

Memaksimalkan Daya Output Panel Surya Menggunakan Metode Konvergensi Cahaya Dan Penjejak Matahari

Maximizing Solar Panel Output Power Using Light Convergence Method And Sun Tracker

1st Zainal Abidin Pane
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

zainalabidinpane@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Wahmisari Priharti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

wpriharti@telkomuniversity.ac.id

3rd Desri Kristina Silalahi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

desrikristina@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Saat ini, salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang menjanjikan dan banyak digunakan adalah energi matahari. Listrik dapat dihasilkan dari cahaya matahari menggunakan photovoltaic (PV). Namun, saat ini daya keluaran yang dihasilkan PV masih rendah yaitu antara 5% - 16%. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk meningkatkan daya keluarannya agar listrik yang dihasilkan semakin besar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, akan dilakukan penelitian untuk meningkatkan keluaran daya PV dengan menggunakan kombinasi metode konvergensi cahaya dan metode penjejak matahari. Metode konvergensi cahaya dilakukan dengan media lensa fresnel dan metode penjejak matahari dilakukan dengan Motor DC berbasis waktu. Penelitian ini dilakukan selama 3 hari yang berlokasi di Kampus Telkom University, Bandung. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan kedua metode tersebut berhasil meningkatkan daya keluaran PV pada hari pertama sebesar 6,7882 watt atau 68%. Pada hari kedua berhasil meningkatkan daya keluaran PV sebesar 7,8655 watt atau 79%. Pada hari ketiga berhasil meningkatkan daya keluaran PV sebesar 6,9700 watt atau 70%. Jadi, rata-rata kenaikan daya keluaran PV yang dilengkapi dengan kombinasi metode konvergensi cahaya dan metode penjejak matahari pada penelitian ini adalah sebesar 7,20789 watt atau 72%.

Kata kunci—photovoltaic, konvergensi cahaya, penjejak matahari, lensa fresnel, motor DC.

Abstract—Currently, one of the promising and widely used sources of New and Renewable Energy is solar energy. Electricity can be generated from sunlight using photovoltaic (PV). However, the current output power of PV is still low, between 5% - 16%. Therefore we need a way to increase the output power so that the electricity generated is even greater. To overcome these problems, research will be conducted to increase the PV power output by using a combination of light convergence methods and solar tracking methods. The light convergence method is carried out with Fresnel lens media and the sun tracking method is carried out with a time-based DC motor. This research was conducted for 3 days located at Telkom University Campus, Bandung. The results of this study indicate that the combination of the two methods succeeded in increasing the PV output power on the first day by 6.7882 watts or 68%. On the second day managed to increase the PV output power by 7.8655 watts or 79%. On the third day managed to increase the PV output power by 6.9700 watts or 70%. So, the average increase in PV output power which is equipped with a combination of the light convergence method and the sun tracking method in this study is 7.20789 watts or 72%.

Keywords—photovoltaic, light convergence, sun tracker, fresnel lens, DC motor.

I. PENDAHULUAN

Matahari merupakan salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang jumlahnya tidak terbatas. Wilayah Indonesia secara astronomis terletak pada 6° lintang utara – 11° lintang selatan dan 95° bujur timur – 145° bujur timur, menempatkan Indonesia berada di kawasan tropis dan melewati garis khatulistiwa [1]. Rata-rata tingkat iradiasi harian matahari di Indonesia relatif tinggi yaitu sebesar 4,8 kWh/m²/hari sehingga berpotensi besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [2]. Dalam pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik, energi matahari dikonversi menjadi energi listrik dengan memanfaatkan teknologi *photovoltaic* atau disingkat PV.

Namun, saat ini keluaran daya PV masih sangat rendah, yaitu berkisar antara 5% - 16% [3]. Ada beberapa faktor yang menyebabkan rendahnya daya keluaran PV, diantaranya faktor intensitas cahaya matahari yang diterima, temperatur lingkungan, temperatur PV, kecepatan angin bertiup, keadaan atmosfer bumi, orientasi PV dan posisi letak PV terhadap matahari (tilt angle) dan material yang digunakan pada PV [4]. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode agar dapat meningkatkan daya keluaran PV sehingga dapat meningkatkan efisiensi PV.

