

# Pengaruh Putaran dan Beban Motor- Motor AC Terhadap Pembangkit Dengan Sumber DC *Solar Cell*

Abd Kholid Rifai<sup>1</sup>, Nurmahendra Harahap<sup>2</sup>, Syafriwel<sup>3</sup>, Jhoni Hidayat<sup>4</sup>, Ayu Fitriani<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tjut Nyak Dhien  
E-mail: akholid06@gmail.com  
Korespondensi : syafriwel.lp3i@gmail.com

## Abstrak

Perkembangan teknologi pembangkit energi terbarukan telah membawa perubahan signifikan dalam cara kita menghasilkan dan menggunakan energi. Motor AC merupakan salah satu komponen penting dalam banyak aplikasi industri dan rumah tangga. Untuk menganalisis bagaimana sistem pembangkit tenaga surya dapat mengatasi perubahan beban motor dan tetap menyediakan daya yang cukup untuk memastikan kinerja yang stabil. Menganalisis tentang stabilitas tegangan, efisiensi konversi energi, dan ketahanan sistem terhadap perubahan beban dan kecepatan motor. Selain itu, penelitian ini juga penting untuk memahami bagaimana pengaturan dan kontrol daya yang tepat dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran motor AC, maka daya output sistem meningkat, demikian pula efisiensi sistem. Hal ini disebabkan karena pada RPM tinggi, motor cenderung bekerja dalam rentang operasional optimal sehingga beban inverter menjadi stabil. Namun, peningkatan RPM di atas 1500 dapat menimbulkan *overheating* pada sistem inverter dan meningkatkan rugi daya akibat *switching loss*. Peningkatan beban menyebabkan peningkatan arus dan daya yang ditarik dari sistem. Namun, seiring peningkatan beban dengan variasi beban yang berbeda ke arah maksimum (100%), efisiensi menurun secara perlahan. Hal ini karena sistem inverter harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan tegangan yang stabil, sedangkan output dari panel surya memiliki keterbatasan suplai daya yang tergantung pada kondisi intensitas cahaya matahari.

Kata Kunci : Motor, Solar cell, Putaran motor, rpm Sumber DC

## Abstract

*The development of renewable energy generation technology has brought significant changes in the way we generate and use energy. AC motors are one of the important components in many industrial and household applications. 1. To analyze how a solar power generation system can cope with changes in motor load and still provide sufficient power to ensure stable performance. Analyze the voltage stability, energy conversion efficiency, and system resilience to changes in load and motor speed. In addition, this study is also important to understand how proper power regulation and control can improve the overall efficiency of the system. The results show that the higher the AC motor speed, the system output power increases, as does the system efficiency. This is because at high RPM, the motor tends to work in the optimal operational range so that the inverter load becomes stable. However, increasing RPM above 1500 can cause overheating in the inverter system and increase power losses due to switching losses. Increasing the load causes an increase in the current and power drawn from the system. However, as the load increases with different load variations towards the maximum (100%), the efficiency decreases slowly. This is because the inverter system must work harder to maintain a stable voltage, while the output of the solar panel has limited power supply that depends on the conditions of sunlight intensity.*

Keywords : Motor, Solar cell, Motor rotation, rpm, DC source

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pembangkit energi terbarukan telah membawa perubahan signifikan dalam cara menghasilkan dan menggunakan energi listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yang semakin banyak digunakan adalah energi surya solar sell atau matahari, yang

