

Analisis Efisiensi Penyerapan Daya Solar Tracker Dual Axis Dinamis dan Statis Pada Beban 250 Watt

Aldi Hudabi Uladatul Haq¹, Joni Welman Simatupang^{2*}

¹Program Studi Teknik Elektro (SI), Fakultas Teknik, Universitas Presiden, Cikarang, 17530 – Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro (SI) dan Industri Pertahanan (S2), Universitas Pertahanan, Sentul, 16810 – Indonesia

*joni.welman@idu.ac.id

Abstrak — Kebutuhan energi listrik yang besar adalah salah satu tantangan nasional yang perlu menjadi prioritas kita bersama. Dengan memanfaatkan energi matahari yang lebih efisien berbasis solar panel mungkin bisa menjadi salah satu upaya dalam menyediakan sumber energi alternatif yang lebih baik. Memang, saat ini masih banyak perdebatan manakah yang memiliki efisiensi lebih baik, menggunakan sistem solar panel bergerak (dinamis, sistem tracker) atau sistem yang tidak bergerak (statis). Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kualitatif dengan pengumpulan data percobaan selama 6 hari: 3 hari pertama tidak menggunakan beban dan 3 hari berikutnya menggunakan beban. Data yang didapat seperti tegangan (V) dan arus (I) dari solar panel berdasarkan iradiasi intensitas cahaya matahari (watt/m^2) telah dihitung dan dibandingkan untuk mencari efisiensi antara kedua sistem tersebut. Kita tahu bahwa besar kecilnya intensitas iradiasi matahari terhadap sistem solar panel statis dan dinamis sangat dipengaruhi oleh cuaca. Perubahan cuaca selama proses penelitian cukup mempengaruhi output tegangan dan arus sistem keseluruhan. Semakin besar iradiasi matahari maka akan menghasilkan daya yang lebih besar. Sedangkan efisiensi dipengaruhi oleh hubungan $P(\text{in})$ dan $P(\text{out})$. Semakin besar $P(\text{out})$ yang dihasilkan maka hasil perhitungan efisiensi terhadap $P(\text{in})$ semakin besar. Hasil pengujian menggunakan beban solar panel dinamis dan statis memiliki rata-rata selisih sebesar 1,53 % dimana efisiensi solar panel dinamis 3,68% dan solar panel statis 2,15%. Pengujian menggunakan beban rata-rata efisiensi solar panel dinamis 3,42% dan statis 2,64%, maka efisiensi kedua sistem tersebut memiliki selisih sebesar 0,78 %.

Kata Kunci: Solar Panel, Sistem Tracker Dual Axis, Efisiensi, Dinamis, Statis.

DOI: 10.22441/jte.2026.v17i1.003

I. PENDAHULUAN

Energi listrik sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi mempunyai peranan penting bagi negara dalam mewujudkan pencapaian tujuan pembangunan nasional [1]. Seperti kita ketahui, sebagian besar sumber energi listrik masih bersumber dari minyak bumi, gas, dan batu bara yang semakin hari semakin menipis. Bahkan sumber-sumber tersebut tidak sedikit yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Untuk itu mencari dan mengembangkan energi alternatif yang lebih efisien mungkin bisa menjadi upaya dalam mencari sumber energi baru dan energi terbarukan yang lebih baik.

Di Indonesia kebijakan energi baru dan energi terbarukan diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 mengenai kebijakan energi nasional (KEN)[2]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah contoh pemanfaatan energi alternatif yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energinya. Pada umumnya instalasi PLTS pada penelitian sejenis memiliki beberapa permasalahan yang cukup umum terjadi, seperti efisiensi penyerapan sinar matahari. Penempatan solar panel secara statis (diam) tidak optimal untuk penyerapan sinar matahari.

Dalam penelitian ini, salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi panel surya adalah dengan mengimplementasikan sistem pelacakan (*tracker*) dual axis. Sistem ini memungkinkan solar panel untuk selalu menghadap matahari, mengikuti gerakan matahari sepanjang hari. Dengan demikian, solar panel dapat menangkap sebanyak mungkin sinar matahari yang tersedia dan meningkatkan produksi energi.

Namun, implementasi sistem pelacakan *dual axis* dinamis juga melibatkan sejumlah tantangan. Beberapa di antaranya meliputi kompleksitas teknis dalam desain serta instalasi, biaya tambahan, dan pemeliharaan yang lebih intensif dibandingkan dengan sistem statis. Berbeda dengan penelitian sejenisnya yang membuat dan menguji efisiensi dengan 1 prototipe saja. Penelitian ini akan membuat sistem solar panel statis dan sistem *solar tracker dual axis dinamis* menggunakan spesifikasi komponen yang sama dengan melakukan pengujian di waktu dan kondisi yang sama.

Tujuannya adalah untuk mengevaluasi sejauh mana sistem *solar tracker dual axis dinamis* dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan energi surya dibandingkan dengan sistem statis. Penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai manfaat dan tantangan yang terkait dengan penggunaan sistem solar panel statis dan *solar tracker dual axis dinamis* dalam meningkatkan efisiensi solar panel, serta memberikan rekomendasi tentang keberlanjutan dan potensi penerapannya di berbagai konteks.

II. METODE PENELITIAN

Intensitas Cahaya Matahari & Pengukurannya

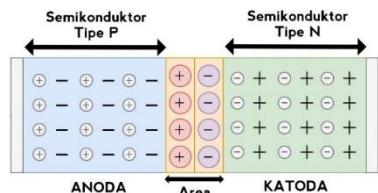
Cahaya matahari dapat sampai kepermukaan bumi melalui proses radiasi matahari. Radiasi matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang terbentuk dari medan listrik dan medan magnet. Intensitas radiasi matahari adalah ukuran dari distribusi

flux radiasi per satuan luas di suatu lokasi, atau sering disebut sebagai iradiasi matahari [3]. Iradiasi matahari biasanya diukur dalam watt per meter persegi (W/m^2). Pada metode penelitian dari M. F. Fernanda, B. Nainggolan, dan I. Silanegara [14] rata-rata iradiasi harian terendah digunakan untuk menemukan berapa kapasitas solar panel yang dibutuhkan untuk menentukan jumlah maksimal solar panel yang akan dipasang. Sedangkan dalam penelitian kali ini hanya akan menggunakan 1 solar panel dengan metode pengukuran iradiasi matahari secara langsung menggunakan alat ukur.

Dalam mengukur besarnya intensitas cahaya biasanya menggunakan alat ukur lux meter. Pada lux meter memiliki satuan dasar ukur lux atau $lumen/m^2$. Sedangkan untuk satuan dalam british atau amerika standar yaitu diukur dengan *foot candle*. Dalam 1 *foot candle* sama dengan 10,764 lux [4]. Sedangkan untuk besarnya intensitas cahaya matahari dalam 1 lux terhadap iradiasi matahari adalah $0,0079 W/m^2$ [5].

Solar Panel

Solar panel disebut juga modul PV atau modul surya merupakan penyerap sinar matahari yang terdiri dari beberapa sel surya. Sel surya biasanya terbuat dari semikonduktor, seperti silikon, yang memiliki sifat khusus untuk menghasilkan listrik di bawah sinar matahari. Sel surya memiliki struktur sambungan P-N (P-N junction), merupakan sambungan antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor terdiri dari ikatan atom yang bahan penyusun utamanya adalah elektron. Semikonduktor tipe-P mempunyai lubang atau hole ekstra (pembawa muatan positif) dan semikonduktor tipe-n memiliki elektron ekstra (pembawa muatan negatif) dalam struktur atom. Sebagai contoh, untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron. Sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor [7]. Adapun ilustrasinya ada pada Gambar 1.



Gambar 1. Junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n [7]

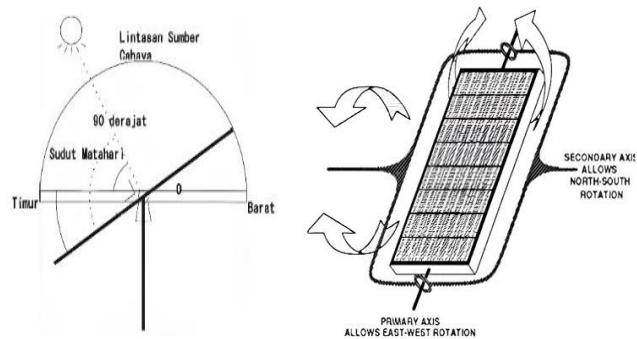
Fungsi sambungan p-n adalah menciptakan medan listrik sehingga bahan kontak dapat melepaskan elektron (dan hole) untuk menghasilkan listrik. semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p. Tipe-p membentuk anoda pada semikonduktor tipe-n. Sebaliknya, tipe-n membentuk anoda pada semikonduktor tipe-p. Aliran elektron dan hole yang dihasilkan menciptakan medan listrik saat sinar matahari mengenai sambungan p-n. Hal ini menyebabkan elektron berpindah dari semikonduktor ke kontak negatif, menghasilkan listrik sebagai hasilnya. Proses ini dalam fenomena fisika dikenal sebagai efek *fotovoltaik*. Oleh karena itu, sel surya atau solar cell disebut juga dengan *photovoltaic* oleh Hendri Becquerel, 1839 [6].

