

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA

5.1 Tujuan dan Prosedur

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem solar tracker dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi keakuratan sensor LDR yang menerima cahaya dan gerak motor servo yang mengendalikan panel surya. Pada tahap persiapan, alat dan sensor dipastikan kondisi baik dan siap digunakan. Kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor LDR memberikan hasil yang akurat. Kemudian normalisasi nilai sensor LDR agar dapat menentukan nilai threshold yang sama. Selanjutnya, pengambilan data dilakukan pada pagi hingga sore hari.

Setelah data terkumpul, analisis hasil dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran sensor LDR, pergerakan motor servo, serta daya keluaran panel surya dari hasil pengambilan data yang telah disimpan di SD Card. Hasil data tersebut tersimpan dalam bentuk file excel. Berikut merupakan beberapa prosedur pengukuran dan pengujian:

1. Langkah pertama adalah siapkan alat dan sistem, pastikan rangkaian sudah benar, tidak ada kabel yang longgar serta sistem dapat menyala. Pastikan juga format microSD sudah terinisialisai agar data dapat direkam dengan baik.
2. Selanjutnya pengujian sensor dengan mengkalibrasi sensor dalam kondisi pencahayaan berbeda yaitu saat gelap, redup, dan terang. Pastikan setiap sensor merespons sesuai arah cahaya dan nilai setiap sensor memiliki selisih nilai yang tidak jauh berbeda.
3. Pengujian pergerakan motor servo dilakukan dengan menggerakkan servo dari 0° - 180° untuk memastikan servo tidak macet. Kemudian uji respons servo dengan menyorot lampu ke satu sisi sensor, jika cahaya di sensor timur maka servo bergerak ke arah timur begitu pun untuk sensor barat, utara, dan Selatan. Pastikan juga pergerakan servo tidak berlebihan atau tidak stuck.

4. Selanjutnya pengujian sistem pelacakan cahaya yaitu dengan meletakkan sistem di luar ruangan pada pagi hingga sore hari. Lalu amati apakah panel bergerak mengikuti pergerakan matahari secara bertahap dan catat posisi servo pada jam yang sudah ditentukan.
5. Pengujian berikutnya adalah pengujian daya panel surya dengan mengukur menggunakan multimeter.
6. Terakhir menghitung peningkatan daya keluaran panel, evaluasi kestabilan sistem apakah servo bergerak halus atau sering bergerak dan catat faktor lingkungan seperti saat mendung, ada bayang, dan terang.

5.2 Pengukuran Alat

5.2.1 Pengujian Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR)

Pengujian pada sensor LDR bertujuan untuk memastikan bahwa sensor yang dipasang pada sistem solar tracker berfungsi dengan baik dan menghasilkan pengukuran yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Kondisi saat melakukan pengujian ini adalah saat dalam kondisi gelap, redup, dan terang.

```
LDR 1 gelap: 10, terang: 909
LDR 2 gelap: 8, terang: 915
LDR 3 gelap: 4, terang: 975
LDR 4 gelap: 6, terang: 989
LDR 5 gelap: 44, terang: 1023
LDR 6 gelap: 44, terang: 1023
```

Gambar 5. 1 Kalibrasi Sensor LDR

Dalam pengujian ini, dilakukan kalibrasi dan normalisasi terlebih dahulu agar nilai masing-masing sensor tidak jauh berbeda. Nilai normalisasi pada sistem ini dari 0 – 1023 di mana ketika kondisi dalam keadaan gelap maka nilai sensor mendekati nilai 0, saat redup mendekati nilai 200 dan saat terang bernilai dari 600 hingga 1023. Setelah melakukan kalibrasi dan normalisasi nilai sensor, selanjutnya dilakukan pengujian sensor LDR dengan menggunakan penutup pipa di setiap

sensornya untuk memastikan berapa beda nilai antar sensor saat matahari terbit hingga terbenam. Pengujian ini juga dilakukan untuk memastikan hasil pengukuran sensor apakah nilai sensor sudah sesuai dengan tegangannya.

A. Hari Pertama

Tabel 5. 1 Tabel Nilai Sensor (Bit) dan Nilai Tegangan Sensor (V)

WAKTU	Nilai Sensor (Bit)						Nilai Tegangan Sensor (V)					
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6
8:00	961	845	694	551	970	1023	4,03	3,6	3,24	2,51	4,55	4,84
8:30	986	956	710	641	979	891	4,16	3,96	3,28	2,88	4,6	4,83
9:00	1007	930	744	660	980	1023	4,31	4,17	3,59	3,14	4,6	4,79
9:30	1023	997	811	743	979	1023	4,48	4,13	3,68	3,41	4,6	4,85
10:00	1023	1020	830	824	968	1023	4,65	4,47	3,99	4,05	4,6	4,86
10:30	1023	991	823	856	913	1023	4,7	4,55	4,06	4,16	4,68	4,9
11:00	1023	1023	903	950	981	1023	4,72	4,63	4,11	4,41	4,63	4,91
11:30	1023	1023	926	964	965	1023	4,65	4,47	4,16	4,5	4,6	4,9
12:00	996	976	821	887	887	1023	4,29	4,21	3,76	4,14	4,33	4,86
12:30	997	947	859	930	901	1023	4,4	4,37	4,37	4,73	4,6	4,9

13:00	939	906	804	882	857	1023	4,29	4,34	4,3	4,63	4,61	4,9
13:30	980	985	910	952	972	1023	4,35	4,25	4,46	4,72	4,64	4,85
14:00	941	958	864	914	974	1023	4,05	4,07	4,15	4,29	4,64	4,9
14:30	891	839	844	880	978	1023	3,8	3,86	3,92	4,14	4,65	4,92
15:00	860	897	815	859	972	1023	3,74	3,77	3,8	4,12	4,64	4,92
15:30	788	792	731	773	823	1023	3,46	3,64	3,36	3,42	4,06	4,84
16:00	261	200	242	312	412	826	1,15	0,97	1,09	1,23	2,27	3,54

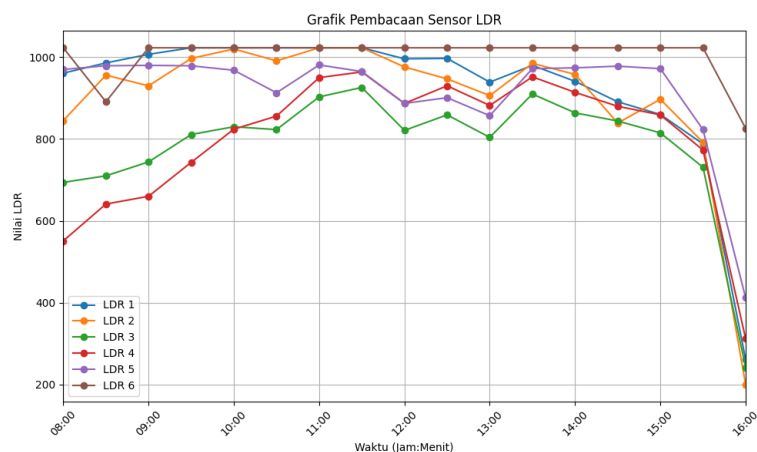
Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan pada tabel 5.1 diperoleh hasil pengukuran nilai intensitas cahaya dari enam sensor LDR serta nilai tegangan sensor pada rentang waktu pukul 08.00 hingga 16.00. Pada pagi hari pukul 08.00, nilai Bit yang terbaca pada sensor berada di kisaran 551–1023 Bit dengan tegangan 2,51–4,55 V. Nilai ini terus meningkat seiring bertambahnya intensitas cahaya matahari, di mana pada pukul 09.30 semua sensor LDR menunjukkan pembacaan mendekati maksimum (743–1023 Bit) dengan tegangan berkisar 3,41–4,89 V. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi intensitas cahaya tinggi, keluaran tegangan sensor juga meningkat secara proporsional.