dihasilkan melalui sistem solar cell (sel surya). Solar cell mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan energi listrik termasuk untuk menggerakkan motor listrik [1]. Salah satu jenis motor yang banyak digunakan dalam kebutuhan kelistrikan adalah motor AC, yang sangat bergantung pada sumber energi listrik untuk pengoperasiannya. Namun, untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan dari panel surya, perlu adanya pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh putaran dan beban motor AC terhadap kinerja sistem pembangkit dengan sumber DC dari sumber solar cell. Motor AC merupakan salah satu komponen penting dalam banyak aplikasi industri dan rumah tangga [2]. Motor AC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk menggerakkan berbagai perangkat [3]. Pada sistem pembangkit energi terbarukan, motor AC sering digunakan dalam konversi energi atau sebagai penggerak dalam sistem pompa, kipas, kompresor, dan sebagainya. Namun, motor AC memerlukan sumber listrik dengan karakteristik tertentu, terutama terkait dengan tegangan dan frekuensi, yang dapat berbeda ketika sumber daya utama adalah panel surya DC [4]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian dan studi lebih lanjut mengenai bagaimana sistem motor AC bekerja dengan sumber energi DC, serta pengaruh putaran dan beban yang diterima oleh motor tersebut. Sistem pembangkit tenaga listrik dari panel surya menghasilkan energi listrik berupa arus searah (DC). Meskipun demikian, banyak motor AC dan perangkat lainnya memerlukan sumber daya dalam bentuk arus bolak-balik (AC) [5]. Oleh karena itu, perlu dilakukan konversi dari DC ke AC menggunakan inverter untuk menyuplai energi yang dibutuhkan oleh motor AC [6]. Proses ini bisa mempengaruhi efisiensi sistem pembangkit dan kinerja motor itu sendiri. Dalam kondisi tertentu, beban dan putaran motor AC dapat mempengaruhi kestabilan suplai energi dari panel surya. Misalnya, ketika beban motor meningkat atau putaran motor berubah, sistem pembangkit tenaga surya harus mampu menyesuaikan pasokan energi agar motor AC tetap berjalan dengan efisien [7].

Putaran motor AC berhubungan langsung dengan kecepatan dan efisiensi operasional motor tersebut. Ketika motor berputar lebih cepat, maka beban listrik yang diperlukan untuk mempertahankan kecepatan motor akan meningkat, yang dapat mempengaruhi suplai daya dari panel surya. Selain itu, perubahan kecepatan putaran motor juga dapat mempengaruhi konsumsi energi dari sistem pembangkit tenaga surya, serta beban yang ditanggung oleh inverter dalam mengonversi DC ke AC [8]. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan dapat dirumuskan masalah sebagai berikut, Penting untuk mengetahui pengaruh fluktuasi beban dan putaran terhadap performa motor yang disuplai dengan energi DC dari panel surya [9]. Bagaimana pemahaman mengenai hubungan antara putaran motor dan kinerja sistem pembangkit energi terbarukan sangat diperlukan untuk mencapai efisiensi optimal. Adapun maksud dan tujuan penelitian ini dibuat ialah Untuk menganalisis bagaimana sistem pembangkit tenaga surya dapat mengatasi perubahan beban motor dan tetap menyediakan daya yang cukup untuk memastikan kinerja yang stabil dan menganalisis tentang stabilitas tegangan, efisiensi konversi energi, dan ketahanan sistem terhadap perubahan beban dan kecepatan motor. Selain itu, penelitian ini juga penting untuk memahami bagaimana pengaturan dan kontrol daya yang tepat dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem [10].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium sistem kontrol, laboratorium konversi energi listrik dan laboratorium mesin mesin listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Februari 2025 sampai dengan bulan Juli 2025. Penelitian ini berlangsung selama bulan Februari sampai dengan Juli 2025 atau sekitar 6 bulan di laboratorium sistem kontrol, laboratorium konversi energi listrik dan laboratorium mesin mesin listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Data-data yang telah diukur dan diamati kemudian diolah dan digambar sesuai dengan kebutuhan dalam rumusan masalah

untuk mendapatkan suatu kesimpulan. Adapun data yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Data hasil pengukuran dari tegangan pada sistem kontrol peralatan.
2. Data hasil pengetesan, observasi lalu di gambar dan nilai pengukuran
3. Data peralatan dan kelengkapan untuk penelitian ini.

#### Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini peneliti melakukan beberapa metode dalam melakukan pengumpulan data antara lain :

##### 1) Studi literature

Melakukan studi literature dari berbagai sumber referensi buku, jurnal, dan halaman *web*, Dalam melakukan analisa, mengumpulkan buku referensi dari materi training tentang peralatan di laboratorium dan sistem penangkal peralatan yang digunakan oleh laboratorium serta sebagai tambahan dan mencari referensi yang berasal dari internet baik berupa jurnal nasional maupun internasional sebagai penunjang yang berhubungan dengan penelitian.

##### 2) Metode observasi dan Pengukuran

Mmelakukan peninjauan langsung pada lokasi pengumpulan data dengan cara observasi ke tempat lokasi penelitian dan pengambilan data hasil pengukuran.

##### 3) Metode wawancara

Melakukan proses interview kepada para teknisi yang paham tentang judul diatas, berkaitan dengan kasus yang akan diteliti. Wawancara ini untuk menambah pengetahuan lebih jauh mengenai dampak peralatan terhadap peralatan lainnya dan memperjelas data-data yang diperoleh.

