

RANCANG BANGUN SISTEM SERVO TD8120-MG SOLAR SEBAGAI OPTIMASI PENYERAPAN ENERGI MATAHARI

Fajri Juliansyah^{1*}, Gaguk Firasanto², Edy Sumarno³, Andriani⁴

^{1,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang; Jl. Witana Harja No.18b, Pamulang Bar., Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15417

Keywords:

Arduino, INA219, Motor Servo, Panel Surya, Sensor LDR.

Correspondent Email:

fajrijlnsh@gmail.com

Abstrak. Kebutuhan energi yang terus meningkat, khususnya di sektor industri dan perkantoran, menuntut upaya peningkatan cadangan energi terbarukan. Letak geografis Indonesia di garis khatulistiwa menjadikan pemanfaatan energi matahari melalui *photovoltaic* (panel surya) sangat potensial. Namun, pemasangan panel surya yang umumnya bersifat statis mengakibatkan penyerapan energi kurang optimal karena pergerakan matahari. Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem mekanik *solar tracker* dinamis yang mampu mengikuti arah datangnya cahaya matahari. Sistem ini menggunakan dua buah sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) untuk membaca nilai intensitas cahaya, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler Arduino guna mengendalikan putaran motor servo TD8120-Mg. Selain itu, sistem dilengkapi dengan sensor INA219 untuk memantau keluaran arus dan tegangan secara langsung, yang datanya ditampilkan pada modul LCD 16x2. Hasil pengujian selama 360 menit (6 jam) menunjukkan bahwa panel surya dinamis menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 18,41 Volt dan arus 1,170 Ampere. Sementara itu, panel surya statis hanya menghasilkan tegangan rata-rata 15,02 Volt dan arus 0,918 Ampere. Berdasarkan hasil tersebut, sistem panel surya dinamis terbukti mampu meningkatkan optimasi daya yang terserap dengan selisih mencapai 30% dibandingkan dengan sistem statis..



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. *Energy needs are constantly increasing, especially for the industrial and office sectors, requiring efforts to increase renewable energy reserves. Indonesia's geographical location on the equator makes the utilization of solar energy through photovoltaics (solar panels) highly potential. However, the installation of solar panels which is generally static results in less than optimal energy absorption due to the continuous movement of the sun. This study aims to design a dynamic mechanical solar tracker system capable of following the direction of sunlight. This system uses two LDR (Light Dependent Resistor) sensors to read light intensity values, which are then processed by an Arduino microcontroller to control the rotation of the TD8120-Mg servo motor. In addition, the system is equipped with an INA219 sensor to monitor current and voltage output in real-time, with the data displayed on a 16x2 LCD module. The test results over 360 minutes (6 hours) show that the dynamic solar panel produces an average voltage of 18.41 Volts and a current of 1.170 Amperes. Meanwhile, the static solar panel only produces an average voltage of 15.02 Volts and a current of 0.918 Amperes. Based on these results, the dynamic solar panel system is proven to be able to increase the optimization of absorbed power with a difference of up to 30% compared to the static system.*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya pertumbuhan populasi dan kemajuan sektor industri, permintaan terhadap energi listrik terus mengalami lonjakan yang signifikan [1]. Ketergantungan pada energi fosil yang semakin menipis mengharuskan adanya transisi menuju pemanfaatan sumber energi terbarukan. Mengingat posisi geografis Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa, energi matahari atau surya menjadi salah satu alternatif paling potensial untuk dikembangkan karena paparan sinarnya tersedia sepanjang tahun [2], [3]. Pemanfaatan energi surya umumnya dilakukan menggunakan teknologi *photovoltaic* (panel surya) yang berfungsi mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik [4].

Meskipun penggunaannya semakin masif, tingkat efisiensi konversi daya pada sistem panel surya konvensional masih tergolong rendah [5]. Hal ini dilatarbelakangi oleh metode instalasi mayoritas panel surya yang masih bersifat statis atau diam pada satu sudut kemiringan tertentu [6]. Di sisi lain, pergerakan semu matahari dari timur ke barat menyebabkan sudut jatuh cahaya tidak selalu tegak lurus terhadap permukaan panel [7]. Akibatnya, penyerapan intensitas cahaya tidak terjadi secara maksimal sepanjang hari, yang berdampak langsung pada penurunan produksi tegangan dan arus listrik [8].

