



## Perancangan *Dual-Axis Solar Tracker* untuk PLTS dengan Analisis Pengaruh Jumlah Sensor dan *Tracking Delay*

Muhammad Ridho Dewanto<sup>1✉</sup>, Yun Tonce Kusuma Priyanto<sup>2</sup>, Thomas Dwi Putra Salim<sup>3</sup>,

Mohammad Khatami<sup>4</sup>, Sena Sukmananda Suprpto<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Institut Teknologi Kalimantan

[ridho.dewanto@lecturer.itk.ac.id](mailto:ridho.dewanto@lecturer.itk.ac.id)

### Abstract

One of the problems with Solar Power Plants (PLTS) is the angle of inclination during installation. Errors in determining the angle make PLTS not produce power optimally. In order for the power generated by PLTS to be optimal, the angle of inclination of the solar panels must be adjusted so that they face directly towards the sun. This study designed a dual-axis solar tracker using a microcontroller, a Light Dependent Resistor (LDR) sensor, and a servo motor. The effect of the number of sensors and tracking delay is analyzed to determine the output power of solar panels with different configurations. Testing from 07:00 to 17:00 for 2 days of testing, 2 days of tracking delay testing, and 3 days of testing of 3 PLTS installed. First on the dual-axis solar tracker and the rest with tilt angles of 0° and 30°. The results of the design of a dual-axis solar tracker on the x-axis rotates from 0° to 20°, while the y-axis rotates from 35° to -17°. Tests using 4 LDR sensors affect changes in the angle of the solar panels. Tests show tracking delay every 30 minutes and 1 hour has no significant effect. The power generated at the tracking delay every 30 minutes is greater, but the power consumed is also greater. During the test it was found that with a tracking delay of 1 hour it produced 1.76% greater net power. Final testing of dual-axis solar tracker and PLTS with tilt angles of 0° and 30°. During testing, it was found that the dual-axis solar tracker produces 16.89% greater power than at a tilt angle of 30° and 11.42% greater than an angle of 0°.

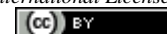
Keywords: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Solar Tracker, Light Dependent Resistor (LDR) Sensor, Tracking Delay, Tilt Angle.

### Abstrak

Permasalahan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) salah satunya adalah sudut kemiringan pada saat pemasangan. Kesalahan dalam penentuan sudut membuat PLTS tidak menghasilkan daya secara optimal. Agar daya yang dihasilkan PLTS optimal, sudut kemiringan panel surya harus diatur agar menghadap langsung ke arah matahari. Penelitian ini merancang sebuah *dual-axis solar tracker* menggunakan mikrokontroler, sensor Light Dependent Resistor (LDR), dan motor servo. Pengaruh jumlah sensor dan *tracking delay* dianalisis untuk mengetahui daya keluaran panel surya dengan konfigurasi yang berbeda. Pengujian dari pukul 07:00 sampai dengan 17:00 selama 2 hari pengujian, 2 hari uji *tracking delay*, dan 3 hari pengujian 3 PLTS terpasang. Pertama pada *dual-axis solar tracker* dan sisanya dengan sudut kemiringan 0° dan 30°. Hasil perancangan *dual-axis solar tracker* pada sumbu x berputar dari 0° hingga 20°, sedangkan sumbu y berputar dari 35° hingga -17°. Pengujian menggunakan 4 sensor LDR mempengaruhi perubahan sudut panel surya. Pengujian menunjukkan *tracking delay* setiap 30 menit dan 1 jam tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Daya yang dihasilkan pada *tracking delay* setiap 30 menit lebih besar, tetapi daya yang dikonsumsi juga lebih besar. Selama pengujian didapatkan dengan *tracking delay* 1 jam menghasilkan daya bersih 1,76% lebih besar. Pengujian terakhir *dual-axis solar tracker* dan PLTS dengan sudut kemiringan 0° dan 30°. Selama pengujian didapatkan bahwa *dual-axis solar tracker* menghasilkan daya 16,89% lebih besar dari pada sudut kemiringan 30° dan 11,42% lebih besar daripada sudut 0°.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Solar Tracker, Sensor Light Dependent Resistor (LDR), *Tracking Delay*, Sudut Kemiringan.