#### Metodologi

Diagram alur metodologi yang dilaksanakan dalam menyelesaikan permasalahan untuk penelitian ini sebagai berikut pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alur penelitian  
Sumber: Penulis

#### Analisis Data

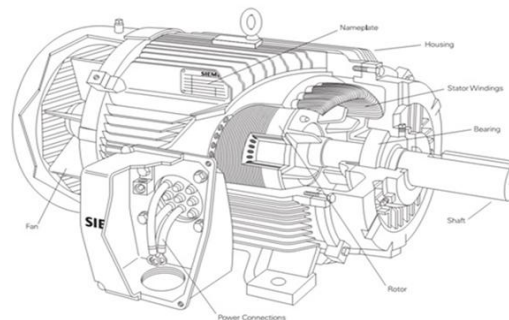
Analisis data dan penyelesaian masalah yang digunakan dalam penelitian yaitu dengan menggunakan data yang diperoleh dari tahapan metode pengumpulan data sebagai berikut:

- 1) Melakukan pengukuran dan melakukan pemeriksaan, kondisi peralatan dalam keadaan *off* maupun on.
- 2) Mencatat hasil pengukuran dan nilai dari tegangan maupun arus yang efisien yang terpakai.
- 3) Kemudian melakukan pemeriksaan seluruh peralatan dan hasil pengukuran
- 4) Melakukan pemeriksaan di ulang dan pengukuran ulang untuk memastikan keakuratan data hasil pengukuran.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Motor AC adalah motor yang menggunakan arus bola-balik yang digunakan untuk menggerakkan gerakan mekanis menjadi putaran motor. Motor AC yang digunakan adalah RPM 1500 dengan Sumber DC 12 Volt dikarenakan menggunakan sumber DC maka dibutuhkan Inverter untuk merubah ke tegangan AC. Selanjutnya dilakukan percobaan atau pengetesan pada rangkaian apakah mampu memutar motor dengan sumber yang berbeda. Ada beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan seperti pemanfaatan panel surya untuk mengoperasikan motor induksi satu fasa dengan inverster diperoleh fluktuasi radiasi matahari mempengaruhi stabilitas putaran motor terutama pada saat beban bervariasi [11].

:



Gambar 2. Contoh Kontruksi Motor AC

Sumber : <https://automation.or.id/>

Motor AC ada 2 macam yaitu motor AC sinkron dan motor AC induksi. Kelebihan motor AC memiliki fleksibilitas dalam pengendalian kecepatan dan efisiensi yang tinggi yang terdiri dari 2 bagian utama yaitu stator dan rotor [12].



Gambar 3. Bentuk Fisik Motor AC Induksi

Sumber : <https://www.crifluidsystems.com/>

Tabel 1 Pengukuran Motor AC Induksi dengan Sumber DC Solar Cell

No	Beban (%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Putaran Motor (RPM)	Efisiensi (%)
1	0	12.4	0.1	1200	85
2	25	13.0	0.5	1300	87
3	50	13.3	1.0	1400	90
4	75	13.5	1.5	1500	88
5	100	13.8	2.0	1600	85

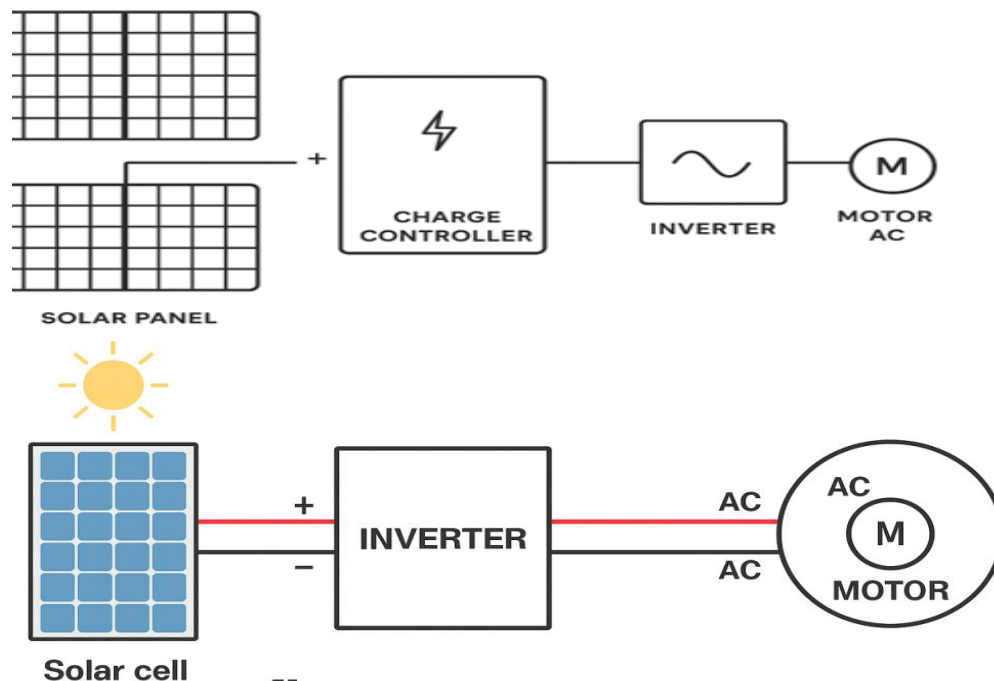
Hasil pengujian atau simulasi yang dilakukan, termasuk data yang diperoleh dari pengamatan terhadap motor AC yang digerakkan oleh pembangkit dengan sumber energi DC (*solar cell*). Dapat dilihat hasilnya pada tabel .1.