Pada periode siang hari antara pukul 10.00 hingga 13.00, pembacaan sensor LDR konsisten mendekati maksimum (umumnya di atas 900 Bit). Tegangan sensor pada saat tersebut berada di kisaran 4,0–4,9 V, yang mengindikasikan bahwa cahaya matahari berada pada kondisi paling optimal untuk diserap oleh panel. Nilai tertinggi tercatat pada pukul 11.00–12.00, di mana hampir semua sensor LDR menunjukkan intensitas cahaya mendekati 1023 Bit, dengan tegangan rata-rata mencapai 4,6 V. Kondisi ini menegaskan bahwa

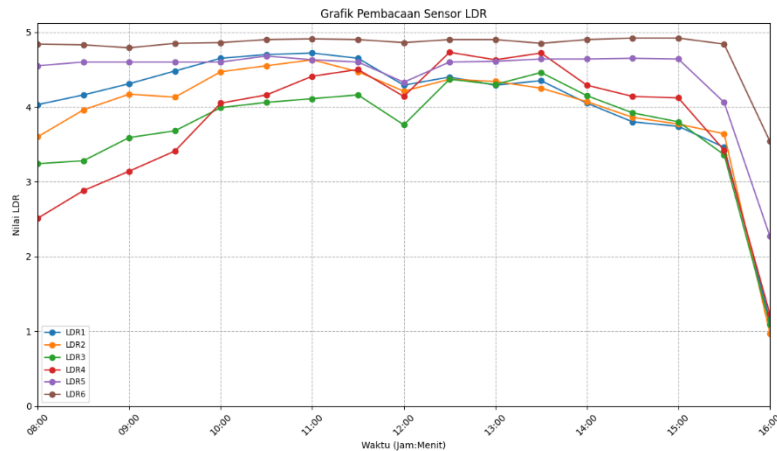
sistem sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi arah dan intensitas cahaya matahari sehingga mendukung pergerakan solar tracker secara optimal.

Memasuki sore hari, intensitas cahaya mulai menurun. Pada pukul 15.30, nilai Bit sensor berkisar antara 731–972 dengan tegangan rata-rata 3,5–4,5 V. Penurunan signifikan terjadi pada pukul 16.00, di mana nilai Bit hanya berada pada rentang 200–826, dengan tegangan sensor turun drastis menjadi 0,97–3,54 V. Penurunan ini sejalan dengan berkurangnya intensitas cahaya akibat posisi matahari yang semakin rendah menjelang terbenam.

Secara keseluruhan, tabel tersebut menunjukkan hubungan yang jelas antara intensitas cahaya yang diterima sensor LDR dengan nilai tegangan keluarannya. Intensitas cahaya yang tinggi pada siang hari menghasilkan tegangan sensor yang lebih besar, sedangkan pada pagi dan sore hari, serta saat intensitas cahaya menurun, tegangan sensor juga ikut berkurang. Hal ini membuktikan bahwa sistem sensor LDR mampu merepresentasikan kondisi pencahayaan lingkungan secara akurat dan dapat digunakan sebagai dasar pengendalian pergerakan panel surya pada sistem solar tracker.



Gambar 5. 2 Grafik Nilai Sensor LDR (Bit)



Gambar 5. 3 Grafik Nilai Tegangan Sensor LDR (V)

Kedua grafik tersebut menyajikan data pembacaan dari enam unit Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR1 hingga LDR6), yang diamati dalam rentang waktu yang sama, yaitu dari pukul 08:00 hingga 16:00. Meskipun sumbu-Y pada grafik pertama menggunakan skala Nilai LDR dalam rentang ADC (0-1024) dan grafik kedua dalam skala Nilai LDR yang dinormalisasi atau diubah ke tegangan (0-5V), pola tren data yang terekam identik. Prinsip dasarnya adalah nilai pembacaan yang tinggi mengindikasikan intensitas cahaya yang rendah (gelap), dan sebaliknya.

Secara umum, sepanjang hari pengamatan, LDR6 (garis coklat) menunjukkan nilai yang paling tinggi dan stabil, mendekati maksimum skala hingga pukul 15:00, mengindikasikan sensor ini beroperasi dalam kondisi pencahayaan terendah atau terlindungi. Pada pagi hari (08:00), LDR4 (garis merah) mencatat nilai terendah (cahaya tertinggi) di antara semua sensor, namun secara bertahap nilai semua sensor lain cenderung meningkat hingga mencapai puncaknya di sekitar 11:00, yang berarti penurunan intensitas cahaya yang diterima. Nilai pembacaan kemudian sedikit menurun dan berfluktuasi hingga pukul 15:00.

Perubahan paling signifikan terjadi pada sore hari. Menjelang pukul 16:00, semua sensor (kecuali LDR6 yang juga menurun tajam) menunjukkan penurunan nilai yang sangat drastis, jatuh dari kisaran 700-800 ke nilai minimum (sekitar 200 pada skala ADC atau 1.0 pada skala Volt). Penurunan nilai yang tajam ini secara paradoks berarti terjadi peningkatan intensitas cahaya yang tiba-tiba dan sangat

besar sesaat sebelum 16:00, atau sensor-sensor tersebut mungkin telah terpapar langsung oleh cahaya matahari yang terik (misalnya, karena penghalang yang tiba-tiba hilang atau sudut datang cahaya yang optimal). Variasi yang tampak jelas pada nilai rata-rata antar sensor, dengan LDR3 dan LDR4 umumnya mencatat nilai yang lebih rendah dari LDR1 dan LDR2, menunjukkan adanya perbedaan kondisi pencahayaan mikro akibat penempatan sensor yang berbeda.