JSISFOTEK is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



### 1. Pendahuluan

Percepatan dunia teknologi menuntut untuk terus melakukan inovasi dan pembaharuan dari segala aspek. Terutama dalam permintaan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang terus meningkat. Energi dengan bahan fosil suatu saat akan habis dan mau tidak mau harus beralih ke EBT. Di Indonesia, porsi kebaruan EBT dalam energi nasional 2020 masih 11,31% atau separuh dari target 23% pada tahun 2025 [1]. Pertumbuhan

kapasitas pembangkit listrik EBT cukup menjanjikan. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir, penambahan kapasitas pembangkit EBT sebesar 1.478 Mega Watt (MW) dengan kenaikan rata-rata sebesar 4% per tahun [2].

Pemanfaatan energi matahari atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi alternatif dalam mengatasi krisis energi. Sejak tahun 1970-an telah mendapatkan perhatian dunia. Potensi PLTS di Indonesia sangat besar yaitu sekitar 200.000 MW,

namun yang dimanfaatkan baru sekitar 150 MW atau 0,08%. Kementerian ESDM menargetkan terpasangnya PLTS atap sebesar 3.600 MW secara bertahap hingga tahun 2025 melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan PLTS [3]. PLTS memiliki beberapa komponen yang harus diperhatikan, yaitu solar charge controller, inverter jaringan, baterai, sistem distribusi, sistem pemantauan dan pembumian atau penangkal petir. Salah satu faktor yang mempengaruhi produksi tenaga listrik oleh PLTS yaitu sudut kemiringan modul panel surya [4].

Sudut Kemiringan modul panel surya ditentukan oleh garis lintang pada lokasi pemasangan. Indonesia yang merupakan wilayah dekat dengan khatulistiwa sehingga sinar matahari hampir tegak lurus. Dekatnya wilayah Indonesia dengan khatulistiwa, membuat sudut  $0^\circ$  adalah sudut yang optimal untuk menangkap radiasi. Sudut  $0^\circ$  atau yang relatif datar dapat menyebabkan penumpukan debu. Sudut azimuth merupakan sudut dari arah datangnya sinar matahari dan merupakan ketinggian dari matahari. Pada setiap daerah memiliki sudut yang berbeda-beda, maka akan terjadi pemborosan iklimasi atau ketentuan sudut yang seharusnya [5].

Optimalisasi daya yang diproduksi oleh PLTS dengan penggunaan sistem pelacak pada dudukan dapat meningkatkan produksi daya. Sistem pelacakan dapat mengarah ke posisi matahari dari terbit hingga terbenam. Sistem pelacak ini dibagi menjadi 2 macam, yaitu single-axis tracking dan dual-axis tracking. PLTS dengan dual-axis tracking memiliki kebebasan lebih dalam proses pelacakan. Sudut yang dapat dilacak pada sistem ini adalah sudut azimuth dan altitude, sedangkan single-axis tracking hanya salah satunya saja [6]. Berdasarkan kontrol strategi tracking dibagi menjadi 3, yaitu sistem tertutup, sistem terbuka, dan sistem hybrid. Sistem terbuka merupakan sistem tanpa menggunakan sensor sebagai pendeteksinya. Sedangkan sistem tertutup menggunakan sensor sebagai pendeteksi arah matahari [7].

Pada penelitian yang menggunakan 2 hingga 4 buah sensor sebagai pendeteksi arah matahari dari terbit hingga terbenam. Motor servo sebagai penggeraknya pada penggunaan motor ini juga menjadi salah satu kelemahan, yaitu motor terus-menerus bergerak sehingga daya yang dihasilkan akan habis terpakai oleh motor. Penelitian dengan motor bergerak ke satu arah mengikuti matahari dapat menghasilkan 244,97W dan saat tetap dapat menghasilkan 181,63W. Daya yang terpakai pada aktuator 59,46W dari daya pada pelacakan sistem 1 arah. Daya yang dihasilkan adalah 185,51W [8], sehingga tidak signifikan.