Solar Tracker

Berdasarkan metode penelitian dari Dahliyah, Samsurizal, dan N. Pasra [12], hasil dari penelitian terhadap kinerja solar

panel hanya difokuskan pada pengaruh suhu dan kecepatan angin saja. Sedangkan pada penelitian dari Y. H. Anoi, A. Yani, dan Yunanri [13], solar panel diarahkan berdasarkan sudut kemiringan yang bervariasi menghadap arah datangnya sinar matahari secara manual. Hal ini membuat data yang dihasilkan dari kinerja solar panel menjadi kurang maksimal dan kurang akurat. Hal ini bisa terjadi karena ada pengaruh sudut kemiringan ketika sinar matahari mengenai solar panel. Seperti yang kita ketahui bahwa matahari terus bergerak sedangkan solar panel hanya diam (statis). Untuk itu, dalam penelitian kali ini, kami akan mengisi kekosongan (gap) tersebut dengan menggunakan sistem solar tracker untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan lebih akurat.

Solar tracker adalah perangkat mekanis atau elektronik yang memungkinkan solar panel atau modul surya untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari. Ada beberapa jenis solar tracker, berdasarkan jumlah sumbunya dibagi menjadi single axis tracker (pelacak sumbu tunggal) dan dual axis tracker (pelacak sumbu ganda). Sistem pelacakan sumbu tunggal adalah metode dimana modul sel surya melacak sinar matahari dari timur ke barat menggunakan satu titik sumbu. Sistem pelacakan sumbu ganda menggunakan dua titik sumbu untuk melacak sinar matahari dari timur ke barat dan utara ke selatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pergerakan solar tracker berdasarkan jumlah sumbunya

Efisiensi Sel Surya

Secara umum, efisiensi sel surya mengukur seberapa baik sel surya mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan, dan merupakan persentase dari jumlah total energi matahari yang diubah menjadi listrik oleh sel surya. Efisiensi sel surya ditentukan dengan rumus sederhana di persamaan (1):

$$Efisiensi(\eta) = \frac{\text{Output Energi listrik per detik}}{\text{Input Energi cahaya per detik}} \times 100\% \quad (1)$$

Persamaan (1) ini bisa dituliskan ulang dengan persamaan (2) [11].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan (2) bisa dijabarkan menjadi persamaan (3) dan (4) [12].

$$\eta = \frac{V \times I \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\eta = \frac{V \times I \times FF}{I_r \times A} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

- η : Efisiensi sel surya (%)
- P_{out} : Daya keluar
- P_{in} : Daya masuk
- I : Arus
- V : Tegangan
- FF : Fill factor (%)
- Ir : Intensitas iradiasi matahari (W/m^2)
- A : Luas area modul surya (m^2)

Fill factor adalah salah satu besaran yang menjadi parameter kinerja sel surya, fill faktor merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan rasio daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} . Adapun rumus untuk mencari fill faktor di persamaan (5) berikut ini [12].

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (5)$$

Keterangan:

- V_{mp} : Tegangan maksimum
- I_{mp} : Arus maksimum
- V_{oc} : Tegangan rangkaian terbuka (*open circuit*)
- I_{sc} : Arus hubung singkat (*short circuit*)

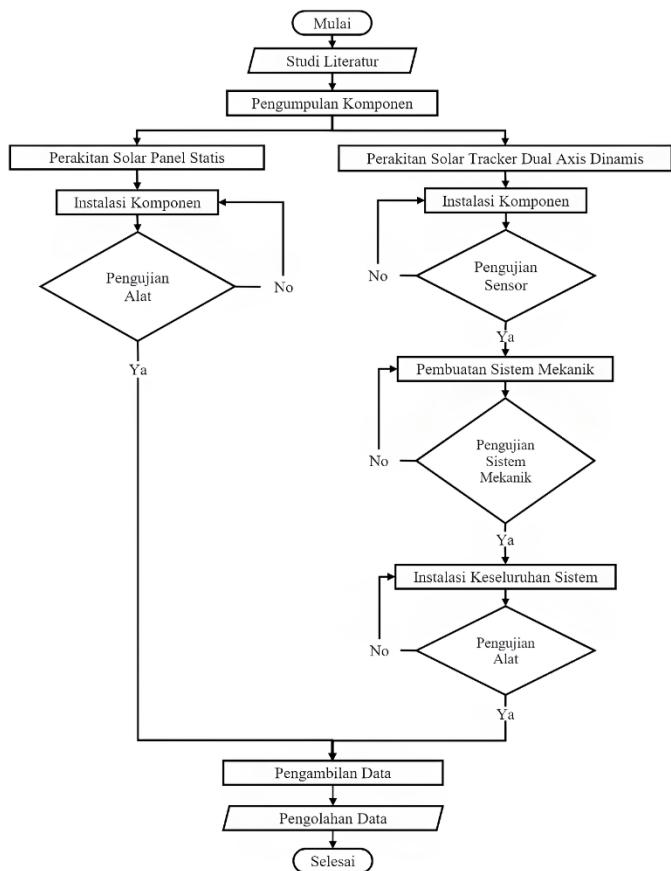
Pada penelitian M. D. Elvanny, M. Riki, dan F. Erna [20] didapatkan hasil dari analisis daya solar panel baik dengan sistem tracking maupun yang tidak menggunakannya. Hasil penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa penggunaan tracking tidak begitu mempengaruhi nilai tegangan, tetapi lebih meningkatkan nilai arus sehingga daya yang dihasilkan juga lebih meningkat. Tetapi dalam penelitian tersebut tidak diketahui apakah efisiensi dari solar panel yang menggunakan sistem tracking itu lebih baik dari yang hanya diam (statis). Untuk itu, dalam penelitian kali ini, kami akan mengisi kekosongan (gap) tersebut dengan menghitung efisiensinya menggunakan rumus Persamaan 1, 2, 3, 4, dan 5. Tidak hanya itu saja, penelitian kali ini juga akan melakukan pengujian solar panel tanpa menggunakan beban dan juga menggunakan beban. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar nilai efisiensi yang dihasilkan kedua sistem tersebut dan perbandingannya.

Penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data langsung dari hasil percobaan (dilakukan selama 6 hari, dengan 3 hari tidak menggunakan beban dan 3 hari selanjutnya menggunakan beban), kemudian dilanjutkan dengan analisis. Dalam penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan yang menunjang kelancaran penyelesaian penelitian untuk melakukan analisis. Alat dan bahan yang digunakan dalam persiapan dan pelaksanaan penelitian:

- Laptop
- Lux Meter
- Panel Surya 50 wp
- Solar Charge Controller (SCC)
- Baterai / Aki 12 Volt 40 AH
- Inverter 300 watt
- Arduino Uno
- Light Dependent Resistor (LDR)
- Motor Servo
- Motor Driver BTS7960
- Hidrolik Linear Aktuator
- Power Supply 12V
- Kabel
- DC Watt Meter
- Volt dan Ampere Meter

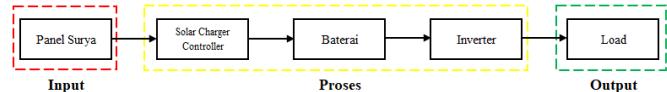
- Pilot Lamp

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur, dilanjutkan dengan pengumpulan komponen, perakitan alat, pengambilan data, hingga pengolahan data. Untuk lebih jelasnya bisa melihat alur penelitian pada Gambar 3.



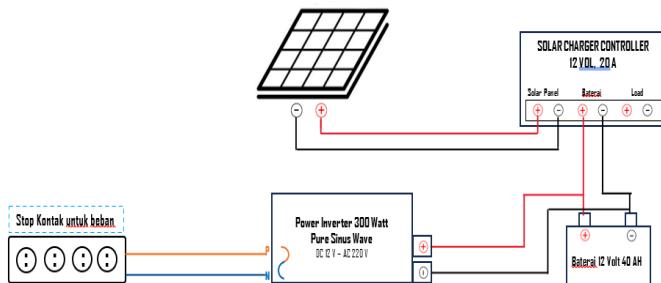
Gambar 3. Diagram alir penelitian

Perakitan Solar Panel Statis



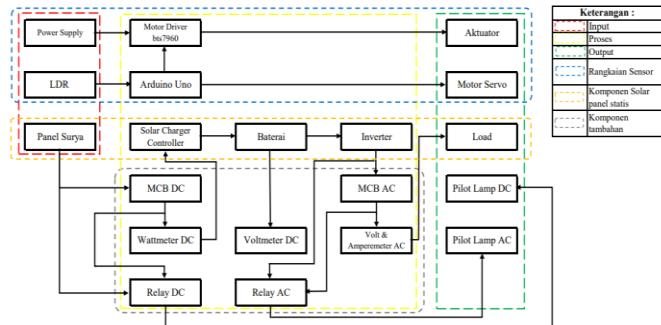
Gambar 4. Diagram blok sistem solar panel statis

Gambar 4 menunjukkan diagram blok yang merupakan sistem solar panel statis. Diawali dengan input dari panel surya yang menerima sinar matahari, kemudian diubah menjadi listrik arus searah (DC). Listrik tersebut kemudian diproses oleh solar charge controller (SCC). SCC memproses energi yang diterima dan mentransfernya ke baterai dengan cara membuka arus listrik saat baterai kosong dan menutup kembali arus listrik saat baterai sudah terisi penuh, sehingga proses ini menjaga kualitas atau keawetan baterai. Proses kemudian dilanjutkan dengan inverter, inverter mengubah arus searah yang berasal dari baterai dan mengubahnya menjadi arus bolak-balik (AC). Arus output inverter kemudian dapat digunakan untuk beban yang ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 tentang rangkaian solar panel statis.