Hubungan antara beban motor dan efisiensi system dilengkapi dengan variasi tegangan dan arus output dari *solar cell*. Tabel ini menunjukkan bahwa efisiensi sistem cenderung menurun seiring meningkatnya beban motor. Tegangan output perlahan menurun dengan bertambahnya beban [13]. Arus *output* meningkat signifikan karena beban yang lebih tinggi memerlukan daya lebih besar.

Hubungan antara putaran motor dan efisiensi sistem, serta pengaruhnya terhadap daya yang digunakan dari solar cell. Hasil menunjukkan bahwa. Efisiensi meningkat dengan naiknya putaran motor hingga titik optimal (1600 RPM). Daya output juga meningkat, menunjukkan pemanfaatan energi dari *solar cell* yang lebih besar pada RPM tinggi.

#### Data Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan mengamati kinerja motor-motor AC yang digunakan sumber oleh sistem pembangkit tenaga surya (*solar cell*) melalui konversi DC ke AC menggunakan inverter [14]. Variasi dilakukan pada dua parameter utama: putaran motor (RPM) dan beban motor, untuk melihat bagaimana keduanya mempengaruhi stabilitas tegangan, daya output inverter, serta efisiensi sistem pada rangkaian ini.



Gambar 4. Rangkaian Pengujian Secara Umum/Secara Garis Besar untuk Analisis Motor

Selanjutnya didata hasil pengujian dengan variasi putaran dan variasi beban motor maka dihimpun datanya pada tabel 1 dan tabel 3 dapat dilihat dan diamati untuk diambil suatu kesimpulan hasil pengaruh putaran motor AC yang diamati atau di analisis.

Spesifikasi Motor, Inverter dan Solar *Cell* yang digunakan agar cocok untuk penelitian ini dapat di cek pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Spesifikasi Inverter yang digunakan

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe	Inverter Gelombang Sine Murni/ Pure Sine Wave
2	Input DC	24 Volt atau 48 Volt DC( sesuai dengan konfigurasi solar sell dan baterai
3	Output AC	220 Volt – 240 Volt AC 1 phase atau 380 Volt AC 3 phase jika menggunakan motor 3 phase
4	Daya Output	Minimal 1000 sampai 3000 Watt tergantung beban motor yang diuji
5	Frekuensi Output	50 Hz
6	Jenis Motor Kompatibel	Kompatibel dengan motor induksi AC 1phase atau 3 phase
7	Proteksi	Over temp, Overload, Short circuit dan undervoltage protection
8	Efisiensi	Kurang dari 90 persen
9	Fitur Lainnya	DISPLAY Monitor tegangan dan arus

Tabel 3 Spesifikasi Motor AC yang digunakan

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis Motor	Motor induksi 3 phase atau motor induksi 1 phase disesuaikan dengan inverter
2	Tegangan	220 Volt 1 phase atau 380 Volt 3 phase
3	Daya Motor (Power)	0,5 HP sampai 2 HP atau 370 Watt sampai 1500 Watt sesuai kapasitas inverter dan solar sell
4	Frekuensi	50 Hz standar PLN dan Inverter umum
5	Putaran ( RPM)	1400 sampai 1500 rpm 4 pole atau bisa diontrol oleh VFD untuk variasi kecepatan
6	Tipe Eukloser	TEFC (Totally Enclosed Fan Cooled) untuk penggunaan aman
7	Faktor Daya (pF)	Kurang dari 0,8
8	Efisiensi	Kurang dari 80 persen
9	Torsi Start	Sedang - tinggi untuk menguji beban variasi
10	Kompatibilitas Inverter	Harus komtabel dengan VFD variabel Frequnsy Drive inverter