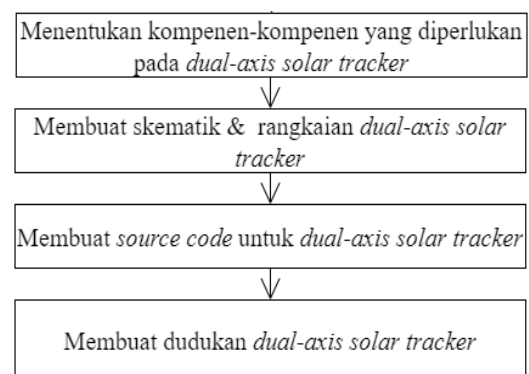
Penelitian pelacakan sistem 2 arah dengan menggunakan 4 sensor. Sistem ini dapat meningkatkan energi yang dihasilkan dengan perhitungan konsumsi energi dari pelacakan didapatkan 19,97% dan 11%, sehingga lebih baik daripada sistem tetap [9], [10].

Daya yang dihasilkan tidak dari sistem pelacakan dan tidak memberikan produksi energi yang signifikan, karena habis terpakai pada aktuator [11]. Maka perlu dilakukan penelitian dalam mengembangkan pengaruh *dual-axis solar tracker* pada PLTS dengan analisis pengaruh jumlah sensor dan tracking delay pada panel surya. Penelitian membandingkan daya keluaran dari *dual-axis solar tracker* dengan sistem konvensional.

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan PLTS yang meliputi topologi sistem, konfigurasi sistem, Solar Charge Controller, Sistem Tracker, Motor Servo [12], Light Dependent Resistor (LDR) [13], Sensor arus ACS712 [14], dan Mikrokontroler [15]. Motor DC Servo (DC-SV) memiliki kualifikasi khusus yang disesuaikan untuk aplikasi servo pada kontrol. Motor DC-SV memiliki kemampuan yang baik dalam perubahan posisi, kecepatan, dan akselerasi yang sangat cepat. Motor DC Servo juga diharuskan handal beroperasi pada keadaan torsi yang berubah-ubah [16]. Putaran motor berdasarkan tegangan input khusus yang berfungsi sebagai tegangan referensi atau input dalam bentuk Pulse Width Modulation (PWM). Ketelitian alat ukur dibagi menjadi 3 yaitu, alat cermat atau presisi ( $<0,5\%$ ), alat kerja ( $\pm 1-2\%$ ) dan alat ukur kasar ( $>3\%$ ).

Perancangan sistem tracker pada PV dengan mengaplikasikan 4 buah sensor LDR untuk mendeteksi arah matahari. Perancangan ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu penentuan komponen yang akan digunakan dalam sistem, pembuatan skematik rangkaian sistem, selanjutnya pembuatan *source code*, dan terakhir tahap desain serta pembuatan dudukan pada tracker. Tahapan-tahapan ini dilakukan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Kerangka Kerja

Uraian dari tahapan kerja adalah:

- Penentuan komponen-komponen yang digunakan untuk membuat tracker pada panel surya. Komponen-komponen ini termasuk keseluruhan sistem PLTS, sistem kontrol dan komponen elektronika lainnya.
- Tahap penentuan alat dan bahan yaitu membuat skematik rangkaian atau diagram blok dari sistem tracker. Sistem dibagi menjadi 3 bagian yaitu

input, proses dan output. Input adalah pembacaan sensor LDR dan daya panel surya. Proses data input diolah oleh multiplexer, RTC, SCC, stepdown regulator, sensor arus dan tegangan, serta mikrokontroler. Output adalah hasil pemrosesan yang dikerjakan oleh LCD, data logger, dan motor servo.