B. Hari Kedua

Tabel 5. 2 Tabel Nilai Sensor (Bit) dan Nilai Tegangan Sensor (V)

Waktu	Nilai Sensor (Bit)						Nilai Sensor (V)					
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6
08:00	953	939	700	589	830	1023	4,25	4,21	3,25	2,8	4,05	4,7
08:30	1001	994	736	643	781	1023	4,5	4,45	3,4	3,05	3,85	4,72
09:00	1023	1023	799	655	885	1023	4,7	4,7	3,65	3,1	4,25	4,75
09:30	1023	1023	814	801	936	1023	4,75	4,75	3,75	3,7	4,45	4,8
10:00	1023	1023	839	816	934	1023	4,8	4,8	3,85	3,8	4,4	4,85
10:30	848	852	830	609	806	1023	4,1	4,12	3,8	2,9	3,95	4,9
11:00	1023	1023	915	921	996	1023	4,85	4,85	4,3	4,35	4,65	4,9
11:30	1023	1023	920	886	964	1023	4,88	4,88	4,35	4,2	4,55	4,9
12:00	1016	1023	1011	977	1009	1023	4,7	4,9	4,6	4,5	4,75	4,9
12:30	952	941	943	931	916	1023	4,3	4,25	4,45	4,4	4,35	4,9

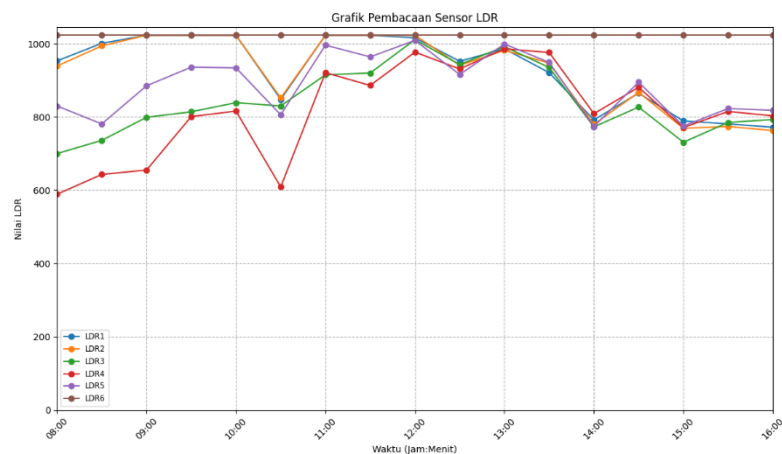
Waktu	Nilai Sensor (Bit)						Nilai Sensor (V)					
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6
13:00	986	982	992	986	999	1023	4,4	4,38	4,55	4,5	4,6	4,9
13:30	921	947	935	976	949	1023	4,15	4,28	4,4	4,48	4,45	4,87
14:00	792	780	773	809	774	1023	3,8	3,75	3,7	3,75	3,7	4,85
14:30	865	867	827	881	895	1023	4,15	4,16	3,8	4,2	4,25	4,89
15:00	789	769	731	771	775	1023	3,75	3,65	3,4	3,7	3,7	4,85
15:30	781	774	785	815	823	1023	3,7	3,68	3,75	3,8	3,85	4,79
16:00	772	763	793	803	818	1023	3,65	3,6	3,8	3,85	3,8	4,78

Tabel tersebut menyajikan hasil pengukuran intensitas cahaya yang diterima enam sensor LDR (dalam satuan Bit) serta nilai tegangan keluaran masing-masing sensor (dalam volt) pada rentang waktu 08:00 hingga 16:00. Berdasarkan data yang ditampilkan, terlihat bahwa nilai Bit mencapai titik maksimum pada pukul 09:00–11:30, dimana hampir semua sensor LDR menunjukkan pembacaan mendekati nilai 1023 Bit. Pada saat yang sama, tegangan keluaran sensor juga berada pada kisaran tertinggi, yakni antara 4,5 V hingga 4,9 V. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pencahayaan pada waktu tersebut berada pada intensitas maksimal, sesuai dengan posisi matahari yang sedang berada di sekitar titik kulminasi.

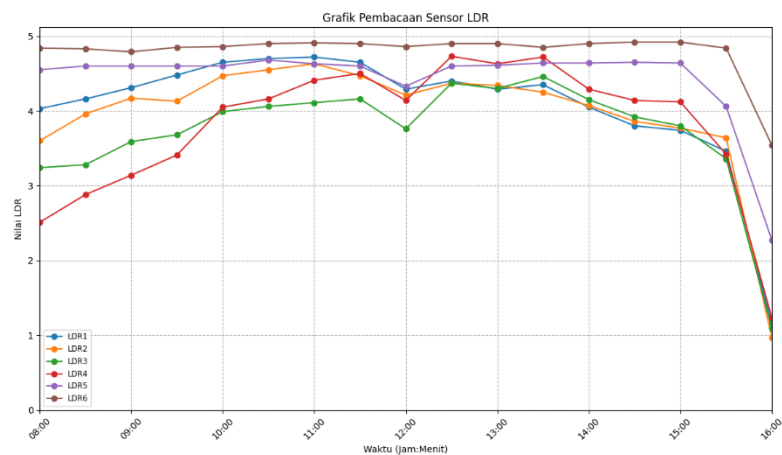
Pada pagi hari (08:00–08:30), nilai Bit yang terbaca masih relatif rendah yaitu antara 589–999 Bit, dengan tegangan keluaran sensor berkisar 2,8–4,7 V. Seiring meningkatnya intensitas cahaya, baik nilai Bit maupun tegangan keluaran sensor juga ikut meningkat hingga mencapai puncaknya menjelang siang hari. Setelah pukul 12:00, nilai Bit mulai menunjukkan fluktuasi dan cenderung menurun,

khususnya setelah pukul 14:00 hingga sore hari pukul 16:00, dengan pembacaan Bit terendah sekitar 700–820 dan tegangan keluaran sensor rata-rata 3,5–4,8 V.

Secara umum, data ini memperlihatkan adanya korelasi yang konsisten antara intensitas cahaya (Bit) dengan tegangan keluaran LDR. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima sensor, semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan, dan sebaliknya. Hubungan ini menunjukkan bahwa LDR dapat berfungsi secara efektif sebagai pendeteksi arah datangnya cahaya matahari, sehingga data tegangan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan dalam pengendalian pergerakan panel surya pada sistem solar tracker dual axis.



Gambar 5. 4Grafik pembacaan sensor (Bit)



Gambar 5. 5 Grafik Pembacaan Nilai Tegangan Sensor (V)

Grafik pertama menampilkan pembacaan intensitas cahaya dari enam sensor LDR dalam satuan Bit pada rentang waktu 08:00 hingga 16:00. Terlihat bahwa nilai Bit mengalami peningkatan pada pagi hari, mencapai titik maksimum sekitar pukul 09:00–11:30, di mana hampir seluruh sensor menunjukkan pembacaan mendekati nilai maksimum 1023 Bit. Setelah itu, nilai Bit cenderung berfluktuasi dan mulai menurun secara perlahan hingga sore hari, dengan penurunan paling signifikan terjadi pada pukul 15:30–16:00. Pola ini sesuai dengan pergerakan harian matahari, di mana intensitas cahaya meningkat menjelang siang dan menurun kembali pada sore hari.

Grafik kedua menunjukkan tegangan keluaran dari keenam sensor LDR dalam satuan volt. Hasil pengukuran memperlihatkan tren yang serupa dengan grafik Bit, dimana tegangan sensor meningkat seiring bertambahnya intensitas cahaya dan mencapai nilai tertinggi pada pukul 09:00–11:30, berkisar antara 4,5 V hingga 4,9 V. Pada pagi hari nilai tegangan masih lebih rendah (sekitar 3–4,2 V), sedangkan pada sore hari setelah pukul 14:00 tegangan perlahan menurun kembali hingga kisaran 3,5–4,8 V.