Tabel 4 Spesifikasi *Solar Cell* yang digunakan

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis Panel	Monocrystalline efisiensi lebih tinggi atau Polycrystalline lebih murah
2	Daya perpanel	250 sampai 550 Watt peak (400 WP)
3	Tegangan Maksimum Vmp	$\pm 30$ sampai 48 Volt DC
4	Arus Maksimum Imp	$\pm 8$ sampai 11 Amper perpanel
5	Tegangan Sirkuit Terbuka Voc	$\pm 38$ sampai 50 Volt
6	Jumlah Panel	2 sampai 6 unit disesuaikan dengan kebutuhan motor dan inverter
7	Efisiensi	$\geq 18$ persen standar baik
8	Toleransi Daya	$\pm 3$ persen atau lebih baik
9	Ukuran Panel	$\pm 1 \times 1,7$ meter

10	Masa Pakai	25 sampai 30 tahun
11	Temperatur operasional	-40 <sup>0</sup> Celcius hingga +85 <sup>0</sup> Celcius
12	Standar perlindungan	IP65 /IP 67 terhadap air dan debu

Tabel 5. Pengujian pada Variasi Putaran Motor

No	Putaran Motor (RPM)	Tegangan Output (Volt)	Arus Output (Ampere)	Daya (Watt)	Efisiensi Sistem (%)
1	500	205	0.7	148.5	85.0
2	1000	210	0.85	178.5	85.0
3	1500	218	1.10	239.8	88.5

Perbedaan dari tabel 5 dan tabel 6 data di uji berdasarkan putaran motor dan pengujian menggunakan beban yang bervariasi sementara pengujian yang kedua menggunakan variasi beban motor untuk melihat pengaruh dari sumber DC.

Tabel 6. Pengujian pada Variasi Beban Motor

No	Beban Motor (%)	Tegangan Output (Volt)	Arus Output (Ampere)	Daya (Watt)	Efisiensi Sistem (%)
1	25	220	0.60	132.0	89.0
2	50	218	0.95	207.1	88.5
3	75	216	1.25	270.0	87.0
4	100	212	1.45	307.4	85.2

### 1. Pengaruh Putaran Motor terhadap Sistem Pembangkit

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran motor AC, maka daya output sistem meningkat, demikian pula efisiensi sistem [15]. Hal ini disebabkan karena pada RPM tinggi, motor cenderung bekerja dalam rentang operasional optimal sehingga beban inverter menjadi stabil. Namun, peningkatan RPM di atas 1500 rpm dapat menimbulkan *overheating* pada sistem inverter dan meningkatkan rugi daya akibat *switching loss*.

Efisiensi sistem tertinggi tercapai pada 1500 RPM, yaitu sebesar 88.5%. Di bawah RPM ini, sistem tetap efisien, namun kurang optimal dalam pemanfaatan daya dari *solar cell*. Dengan kata lain, putaran motor yang terlalu rendah tidak mampu memanfaatkan penuh energi dari panel surya.

### 2. Pengaruh Beban Motor terhadap Sistem Pembangkit

Peningkatan beban menyebabkan peningkatan arus dan daya yang ditarik dari sistem. Namun, seiring peningkatan beban ke arah maksimum (100%), efisiensi menurun secara perlahan. Hal ini karena sistem inverter harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan tegangan yang stabil, sedangkan output dari panel surya memiliki keterbatasan suplai daya yang tergantung pada kondisi intensitas cahaya matahari.

Pada beban 25%-50%, sistem bekerja sangat efisien (89%-88.5%), namun pada 100% beban, efisiensi turun ke 85.2%. Ini menunjukkan bahwa sistem berbasis DC Solar Cell idealnya digunakan pada beban parsial, untuk menjamin kestabilan dan umur perangkat lebih panjang.