- c. Tahap pembuatan *source code* untuk tracker menggunakan bahasa pemrograman yang diterapkan pada mikrokontroler.
- d. Tahap pembuatan desain dudukan panel surya yang dapat bergerak secara horizontal dan vertikal. Desain dudukan menentukan bentuk yang proporsional diaplikasikan dengan tracker.

Analisis dan pembahasan dilakukan untuk mendapatkan nilai pengujian jumlah sensor, variasi delay, dan *system solar tracker* terhadap sistem konvensional. Variabel pengujian terdiri atas 2, yaitu bebas dan terikat. Nilai variabel terikat berdasarkan variasi dari nilai variabel bebas. Variabel yang mempengaruhi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Varibel	Jenis
Bebas	• Radiasi matahari ( $W/m^2$ )
	• Jumlah sensor
	• Variasi delay (Waktu)
Terkontrol	• Jumlah sensor LDR 8 dan 4 buah
	• 2 Variasi delay (Waktu)
	• Sudut <i>dual-axis solar tracker</i> (Derajat)
Terikat	• Tegangan (Volt)
	• Arus (Ampere)
	• Daya (Watt)

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dual-axis solar tracker pada pengujiannya dilakukan dengan menggunakan 4 sensor LDR. Pengujian dilakukan selama 2 hari, di mana pada pengujian pada hari pertama didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Pengukuran Panel Surya Hari Pertama.

Jam	Radiasi ( $W/m^2$ )	Panel Surya			Altitude (Derajat)	Azimuth (Derajat)
		V in (V)	I in (A)	P in (W)		
7:00	550,20	12,64	3,00	37,92	35	0
8:00	569,80	12,67	3,30	41,81	35	20
9:00	776,55	12,95	4,09	52,96	35	20
10:00	904,00	14,02	5,39	75,57	35	20
11:00	1.280,05	15,24	5,56	84,73	35	20
12:00	1.194,55	15,65	4,84	75,74	35	20
13:00	1.155,60	15,64	4,68	73,20	34	20
14:00	939,75	13,82	3,88	53,62	34	20
15:00	621,70	13,89	3,67	50,98	30	20
16:00	556,25	13,18	2,37	31,24	17	20
17:00	489,20	12,85	1,71	21,97	4	20
Total		152,55	42,49	599,75		

Tabel 3. Pengukuran Beban Hari Pertama

Jam	Radiasi ( $W/m^2$ )	Beban			Altitude (Derajat)	Azimuth (Derajat)
		V out (V)	I out (A)	P out (W)		
7:00	550,20	7,28	0,15	1,10	35	0
8:00	569,80	7,31	0,15	1,10	35	20
9:00	776,55	7,32	0,16	1,17	35	20
10:00	904,00	7,33	0,15	1,14	35	20
11:00	1.280,05	7,33	0,16	1,17	35	20
12:00	1.194,55	7,33	0,17	1,22	35	20
13:00	1.155,60	7,30	0,30	2,20	34	20
14:00	939,75	7,28	0,38	2,75	34	20
15:00	621,70	7,26	0,54	3,90	30	20
16:00	556,25	7,14	1,05	7,52	17	20
17:00	489,20	7,21	0,75	5,47	4	20
Total		80,12	3,97	28,77		

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 terdapat total daya yang dihasilkan oleh panel surya 599,74 Watt, sedangkan total daya yang dipakai adalah 28,77 Watt. Sehingga daya bersih yang dihasilkan oleh panel surya adalah:

$$\text{Daya bersih} = P_{\text{total Panel Surya}} - P_{\text{total Daya}}$$

$$\text{Beban} = 599,7479 - 28,7709 = 570,997 \text{ Watt}$$

Pengujian pada hari kedua disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Pengukuran Terhadap Panel Surya Hari Kedua