Beberapa studi terdahulu telah berupaya mengatasi kelemahan sistem statis ini melalui pengembangan *solar tracker*. Penelitian terkait perancangan pelacak matahari menggunakan mikrokontroler menunjukkan adanya peningkatan efisiensi tangkapan energi [13], [15]. Selain itu, penggunaan aktuator berupa motor servo terbukti mampu memberikan pergerakan mekanis yang presisi dalam mengarahkan panel surya [12], [14]. Namun demikian, masih diperlukan optimalisasi lebih lanjut pada responsivitas pergerakan mekanik serta keakuratan pemantauan daya yang dihasilkan agar sistem dapat bekerja secara mandiri dan *real-time*.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini mengusulkan rancang bangun sistem *solar tracker* dinamis berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Sistem ini memanfaatkan dua buah sensor *Light Dependent Resistor* (LDR)

untuk mendeteksi arah datangnya intensitas cahaya matahari tertinggi [8], yang kemudian menginstruksikan motor servo seri TD8120-Mg sebagai aktuator mekanis untuk memutar posisi panel agar selalu presisi menghadap matahari [9]. Sebagai nilai tambah untuk keperluan analisis kinerja, sistem ini diintegrasikan dengan sensor INA219 yang memiliki tingkat akurasi tinggi dalam memantau nilai arus, tegangan, dan daya keluaran secara *real-time* [5], [10]. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan secara empiris perbedaan optimalisasi penyerapan energi antara instalasi panel surya statis dibandingkan dengan sistem dinamis yang diusulkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya atau *photovoltaic* merupakan komponen utama yang berfungsi mengonversi energi radiasi dari cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaiik. Efisiensi daya yang dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima dan sudut datangnya sinar matahari terhadap permukaan panel [13]. Oleh karena itu, menjaga posisi panel agar tegak lurus dengan cahaya sangat penting untuk memaksimalkan daya keluarannya.



Gambar 1. Panel Surya

2.2. Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler *open-source* yang menggunakan chip ATmega328P sebagai pusat pemrosesan datanya. Dalam perancangan *solar tracker*, mikrokontroler ini berperan sebagai otak sistem yang membaca data analog dari sensor cahaya, kemudian mengolahnya menjadi sinyal digital untuk memberikan perintah pergerakan kepada aktuator [7]. Perangkat ini dipilih karena kemudahan integrasi bahasa pemrogramannya

serta ketersediaan pin input/output yang memadai untuk kebutuhan sensor dan motor.



Gambar 2. Arduino Uno

2.3. Sensor LDR (Light Dependent Resistor)

Sensor LDR adalah jenis resistor yang nilai resistansinya berubah-ubah bergantung pada intensitas cahaya yang mengenai permukaannya. Saat terpapar cahaya yang terang, nilai resistansi LDR akan menurun secara drastis, sebaliknya dalam keadaan gelap resistansinya akan meningkat [8]. Pada sistem ini, dua buah sensor LDR digunakan sebagai komparator untuk menentukan arah intensitas cahaya matahari tertinggi, yang datanya kemudian dikirim ke Arduino.



Gambar 3. Sensor LDR

2.4. Motor Servo TD8120-Mg

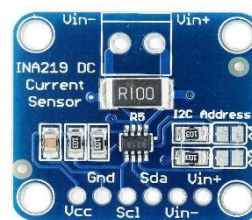
Motor servo adalah aktuator putar yang dirancang dengan sistem umpan balik tertutup (*closed-loop*) sehingga mampu mengatur posisi sudut putaran secara presisi. Motor servo tipe TD8120-Mg memiliki torsi yang cukup besar dan material *gear* berbasis logam (*metal gear*), menjadikannya ideal dan tangguh untuk menahan serta menggerakkan beban fisik berupa panel surya [12]. Motor ini akan berputar mengikuti instruksi derajat kemiringan dari Arduino berdasarkan selisih nilai pembacaan kedua sensor LDR.



Gambar 4. Motor Servo TD8120-Mg

2.5. Sensor Arus dan Tegangan INA219

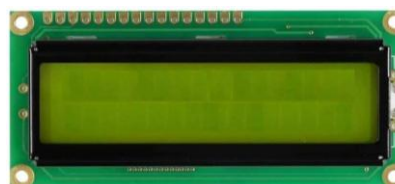
INA219 merupakan modul sensor yang memiliki tingkat akurasi tinggi dan beroperasi dengan protokol komunikasi I2C. Sensor ini dirancang secara khusus untuk membaca nilai arus searah (DC) dan tegangan secara bersamaan (*bi-directional*) dalam satu modul yang ringkas [5]. Dalam penelitian ini, INA219 bertugas untuk melakukan *monitoring* secara langsung terhadap daya (Watt) yang dihasilkan oleh panel surya, yang kemudian hasilnya akan ditampilkan pada layar pemantauan [10].