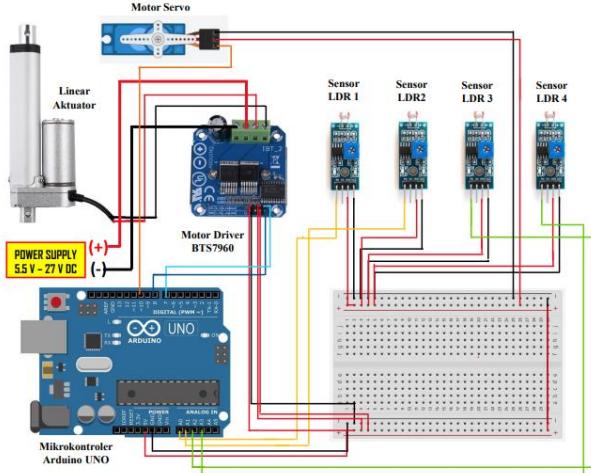
Gambar 5. Rangkaian solar panel statis

Perakitan Solar Tracker Dual Axis Dinamis



Gambar 6. Diagram blok sistem solar tracker dual axis dinamis

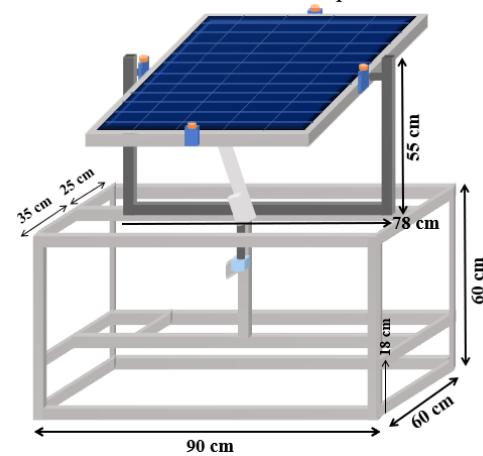
Gambar 6 menunjukkan diagram blok sistem solar tracker dual axis dinamis. Pada sistem solar tracker dual axis dinamis komponen yang digunakan tidak jauh berbeda dengan sistem solar panel statis. Hanya ditambahkan dengan sistem rangkaian sensor sebagai *input* untuk sistem *tracker* yang akan membuat solar panel bisa bergerak secara dinamis terhadap perbedaan intensitas sinar matahari yang diterima.



Gambar 7. Skematik rangkaian input sistem tracker

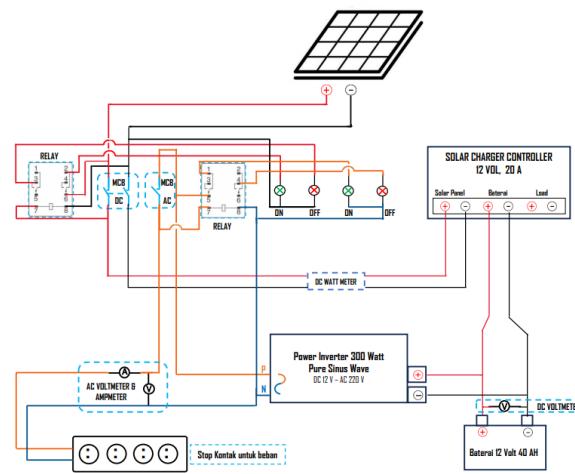
Ketika sinar matahari yang menyinari panel surya juga menyinari sensor LDR yang diletakkan di empat arah mata angin pada area pinggir panel surya. Sensor LDR akan memproses besaran tegangan berdasarkan intensitas cahaya yang diterima. *Input* dari sensor LDR kemudian akan diproses oleh Arduino Uno. Arduino bisa mengirimkan sinyal ke arah motor driver untuk menggerakkan aktuator sebagai *output* atau bisa langsung mengirimkan perintah ke arah motor servo

sebagai *output*. Proses yang terjadi pada motor driver memerlukan *input* 12 volt dari power supply untuk bisa menggerakkan aktuator. Untuk lebih jelasnya bisa melihat skematik dari rangkaian *input* pada Gambar 7 dan desain rangka solar tracker dual axis dinamis pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain kerangka rangkaian solar tracker dual axis dinamis

Komponen dasar sistem solar tracker dual axis dinamis menyerupai sistem solar panel statis hanya ada beberapa komponen tambahan baik sebagai rangkaian proteksi seperti MCB, relay dan komponen alat ukur seperti wattmeter, voltmeter serta ampeter dalam membantu memonitoring arus dan tegangan pada sistem rangkaian. Serta pilot lamp untuk mengetahui jalannya proses koneksi yang terjadi. Saat panel surya mendapatkan sinar matahari akan diproteksi dengan MCB DC lalu hasil dari *output* panel surya termonitoring oleh wattmeter yang menuju *solar charger controller* (SCC). Saat MCB DC posisi OFF maka relay akan menyalakan Pilot lamp DC berwarna merah dan saat MCB DC posisi ON maka relay akan menyalakan pilot lamp DC berwarna Hijau.



Gambar 9. Rangkaian solar tracker dual axis dinamis

Kemudian proses yang terjadi di SCC ke arah Baterai, inverter dan load beban sama seperti proses pada sistem solar panel statis hanya ditambahkan Voltmeter Dc untuk memonitoring voltase pada baterai. Voltmeter dan Amperemeter Ac untuk memonitoring *output* AC dari inverter ke arah stop kontak. Sebelum beban dari stop kontak dapat digunakan, dari *output* dari inverter diberikan proteksi MCB

AC. Kemudian proses MCB AC ON atau OFF, relay dan pilot lamp sama seperti yang terjadi pada MCB DC. Sebuah proses yang disajikan pada penjelasan di atas ditunjukkan pada Gambar 9.

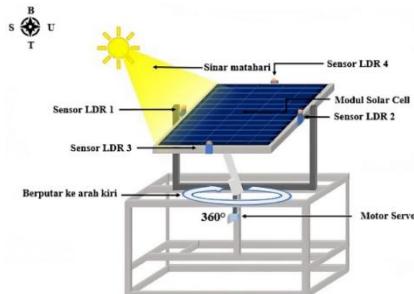
Pergerakan Sistem Solar Tracker Dual Axis Dinamis

Cara kerja sistem solar tracker dual axis dinamis ini adalah dengan membandingkan pembacaan nilai tegangan dari keempat sensor LDR. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima oleh sensor LDR, hambatan atau resistansi sensor LDR akan semakin berkurang. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima sensor LDR, resistansinya semakin meningkat. Setiap dua sensor LDR digunakan sebagai input untuk menggerakkan satu output. Sensor LDR 1 dan sensor LDR 2 untuk menggerakkan motor servo. Sensor LDR 3 dan sensor LDR 4 untuk menggerakkan linear aktuator. Adapun ilustrasi pergerakan sistem solar tracker dual axis dinamis ini adalah sebagai berikut.

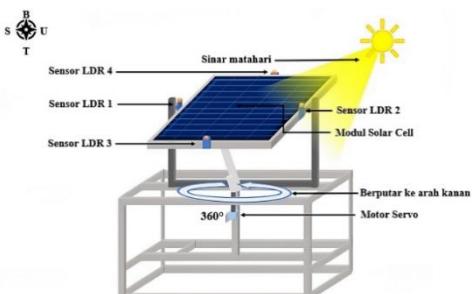
1. Ilustrasi Pergerakan Motor Servo

Motor servo bergerak dengan membandingkan besaran tegangan yang diterima sensor LDR 1 dan sensor LDR 2. Ketika sinar matahari menyinari sisi bagian sensor LDR 1 dan sensor LDR 2 tidak mendapatkan sinar matahari, maka motor servo akan bergerak berputar ke arah kiri atau berlawanan arah jarum jam. Ketika sinar matahari menyinari sisi bagian sensor LDR 2 dan sensor LDR 1 tidak mendapatkannya, maka motor servo akan bergerak ke arah sebaliknya yaitu bergerak ke kanan atau searah jarum jam.

Ketika sinar matahari menyinari ke semua sisi bagian sensor LDR 1 dan sensor LDR 2, maka motor servo bisa bergerak ke arah kanan ataupun ke arah kiri tergantung pengaruh perbandingan tinggi rendahnya intensitas cahaya yang diterima antara kedua sensor LDR tersebut. Motor servo bisa bergerak berputar mulai dari 0° hingga 360° dengan maksimum hanya 1 kali putaran. Adapun ilustrasi pergerakan motor servo ada pada Gambar 10 dan Gambar 11.