Jam	Radiasi ( $W/m^2$ )	Panel Surya			Altitude (Derajat)	Azimuth (Derajat)
		V in (V)	I in (A)	P in (W)		
7:00	550,20	12,64	2,87	36,28	35	0
8:00	569,80	12,67	3,10	39,28	35	20
9:00	776,55	13,55	4,79	64,90	35	20
10:00	904,00	14,15	5,34	75,57	35	20
11:00	1.280,05	15,48	5,28	81,74	35	20
12:00	1.194,55	16,66	4,64	77,31	35	20
13:00	1.155,60	15,94	5,40	86,08	34	20
14:00	939,75	14,03	3,82	53,60	34	20
15:00	621,70	13,52	3,77	50,98	30	20
16:00	556,25	13,64	2,29	31,24	17	20
17:00	489,20	13,57	1,62	21,98	4	20
Total		153,75	43,38	618,96		

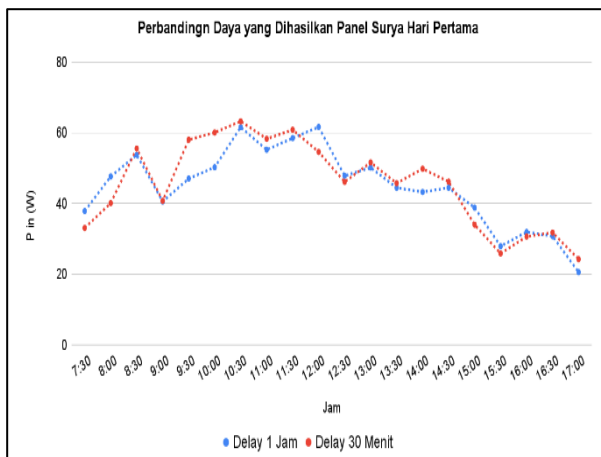
Tabel 5. Hasil Pengukuran terhadap beban hari kedua

Jam	Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	Beban			Altitude (Derajat)	Azimuth (Derajat)
		V out (V)	I out (A)	P out (W)		
7:00	550,20	7,39	0,21	1,57	35	0
8:00	569,80	7,40	0,19	1,39	35	20
9:00	776,55	7,42	0,31	2,27	35	20
10:00	904,00	7,43	0,28	2,11	35	20
11:00	1280,05	7,43	0,20	1,46	35	20
12:00	1194,55	7,43	0,20	1,50	35	20
13:00	1155,60	7,39	0,32	2,35	34	20
14:00	939,75	7,37	0,39	2,85	34	20
15:00	621,70	7,33	0,54	3,96	30	20
16:00	556,25	7,27	0,80	5,80	17	20
17:00	489,20	7,27	0,76	5,52	4	20
Total		81,12	4,20	30,78		

Pada Tabel 4 dan 5 dapat kita lihat total daya yang dihasilkan oleh panel surya 618,96 Watt, sedangkan total daya yang dipakai oleh sistem 30,78 Watt. Sehingga daya bersih yang dihasilkan oleh panel surya adalah :

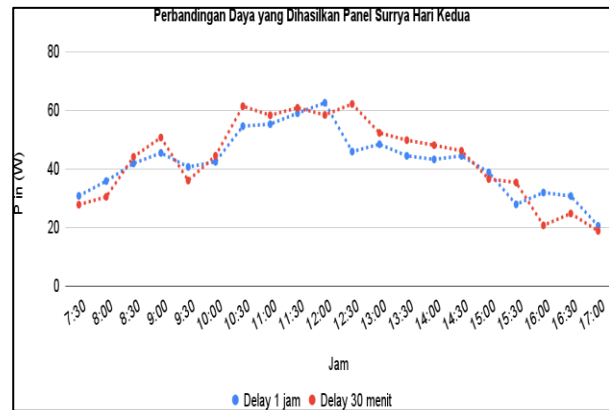
$$\begin{aligned}
 \text{Daya bersih} &= P_{\text{total Panel Surya}} - P_{\text{total Daya Beban}} \\
 &= 618,9615 - 30,7779 \\
 &= 588,1836 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Pada pengujian ini *dual-axis solar tracker* diatur dengan *tracking delay* setiap 1 jam dan setiap 30 menit. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah ketika sistem melakukan *tracking* secara terus-menerus dapat menghasilkan daya yang lebih besar dan mampu menutupi beban yang terpakai. Pengujian dilakukan selama 2 hari dilokasi yang sama. Pada pengujian ini pengukuran dilakukan setiap 30 menit. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Pin pada Pengujian Hari Pertama Tracking Delay