Gambar 5. Sensor INA219

2.6. Modul LCD 16x2

Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 adalah modul penampil elektronik yang memanfaatkan kristal cair untuk menghasilkan visualisasi karakter. Modul ini mampu menampilkan 16 karakter dalam 2 baris teks. Pada alat ini, LCD difungsikan sebagai *User Interface* (UI) utama untuk menampilkan parameter hasil pembacaan sensor INA219 secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau perbandingan nilai tegangan dan arus yang diserap sistem dengan mudah.



Gambar 6. Modul LCD 16x2

2.7. Solar Charge Controller (SCC)

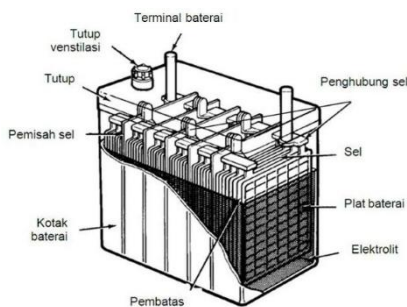
Solar Charge Controller (SCC) adalah perangkat elektronik vital dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berfungsi meregulasi arus dan tegangan. Perangkat ini mengatur lalu lintas arus searah (DC) yang masuk dari panel surya menuju baterai, serta dari baterai menuju beban kelistrikan [2]. Peran utama SCC adalah menjaga keawetan umur baterai dengan mencegah terjadinya pengisian daya yang berlebihan (*overcharging*) ketika intensitas matahari sedang tinggi, dan menghentikan suplai listrik ketika kapasitas baterai sudah berada di batas bawah (*overdischarging*).



Gambar 7. Solar Charge Controller

2.8. Baterai

Baterai merupakan komponen penyimpan energi dengan prinsip kerja reaksi elektrokimia. Dalam konfigurasi sistem *solar tracker*, baterai bertugas untuk menampung energi listrik arus searah (DC) yang diproduksi oleh panel surya selama proses penyerapan radiasi matahari [13]. Energi yang tersimpan ini sangat penting sebagai cadangan daya agar sistem dan beban tetap dapat beroperasi meskipun pada kondisi minim cahaya, seperti saat cuaca mendung atau pada malam hari. Pemilihan kapasitas baterai umumnya disesuaikan dengan total daya optimal yang mampu dihasilkan oleh panel surya.

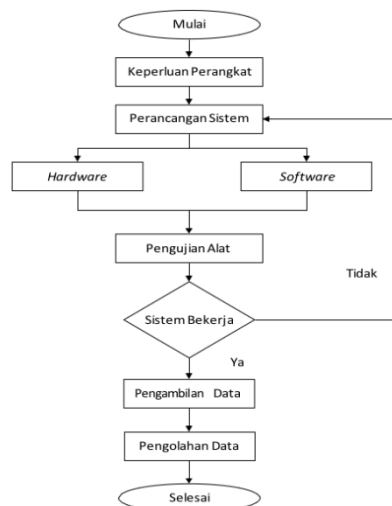


Gambar 8. Baterai

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan sistematis, dimulai dari identifikasi kebutuhan perangkat, perancangan sistem (*hardware* dan *software*), pengujian alat, hingga proses pengambilan dan pengolahan data.



Gambar 9. Flowchart Penelitian

3.2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras merupakan tahap pengintegrasian seluruh komponen kelistrikan dan elektronik agar sistem solar tracker dapat bekerja sesuai fungsi. Langkah ini sangat krusial untuk menjamin setiap komponen memiliki kompatibilitas yang baik guna meminimalisir terjadinya kesalahan teknis saat alat mulai diuji coba nantinya. Selain itu, tata letak jalur kabel serta penyesuaian tegangan masukan pada tiap modul sangat diperhatikan agar aliran daya berjalan stabil tanpa adanya sebuah risiko kerusakan. Oleh karena sistem ini akan dioperasikan secara terus menerus pada lingkungan luar ruangan, maka penerapan kotak isolator kedap air sangat dibutuhkan guna melindungi seluruh sirkuit mikrokontroler dari ancaman paparan langsung curah hujan maupun partikel debu. Sebelum melakukan perakitan, dilakukan identifikasi spesifikasi terhadap alat ukur dan bahan utama yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Alat Penelitian