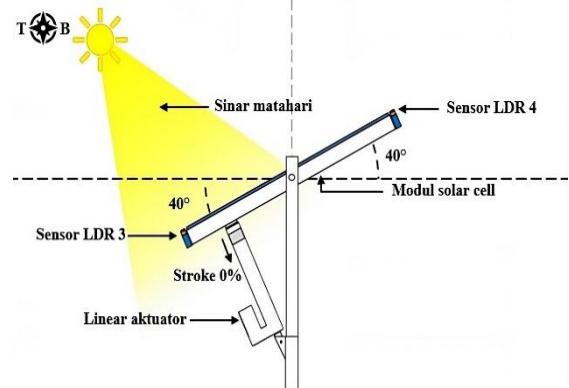
Gambar 10. Ilustrasi pergerakan motor servo ke arah kiri



Gambar 11. Ilustrasi pergerakan motor servo ke arah kanan

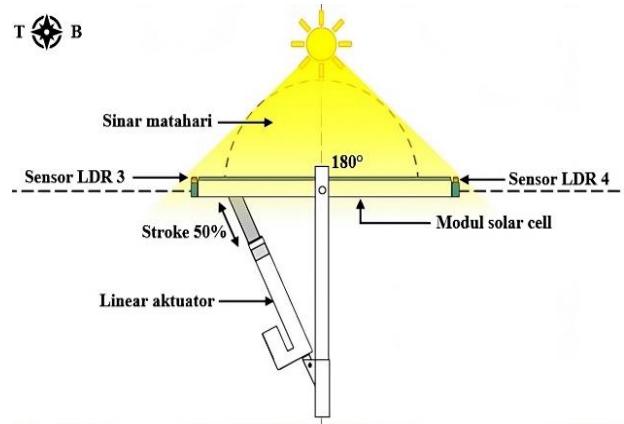
2. Ilustrasi Pergerakan Linear Aktuator

Berbeda dengan motor servo yang menghasilkan *output* berputar, linear aktuator akan menghasilkan *output* stroke naik dan turun. Linear aktuator bergerak dengan membandingkan besaran tegangan yang diterima sensor LDR 3 dan sensor LDR 4. Sensor LDR 3 dan sensor LDR 4 digunakan untuk mendeteksi sinar matahari berdasarkan arah terbit dan tenggelamnya matahari atau dari timur ke barat. Posisi awal dari panel surya ketika pagi hari sudah mengarah ke matahari terbit atau ke arah timur.



Gambar 12. Ilustrasi stroke pada linear aktuator ketika turun 0%

Stroke pada linear aktuator akan turun ketika sinar matahari menyinari sisi bagian sensor LDR 3 dan sensor LDR 4 tidak mendapatkan sinar matahari. Ketika intensitas cahaya yang terdeteksi pada sensor LDR 3 lebih tinggi dari sensor LDR 4, maka itu menyebabkan stroke pada linear aktuator akan turun. Ketika posisi stroke turun sampai 0%, maka menghasilkan bukaan sudut maksimal sebesar 40° jika diukur sejajar menggunakan garis bantu secara horizontal. Adapun ilustrasi ketika posisi stroke pada linear aktuator sampai turun 0% ada pada Gambar 12.

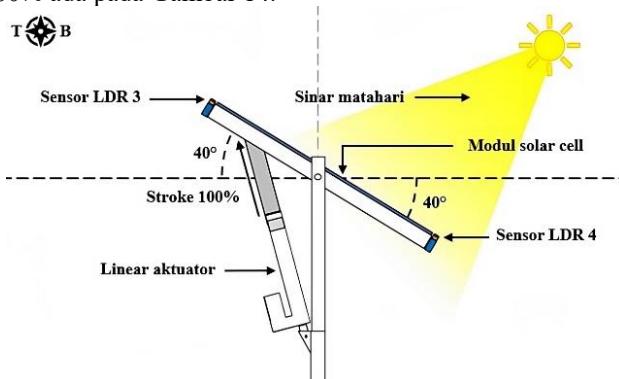


Gambar 13. Ilustrasi stroke pada linear aktuator ketika naik 50%

Ketika posisi stroke naik 50%, dimana itu menyebabkan solar panel sejajar dengan arah sinar matahari. Posisi solar panel yang sejajar membentuk sudut sebesar 180° . Itu bisa terjadi karena sinar matahari mengenai kedua sisi bagian sensor LDR 3 dan sensor LDR 4 dengan perbandingan intensitas cahaya matahari yang seimbang (bisa sama tinggi atau sama rendah) mengenai sensor LDR 3 dan sensor LDR 4. Posisi ini biasanya

terjadi di siang hari ketika matahari tepat berada diatas kepala. Adapun ilustrasinya ada pada Gambar 13.

Posisi stroke pada linear aktuator bisa naik dari 0 sampai maksimal 100% ketika sinar matahari hanya mengenai sisi bagian sensor LDR 4 dan sensor LDR 3 tidak mendapatkannya. Stroke juga akan naik disaat intensitas cahaya yang terdeteksi pada sensor LDR 3 lebih rendah dari sensor LDR 4 atau sensor LDR 4 lebih tinggi dari sensor LDR 3. Sama seperti saat posisi stroke turun 0%, posisi stroke ketika naik maksimal 100% juga menghasilkan bukaan sudut maksimal sebesar 40° jika diukur sejajar menggunakan garis bantu secara horizontal. Adapun ilustrasi ketika posisi stroke pada linear aktuator naik maksimal 100% ada pada Gambar 14.



Gambar 14. Ilustrasi stroke pada linear aktuator ketika naik 100%

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Dalam melakukan pengujian dan pengukuran arus, tegangan serta intensitas cahaya matahari pada sistem panel surya dilakukan selama 6 jam. Data diambil setiap 1 jam sekali yaitu pada pukul 10.00 sampai dengan pukul 15.00. Pengujian ini membutuhkan waktu 6 hari, 3 hari tanpa menggunakan beban dan 3 menggunakan beban. Pengujian ini juga dilakukan dengan menyesuaikan kondisi cuaca yang berbeda beda agar bisa menghasilkan bermacam macam data yang lebih bervariatif. Untuk hasil 3 hari tanpa menggunakan beban ada pada Tabel 1 dan hasil 3 hari dengan beban ada pada Tabel 2 di bawah ini.

1. Pengujian Solar Panel Tanpa Menggunakan Beban

Tabel 1. Hasil Pengujian Solar Panel Tanpa Menggunakan Beban

Hari & waktu	Cuaca	Intensitas Matahari		Solar Panel Statis			Solar Panel Dinamis			
		Watt/m ²	suhu (°C)	Volt (V)	Amp (I)	Batt (V)	Volt (V)	Amp (I)	Batt (V)	
K _{e-1}	10:00	Cerah	1.129	35,6	13,99	0,59	13,0	14,79	1,11	13,2
	11:00	Cerah	1.043	36,5	13,73	0,39	13,2	16,26	1,15	13,3
	12:00	Cerah	1.273	37,7	14,08	0,49	13,4	16,91	1,17	13,5
	13:00	Berawan	916	35,4	13,35	0,37	13,4	15,23	0,68	13,6
	14:00	Berawan	374	34,9	13,41	0,27	13,5	14,86	0,3	13,6
	15:00	Berawan	204	33,8	13,38	0,26	13,5	13,93	0,28	13,7

K _{e-2}	10:00	Mendung	344	31,9	13,51	0,28	13,4	13,72	0,29	13,3
	11:00	Mendung	346	34,0	13,45	0,49	13,4	13,85	0,58	13,4
	12:00	Mendung	360	33,2	13,8	0,38	13,4	13,98	0,5	13,4
	13:00	Mendung	352	32,9	13,62	0,28	13,4	13,71	0,48	13,5
	14:00	Mendung	374	31,8	13,7	0,39	13,5	14,26	0,49	13,5
	15:00	Mendung	174	31,5	13,59	0,28	13,5	13,95	0,3	13,5
K _{e-3}	10:00	Berawan	265	36,5	13,47	0,27	13,0	13,82	0,3	13,1
	11:00	Cerah	993	38,8	22,53	0,50	13,1	22,63	0,5	13,3
	12:00	Cerah	879	39,6	13,86	0,45	13,3	14,82	1,34	13,5
	13:00	Cerah	626	40,7	20,91	0,38	13,3	21,01	0,46	13,6
	14:00	Mendung	234	34,4	11,33	0,26	13,4	12,86	0,28	13,6
	15:00	Mendung	180	32,9	10,89	0,14	13,5	12,56	0,18	13,6

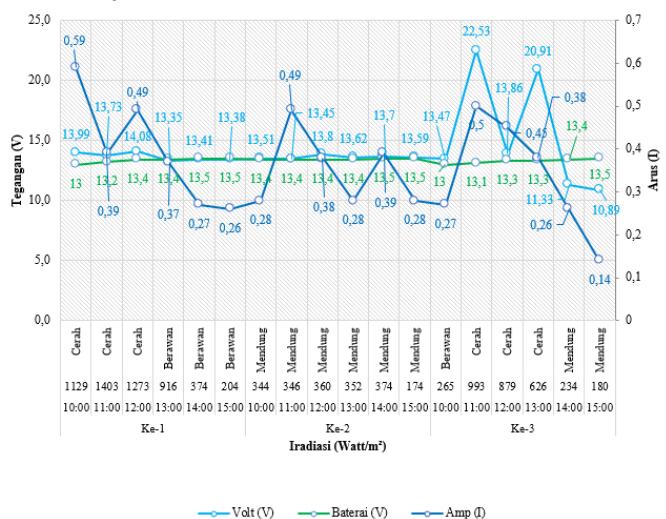
Dari Tabel 1 diketahui bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada hasil *output* solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis dengan menggunakan sistem tracking pada kondisi tertentu. Dalam 3 hari pengujian iradiasi matahari tertinggi 1273 watt/m² dengan suhu 37,7°C dalam keadaan cuaca cerah di jam 12.00. Iradiasi matahari terendah 180 watt/m² terjadi saat cuaca mendung di jam 15.00 dengan suhu 32,9°C. Untuk *output* dari solar panel statis tegangan (V) serta arus (I) tertinggi yaitu 22,53 V dan 0,59 A. Tegangan (V) serta arus (I) terendah yaitu 10,89 V dan 0,14 A. Sedangkan untuk *output* sistem solar tracker dual axis dinamis tegangan (V) serta arus (I) tertinggi yaitu 22,63 V dan 1,34 A. Tegangan (V) serta arus (I) terendah yaitu 12,56 V dan 0,18 A.