Pada penelitian kali ini, dilakukan upaya pemaksimalan daya keluaran PV dengan menggunakan kombinasi metode konvergensi cahaya dan penjejak matahari. Media konvergensi yang akan digunakan adalah lensa fresnel yang ukurannya lebih besar dari ukuran PV, serta penjejak matahari yang akan digunakan adalah motor DC berbasis waktu yang akan membuat posisi PV selalu tegak lurus dengan matahari. Penggabungan kedua metode ini diharapkan akan mampu meningkatkan daya keluaran PV lebih maksimal.

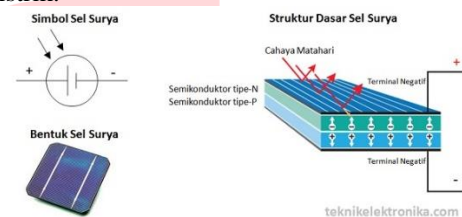
II. KAJIAN TEORI

A. Sel Surya

Sel Surya atau *Solar Cell* merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik [9]. Yang dimaksud dengan Efek Photovoltaic adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya

hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau Solar Cell sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). Efek Photovoltaic ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839 [10].

Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir. Sama seperti Dioda Foto (Photodiode), Sel Surya atau Solar Cell ini juga memiliki kaki positif dan kaki negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik.



GAMBAR 1 Struktur dasar dan simbol sel surya [10]

B. Pengaruh Intensitas Cahaya Pada Keluaran Daya PV

Salah satu faktor yang mempengaruhi daya keluaran PV adalah intensitas cahaya yang diterima oleh PV. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh PV maka semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Hubungan antara intensitas cahaya yang diterima PV dengan arus yang dihasilkan oleh PV dapat dilihat dari persamaan 2.1 berikut.

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{X I_{sc}}{I_0}\right) \quad [1]$$

Dimana:

V_{oc} = Open Circuit Voltage (Tegangan sel surya saat $I = 0$)

$\frac{nkT}{q}$ = Thermal voltage (Persamaan tegangan terhadap temperatur (0.02586V pada 26.85 derajat celcius))

X = intensitas cahaya (1kW/m²)

I_{sc} = Short Circuit Current (Arus sel surya saat $V = 0$)

I_0 = Arus pada saat sel surya dalam keadaan gelap

Berdasarkan penelitian Mukhamad Khumaidi Usman tentang intensitas cahaya terhadap energi listrik yang dihasilkan PV, menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya mulai dari 6900 lux sampai dengan 121.100

lux mengalami kenaikan tegangan dari 17,7 sampai dengan 20,3 volt begitu pula dengan arus mulai dari 0,02 sampai dengan 0,53 ampere. Artinya bahwa semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan [11].

C. Pengaruh Posisi PV Terhadap Matahari

Agar sinar matahari dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan PV. Dengan demikian PV harus dilengkapi dengan sistem penjejak matahari untuk mengatur arah permukaan PV agar selalu menghadap tegak lurus terhadap matahari.

Dalam melakukan penjejakan matahari, posisi PV juga harus memperhitungkan sudut deklinasi matahari terhadap bumi pada waktu pengambilan data. Sudut deklinasi adalah sudut antara utara sebenarnya dan jarum kompas atau utara magnet [12]. Sudut deklinasi terbentuk disebabkan oleh kemiringan Bumi pada sumbu rotasinya, dan revolusi Bumi mengelilingi matahari. Bumi memiliki kemiringan 23.45° dan sudut deklinasi bervariasi dari $+23.45^\circ$ hingga -23.45° [13].

Sudut Deklinasi dilambangkan dengan simbol δ , dan dihitung menggunakan persamaan:

$$\delta = -23.45^\circ \times \cos\left(\frac{360}{356} \times (d + 10)\right) \quad [2]$$

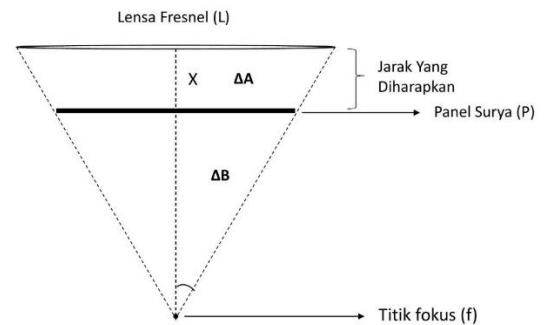
di mana d adalah hari dalam tahun dengan 1 Januari sebagai $d = 1$.