Daftar Alat			
No	Alat yang Digunakan	Spesifikasi	Fungsi
1.	Laptop	ASUS VivoBook	Membuat program dan menyimpan data
2.	Tang Ampere	Tekiro	Mengukur arus / tegangan kelistrikan
3.	Multitester Digital	Sanwa CD800a	Mengukur arus dan tegangan pada rangkaian
4.	Lux Meter	AS803	Mengukur intensitas cahaya matahari
5.	Penggaris Busur	Aplikasi Clino Meter	Mengukur sudut kemiringan panel
6.	Obeng (+, -) & Tespen	Tekiro	Merakit dan mengecek tegangan listrik

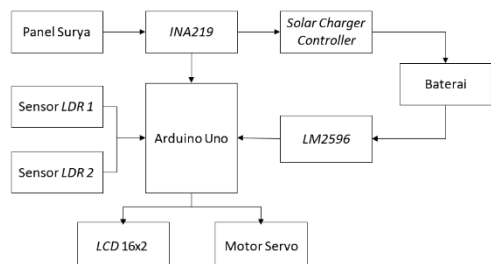
			listrik dari panel
4.	Arduino Uno	ATmega328	Mikrokontroler utama sistem
5.	Sensor LDR	Fotokonduktif	Mendeteksi intensitas cahaya matahari
6.	Modul INA219	I2C	Membaca arus dan tegangan keluaran panel
7.	Motor Servo	TD8120-Mg	Aktuator penggerak panel surya
8.	Modul LCD 16x2	I2C	Menampilkan data tegangan, arus, dan daya
9.	Power Supply Step-down	LM2596	Menurunkan tegangan menjadi 5V
10.	Kabel Listrik	NYMHY	Penghantar listrik antar komponen

Tabel 2. Bahan Penelitian

Daftar Komponen			
No	Bahan yang Digunakan	Spesifikasi	Fungsi
1.	Panel Surya (Photovoltaic)	30 Wp	Mengonversi energi matahari menjadi listrik DC
2.	Solar Charge Controller	12V / 10A	Mengontrol pengisian daya ke baterai
3.	Baterai VRLA	12V / 12Ah	Menyimpan energi

3.3. Blok Diagram Sistem

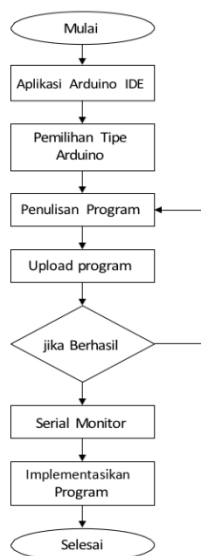
Blok diagram merepresentasikan alur kerja integrasi antarkomponen. Panel surya menghasilkan listrik DC yang diregulasi oleh SCC sebelum masuk ke baterai. Modul LM2596 mengambil sumber dari baterai dan menurunkan tegangannya untuk menghidupkan mikrokontroler Arduino dan motor servo. Hal ini sangat penting dilakukan untuk menjaga kestabilan daya dan mencegah kerusakan pada komponen mikrokontroler. Sensor INA219 membaca daya panel surya dan mengirim data ke Arduino untuk ditampilkan di LCD 16x2. Untuk sistem pelacakan, dua sensor LDR yang diletakkan berlawanan membaca intensitas cahaya dan mengirimkan nilai ADC ke Arduino guna menggerakkan motor servo ke posisi cahaya matahari paling terang.



Gambar 10. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

3.4. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak pengendali disusun menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan basis bahasa pemrograman C. Logika utama program diinstruksikan untuk membaca kondisi intensitas cahaya dari kedua sensor LDR secara terus-menerus dalam fungsi *looping*. Dengan menggunakan fungsi logika percabangan (*if-else*), mikrokontroler akan mendeteksi selisih nilai ADC (0-1023) antara LDR sisi timur dan sisi barat. Jika selisih nilai tersebut melewati ambang batas (*threshold*) yang ditentukan, maka Arduino akan mengirimkan sinyal PWM ke motor servo untuk memutar sudut panel hingga mencapai posisi tegak lurus dengan cahaya matahari. Alur sistematis perangkat lunak ini secara detail digambarkan pada diagram alir berikut.