Dari kedua grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang konsisten antara nilai Bit dan tegangan keluaran sensor LDR. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima sensor, semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa LDR dapat digunakan secara efektif dalam sistem solar tracker untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya dari berbagai arah sehingga panel surya dapat diarahkan secara optimal mengikuti posisi matahari.

5.2.2 Pengujian Sistem Kendali Servo

5.2.3 Pengujian Gerak Servo Horizontal dan Vertikal

Pengujian ini dilakukan dengan menguji gerak sensor dari 0° - 180° untuk memastikan pergerakan servo tidak macet. Selanjutnya menguji respons servo saat satu sisi sensor disenter dengan lampu servo akan bergerak sesuai dari sensor yang

disenter, yaitu ketika disenter dari sensor yang arah ke timur maka servo akan bergerak ke timur. Dua motor servo pada sistem ini adlaah beban parasit minor yang mengambil sedikit daya dari panel surya. konsumsi daya motor jauh lebih kecil dari pada keuntungan daya yang diperoleh dari fungsi utamanya.

A. Hari Pertama

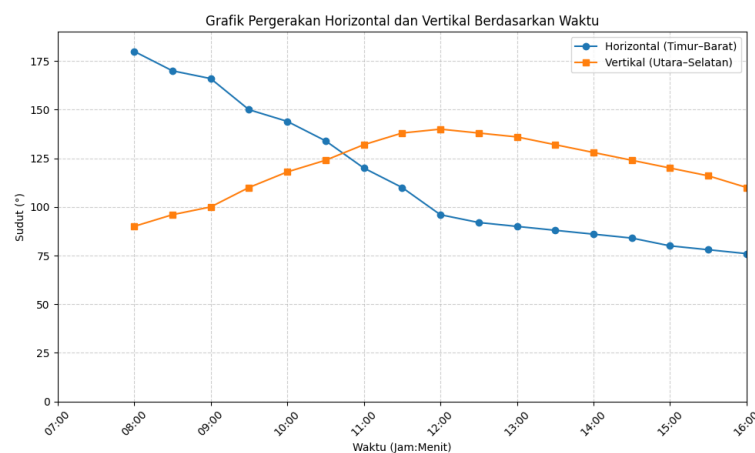
Tabel 5. 3 Tabel Pengujian Servo Horizontal dan Vertikal

Waktu	Servo Hor (°)	Servo Ver (°)	Kondisi Cahaya	Keterangan
8:00	180	90	Cerah	Panel cenderung menghadap ke Timur
8:30	170	96	Cerah	Panel mulai bergerak mengikuti cahaya matahari
9:00	166	100	Cerah	Panel masih mengikuti cahaya matahari
9:30	150	110	Cerah	Panel masih mengikuti cahaya matahari
10:00	144	118	Berawan	Panel bergerak lebih lambat karena intensitas cahaya menurun
10:30	134	124	Berawan	Panel cenderung bertahan, sedikit penyesuaian arah
11:00	120	132	Sedikit Mendung	Panel tetap mengikuti arah matahari meskipun cahaya berfluktuasi
11:30	110	138	Sedikit Mendung	Panel mulai mengarah ke posisi tegak lurus (puncak)
12:00	96	140	Sedikit Mendung	Panel berada pada posisi puncak (matahari siang)

Waktu	Servo Hor (°)	Servo Ver (°)	Kondisi Cahaya	Keterangan
12:30	92	138	Sedikit Mendung	Panel sedikit menurunkan sudut vertikal, mengikuti matahari bergeser barat
13:00	90	136	Mendung	Panel bergerak pelan karena intensitas cahaya rendah
13:30	88	132	Sedikit Mendung	Panel kembali mengikuti pergeseran matahari ke barat
14:00	86	128	Sedikit Mendung	Panel menurunkan sudut vertikal seiring matahari turun
14:30	84	124	Cerah	Panel menyesuaikan lebih cepat karena cahaya kembali kuat
15:00	80	120	Cerah	Panel condong ke barat, mengikuti posisi matahari sore
15:30	78	116	Cerah	Panel tetap menyesuaikan arah, mendekati posisi akhir sore
16:00	76	110	Sedikit Mendung	Panel berada di posisi akhir (menghadap barat)

Berdasarkan hasil pengujian sistem solar tracker dual-axis dengan enam sensor cahaya, diperoleh bahwa pergerakan motor servo horizontal (timur–barat) dan vertikal (utara–selatan) mampu mengikuti perubahan posisi matahari sepanjang hari. Pada pagi hari, servo horizontal bergerak dari posisi 180° menuju 166°, sedangkan servo vertikal naik dari 90° menuju 110°, menandakan panel mengikuti arah matahari yang bergerak naik dari timur. Menjelang siang hari, meskipun kondisi cuaca berawan dan sedikit mendung, panel tetap mampu menyesuaikan posisi dengan pergeseran sudut matahari. Servo horizontal bergerak dari 138° ke 118°, sementara servo vertikal meningkat hingga mencapai 138°, yang menunjukkan posisi panel mendekati tegak lurus terhadap sinar matahari.

Pada tengah hari, servo horizontal berada pada kisaran 110° hingga 96° , sedangkan servo vertikal relatif stabil di sekitar 132° – 138° , sesuai dengan posisi matahari yang hampir berada di zenith. Sore hari, servo horizontal terus bergerak menuju barat hingga mencapai 76° , sedangkan servo vertikal turun kembali ke 110° , menandakan matahari mulai condong dan rendah di ufuk barat. Secara keseluruhan, sistem solar tracker ini mampu bekerja dengan baik dalam kondisi cerah maupun mendung, di mana empat sensor horizontal efektif mengendalikan pergerakan timur–barat, dan dua sensor vertikal berfungsi untuk mengatur elevasi panel sesuai intensitas cahaya tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang responsif terhadap perubahan posisi matahari sehingga dapat memaksimalkan penyerapan energi surya sepanjang hari.



Gambar 5. 6 Grafik Pergerakan Servo Horizontal dan Vertikal

Berdasarkan grafik pergerakan motor servo pada gambar 5.6, terlihat bahwa sudut horizontal (Timur–Barat) mengalami penurunan bertahap dari 180° pada pagi hari menuju sekitar 75° pada sore hari, mengikuti pergeseran posisi matahari dari timur ke barat. Sementara itu, sudut vertikal (Utara–Selatan) meningkat dari sekitar 90° pada pagi hari hingga mencapai puncak sekitar 135 – 140° saat tengah hari, lalu menurun kembali pada sore hari. Pola ini menunjukkan bahwa sistem penggerak servo mampu menyesuaikan posisi panel surya secara dua sumbu sesuai pergerakan matahari, sehingga panel tetap berada pada posisi optimal untuk menerima cahaya sepanjang hari.