Penelitian dilakukan selama 3 hari pada tanggal 21 – 23 Juli 2022 yang berlokasi di Telkom University, Bandung. Pada waktu pengambilan data, berdasarkan persamaan perhitungan sudut deklinasi, didapatkan sudut deklinasi pada hari pertama adalah $20,44^\circ$, hari kedua $20,24^\circ$, dan hari ketiga $20,03^\circ$ [14].

D. Konvergensi Cahaya

Pada penelitian ini, cahaya akan dikonvergensi menggunakan lensa fresnel untuk meningkatkan intensitas cahaya yang masuk menuju PV. Posisi lensa fresnel terhadap PV dihitung berdasarkan ukuran PV dan jarak titik fokus yang dihasilkan oleh lensa fresnel. Penentuan posisi ini diupayakan agar seluruh bagian permukaan PV mendapatkan konsentrasi cahaya yang

sama dan merata, seperti pada gambar 2.7 berikut.



GAMBAR 2 Perhitungan Posisi PV Terhadap Lensa Fresnel

Jarak antara PV dengan Lensa Fresnel yang diharapkan (x) dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned} \tan \Delta A &= \tan \Delta B \\ \frac{\frac{L}{2}}{f} &= \frac{\frac{P}{2}}{f-x} \\ \frac{L}{2} (f-x) &= \frac{P}{2} f \\ \frac{L}{2} f - \frac{L}{2} x &= \frac{P}{2} f \\ \frac{L}{2} x &= \frac{L}{2} f - \frac{P}{2} f \\ x &= \frac{\frac{L}{2} f - \frac{P}{2} f}{\frac{L}{2}} \end{aligned} \quad (3)$$

dimana:

L = Panjang lensa fresnel

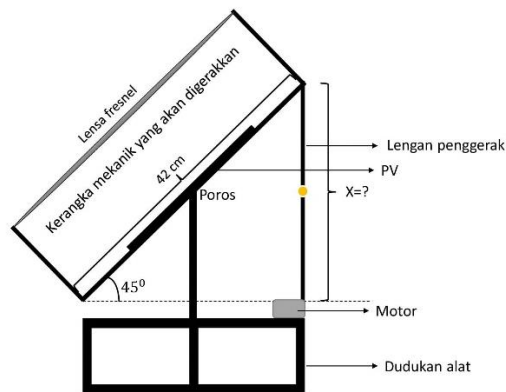
P = Panjang PV

f = Panjang titik fokus lensa fresnel

Dengan jarak x tersebut, maka PV akan mendapatkan cahaya konvergensi yang merata pada seluruh permukaannya.

E. Penjejak Matahari

Pada penelitian ini metode penjejak yang digunakan adalah metode tetap yang berbasis waktu dengan teknik fixed methode singel axis. Posisi matahari dihitung berdasarkan waktu terbit matahari dan waktu yang dibutuhkan matahari untuk bergerak setiap derajatnya. Pergerakan PV dalam menjejak matahari diatur dalam program mikrokontroler yang mengatur gerak motor yang menggerakkan PV berdasarkan perhitungan posisi matahari.



GAMBAR 3 Sistem penjejak matahari

Dari gambar 2.8 diatas, panjang x dihitung dengan menggunakan persamaan sinus, sebagai berikut:

$$\sin \theta = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi miring}}$$

(4)

Pengambilan data penjejak posisi matahari berbasis waktu dilakukan pada tanggal 21 – 23 Juli 2022 yang berlokasi di Telkom University, Bandung. Selama 3 hari melakukan penelitian ini, matahari terbit pada pukul 06.03 WIB [12]. Gerak semu matahari membutuhkan waktu 4 menit per 1 derajat [13], sehingga pada program penjejak matahari diatur untuk bergerak 1° setiap 4 menit. Untuk melihat perbedaan daya keluaran pada posisi matahari yang berbeda, maka pengambilan data dilakukan setiap matahari bergerak sebesar 5° atau setiap 20 menit sekali.

