha Y. T., Hussin N., and Nisja I. Effect of Temperature and Solar Irradiance on the Performance of 50 Hz Photovoltaic Wireless Power Transfer System. *J. Teknol.*, vol. 85, no. 2, pp. 53-67, 2023, doi: 10.11113/jurnalteknologi.v85.18872.

Kraiem S., Hamouda M., and Slama J. B. H. 2022. Conducted EMI Mitigation in Transformerless PV Inverters Based on Intrinsic MOSFET Parameters. *Microelectronics Reliability*. 114: 113876. Doi: doi.org/10.1016/j.microrel.2020.113876

Singh, S. K., *et al.* 2020. Design and Implementation of a Magnetic Relay-Based Wireless Power Transfer System for Photovoltaic Applications. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 12.2 (2020): 025501.

Islam, S. M. A. S. *et al.*, 2019. Magnetic Relay-Based Wireless Power Transfer for Photovoltaic Systems: A Review of Recent Advances. *Journal of Power Electronics*, vol. 19, no. 3, pp. 641-653, Mar. 2019, doi: 10.6119/JPE.2019.19.3.641.