B. Hari Kedua

Tabel 5. 4 Hasil pengujian gerak motor servo

Waktu	Servo Horizontal (°)	Servo Vertikal (°)	Kondisi Cahaya	Keterangan	Dokumentasi
8:00	178	92	Cerah	Panel cenderung menghadap ke Timur	
8:30	172	98	Cerah	Panel masih menghadap ke Timur	
9:00	166	104	Cerah	Panel mulai sedikit bergerak mengikuti cahaya matahari	
9:30	160	110	Berawan	Pergerakan panel sudah terlihat jelas	
10:00	154	116	Cerah	Panel masih sedikit bergerak mengikuti cahaya matahari	
10:30	148	122	Cerah	Pergerakan panel masih sama	

Waktu	Servo Horizontal (°)	Servo Vertikal (°)	Kondisi Cahaya	Keterangan	Dokumentasi
11:00	142	128	Cerah	Panel mengikuti cahaya matahari dan pergerakannya terlihat jelas	
11:30	136	134	Cerah	Panel mulai ke posisi tegak lurus	
12:00	130	140	Cerah	Panel berada pada posisi puncak	
12:30	124	146	Berawan	Panel sedikit menurun ke arah Barat	
13:00	118	152	Cerah	Panel masih mengikuti cahaya matahari	
13:30	112	158	Cerah	Panel sudah terlihat jelas menurun ke arah Barat	

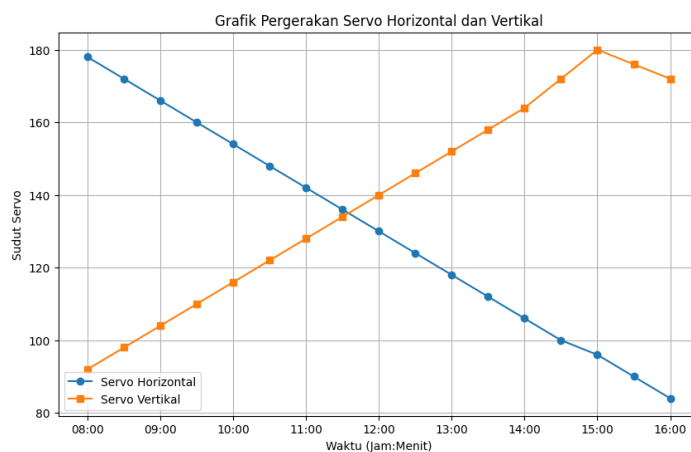
Waktu	Servo Horizontal (°)	Servo Vertikal (°)	Kondisi Cahaya	Keterangan	Dokumentasi
14:00	106	164	Cerah	Panel menyesuaikan cahaya matahari dan masih posisi kearah Barat	
14:30	100	172	Cerah	Panel sudah terlihat jelas condong ke Barat	
15:00	96	180	Cerah	Panel sudah diposisi Barat	
15:30	90	176	Berawan	Panel masih diposisi yang sama	
16:00	84	172	Berawan	Panel masih diposisi yang sama menghadap Barat	

Berdasarkan data observasi yang disajikan dalam tabel, dilakukan pengujian pergerakan panel surya otomatis yang diatur oleh Servo Horizontal dan Servo Vertikal mengikuti perubahan posisi matahari dari pukul 08:00 hingga 16:00.

Pada pagi hari, pukul 08:00, posisi Servo Horizontal berada pada 178° dan Servo Vertikal pada 92°, dengan keterangan panel cenderung menghadap ke Timur dalam kondisi cuaca Cerah. Seiring berjalannya waktu hingga pukul 11:30, panel

menunjukkan pergerakan progresif untuk mengikuti posisi matahari. Nilai Servo Horizontal berkurang secara bertahap dari 178° menjadi 136° , sementara nilai Servo Vertikal terus meningkat dari 92° menjadi 134° . Pergerakan ini mengindikasikan panel bergerak dari posisi Timur menuju posisi tegak lurus (posisi tertinggi).

Memasuki tengah hari, pukul 12:00, panel berada pada posisi puncak dengan pembacaan servo horizontal 130° dan vertikal 140° . Setelah pukul 12:00, pergerakan panel mulai berbalik arah menuju Barat. Nilai Servo Horizontal terus menurun dari 130° menjadi 84° pada pukul 16:00, sementara Servo Vertikal terus meningkat hingga mencapai puncak di 180° pada pukul 15:00, kemudian sedikit menurun menjadi 172° pada pukul 16:00. Peningkatan nilai vertikal ini, dalam konteks posisi panel yang mengikuti matahari sore, menunjukkan bahwa panel menjadi semakin condong atau miring ke arah Barat untuk memaksimalkan tangkapan cahaya. Kondisi cuaca sepanjang pengamatan didominasi oleh Cerah (terutama antara 08:00 hingga 15:00), dengan diselingi periode Berawan (pukul 09:30, 12:30, 15:30, dan 16:00), namun pergerakan panel menunjukkan fungsi yang konsisten dalam menyesuaikan diri dengan pergerakan semu matahari dari Timur ke Barat.



Gambar 5. 7 Grafik Pergerakan Servo Horizontal dan Vertikal

Grafik pada gambar 5.7 merepresentasikan respons sistem pelacak matahari terhadap pergerakan semu matahari dari pukul 08:00 hingga 16:00. Sumbu-Y menunjukkan Sudut Servo (dalam derajat), sedangkan sumbu-X adalah Waktu.

Terlihat jelas bahwa pergerakan kedua motor servo dirancang untuk saling berlawanan (berkorelasi negatif) untuk mempertahankan panel surya tetap tegak lurus terhadap datangnya cahaya matahari. Servo Horizontal (garis biru) menunjukkan tren penurunan yang konsisten, dimulai dari 178° pada pukul 08:00 dan berakhir pada 84° pada pukul 16:00. Penurunan sudut ini mengindikasikan bahwa panel bergeser secara bertahap dari arah Timur menuju Barat seiring berjalannya hari.

Sebaliknya, Servo Vertikal (garis oranye) menunjukkan tren kenaikan yang signifikan, dimulai dari 92° pada pukul 08:00. Sudut ini terus meningkat secara stabil hingga mencapai puncak maksimum pada 180° di pukul 15:00, sebelum sedikit menurun menjadi 172° di pukul 16:00. Peningkatan sudut vertikal dari pagi ke sore ini merefleksikan dua fase pergerakan: pertama, panel diangkat dari posisi rendah di pagi hari menuju posisi tegak lurus (puncak) di tengah hari (sekitar pukul 12:00, di mana Sudut Servo Vertikal berada pada 140° dan Horizontal pada 130°); kedua, panel kemudian dicondongkan ke arah Barat untuk menyesuaikan sudut elevasi matahari sore hingga mencapai 180° . Keteraturan pada kedua garis, meskipun LDR menunjukkan fluktuasi, membuktikan bahwa sistem kontrol berhasil melakukan pergerakan pelacakan yang terprogram dan konsisten sepanjang hari pengamatan.

5.2.4 Pengujian Sistem Solar Tracker Pergerakan Horizontal

A. Hari Pertama

Data tabel ini menyajikan hasil pengujian pergerakan Servo Horizontal (Azimuth) yang dikendalikan oleh pembacaan empat sensor cahaya (LDR1 hingga LDR4) selama periode pengukuran. Sensor-sensor LDR ini diposisikan sedemikian

rupa untuk mendeteksi intensitas cahaya di sekitar panel, memberikan input bagi mikrokontroler untuk mencari titik keseimbangan cahaya.