Berdasarkan ketentuan diatas, maka pedoman penjejak matahari dijalankan dengan perhitungan sebagai pada tampilan tabel 2.1 berikut:

TABEL 1 Pedoman Posisi Penjejak Matahari

Waktu (WIB)	Posisi Matahari (°)
06.03	0
06.23	5
06.43	10
07.03	15
07.23	20
07.43	25
08.03	30
08.23	35
08.43	40
09.03	45
09.23	50
09.43	55
10.03	60
10.23	65
10.43	70
11.03	75
11.23	80
11.43	85
12.03	90
12.23	95
12.43	100
13.03	105

III. METODE

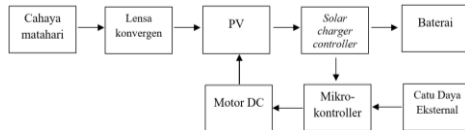
A. Desain Sistem

Penelitian ini akan menggunakan 2 PV. Salah satu PV akan dipasang lensa fresnel untuk mengkonvergensi cahaya ke PV

dan penjejak matahari untuk mengikuti arah gerak matahari agar posisi PV selalu tegak lurus 90° terhadap matahari. Kedua PV akan dirangkai dengan solar charger controller (scc) sebelum arus dan tegangan dari PV masuk ke baterai sebagai beban. Pengukuran

arus dan tegangan dari PV dilakukan sebelum arus dan tegangan masuk ke scc.

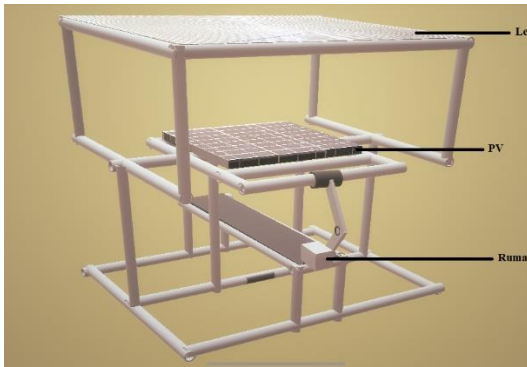
Penelitian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini secara singkat dapat diterangkan pada diagram blok berikut:



GAMBAR 4 Diagram Blok

B. Desain Mekanik

Desain mekanik alat yang dibuat pada penelitian ini adalah seperti gambar dibawah:



GAMBAR 5 Desain perangkat keras

Lensa Fresnel yang dipakai berukuran 57 cm x 42 cm, dengan panjang titik fokus 68 cm. Ukuran PV yang digunakan berukuran 36 cm x 26 cm. Berdasarkan persamaan 2.2 sebelumnya, jarak antara PV dan Lensa Fresnel ditentukan dengan perhitungan:

$$x = \frac{\frac{L}{2}f - \frac{P}{2}f}{\frac{L}{2}}$$

$$x = \frac{28,5 \cdot 68 - 18,68}{28,5}$$

$$\text{Jadi, } x = 25,05 \text{ cm}$$

Panjang aktuator motor servo yang digunakan untuk menggerakkan sistem mekanik PV dihitung menggunakan persamaan sinus 2.3 sebelumnya, sebagai berikut:

$$\sin 45^\circ = \frac{x}{42 \text{ cm}}$$

$$x = \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 42 \text{ cm}$$

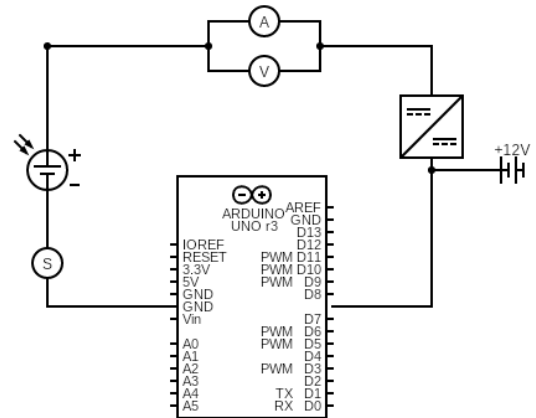
= 29,698 cm atau dibulatkan menjadi 30 cm

Jadi panjang x adalah 30 cm, kemudian pada pertengahan x dibagi dua sama panjang secara presisi menjadi bagian aktuator dan

dihubungkan dengan penarik beban mekanik yang panjangnya masing-masing 15 cm.

3.3 Desain Rangkaian Elektrik

Desain rangkaian elektrik pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



GAMBAR 6 Desain Rangkaian Elektrik

Sebagaimana pada gambar 6 diatas, desain elektrik pada penelitian ini tersusun oleh PV yang terdapat pada rangkaian mekanik yang sudah dibuat dihubungkan dengan sensor arus dan sensor tegangan yang terdapat pada watt meter digital, lalu dihubungkan dengan konverter DC-DC atau solar charge controller (ssc), kemudian dihubungkan ke baterai. Catu daya eksternal untuk mikrokontroler digambarkan dihubungkan langsung dari konverter DC-DC dihubungkan dengan mikrokontroler, lalu dihubungkan dengan Motor Servo DC, kemudian Motor Servo DC terhubung dengan rangkaian mekanik dudukan PV.