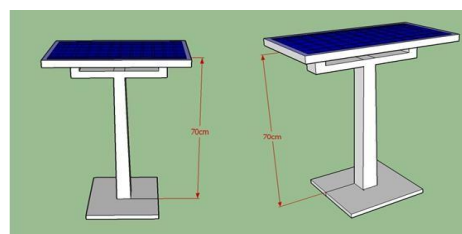
Gambar 11. Flowchart Program

3.5. Perancangan Mekanik

Struktur mekanik dirancang untuk menyangga seluruh beban komponen dengan material utama kayu berdimensi 4cm x 6cm dan tinggi tiang penyangga 70cm. Untuk membuktikan efektivitas sistem, disiapkan dua model pengujian mekanik.

a. Struktur Statis.

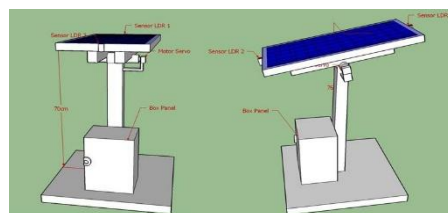
Pada model ini, panel surya dipasang secara diam pada sudut horizontal 180 derajat tanpa adanya mekanisme penggerak. Desain ini merepresentasikan instalasi panel surya konvensional yang umum digunakan di lapangan.



Gambar 12. Desain Mekanik Panel Surya Statis

b. Struktur Dinamis.

Pada model ini, penopang panel surya dihubungkan dengan batang silinder besi yang tertaut langsung pada *gear* motor servo TD8120-Mg. Dua sensor LDR dipasang berseberangan pada sudut panel untuk melacak pergerakan matahari secara presisi. Selain itu, terdapat boks panel di bagian bawah untuk melindungi Arduino Uno dan komponen elektronik lainnya dari pengaruh lingkungan.



Gambar 13. Desain Mekanik Panel Surya Dinamis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Komponen Sistem

Sebelum menguji sistem secara keseluruhan, dilakukan tahap kalibrasi pada masing-masing

komponen sensor dan aktuator untuk memastikan validitas instrumen pengukuran.

a. Pengujian Sensor LDR

Sensor dikalibrasi menggunakan *Lux Meter* digital (AS803). Dari 20 titik pengambilan data, diperoleh rata-rata pembacaan LDR sebesar 10.399,3 Lux dan *Lux Meter* sebesar 10.473,85 Lux. Selisih pembacaan (*error*) hanya sebesar 0,8%, yang mengindikasikan sensor LDR sangat layak digunakan.



Gambar 14. Pengujian Sensor *LDR* Dengan Cahaya Matahari

Tabel 3. Pengukuran Intensitas Cahaya

Hasil Pengujian			
No	Sensor <i>LDR</i>	Lux Meter Digital (Lux)	Selisih (Lux)
1.	6032.94	6071	38.06
2.	6730.68	6778	47.32
3.	7838.84	7890	51.16
4.	7882.44	7940	57.56
5.	8506.19	8574	67.81
6.	8887.11	8956	68.89
7.	9278.71	9348	69.29
8.	9549.23	9620	70.77
9.	9769.18	9844	74.82
10.	9993.67	10071	77.33
11.	9411.12	9480	68.88
12.	10742.46	10820	77.54
13.	11467.24	11553	85.76
14.	11914.76	11997	82.24
15.	11336.85	11424	87.15
16.	12552.92	12648	95.08
17.	12873.58	12968	94.42
18.	13458.66	13549	90.34
19.	14114.91	14208	93.09
20.	15644.43	15738	93.57
Rata-Rata	10399.3	22,5	63,6

b. Pengujian Motor Servo TD8120-Mg

Pengukuran akurasi sudut putar servo divalidasi menggunakan *Clino Meter*. Pada pengujian pergerakan dari 0° hingga 180°, rata-rata selisih simpangan putaran hanya sebesar 2°.