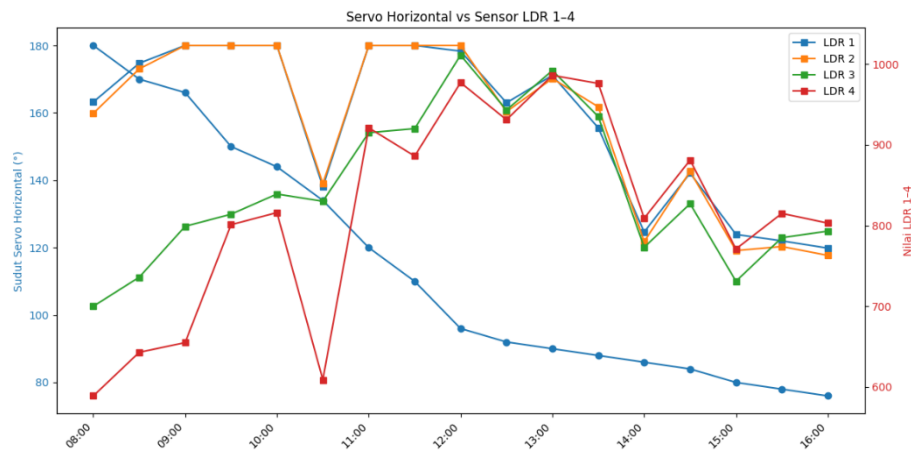
Pola pergerakan Servo Horizontal menunjukkan keberhasilan sistem dalam mengikuti pergerakan harian matahari dari timur ke barat. Sudut servo dimulai dari 180° pada pukul 08:00 (posisi timur/awal) dan secara bertahap menurun secara konsisten hingga 76° pada pukul 16:00 (posisi barat/akhir). Perubahan sudut yang teratur ini misalnya, penurunan 10° dari 08:00 ke 08:30, lalu semakin lambat di siang hari yang mengindikasikan bahwa algoritma *tracking* horizontal berfungsi efektif, menyesuaikan posisi panel secara bertahap sesuai dengan pergeseran Timur-Barat (horizontal) matahari.

Sementara itu, pembacaan LDR menunjukkan adanya respons yang bervariasi sesuai dengan intensitas cahaya. Sensor LDR1 dan LDR2 (yang umumnya menghadap ke timur atau menerima cahaya langsung) mencapai nilai saturasi 1023 Bit lebih awal (mulai pukul 09:00), mengindikasikan bahwa panel telah berhasil menerima iradiasi tinggi. Meskipun terdapat fluktuasi pada nilai LDR (terutama pada LDR 1 dan LDR 2 yang turun tajam pada 10:30 dan 14:00 akibat tutupan awan), sistem *tracker* berhasil mengabaikan volatilitas sesaat ini dan menerjemahkannya menjadi pergerakan servo yang stabil dan terarah. Hal ini menegaskan bahwa algoritma kendali berhasil menyeimbangkan sinyal dari keempat sensor untuk mencapai posisi horizontal optimal yang memaksimalkan penangkapan iradiasi.

Tabel 5. 5 Pengujian Sistem Solar Tracker Pergerakan Servo Horizontal

Waktu	LDR 1 (Bit)	LDR 2 (Bit)	LDR 3 (Bit)	LDR 4 (Bit)	Servo Horizontal ($^\circ$)
08:00	953	939	700	589	180
08:30	1001	994	736	643	170
09:00	1023	1023	799	655	166
09:30	1023	1023	814	801	150
10:00	1023	1023	839	816	144
10:30	848	852	830	609	134
11:00	1023	1023	915	921	120

11:30	1023	1023	920	886	110
12:00	1016	1023	1011	977	96
12:30	952	941	943	931	92
13:00	986	982	992	986	90
13:30	921	947	935	976	88
14:00	792	780	773	809	86
14:30	865	867	827	881	84
15:00	789	769	731	771	80
15:30	781	774	785	815	78
16:00	772	763	793	803	76



Gambar 5. 8 Pergerakan Servo Horizontal dari Sensor LDR

Grafik pada gambar 5.8 secara efektif memvisualisasikan korelasi antara posisi motor Timur-Barat (horizontal) dan respons keempat sensor cahaya LDR 1-4 sepanjang hari. Garis Sudut Servo Horizontal (Biru) menunjukkan penurunan yang konsisten dan stabil, dimulai dari 180° (Timur) pada pukul 08:00 dan berakhir di 76° (Barat) pada pukul 16:00. Pergerakan yang halus dan terarah ini sesuai dengan pergeseran Azimuth matahari harian, membuktikan keberhasilan sistem dalam implementasi *tracking* horizontal. Di sisi input, keempat sensor LDR menunjukkan adanya volatilitas tinggi dan penurunan tajam secara serentak antara pukul 10:30 hingga 11:00. Fluktuasi mendadak ini, yang terlihat jelas pada penurunan nilai LDR saat panel harusnya mencapai posisi iradiasi tertinggi, disebabkan oleh perubahan iradiasi ekstrem akibat tutupan awan yang bergerak cepat. Namun, meskipun sinyal LDR sangat tidak stabil, sistem berhasil

menafsirkan sinyal yang bergejolak tersebut untuk menghasilkan pergerakan sudut yang teratur dan terarah, serta mempertahankan nilai LDR agar mendekati titik keseimbangan di siang hari. Hal ini memvalidasi bahwa algoritma kendali mampu menyaring *noise* cuaca dan memastikan panel senantiasa diposisikan pada sudut Azimuth optimal untuk memaksimalkan penangkapan iradiasi.

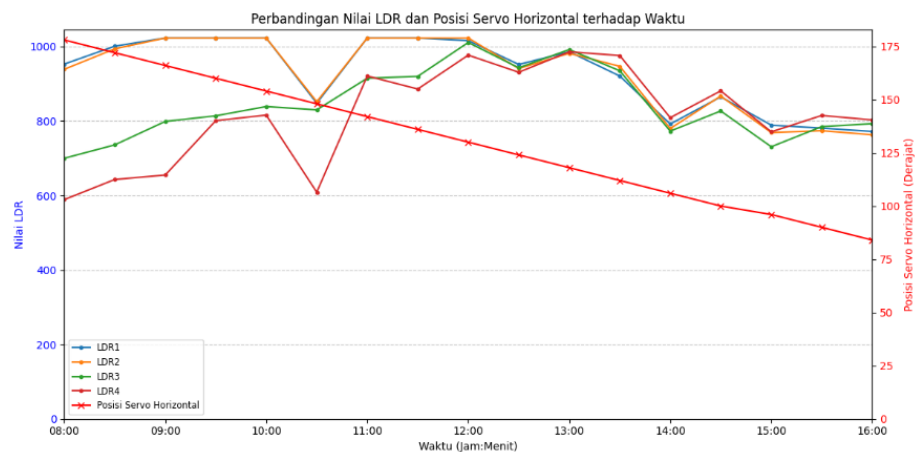
B. Hari Kedua

Tabel 5. 6 Pengujian Sistem Solar Tracker Servo Horizontal

Waktu	LDR 1 (Bit)	LDR 2 (Bit)	LDR 3 (Bit)	LDR 4 (Bit)	Servo Horizontal (°)
8:00	961	845	694	551	178
8:30	986	956	710	641	172
9:00	1007	930	744	660	166
9:30	1023	997	811	743	160
10:00	1023	1020	830	824	154
10:30	1023	991	823	856	148
11:00	1023	1023	903	950	142
11:30	1023	1023	926	964	136
12:00	996	976	821	887	130
12:30	997	947	859	930	124
13:00	939	906	804	882	118
13:30	980	985	910	952	112
14:00	941	958	864	914	106
14:30	891	839	844	880	100
15:00	860	897	815	859	96
15:30	788	792	731	773	90
16:00	261	200	242	312	84