D. Desain Perangkat Lunak

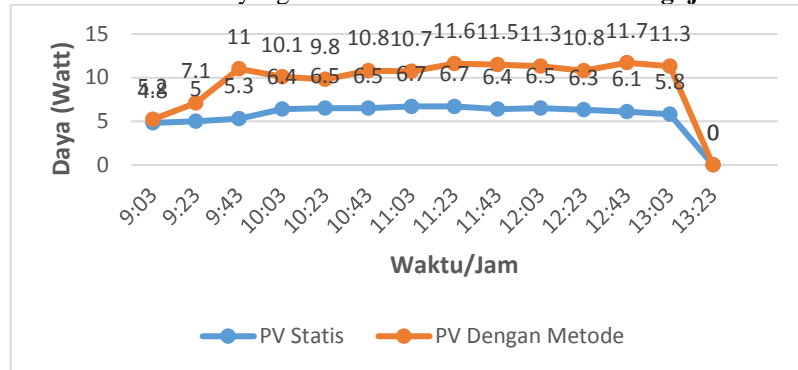


GAMBAR 7 Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak yang dibuat pada penelitian ini seperti yang tertera pada diagram alir diatas. Sistem yang dibuat adalah pengontrolan perputaran motor berbasis waktu, pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan dan pengukuran arus dari sensor arus yang ada di

dalam alat ukur watt meter. Pengontrolan motor dilakukan menggunakan mikrokontroler dengan memasukkan perintah putaran motor setiap 20 menit di dalam program mikrokontroler.

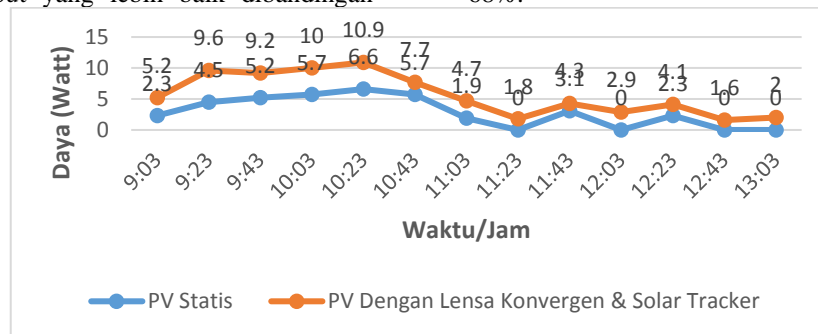
E. Hasil Pengujian



GAMBAR 8 Perbandingan Daya Hari Ke - 1

Hasil yang didapatkan dari pengujian terhadap daya di hari pertama adalah PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari mendapatkan daya output yang lebih baik dibanding

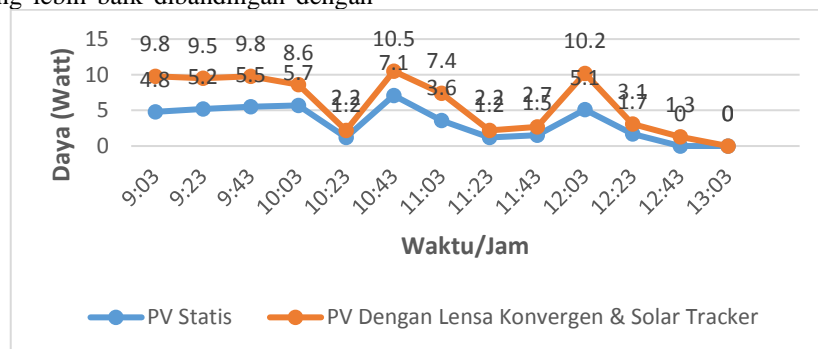
dengan PV statis. Tingkat kenaikan daya output yang didapatkan PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari adalah sebesar 6,78816658 watt atau sekitar 68%.



GAMBAR 9 Perbandingan Daya Hari Ke - 2

Hasil yang didapatkan dari pengujian terhadap daya di hari kedua adalah PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari masih mendapatkan daya output yang lebih baik dibanding

PV statis. Tingkat kenaikan daya output yang didapatkan PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari adalah sebesar 7,8655119 watt atau sekitar 79%.