Adapun faktor yang mempengaruhi *output* dari solar panel adalah besarnya iradiasi matahari (Watt/m²) pada saat menyinari solar panel. Dengan kondisi cuaca yang semakin siang semakin terik seharusnya iradiasi matahari (Watt/m²) semakin besar begitu juga dengan suhu yang semakin siang seharusnya semakin panas. Setelah menjelang sore hari cenderung memiliki iradiasi (Watt/m²) yang cukup rendah. Iradiasi matahari (Watt/m²) yang cukup rendah juga berlaku jika kondisi cuaca dalam keadaan mendung dan berawan. Kondisi suhu pada saat menjelang siang hari pasti cenderung meningkat dan menjelang sore kembali mengalami penurunan.

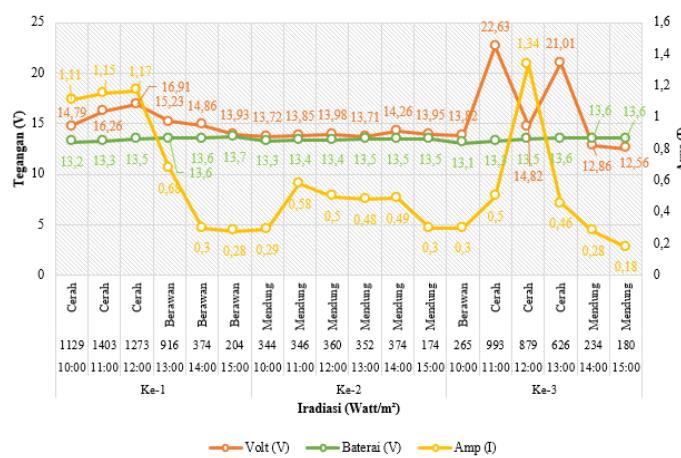
Untuk sistem solar panel statis menghasilkan *output* tegangan yang cenderung stabil tidak memiliki jarak perbedaan yang jauh. Jika suatu waktu suhu cenderung panas dan kondisi cuaca cerah bahkan terik memungkinkan menghasilkan tegangan yang cukup tinggi dari biasanya. Sedangkan untuk *output* arus pada sistem solar panel statis cukup bervariasi dan sangat dipengaruhi dengan kondisi cuaca dan iradiasi matahari pada saat menyinari solar panel. Semakin besar iradiasi matahari dan kondisi cuaca yang baik maka akan menghasilkan arus yang lebih besar.

Berbeda dengan *output* dari sistem solar panel statis yang lebih stabil karena diam dan tidak bergerak, justru solar tracker dual axis dinamis menghasilkan *output* yang lebih bervariasi dan fluktuatif. Hal ini terjadi karena sistem *tracker* yang digunakan membuat solar panel untuk mencari posisi terbaik dalam mencari intensitas cahaya matahari yang lebih besar. Karena itu sistem solar tracker dual axis dinamis pasti menghasilkan tegangan serta arus yang lebih besar dari sistem solar panel statis. Jika pada kedua sistem solar panel tersebut berbeda dari segi *output* tegangan dan arus, tetapi dalam segi

proses *charging* tegangan pada kapasitas sebuah baterai tidak terlalu memiliki perbedaan yang signifikan. Karena kedua sistem tersebut akan mengecas kapasitas baterai lebih cepat jika keadaan cuacanya cerah dan intensitas cahaya matahari lebih besar. Grafik hubungan iradiasi solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Hubungan iradiasi terhadap output solar panel statis tanpa beban



Gambar 16. Hubungan iradiasi terhadap output solar tracker dual axis dinamis tanpa beban

2. Pengujian Solar Panel Menggunakan Beban

Tabel 2. Hasil Pengujian Solar Panel Menggunakan Beban

Hari & waktu	Cuaca	Intensitas Matahari		Solar Panel Statis			Solar Panel Dinamis			
		Watt/m ²	suhu (°C)	Volt (V)	Amp (I)	Batt (V)	Volt (V)	Amp (I)	Batt (V)	
Kesi	10:00	Cerah	934	38,3	12,94	1,08	12,5	13,01	1,16	12,5
	11:00	Cerah	1005	40	12,83	1,11	12,6	14,20	1,20	12,6
	12:00	Cerah	1281	41,1	12,56	0,28	12,4	13,06	0,58	12,5
	13:00	Cerah	946	37,7	12,47	0,25	12,3	12,60	0,25	12,4
	14:00	Berawan	219	37,1	12,42	0,25	12,2	12,52	0,25	12,3
	15:00	Berawan	163	36,8	12,35	0,25	12,1	12,61	0,25	12,4

Kc ₂	10:00	Mendung	387	36,3	12,92	0,39	13,0	13,23	0,49	13,0
	11:00	Berawan	642	38,2	13,52	0,65	13,0	14,63	1,15	13,0
	12:00	Cerah	958	40,6	21,83	0,91	13,1	22,13	1,17	13,1
	13:00	Cerah	1186	41,2	19,93	0,59	13,2	21,04	0,98	13,2
	14:00	Cerah	415	37,8	12,82	0,37	13,1	13,53	0,50	13,3
	15:00	Berawan	255	34,7	12,54	0,25	13,0	13,22	0,28	13,3
Kc ₃	10:00	Cerah	840	37,9	12,86	0,39	13,0	13,99	0,59	13,3
	11:00	Cerah	980	39,8	20,86	0,68	13,1	21,89	1,03	13,4
	12:00	Cerah	1297	41,5	21,87	1,02	13,3	22,04	1,26	13,5
	13:00	Cerah	1186	40	19,49	0,50	13,50	20,72	0,78	13,6
	14:00	Cerah	765	38,2	13,97	0,34	13,40	14,64	0,58	13,6
	15:00	Cerah	341	35,4	12,82	0,28	13,40	13,51	0,30	13,5

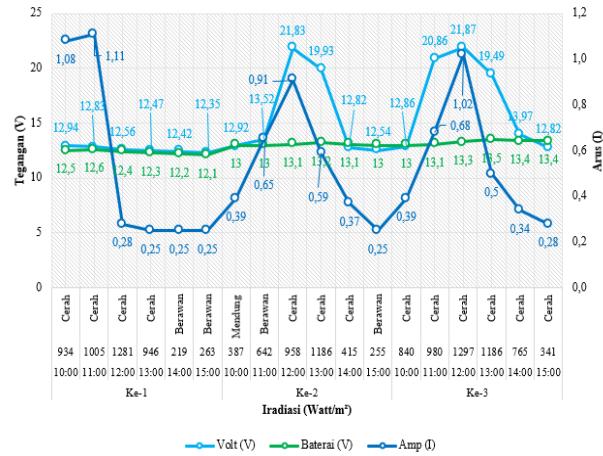
Dari Tabel 2 diketahui bahwa iradiasi matahari tertinggi 1297 watt/m² dengan suhu 41,5°C dalam keadaan cuaca cerah di jam 12.00. Iradiasi matahari terendah 163 watt/m² terjadi saat cuaca berawan di jam 15.00 dengan suhu 36,8°C. Untuk *output* dari solar panel statis tegangan (V) serta arus (I) tertinggi yaitu 21,87 V dan 1,1 A. Tegangan (V) serta arus (I) terendah yaitu 12,35 V dan 0,25 A. Sedangkan untuk *output* sistem solar tracker dual axis dinamis tegangan (V) serta arus (I) tertinggi yaitu 22,13 V dan 1,26 A. Tegangan (V) serta arus (I) terendah yaitu 12,52 V dan 0,25 A. Sama seperti pada tabel 1 karena iradiasi matahari (Watt/m²) akan jauh lebih besar jika dalam keadaan cuaca yang cerah, dan cenderung lebih kecil jika pada jam menjelang sore hari atau cuaca keadaan mendung, serta akan bervariasi besar atau kecil jika dalam keadaan cuaca berawan tergantung berawan pada saat waktu siang atau sore hari. Sama halnya dengan iradiasi matahari, suhu juga akan meningkat seiring dengan waktu yang semakin siang dan menurun bila waktu semakin sore.

Tidak hanya tentang iradiasi matahari dan suhu, yang tidak jauh berbeda antara hasil pengujian yang ditunjukan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Untuk *output* tegangan (V) dan arus (I) pada sistem solar panel statis cenderung stabil dan sewaktu waktu bisa besar jika suhu dan iradiasinya juga besar. Sedangkan untuk sistem solar tracker dual axis dinamis *output* tegangan dan arus lebih bervariasi dan fluktuatif. Perbedaan *output* tegangan (V) dan arus (I) kedua sistem tersebut dapat terlihat pada waktu menjelang siang dan menjelang sore hari di saat posisi matahari tidak lagi berada di tengah.

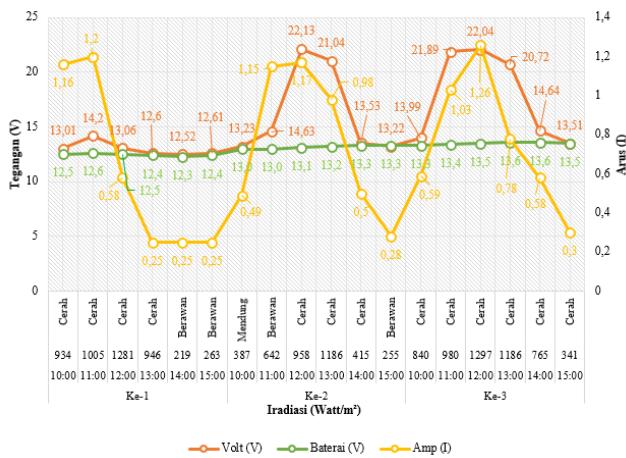
Berbeda pada hasil pengujian dari Tabel 1 dimana kapasitas baterai pada saat charging yang tidak berkurang dan pasti bertambah saat pengujian karena tidak menggunakan beban. Maka pada hasil pengujian Tabel 2 ini kapasitas baterai bisa berkurang dan bertambah karena menggunakan beban pada saat proses pengujiannya. Kondisi baterai ini berlaku bagi kedua sistem solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis.