Daya minimal yang dihasilkan oleh panel surya terdapat pada jam 17.00 sebesar 21,98 Watt. Sedangkan daya maksimal terdapat pada jam 13.00 sebesar 86 Watt.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Pin pada Pengujian Hari Kedua Tracking Delay.

Pengujian hari kedua tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan seperti hari pertama. Daya yang dihasilkan pada saat *tracking delay* 30 menit lebih besar daripada *tracking delay* 1 jam. Daya yang dihasilkan panel surya selama 1 hari dengan *tracking delay* 30 menit sebesar 867,26 Watt, sedangkan dengan *tracking delay* 1 jam sebesar 844,82 Watt. Pada saat daya yang dihasilkan tersebut dikurangi dengan daya beban yang terpakai terlihat bahwa dengan *tracking delay* 1 jam daya dihasilkan sebesar 781,4947 Watt, sedangkan pada *tracking delay* 30 menit sebesar 769,1807 Watt. Sistem dengan *tracking delay* 1 jam menghasilkan daya lebih besar 1,6%.

Pada Pengujian *dual-axis solar tracker* dibandingkan dengan sistem konvensional pada sudut kemiringan 0° dan 30° disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-Rata Perbandingan Pengujian *Dual-Axis Solar Tracker* dengan Sistem Konvensional

Sudut	Hari ke- (%)			Rata-rata (%)
	1	2	3	
0°	14,23	8,90	11,13	11,42
30°	21,70	11,27	17,70	16,89

Berdasarkan Tabel 6 dengan pengujian selama 3 hari menunjukkan bahwa penggunaan *dual-axis solar tracker* menghasilkan daya lebih besar. Jika dibandingkan dengan sudut 0o pada saat pengujian didapatkan *dual-axis solar tracker* menghasilkan daya 11,42% lebih besar. Sedangkan, dengan sudut 30o didapatkan *dual-axis solar tracker* menghasilkan daya 16,89% lebih besar.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan dan saran terhadap *dual-axis solar tracker* pada PLTS dengan analisis jumlah sensor dan *tracking delay*. Adapun kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut: Perancangan *dual-axis solar tracker* pada PLTS 100 Wp didapatkan sudut *azimuth* PLTS dapat berputar dari 0° hingga 20°. Sedangkan sudut *altitude* PLTS dapat berputar dari sudut 35° hingga -17°. Jumlah sensor LDR yang digunakan pada *dual-axis solar tracker* mempengaruhi daya keluaran panel

surya. Jumlah sensor LDR yang digunakan juga mempengaruhi perubahan dari sudut panel surya. Pada penelitian ini *tracking* sudut *azimuth* menjadi kekurangan, karena jangkauannya yang kecil sehingga pergerakan tidak maksimal. *Tracking delay* yang diterapkan pada penelitian ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Hasil pengukuran menunjukkan *dual-axis solar tracker* dengan *tracking delay* 1 jam menghasilkan daya bersih yang lebih besar. Selama pengujian didapatkan *tracking delay* 1 jam menghasilkan daya bersih 1,76% lebih besar dibandingkan dengan *tracking delay* 30 menit. PLTS dengan *dual-axis solar tracker* mampu menghasilkan daya yang lebih besar dari sistem konvensional sudut 0° dan 30°. Penggunaan *dual-axis solar tracker* menghasilkan daya rata-rata 11,42% lebih besar dibandingkan dengan sudut 0°. Sedangkan, dengan sudut 30° didapatkan *dual-axis solar tracker* menghasilkan daya rata-rata 16,89% lebih besar.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM ITK untuk pendanaan kepada penulis melalui skema Penelitian Dosen Baru (PDB).