Data pergerakan Servo Horizontal dan respons sensor LDR1 hingga LDR4 menunjukkan keberhasilan sistem dalam mengikuti lintasan Azimuth matahari. Sudut servo dimulai dari 178° pada pukul 08:00 dan secara konsisten menurun bertahap hingga 84° pada pukul 16:00, mencerminkan pergeseran matahari dari Timur ke Barat. Respons LDR menunjukkan bahwa LDR1 dan LDR2 (sensor yang

awalnya menghadap timur) dengan cepat mencapai nilai saturasi 1023Bit (mulai pukul 09:30), mengonfirmasi bahwa panel telah berhasil menyesuaikan posisi untuk menerima iradiasi tertinggi. Fluktuasi nilai LDR di tengah hari (misalnya, penurunan tajam pada 12:30 dan 14:00) disebabkan oleh variabilitas iradiasi akibat tutupan awan. Namun, sistem berhasil menafsirkan sinyal yang tidak stabil ini untuk mempertahankan pergerakan servo yang terarah dan optimal, membuktikan fungsionalitas algoritma kendali horizontal.



Gambar 5. 9 Grafik Sensor menggerakkan Servo Horizontal

Grafik pada gambar 5.9 memvalidasi fungsionalitas *solar tracker* secara keseluruhan. Garis Posisi Servo Horizontal (Merah) menunjukkan penurunan yang konsisten, dimulai dari 178° pada 08:00 menuju 84° pada 16:00, yang membuktikan keberhasilan sistem dalam mengikuti lintasan matahari dari Timur ke Barat. Meskipun nilai sensor LDR1 hingga LDR4 (garis-garis biru dan hijau) menunjukkan volatilitas yang signifikan, terutama pada periode 10:30 hingga 11:30 (yang mencerminkan perubahan Iradiasi ekstrem akibat tutupan awan), sistem kendali mampu menyaring ketidakstabilan sinyal tersebut. Fluktuasi input LDR ini diterjemahkan menjadi pergerakan servo yang terarah dan stabil, memastikan panel berada pada posisi horizontal optimal untuk memaksimalkan penangkapan iradiasi meskipun kondisi cuaca tidak menentu.

5.2.5 Pengujian Sistem Solar Tracker Pergerakan Vertikal

A. Hari Pertama

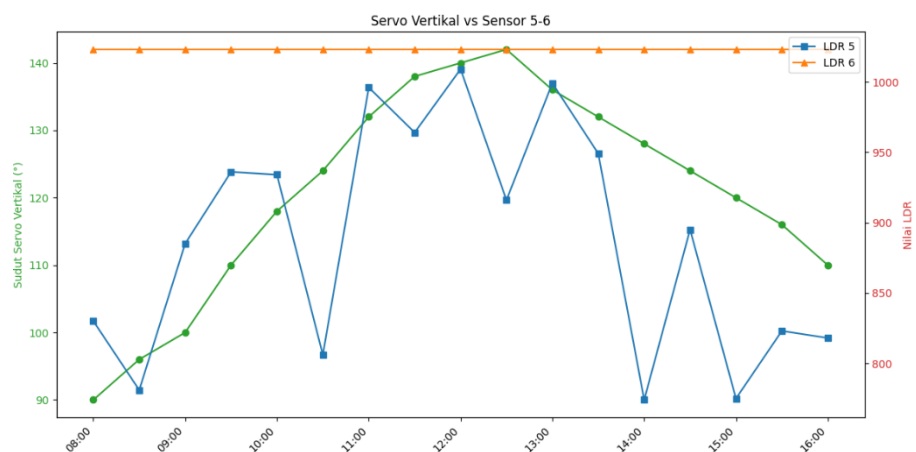
Tabel 5. 7 Pengujian Sistem Solar Tracker Pergerakan Vertikal

Waktu	LDR 5 (Bit)	LDR 6 (Bit)	Servo Vertikal (°)	Kondisi Cahaya
08:00	830	1023	90	Cerah
08:30	781	1023	96	Cerah
09:00	885	1023	100	Cerah
09:30	936	1023	110	Cerah
10:00	934	1023	118	Berawan
10:30	806	1023	124	Berawan
11:00	996	1023	132	Sedikit Mendung
11:30	964	1023	138	Sedikit Mendung
12:00	1009	1023	140	Sedikit Mendung
12:30	916	1023	138	Sedikit Mendung
13:00	999	1023	136	Mendung
13:30	949	1023	132	Sedikit Mendung
14:00	774	1023	128	Sedikit Mendung
14:30	895	1023	124	Cerah
15:00	775	1023	120	Cerah
15:30	823	1023	116	Cerah
16:00	818	1023	110	Sedikit Mendung

Data tabel 5.7 menunjukkan hasil pengujian pergerakan Servo Vertikal (Tilt) yang dikendalikan berdasarkan pembacaan sensor LDR5 dan LDR6, serta korelasinya dengan waktu dan kondisi cahaya. Sepanjang pengukuran, nilai LDR6 tetap konstan di 1023 Bit, berfungsi sebagai sensor referensi atau ambang batas. Sementara itu, nilai LDR5 menunjukkan fluktuasi yang signifikan, mencerminkan perubahan intensitas cahaya yang diterima di lokasi panel.

Pola pergerakan Servo Vertikal menunjukkan keberhasilan sistem dalam mengikuti lintasan elevasi matahari. Sudut servo dimulai dari 90° pada pukul 08:00 dan terus meningkat secara progresif, mencapai sudut puncak 140° pada pukul 12:00. Setelah melewati tengah hari, sudut servo secara konsisten menurun, mencapai 110° pada pukul 16:00. Pola ini sesuai dengan perubahan elevasi matahari harian, membuktikan bahwa sistem *tracker* berhasil mengimplementasikan pergerakan vertikal yang optimal.

Meskipun cuaca sering kali tidak stabil (transisi antara Cerah, Berawan, dan Sedikit Mendung), yang menyebabkan fluktuasi pada nilai LDR5 (misalnya, penurunan dari 999 menjadi 916 pada 12:30), sistem tetap mampu menyesuaikan sudut secara bertahap. Penyesuaian ini menunjukkan bahwa algoritma kendali berhasil menafsirkan sinyal yang berfluktuasi untuk mempertahankan panel pada posisi tegak lurus terbaik yang mungkin. Dengan demikian, data ini mengonfirmasi fungsionalitas dan akurasi sistem *solar tracker* dalam memaksimalkan penangkapan iradiasi vertikal sepanjang hari.