Pada saat kondisi iradiasi yang tinggi dan cuaca yang cerah pada siang hingga menjelang sore hari proses charging baterai masih berjalan normal dan kapasitas baterai tetap terisi walaupun ada beban yang harus di backup. Disaat kondisi iradiasi rendah karena kondisi cuaca berawan, mendung bahkan di sore hari proses charging menjadi lebih lambat bahkan kapasitas baterai bisa berkurang karena adanya beban yang harus di backup dan tidak mencukupi dengan daya listrik yang

masuk ke baterai. Adapun perbedaan dari sistem solar tracker dual axis dinamis masih memiliki kondisi lebih baik dari sistem solar panel statis selama pengujian karena lebih cepat dalam proses *charging*, serta lebih lama berkurangnya kapasitas baterai dalam keadaan ada beban yang harus di backup baik di kondisi iradiasi matahari rendah dan cuacanya berawan bahkan mendung. Untuk lebih jelasnya bisa melihat grafik hubungan iradiasi dan *output* solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis menggunakan beban pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17. Hubungan iradiasi terhadap output solar panel statis dengan beban



Gambar 18. Hubungan iradiasi terhadap output solar tracker dual axis dinamis dengan beban

Analisis Data dan Pembahasan

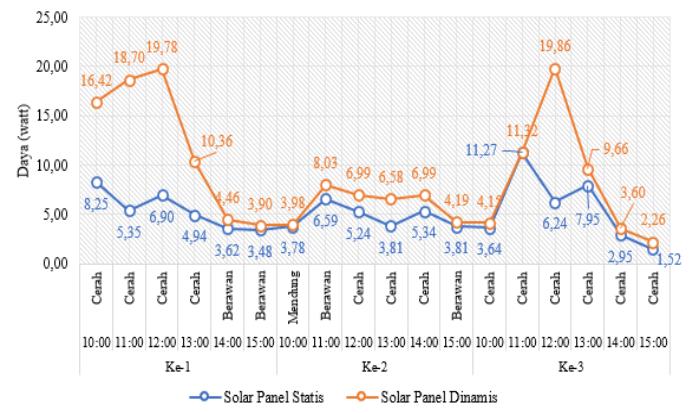
Analisis data penelitian ini terbagi menjadi 2 yaitu analisis daya panel surya dan analisis efisiensi panel surya. Analisis ini berlaku untuk kedua sistem solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis. Analisis pada penelitian ini adalah menghitung daya hasil pengujian pada Tabel 1 dengan menggunakan rumus $P = V \times I$, dimana P = daya (watt), V = tegangan (volt), dan I = arus (ampere).

Dengan mengetahui besaran daya yang ditunjukkan pada perhitungan di atas, maka hal ini dapat diterapkan pada *output* solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis tanpa menggunakan beban seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Daya Output Solar Panel Tanpa Menggunakan Beban

Hari	Waktu	Cuaca	Solar Panel Statis			Solar Panel Dinamis		
			Volt (V)	Amp (I)	Daya (Watt)	Volt (V)	Amp (I)	Daya (Watt)
Ke-1	10:00	Cerah	13,99	0,59	8,25	14,79	1,11	16,42
	11:00	Cerah	13,73	0,39	5,35	16,26	1,15	18,70
	12:00	Cerah	14,08	0,49	6,90	16,91	1,17	19,78
	13:00	Cerah	13,35	0,37	4,94	15,23	0,68	10,36
	14:00	Berawan	13,41	0,27	3,62	14,86	0,30	4,46
	15:00	Berawan	13,38	0,26	3,48	13,93	0,28	3,90
Rata-Rata Hari ke-1			13,66	0,40	5,39	15,33	0,78	11,98
Ke-2	10:00	Mendung	13,51	0,28	3,78	13,72	0,29	3,98
	11:00	Berawan	13,45	0,49	6,59	13,85	0,58	8,03
	12:00	Cerah	13,80	0,38	5,24	13,98	0,50	6,99
	13:00	Cerah	13,62	0,28	3,81	13,71	0,48	6,58
	14:00	Cerah	13,70	0,39	5,34	14,26	0,49	6,99
	15:00	Berawan	13,59	0,28	3,81	13,95	0,30	4,19
Rata-Rata Hari ke-2			13,61	0,35	4,76	13,91	0,44	6,12
Ke-3	10:00	Cerah	13,47	0,27	3,64	13,82	0,30	4,15
	11:00	Cerah	22,53	0,50	11,27	22,63	0,50	11,32
	12:00	Cerah	13,86	0,45	6,24	14,82	1,34	19,86
	13:00	Cerah	20,91	0,38	7,95	21,01	0,46	9,66
	14:00	Cerah	11,33	0,26	2,95	12,86	0,28	3,60
	15:00	Cerah	10,89	0,14	1,52	12,56	0,18	2,26
Rata-Rata Hari ke-3			15,50	0,33	5,17	16,28	0,51	8,30
Total Rata-Rata			14,26	0,36	5,12	15,18	0,58	8,76

Berdasarkan hasil perhitungan daya tanpa menggunakan beban pada Tabel 3 diketahui bahwa daya *output* dari solar panel bervariasi naik dan turun karena dipengaruhi oleh perubahan arus dan tegangan. Daya *output* dari solar tracker dual axis dinamis lebih besar dari daya *output* solar panel statis. Daya *output* solar panel statis tertinggi serta terendah yaitu 11,27 watt dan 1,52 watt. Sedangkan daya *output* solar tracker dual axis dinamis tertinggi serta terendah yaitu 19,86 watt dan 2,26 watt. Adapun total rata-rata daya selama 3 hari pengujian tanpa menggunakan beban solar panel statis 5,12 watt dan solar tracker dual axis dinamis 8,76 watt. Untuk itu hubungan daya terhadap waktu bisa melihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Hubungan daya terhadap waktu pengujian tanpa menggunakan beban

Setelah mengetahui besaran daya yang ditunjukkan pada perhitungan sebelumnya. Hasil perhitungan serupa bisa diterapkan pada *output* solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis tanpa menggunakan beban seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Daya Output Solar Panel Menggunakan Beban

Hari	Waktu	Cuaca	Solar Panel Statis			Solar Panel Dinamis		
			Volt (V)	Amp (I)	Daya (Watt)	Volt (V)	Amp (I)	Daya (Watt)
Ke-1	10:00	Cerah	12,94	1,08	13,98	13,01	1,16	15,09
	11:00	Cerah	12,83	1,11	14,24	14,20	1,20	17,04
	12:00	Cerah	12,56	0,28	3,52	13,06	0,58	7,57
	13:00	Cerah	12,47	0,25	3,12	12,60	0,25	3,15
	14:00	Berawan	12,42	0,25	3,11	12,52	0,25	3,13
	15:00	Berawan	12,35	0,25	3,09	12,61	0,25	3,15
Rata-Rata Hari ke-1			12,60	0,54	6,76	13,00	0,62	8,00
Ke-2	10:00	Mendung	12,92	0,39	5,04	13,23	0,49	6,48
	11:00	Berawan	13,52	0,65	8,79	14,63	1,15	16,82
	12:00	Cerah	21,83	0,91	19,87	22,13	1,17	25,89
	13:00	Cerah	19,93	0,59	11,76	21,04	0,98	20,62
	14:00	Cerah	12,82	0,37	4,74	13,53	0,50	6,77
	15:00	Berawan	12,54	0,25	3,14	13,22	0,28	3,70
Rata-Rata Hari ke-2			15,59	0,53	8,21	16,30	0,76	12,41
Ke-3	10:00	Cerah	12,86	0,39	5,02	13,99	0,59	8,25
	11:00	Cerah	20,86	0,68	14,18	21,89	1,03	22,55
	12:00	Cerah	21,87	1,02	22,31	22,04	1,26	27,77
	13:00	Cerah	19,49	0,50	9,75	20,72	0,78	16,16
	14:00	Cerah	13,97	0,34	4,75	14,64	0,58	8,49
	15:00	Cerah	12,82	0,28	3,59	13,51	0,30	4,05
Rata-Rata Hari ke-3			16,98	0,54	9,08	17,80	0,76	13,47
Total Rata- Rata			15,06	0,53	8,02	15,70	0,71	11,16

Dari Table 4 diketahui nilai-nilai daya *output* solar panel statis tertinggi serta terendah yaitu 22,31 watt dan 3,09 watt. Sedangkan daya *output* solar tracker dual axis dinamis tertinggi serta terendah yaitu 27,77 watt dan 3,13 watt. Adapun total rata-rata daya selama 3 hari pengujian menggunakan beban solar panel statis 8,02 watt dan solar tracker dual axis dinamis 11,16 watt. Untuk itu hubungan daya terhadap waktu menggunakan beban bisa melihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Hubungan daya terhadap waktu pengujian menggunakan beban