Gambar 15. Pengujian Motor servo Dengan Busur

Tabel 4. Pengukuran Sumbu Rotasi

Hasil Pengujian			
No	Busur°	Motor Servo°	Selisih°
1	0	-2	2
2	10	8	2
3	20	18	2
4	30	28	2
5	40	38	2
6	50	48	2
7	60	58	2
8	70	68	2
9	80	78	2
10	90	88	2
11	100	98	2
12	110	108	2
13	120	118	2
14	130	128	2
15	140	138	2
16	150	148	2
17	160	158	2
18	170	168	2
19	180	178	2
Rata-rata	-	-	2

c. Pengujian Sensor INA219

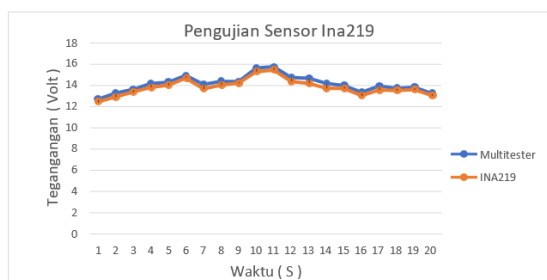
Kalibrasi arus dan tegangan keluaran panel surya dibandingkan dengan Multitester Sanwa CD800a. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata selisih pembacaan tegangan sebesar 0,279 Volt dan selisih pembacaan arus sebesar 0,032 Ampere. Tingkat presisi ini memenuhi standar untuk monitoring kelistrikan sistem *tracker*.



Gambar 16. Pengujian Motor servo Dengan Busur

Tabel 5. Pengukuran Tegangan

Hasil Pengujian			
No	Sensor Ina219 (Volt)	Sanwa Cd800a (Volt)	Selisih (Volt)
1	12.43	12.66	0.23
2	12.90	13.24	0.34
3	13.36	13.57	0.21
4	13.79	14.12	0.33
5	13.99	14.25	0.26
6	14.66	14.88	0.22
7	13.65	14.04	0.39
8	14.01	14.32	0.31
9	14.20	14.31	0.11
10	15.27	15.56	0.29
11	15.42	15.69	0.27
12	14.35	14.67	0.32
13	14.17	14.61	0.44
14	13.72	14.14	0.42
15	13.68	13.93	0.25
16	13.02	13.32	0.30
17	13.55	13.88	0.33
18	13.50	13.68	0.18
19	13.57	13.78	0.21
20	13.03	13.21	0.18
Rata ²	13.81	14.09	0.2795



Gambar 17. Grafik Perbandingan Sensor Ina219 Dengan Multitester

4.2. Pengujian Panel Surya Statis

Sistem panel surya statis diuji dengan memposisikan panel secara diam pada sudut horizontal 180° menghadap ke atas. Pengambilan data dilakukan di area terbuka pada pukul 09.00 hingga 15.00 WIB. Pengukuran ini bertujuan untuk merepresentasikan daya serap panel surya konvensional tanpa sistem pelacakan.



Gambar 18. Pengujian panel surya Statis

Tabel 6. Data Pengujian Panel Surya Statis

Hasil Pengujian				
Waktu (WIB)	Intensitas Cahaya (Lux)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Keluaran (Watt)
09:00	9.874	13,94	0,854	11,9
10:00	12.030	14,36	0,934	13,41
11:00	10.480	14,86	0,966	14,35
12:00	15.930	16,78	1,028	17,24
13:00	15.730	15,31	0,914	13,99
14:00	11.560	14,89	0,945	14,07
15:00	10.620	14,11	0,907	12,79
Rata-Rata	11.984	15,02	0,918	13,88

Berdasarkan Tabel 6, panel surya statis menghasilkan daya keluaran rata-rata sebesar 13,88 Watt. Penyerapan energi tertinggi terjadi pada pukul 12.00 WIB sebesar 17,24 Watt saat posisi matahari tepat berada di atas panel surya.

4.3. Pengujian Panel Surya Dinamis (Solar Tracker)

Sistem panel surya dinamis diuji pada lokasi dan rentang intensitas cahaya yang sama dengan pengujian statis. Pada sistem ini, motor servo secara otomatis mengubah sudut kemiringan panel mengikuti pergerakan arah

datangnya cahaya matahari berdasarkan input dari kedua sensor LDR.



Gambar 19. Pengujian panel surya Dinamis

Tabel 7. Data Pengujian Panel Surya Dinamis

Hasil Pengujian					
Waktu (WIB)	Intensitas Cahaya (Lux)	Sudut Servo (°)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Keluaran (Watt)
09:00	9.874	90°	13,96	0,918	12,81
10:00	12.030	81°	19,6	1,115	21,85
11:00	10.480	86°	18,65	1,354	25,25
12:00	15.930	91°	19,4	1,383	26,83
13:00	15.730	95°	19,53	1,448	28,27
14:00	11.560	98°	19,54	1,089	21,27
15:00	10.620	103°	18,75	1,28	24
Rata-Rata	11.984	91,6°	18,41	1,17	21,8

Data pada Tabel 7 menunjukkan peningkatan performa yang drastis. Rata-rata daya yang dihasilkan meningkat menjadi 21,80 Watt. Puncak daya terekam pada pukul 13.00 WIB dengan perolehan 28,27 Watt pada saat sudut servo berada di posisi 95°. Hal ini membuktikan bahwa penyesuaian sudut panel terhadap arah matahari sangat krusial.