### 3. Interaksi Putaran dan Beban terhadap Efisiensi

Terlihat bahwa kombinasi putaran tinggi dan beban sedang memberikan efisiensi terbaik. Kombinasi ini tidak hanya memberikan daya maksimum yang seimbang, tetapi juga mempertahankan kestabilan kerja inverter dan mencegah *overcurrent*. Maka, kontrol putaran dan beban menjadi penting dalam desain sistem berbasis *solar cell*.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan dapat diambil suatu kesimpulan dari penelitian ini yaitu Peningkatan beban menyebabkan peningkatan arus dan daya yang ditarik dari sistem. Namun, seiring peningkatan beban dengan variasi beban yang berbeda ke arah maksimum (100%), efisiensi menurun secara perlahan. Hal ini karena sistem inverter harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan tegangan yang stabil, sedangkan output dari panel surya memiliki keterbatasan suplai daya yang tergantung pada kondisi intensitas cahaya matahari. Berdasarkan hasil analisis putaran kecepatan motor stabil dan efisiensi meningkat dengan tegangan naik yang diiringi juga arus meningkat dengan pemakain maksimum. Penelitian ini bisa dilakukan kembali dengan sumber DC yang berbeda dengan sumber tegangan yang dilakukan pada penelitian yang sudah dilakukan yang bisa digunakan sebagai pembandingan pengaruh putaran dan kestabilan motor yang digunakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saputra, I., & Nugroho, D. (2024). Analisis Rangkaian Inverter 12V DC-220V AC dengan Sumber Panel Surya pada Beban Motor Listrik. *Jurnal Ilmu Komputer dan Manajemen*.
- [2] Jamil, M., & Imran, M. (2020). Impact of Load and Speed on Motor Efficiency in Solar Power Systems. *International Journal of Solar Energy Systems*, 5(1), 45-58.
- [3] Bhat, P., & Ravi, M. (2021). Analysis of Motor Control Systems for Solar-Powered DC Generators. *Energy Conversion and Management*, 148, 1443-1452.
- [4] Riwanto, F., & Sitorus, E. (2022). Studi Analisis Perubahan Putaran Motor Induksi 1 Fasa Akibat Output PLTS Aplikasi Kipas Angin. *Jurnal Elpotecs*, 4(1), 1-8
- [5] Wibowo, T. P., & Prasetyo, H. (2021). Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell dengan Kapasitas 50 WP. *Jurnal Turbo*, 10(2), 55-62.
- [6] Hadi, M., & Wahyudi, T. (2022). Solar Photovoltaic Systems for Driving AC Motors: A Study of Speed and Load Effects. *Solar Energy*, 214, 267-278. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.12.043>
- [7] Sarkar, A., & Ghosh, A. (2020). Optimization of Motor Load and Speed Control in Solar Power Generation Systems. *Journal of Power Electronics*, 22(4), 976-985. <https://doi.org/10.1109/JPE.2020.3052392>
- [8] Dwi, A. (2023). Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Studi Kasus Beban Induktif. Yogyakarta: Deepublish.
- [9] Santoso, Y. (2020). *Motor Listrik dan Sistem Konversi Energi*. Jakarta: Penerbit Gramedia.
- [10] Maulana, R. (2019). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapan*. Bandung: Penerbit Andi.
- [11] Mohamad, A., & Ismail, A. (2015). Analysis of the Performance of Induction Motors Driven by DC Solar Power Systems. *International Journal of Energy Engineering*, 5(2), 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.ijee.2015.03.002>
- [12] Kumar, R., & Saini, R. (2018). *Effect of Load and Speed on the Performance of AC Motors in Solar-Powered Systems*. *Renewable Energy Review*, 9(4), 175-188. <https://doi.org/10.1016/j.renen.2017.11.003>
- [13] Taufik, M., & Putra, R. (2019). *Modeling and Analysis of AC Motor Behavior in Solar-Based DC Power Generation Systems*. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 14(3), 1012-1021. <https://doi.org/10.1109/JEET.2019.032103>
- [14] Yadav, A., & Singh, B. (2016). *Performance Characteristics of AC Motors for Solar-Powered DC Systems*. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(3), 034701. <https://doi.org/10.1063/1.4953148>

- [15] Zhang, Z., & Zhang, H. (2017). *Energy Efficiency of AC Motors in Hybrid Solar Power Generation Systems*. *Renewable Energy*, 108, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.029>
- [15] Lee, S., & Cho, Y. (2019). *Motor Characteristics and Load Effects on Solar-Powered Electric Generation Systems*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 101, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.03.028>