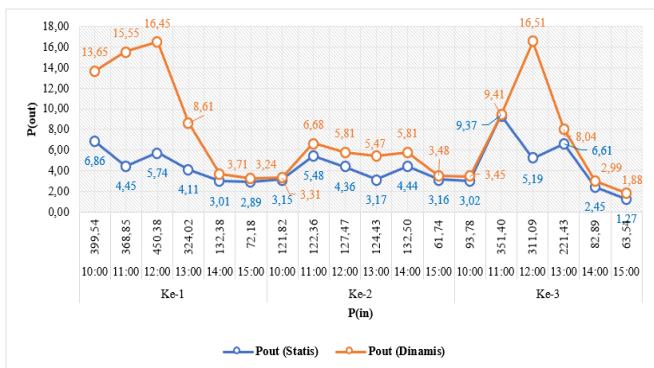
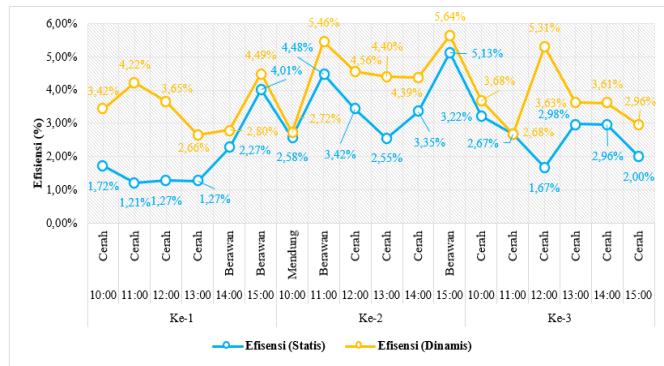
Efisiensi daya solar panel dihitung berdasarkan perbandingan antara daya *output* (P_{out}) dengan daya *input* (P_{in}) solar panel yang dinyatakan dalam persentase. Untuk menghitung Efisiensi daya *output* kita perlu mengetahui spesifikasi dari panel surya yang kita gunakan. Setelah itu, dapat mulai menghitung dengan menggunakan turunan persamaan (ii),(iii), dan (iv). Untuk menghitung P_{out} kita perlu menghitung terlebih dahulu *fill factor* (FF). Menghitung *fill factor* (FF) kita bisa menggunakan persamaan (v).

Setelah mengetahui proses dan tata cara perhitungannya untuk mencari efisiensi solar panel statis maupun solar tracker dual axis dinamis, kita bisa mencari daya *output* (P_{out}) dengan daya *input* (P_{in}) dari hasil pengujian pada Tabel 3 dan Tabel 4. Adapun hasil perhitungan efisiensinya ada pada Tabel 5.

Tabel 5. Efisiensi Daya Keluaran Solar Panel Tanpa Menggunakan Beban

Hari & Waktu	P(in)	Solar Panel Statis			Solar Panel Dinamis		
		Daya	P(out)	Efisiensi	Daya	P(out)	Efisiensi
Ke-1	10:00	399,54	8,25	2,01%	16,42	13,65	3,42%
	11:00	368,85	5,35	1,44%	18,70	15,55	4,22%
	12:00	450,38	6,90	1,53%	19,78	16,45	3,65%
	13:00	324,02	4,94	1,52%	10,36	8,61	2,66%
	14:00	132,38	3,62	2,72%	4,46	3,71	2,80%
	15:00	72,18	3,48	4,83%	3,90	3,24	4,49%
Rata-Rata Hari ke-1		291,22	5,39	1,54%	11,98	9,96	3,42%
Ke-2	10:00	121,82	3,78	3,02%	3,98	3,31	2,72%
	11:00	122,36	6,59	4,48%	8,03	6,68	5,46%
	12:00	127,47	5,24	3,42%	6,99	5,81	4,56%
	13:00	124,43	3,81	2,55%	6,58	5,47	4,40%
	14:00	132,50	5,34	3,35%	6,99	5,81	4,39%
	15:00	61,74	3,81	5,13%	4,19	3,48	5,64%
Rata-Rata Hari ke-2		115,05	4,76	3,44%	6,12	5,09	4,42%
Ke-3	10:00	93,78	3,64	3,22%	4,15	3,45	3,68%
	11:00	351,40	11,27	2,67%	11,32	9,41	2,68%
	12:00	311,09	6,24	1,67%	19,86	16,51	5,31%
	13:00	221,43	7,95	2,98%	9,66	8,04	3,63%
	14:00	82,89	2,95	2,96%	3,60	2,99	3,61%
	15:00	63,54	1,52	2,00%	2,26	1,88	2,96%
Rata-Rata Hari ke-3		187,35	5,17	2,29%	8,30	6,91	3,69%
Total Rata- Rata		197,88	5,12	2,15%	8,76	7,28	3,68%

Dari Tabel 5 kita dapat mengetahui tentang nilai-nilai dari efisiensi per jam, rata-rata perhari dan total rata-rata selama 3 hari pengukuran dari solar panel statis maupun solar tracker dual axis dinamis tanpa menggunakan beban. Dari total rata-rata solar panel statis mempunyai efisiensi 2,15% sedangkan solar tracker dual axis dinamis 3,68%, maka perbandingan efisiensi kedua sistem tersebut memiliki selisih sebesar 1,53 %. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi daya *output* solar panel statis dan dinamis sesuai tabel 6 dapat dibuat grafik hubungan P_{out} terhadap terhadap P_{in} dan hubungan efisiensi kedua sistem tersebut terhadap waktu seperti terlihat pada Gambar 21 dan Gambar 22.

Gambar 21. Hubungan $P_{(out)}$ terhadap terhadap $P_{(in)}$ pengujian solar panel tanpa menggunakan beban

Gambar 22. Hubungan efisiensi solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis tanpa menggunakan beban

Pada Gambar 21 dan hasil grafik pada Gambar 22 ditunjukkan bahwa efisiensi solar panel statis terendah ada di 1,21% pada jam 11.00 hari pertama dan tertinggi ada di hari kedua di jam 15.00 sebesar 5,13%. Sedangkan untuk solar tracker dual axis dinamis efisiensi terendah sebesar 2,66% pada hari pertama jam 13.00 dan tertinggi pada hari kedua jam 15.00 sebesar 5,64 %.

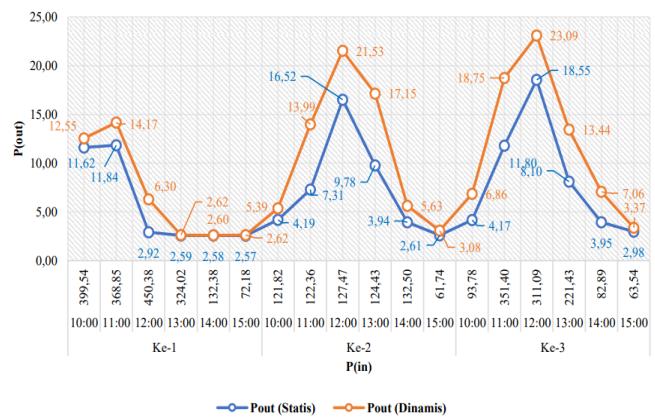
Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa pengaruh besar kecilnya efisiensi dipengaruhi hubungan oleh $P_{(in)}$ dan $P_{(out)}$. Semakin besar $P_{(out)}$ yang dihasilkan maka hasil perhitungan efisiensi terhadap $P_{(in)}$ semakin besar. Begitu juga sebaliknya jika $P_{(in)}$ semakin besar maka hasil perhitungan efisiensi terhadap $P_{(out)}$ semakin kecil. Adapun hasil analisis efisiensi pengujian solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis menggunakan beban ada pada Tabel 6.

Tabel 6. Efisiensi Daya Keluaran Solar Panel Menggunakan Beban

Hari & Waktu	P(in)	Solar Panel Statis			Solar Tracker Dual Axis Dinamis			
		Daya	P(out)	Efisiensi	Daya	P(out)	Efisiensi	
Ke-1	10:00	330,34	13,98	3,52%	15,09	12,55	3,80%	
	11:00	355,61	14,24	3,33%	17,04	14,17	3,98%	
	12:00	453,39	3,52	2,92	0,64%	7,57	6,30	1,39%
	13:00	334,55	3,12	2,59	0,77%	3,15	2,62	0,78%
	14:00	77,53	3,11	2,58	3,33%	3,13	2,60	3,36%
	15:00	57,76	3,09	2,57	4,44%	3,15	2,62	4,54%
Rata-Rata Hari ke-1		268,20	6,76	5,62	2,10%	8,00	6,65	2,48%

Ke-2	10:00	136,86	5,04	4,19	3,06%	6,48	5,39	3,94%
	11:00	227,15	8,79	7,31	3,22%	16,82	13,99	6,16%
	12:00	339,06	19,87	16,52	4,87%	25,89	21,53	6,35%
	13:00	419,69	11,76	9,78	2,33%	20,62	17,15	4,09%
	14:00	146,91	4,74	3,94	2,68%	6,77	5,63	3,83%
	15:00	90,20	3,14	2,61	2,89%	3,70	3,08	3,41%
Rata-Rata Hari ke-2		226,64	8,21	6,83	3,01%	12,41	10,32	4,55%
Ke-3	10:00	297,34	5,02	4,17	1,40%	8,25	6,86	2,31%
	11:00	346,89	14,18	11,80	3,40%	22,55	18,75	5,40%
	12:00	458,81	22,31	18,55	4,04%	27,77	23,09	5,03%
	13:00	419,69	9,75	8,10	1,93%	16,16	13,44	3,20%
	14:00	270,53	4,75	3,95	1,46%	8,49	7,06	2,61%
	15:00	120,70	3,59	2,98	2,47%	4,05	3,37	2,79%
Rata-Rata Hari ke-3		318,99	9,08	7,55	2,37%	13,47	11,20	3,51%
Total Rata-Rata		271,28	8,02	6,67	2,46%	11,16	9,28	3,42%

Setelah dilakukan pengujian selama 3 hari dengan menggunakan beban, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 6. Dari data-data ini dapat diketahui total rata-rata solar panel statis mempunyai efisiensi 2,64% sedangkan solar tracker dual axis dinamis 3,42% maka perbandingan efisiensi kedua sistem tersebut memiliki selisih sebesar 0,78 %. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi daya output solar panel statis dan dinamis sesuai Tabel 6 dapat dibuat grafik hubungan $P_{(out)}$ terhadap terhadap $P_{(in)}$ dan hubungan efisiensi kedua sistem tersebut terhadap waktu seperti terlihat pada Gambar 23 dan Gambar 24.