4.4. Pengujian Akurasi Pergerakan Mekanik Solar Tracker

Untuk memvalidasi bahwa peningkatan daya pada panel surya dinamis benar-benar dipengaruhi oleh pergerakan fisik yang presisi,

dilakukan pengujian akurasi putaran aktuator. Pengujian ini membandingkan sudut putar yang dieksekusi oleh motor servo TD8120-Mg dengan alat ukur sudut kemiringan (*Climo Meter* digital). Pemantauan dilakukan seiring dengan pergerakan semu matahari dari timur ke barat antara pukul 09.00 hingga 15.00 WIB.



Gambar 20. Pengujian Sumbu Rotasi Motor Servo TD820-Mg

Tabel 8. Data Pengujian Pergerakan Mekanik Panel Surya

Hasil Pengujian			
Waktu (WIB)	Pembacaan Motor Servo (°)	Pembacaan Climo Meter (°)	Selisih Simpangan (°)
09:00	90°	89,5°	0,5°
10:00	81°	78,9°	2,1°
11:00	86°	84,6°	1,4°
12:00	91°	90,6°	0,4°
13:00	95°	93,7°	1,3°
14:00	98°	96,8°	1,2°
15:00	103°	100,9°	2,1°
Rata-rata	-	-	1,28°

Berdasarkan Tabel 8, terlihat bahwa algoritma mikrokontroler berhasil merespons perbedaan intensitas cahaya dari sensor LDR dengan menginstruksikan motor servo untuk terus mengubah sudut kemiringan panel secara dinamis. Panel surya memulai pergerakan pada sudut 90° di pagi hari, sempat menyesuaikan sudut ke 81° pada pukul 10.00 WIB, dan terus bergerak bertahap hingga mencapai kemiringan 103° pada sore hari.

Perbandingan antara perintah sudut dari sistem (*servo*) dan kemiringan aktual di lapangan (*climo meter*) menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Rata-rata selisih simpangan pergerakan hanya sebesar 1,28°. Nilai toleransi yang sangat kecil ini

membuktikan bahwa konstruksi mekanik dan program bekerja secara selaras untuk menjaga posisi panel tetap tegak lurus dengan arah radiasi matahari sepanjang hari, yang pada akhirnya berkontribusi langsung terhadap peningkatan efisiensi daya sebesar 30%.

4.5. Analisis Perbandingan dan Optimalisasi Daya

Integrasi data dari pengujian statis dan dinamis memperlihatkan perbedaan efisiensi yang terukur dengan jelas. Pada intensitas cahaya yang identik, panel dinamis mampu mempertahankan tegangan dan arus pada titik yang jauh lebih stabil dibandingkan panel statis.

Sebagai contoh perbandingan puncak, pada saat intensitas cahaya matahari berada di titik tertinggi (di atas 15.000 Lux) antara pukul 12.00 hingga 13.00 WIB, daya maksimal panel statis hanya mampu menembus kisaran 17,24 Watt. Di sisi lain, pada waktu yang sama panel dinamis (*solar tracker*) mampu mendongkrak produksi daya hingga 28,27 Watt. Hal ini dipengaruhi oleh posisi sel fotovoltaik panel dinamis yang selalu dijaga tegak lurus terhadap arah radiasi, sehingga elektron yang dilepaskan oleh semikonduktor tipe-p dan tipe-n menjadi jauh lebih maksimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis komparasi data pada sistem optimasi penyerapan energi matahari, dapat disimpulkan bahwa penggunaan aktuator motor servo tipe TD8120-Mg terbukti handal dalam mengoperasikan sistem *solar tracker* karena sanggup menahan serta menggerakkan beban mekanik panel surya secara presisi. Sistem panel surya dinamis yang dirancang untuk melacak posisi pergerakan matahari terbukti bekerja jauh lebih optimal dibandingkan dengan instalasi konvensional atau statis. Keberhasilan ini dibuktikan melalui perolehan rata-rata tegangan pada panel dinamis sebesar 18,41 Volt dan arus 1,170 Ampere, yang unggul secara signifikan dibandingkan panel statis dengan perolehan tegangan rata-rata 15,02 Volt dan arus 0,918 Ampere pada kondisi paparan intensitas cahaya yang sama. Keterbatasan panel surya statis sangat terlihat dari waktu penyerapan daya maksimalnya yang hanya terfokus pada rentang pukul 11.30 hingga 14.00 WIB. Sebaliknya, pergerakan pelacakan pada