### Daftar Rujukan

- [1] Humas EBTKE. (2021). Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/09/02/2952/indonesia.ka.ya.energi.surya.pemanfaatan.listrik.tenaga.surya.oleh.mas.ya.rakat.tidak.boleh.ditunda>
- [2] Priyadi, A., (2021), *Semester I 2021, Kapasitas Pembangkit EBT Tambah 217MW*, Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, dilihat 12 Oktober 2021, <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/08/20/2940/semester.i.2021.kapasitas.pembangkit.ebt.tambah.217.mw>
- [3] Kementerian ESDM Republik Indonesia. (2018). Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan PLTS. In *Peraturan Menteri ESDM Tahun 2018* (No. 49). <https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Permen%20ESDM%20Nomor%2049%20Tahun%202018.pdf>
- [4] Ramadhani, B. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Dos & Don'ts*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (EnDev) Indonesia. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2018/08/31/2007/buku.pandua.n.instalasi.pembangkit.listrik.tenaga.surya>
- [5] Kencana, B., Prasetyo, B., Berchmans, H., Agustina, I., Myrasandri, P., Bona, R., Panjaitan, R. R., & Winne. (2018). *Panduan: Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. USAID Indonesia Clean Energy Development II. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/03/04/2152/panduan.studi.kelayakan.pembangkit.listrik.tenaga.surya.plts.terpusat>
- [6] Seme, S., Srpcić, G., Kavšek, D., Božičnik, S., Letnik, T., Praunseis, Z., Štumberger, B., & Hadžiselimić, M. (2017). Dual-axis photovoltaic tracking system – Design and experimental investigation. *Energy*, 139, 1267–1274. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.153>
- [7] Mi, Z., Chen, J., Chen, N., Bai, Y., Fu, R., & Liu, H. (2016). Open-loop solar tracking strategy for high concentrating photovoltaic systems using variable tracking frequency. *Energy Conversion and Management*, 117, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.009>
- [8] Pulungan, A. B., Fajri, Q., & Yelfianhar, I. (2021). Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 7(2), 261. <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.113304>
- [9] Jamroen, C., Fongkerd, C., Krongpha, W., Komkum, P., Pirayawaraporn, A., & Chindakham, N. (2021). A novel UV sensor-based dual-axis solar tracking system: Implementation and performance analysis. *Applied Energy*, 299, 117295. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117295>
- [10] Jamroen, C., Komkum, P., Kohsri, S., Himananto, W., Panupintu, S., & Unkat, S. (2020). A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design and implementation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100618>
- [11] Wibowo, H., Bow, Y., & Sitompul, C. R. (2021). Performance Comparison Analysis of Fixed and Solar-Tracker Installed Panel at PV System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 709(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/709/1/012003>
- [12] Pitowarno, Endra. (2006). *Robotika : Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- [13] Sendari, Siti, I Made Wirawan, dan Mokhammad Nasrulloh. (2021). *Sensor Transducer*. Malang: Ahlimedia Press. dilihat 4 Desember 2021. [https://www.google.co.id/books/edition/SENSOR\\_TRANSDUSER/2SFREAAAQBAJ?hl=id&gbpv=1](https://www.google.co.id/books/edition/SENSOR_TRANSDUSER/2SFREAAAQBAJ?hl=id&gbpv=1)
- [14] Allegro Microsystems, Inc. (2006). *Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor*, dilihat 8 Juni 2022, dapat diakses di <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/168326/ALLEGRO/ACS712.html>
- [15] Kadir, A. (2019). *Dasar Pemrograman Robot Menggunakan Arduino* (1st ed.). ANDI.
- [16] Suryawinata, H., Purwanti, D., & Sunadiryo, S. (2017). Sistem Monitoring Pada Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis Atmega 328 Dan Real Time Clock DS1307. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 30–36. <https://doi.org/10.15294/jte.v9i1.10709>