GAMBAR 10 Perbandingan Daya Hari Ke - 3

Hasil yang didapatkan dari pengujian terhadap daya di hari ketiga adalah PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari tetap mendapatkan daya output yang lebih baik dibandingkan dengan PV statis. Tingkat kenaikan daya output yang didapatkan PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari adalah sebesar 6,97000638 watt atau sekitar 70%.

Dengan demikian, persentase rata-rata kenaikan daya output PV yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan penjejak matahari selama pengujian 3 hari adalah sebesar 7,20789 watt atau sekitar 72%.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan metode kombinasi lensa fresnel dan penjejak matahari pada PV berhasil meningkatkan arus keluaran rata-rata sebesar 0,718906 ampere atau sebesar 72%, meningkatkan tegangan rata-rata sebesar 0,001059 volt atau 0%, dan meningkatkan daya keluaran rata-rata sebesar 7,20789 watt atau 72%.
2. Prototype alat yang dibuat dengan berhasil berjalan sesuai dengan perancangan, yaitu bergerak 1o setiap 4 menit sesuai dengan pedoman pergerakan matahari.

B. Saran

Untuk pengembangan penelitian ini, penulis memiliki beberapa saran, diantaranya:

1. Sistem penjejak matahari bisa menggunakan sistem dual axis agar posisi PV tegak lurus terhadap matahari matahari lebih akurat.
2. Monitor data arus, tegangan dan daya yang didapatkan dikelola dengan menggunakan Internet of Things (IoT), agar lebih mempermudah dalam mendapatkan data.
3. Rentang waktu penelitian dapat diperpanjang menjadi selama sehari penuh mulai dari matahari terbit sampai matahari terbenam, agar hasil perbandingan yang didapatkan semakin akurat.
4. Penambahan kaca dengan metode pemantulan cahaya diatas lensa fresnel bisa dicoba untuk meningkatkan intensitas cahaya matahari yang diserap oleh PV.

REFERENSI

- [1] S. N. Utami, "Letak Astronomis Indonesia dan Wilayahnya," *kompas.com*, 2021. <https://www.kompas.com/skola/read/2021/04/20/132227269/letak-astronomis-indonesia-dan-wilayahnya> (accessed Jul. 07, 2022).
- [2] S. P. Listrik *et al.*, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia," pp. 43–52.
- [3] R. Arif Nugroho and M. Facta, "Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector)," *Univ. Diponegoro*, 2014.
- [4] M. A. Saputra, M. F. Azis, E. A. Sinuraya, N. A. Firdaus, Rizky Nafiar Rafiandi, and D. F. U. Putra, "Inovasi Peningkatan Efisiensi Panel Surya Berbasis Fresnel Solar Concentrator Dan Solar Tracker," in *Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional Program Kreativitas Mahasiswa*, 2014, vol. 5, no. 2, pp. 40–51.
- [5] A. Tianto *et al.*, "Meningkatkan Daya Output Panel Surya Dengan Sun Tracker Berbasis Waktu," 2019.
- [6] G. Sutarso Putra and W. Dwiono, "Rancang Bangun Penjejak Matahari 2 Sumbu Menggunakan Data Rtc (Real Time Clock) Untuk Panel Surya," vol. 21, no. 2, pp. 91–98, 2020, [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>.
- [7] B. Yulianto, "Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan," *www.esdm.go.id*, 2012. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan#:~:text=Solar cell merupakan pembangkit listrik,serta jumlahnya yang sangat besar.> (accessed Jul. 11, 2022).
- [8] D. Kho, "Pengertian Sel Surya (Solar Cell) dan Prinsip Kerjanya," *teknikelektronika.com*. <https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya/> (accessed Jul. 11, 2022).
- [9] M. Khumaidi Usman, "Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel

- Surya,” *J. POLEKTRO J. Power Elektron.*, vol. 9, no. 2, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerelektro>.
- [10] “Pengamatan Magnet Bumi,” <http://stageof.tangerang.bmkg.go.id/>.
.
http://stageof.tangerang.bmkg.go.id/?page_id=107#:~:text=Sudut
Deklinasi adalah sudut antara utara sebenarnya dan jarum kompas atau utara magnet (accessed Jul. 11, 2022).
- [13] “Sudut Deklinasi.” <https://www.pveducation.org/id/pvc-drom/sudut-deklinasi> (accessed Jul. 11, 2022).
- [14] C. Honsberg, “Kalkulator Posisi Matahari,” [pveducation.org](https://www.pveducation.org).
<https://www.pveducation.org/id/pvc-drom/kalkulator-posisi-matahari> (accessed Jul. 28, 2022).