sistem dinamis mampu mendongkrak akumulasi efisiensi penyerapan daya energi matahari hingga mencapai 30% lebih tinggi selama 360 menit (6 jam) masa pengujian di lapangan, sehingga sistem ini terbukti sangat efektif untuk memaksimalkan potensi keluaran pembangkit listrik tenaga surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik berupa bantuan teknis, fasilitas, maupun motivasi selama proses penyelesaian penelitian ini. Segala bentuk kontribusi dari rekan-rekan mahasiswa, keluarga, serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu sangat berarti bagi kelancaran dan keberhasilan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Beda, J. E. Candra, dan M. Jufri, "Rancang Bangun Solar Panel Tracker Dual Axis Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Quacom: Quantum Computer Jurnal*, vol. 2, no. 1, pp. 1-5, 2024.
- [2] E. E. Prasetyo, G. Marausna, dan D. W. Nugroho, "Optimalisasi Pembangkitan Daya Panel Surya 200 WP Menggunakan Solar Tracker System," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 11, no. 3, pp. 210-218, 2022.
- [3] M. H. Zikri, A. Rahman, dan R. Hariri, "Perancangan Sistem Tracking Panel Surya Dual Axis Menggunakan Sensor LDR dan RTC untuk Optimasi Penyerapan Energi Matahari," *Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE)*, pp. 45-52, 2025.
- [4] S. Rahmawati dkk., "Sistem Monitoring Daya Output Photovoltaic Berbasis IoT," *Jurnal J-Innovation*, vol. 11, no. 2, pp. 54-60, 2022.
- [5] H. S. Budi dkk., "Studi Penggunaan Sensor INA-219 Sebagai Rangkaian Dasar Alat Uji Solar Sel Berdaya Rendah," *Jurnal Elekrika*, vol. 15, no. 1, pp. 33-40, 2023.
- [6] M. S. A. B., "Perancangan Solar Tracker Dengan Monitoring Intensitas Cahaya, Arus, Tegangan, Daya, dan Sudut Kemiringan Panel Surya," *Infomatek - Journal Unpas*, vol. 25, no. 1, pp. 12-20, 2025.
- [7] T. D. Hakim dan M. Sukma, "Rancang Bangun Dual-Axis Solar Tracker Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560," *Jurnal Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 1-8, 2022.
- [8] D. Desmira, "Aplikasi Sensor LDR (Light Dependent Resistor) untuk Sistem Otomasi,"

- Jurnal PROSISKO*, vol. 9, no. 1, pp. 22-28, 2022.
- [9] R. H. S. dan F. A., "Arm Robot Pemindah Barang Menggunakan Motor Servo MG995 Sebagai Penggerak Berbasis Arduino," *Electro Luceat*, vol. 6, no. 2, pp. 142–155, 2022.
- [10] S. Hidayat dkk., "Penerapan Sensor INA219 pada Sistem Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jurnal Rekayasa Energi*, vol. 8, no. 1, pp. 23–30, 2023.
- [11] F. N. A. R. dkk., "Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT," *INTECOM: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 6, no. 2, pp. 319-328, 2023.
- [12] R. Hidayat dan A. R. Yuliani, "Analisis Kinerja Motor Servo sebagai Aktuator pada Sistem Solar Tracker," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 3, pp. 115-122, 2023.
- [13] B. R. Santoso dan M. N. Alim, "Optimasi Daya Keluaran Photovoltaic dengan Sistem Pelacak Cahaya Matahari Dinamis Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 22, no. 1, pp. 15-22, 2022.
- [14] A. W. Putra dan T. Tarmizi, "Sistem Kendali Motor Servo untuk Pengaturan Posisi Panel Surya Secara Real-Time Menggunakan Mikrokontroler," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, pp. 101-108, 2022.
- [15] J. Rezkyanzah, L. P. Purba, dan C. A. Putra, "Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino Sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell Dalam Penyerapan Energi Matahari," *SCAN: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 11, no. 2, pp. 34-41, 2020.