Gambar 23. Hubungan $P_{(out)}$ terhadap terhadap $P_{(in)}$ pengujian solar panel menggunakan beban

Gambar 24. Hubungan efisiensi solar panel statis dan solar tracker dual axis dinamis tanpa menggunakan beban

Sama seperti kesimpulan pada analisis efisiensi sebelumnya bahwa pengaruh besar kecilnya efisiensi dipengaruhi hubungan oleh $P(\text{in})$ dan $P(\text{out})$. Semakin besar $P(\text{out})$ yang dihasilkan maka hasil perhitungan efisiensi terhadap $P(\text{in})$ semakin besar, begitu juga sebaliknya. Pada Gambar 25 dan Gambar 26 efisiensi solar panel statis terendah ada di 0,64% pada jam 12.00 hari pertama dan tertinggi ada di hari kedua di jam 12.00 sebesar 4,87%. Sedangkan untuk solar tracker dual axis dinamis efisiensi terendah sebesar 0,78% pada hari pertama jam 13.00 dan tertinggi pada hari kedua jam 12.00 sebesar 6,35 %.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, terdapat tiga kesimpulan penting:

- 1) Perancangan solar panel statis bisa menghasilkan listrik tertinggi sebesar 22,53 V dan 0,59 A untuk pengujian tanpa menggunakan beban dan menggunakan beban yaitu 21,87 V dan 1,1 A. Sistem tracker dual axis yg digunakan bisa menggerakan output ke kanan atau ke kiri sebesar sudut putaran motor servo 360° dan naik turun membentuk sudut dari 0 sampai 40° menghadap matahari sesuai linear aktuator. Sedangkan untuk sistem solar tracker dual axis dinamis menghasilkan listrik tertinggi yaitu 22,63 V dan 1,34 A pengujian tanpa menggunakan beban dan menggunakan beban sebesar 22,13 V dan 1,26 A.
- 2) Daya output dari solar panel bervariasi naik dan turun karena dipengaruhi oleh perubahan arus dan tegangan. Daya output selama pengujian tanpa menggunakan beban solar panel statis tertinggi 11,27 watt dengan total rata-rata 5,12 watt. Solar tracker dual axis dinamis tertinggi 19,86 watt dengan total rata-rata daya 8,76 watt. Adapun pengujian menggunakan beban solar panel statis tertinggi 22,31 watt dengan total rata rata 8,02 watt. Sedangkan daya output solar tracker dual axis dinamis tertinggi 27,77 watt dengan total rata-rata daya selama 3 hari 11,16 watt.
- 3) Besar kecilnya efisiensi dipengaruhi hubungan oleh $P(\text{in})$ dan $P(\text{out})$. Solar tracker dual axis dinamis lebih efisiensi dibandingkan solar panel statis. Pengujian menggunakan beban Solar tracker dual axis dinamis menghasilkan rata-rata efisiensi 3,68% dan solar panel statis sebesar 2,15%. Perbandingan efisiensi kedua sistem tersebut memiliki selisih sebesar 1,53 %. Untuk pengujian menggunakan beban rata-rata efisiensi solar tracker dual axis dinamis yaitu 3,42% dan statis 2,64%. Perbandingan efisiensi kedua sistem tersebut memiliki selisih sebesar 0,78 %.

Penelitian ini tidak lepas dari beberapa kekurangan terkait proses pembuatan, pengujian, dan analisis hasil. Oleh karena itu penulis memiliki beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut agar dapat dikembangkan dengan lebih baik:

- 1) Perancangan dan pemilihan komponen untuk sistem tracker dual axis dinamis. Bisa menggunakan 2 motor servo jika ingin pergerakan tracker untuk panel suryanya lebih luas dan cepat. Bisa menggunakan 2 linear actuator jika ingin instalasi lebih mudah dan praktis. Perlu

diperhatikan panjang aktuator dan beban maksimal yang untuk menampung berat dari solar panel agar bisa bergerak bebas. Karena semakin besar daya solar panel yang ingin digunakan maka ukuran dan beratnya juga semakin besar.

- 2) Pemilihan lokasi pengujian alat yang tepat/cocok untuk bisa mendapatkan hasil efisiensi daya yang lebih baik dan akurat. Semakin lama pengujian maka hasilnya semakin baik, dan semakin tinggi serta terbukanya area dalam meletakkan alat/divais, maka akan menghasilkan *output* (daya keluaran) yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (LRPM) Universitas Presiden dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Pertahanan yang telah bersedia memberikan dukungan untuk kegiatan penelitian dan publikasi paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Adellea, "Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energi nasional," *Indonesian State Law Review*, vol. 5, no. 1, pp. 43-51, 2022.
- [2] J. S. Setyono, F. H. Mardiansjah, M. F. K. Astuti, "Potensi pengembangan energi baru dan energi terbarukan di kota semarang," *JURNAL RIPTEK*, vol. 13, no. 2, pp. 177-186, 2019.
- [3] A. D. Decita, Sudarti, "Analisis intensitas radiasi matahari dan peningkatan suhu lingkungan," *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS)*, vol. 5, no. 2, pp. 76-82, 2022.
- [4] J. M. Tambunan, A. Gifson, H. Husada, Samsurizal, Buku ajaran pencahayaan, Jakarta: INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2020.
- [5] R. R. Ramadhan, M. Iqbal, "Analisis plts on grid," Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 2022.
- [6] M. Anggara, W. Saputra, "Analisis kinerja sel surya monocystalline dan polycystalline di kabupaten sumbawa ntb," *JURNAL FLYWHEEL*, vol. 14, no. 1, pp. 7-12, 2023.
- [7] Y. Juliansyah, "Pembahasan pn junction semikonduktor," *Ruang Teknisi*, 14 Desember 2021. [Online]. Available: <https://www.ruangteknisi.com/pn-junction/>. [Accessed 4 November 2023].
- [8] Riau Pos, "Pentingnya mengetahui prinsip kerja sel surya," 20 April 2022. [Online]. Available: <https://www.riaupos.co.id/pentingnya-mengetahui-prinsip-kerja-sel-surya/>. [Accessed 4 November 2023].
- [9] N. H. Hanan, F. Fiqqih, P. Iwansyah, "Rancang bangun konfigurasi hibrid pada panel surya untuk beban arus bolak balik," Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP), vol. 6, no. 1, pp. 1-9, 2023.
- [10] N. M. H. Y. Tanaya, "Rancang bangun solar tracker dual axis guna optimalisasi panel surya untuk penerangan pada kapal," Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [11] W. Kamisah, Rahmani, Y. Andinata, "Analysis of the efficiency of solar power plants (plts) against solar irradiation using a solar power meter," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 3, pp. 189-194, 2023.
- [12] Dahliyah, Samsurizal, N. Pasra, "Efisiensi panel surya kapasitas 100 wp akibat pengaruh suhu dan kecepatan angin," *JURNAL ILMAH SUTET*, vol. 11, no. 2, pp. 71-80, 2021.
- [13] Y. H. Anoi, A. Yani, Yunanri, "Analisis Sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, vol. 8, no. 2, pp. 177-182, 2019.

- [14] M. F. Fernanda, B. Nainggolan, I. Silanegara, "Penentuan komponen sistem plts 100 wp pada floating photovoltaic sebagai sumber energi lampu penerangan 20 w pada kolam politeknik negeri jakarta," Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, 2021.
- [15] Ridwan, W. Ramadhan, A. Kurniawan, W. Lestari, D. Setiawan, "Pemanfaatan sinar matahari sebagai energi alternatif untuk kebutuhan energi listrik," SENKIM: Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin, vol. 1, no. 1, pp. 168-176, 2021.
- [16] Samsurizal, K. T. Mauriraya, M. Fikri, N. Pasra, Christiono, Pengenalan pembangkit listrik tenaga surya (plts), Jakarta: INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2021.
- [17] Masthura, Abdullah, "Effect of temperature and sunlight intensity on surface of solar panel on electric power generated," in International Conference on Physics and Applied Physics, Medan, 2024.
- [18] A. D. Putra, A. B. Pulungan, I. Yelfianhar, "Optimalisasi penyerapan energi matahari menggunakan sistem solar tracking dua sumbu," JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL), vol. 6, no. 2, pp. 187-197, 2020.
- [19] A. O. M. Maka, J. M. Alabid, "Solar energy technology and its roles in sustainable development," Clean Energy, vol. 6, no. 3, p. 476-483, 2022.
- [20] M. D. Elvanny, M. Riki, F. Erna, "Sistem tracking cahaya matahari pada photovoltaic," Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi, vol. 19, no. 1, pp. 9-16, 2019.