Gambar 5. 10 Grafik Sensor menggerakkan Servo Vertikal

Grafik pada gambar 5.10 secara efektif memvisualisasikan korelasi antara input sensor dan output aktuator vertikal sistem *solar tracker*. Garis Sudut Servo Vertikal (Hijau) menunjukkan tren pergerakan yang mulus dan sesuai dengan pergerakan elevasi matahari harian, dimulai dari 90° dan mencapai puncak 140°

pada pukul 12:00, lalu menurun secara konsisten. Pola ini mengonfirmasi bahwa algoritma *tracking* berfungsi secara benar, menghasilkan pergerakan optimal. Sebaliknya, garis LDR 5 (Biru) menunjukkan fluktuasi yang ekstrem, dengan lonjakan dan penurunan tajam (seperti penurunan drastis sekitar pukul 14:00). Fluktuasi tajam ini disebabkan oleh variasi iradiasi cepat yang bukan karena pergerakan servo, melainkan akibat pergeseran tutupan awan (transisi cuaca) yang memengaruhi intensitas cahaya difus yang diterima LDR 5. Meskipun sinyal input sangat tidak stabil, LDR6 (Oranye) tetap konstan di 1023Bit sebagai referensi. Korelasi antara input yang volatil dan output yang mulus membuktikan bahwa sistem kendali berhasil menyaring ketidakstabilan cuaca dan menerjemahkannya menjadi penyesuaian sudut yang terarah dan tepat, sehingga panel senantiasa diposisikan untuk memaksimalkan penangkapan iradiasi yang tersedia.

B. Hari Kedua

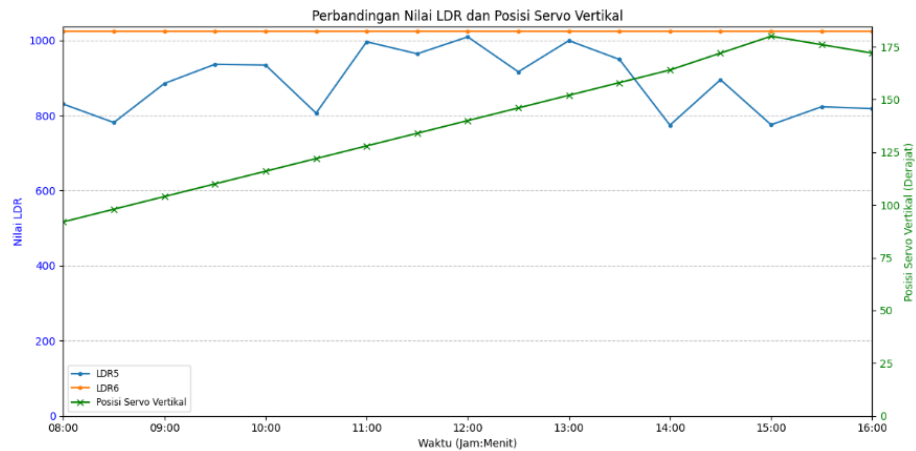
Pengujian sistem pelacak matahari ini bertujuan untuk menganalisis respons motor servo terhadap perubahan intensitas cahaya yang dideteksi oleh sensor *Light Dependent Resistor* (LDR). Berdasarkan data pada tabel menunjukkan hasil pengujian pergerakan Servo Vertikal (Tilt) yang dikendalikan berdasarkan pembacaan sensor LDR5 dan LDR6, serta korelasinya dengan waktu dan kondisi cahaya. Dalam percobaan ini, nilai 1023 pada LDR6 yang konstan mengindikasikan bahwa sistem bekerja dalam rentang pengukuran yang valid, sementara LDR5 merepresentasikan variasi intensitas cahaya vertikal (terutama sisi atas/bawah panel) yang direspons oleh tracker.

Pola pergerakan Servo Vertikal menunjukkan tren yang sesuai dengan pergerakan elevasi matahari. Sudut servo dimulai dari 90° pada pukul 08:00 (posisi horizontal/rendah di pagi hari) dan terus meningkat hingga mencapai puncaknya 140° pada pukul 12:00 (posisi elevasi tertinggi, meskipun tergolong Sedikit Mendung). Setelah pukul 12:00, sudut servo secara konsisten menurun kembali, mencapai 110° pada pukul 16:00, mencerminkan pergerakan matahari menuju senja.

Meskipun sistem secara umum berhasil mengikuti elevasi matahari, terdapat fluktuasi pada nilai LDR5 yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Nilai LDR 5 mencapai 1009 Bit pada pukul 12:00 dalam kondisi Sedikit Mendung (menunjukkan intensitas tinggi), tetapi hanya 774 Bit pada pukul 14:00 dalam kondisi Sedikit Mendung. Ketidakstabilan pembacaan LDR5 di bawah kondisi Berawan atau Sedikit Mendung (misalnya, penurunan dari 934 menjadi 806 dari 10:00 ke 10:30) menunjukkan adanya variasi cepat pada intensitas cahaya difus akibat awan. Meskipun demikian, sistem *tracker* tetap mampu menyesuaikan sudut vertikal secara bertahap (perubahan 4° hingga 6° per interval 30 menit) untuk memaksimalkan penerimaan cahaya sesuai dengan prinsip kerja *Light-Dependent Resistor* (LDR), yang bertugas menyamakan intensitas cahaya yang diterima kedua sensor.

Tabel 5. 8 Pengujian Sistem Solar Tracker Servo Vertikal

Waktu	LDR 5 (Bit)	LDR 6 (Bit)	Servo Vertikal (°)	Kondisi Cahaya
8:00	970	1023	92	Cerah
8:30	979	891	98	Cerah
9:00	980	1023	104	Cerah
9:30	979	1023	110	Berawan
10:00	968	1023	116	Cerah
10:30	913	1023	122	Cerah
11:00	981	1023	128	Cerah
11:30	965	1023	134	Cerah
12:00	887	1023	140	Cerah
12:30	901	1023	146	Berawan
13:00	857	1023	152	Cerah
13:30	972	1023	158	Cerah
14:00	974	1023	164	Cerah
14:30	978	1023	172	Cerah
15:00	972	1023	180	Cerah
15:30	823	1023	176	Berawan
16:00	412	826	172	Berawan



Gambar 5. 11 Grafik Sensor menggerakkan Servo Vertikal

Data tabel dan visualisasi grafik menunjukkan keberhasilan sistem *solar tracker* dalam menggerakkan Servo Vertikal (*Tilt*) untuk mengikuti pergerakan elevasi matahari. Pola pergerakan sudut servo (garis hijau pada grafik) menunjukkan tren kenaikan yang stabil dan konsisten, dimulai dari 90° pada pagi hari hingga mencapai nilai puncak 140° pada pukul 12:00, dan kemudian menurun menjelang sore. Pergerakan bertahap ini sesuai dengan lintasan elevasi harian matahari, menegaskan bahwa algoritma kendali berhasil. Respon sensor input juga terekam jelas pada LDR6 (oranye) mempertahankan nilai 1023 Bit, berfungsi sebagai referensi stabil, sementara LDR5 (biru) menunjukkan fluktuasi tajam akibat variasi intensitas cahaya (transisi antara Cerah, Berawan, dan Sedikit Mendung). Meskipun terdapat volatilitas pada sinyal LDR5, sistem mampu menafsirkan fluktuasi tersebut untuk menghasilkan pergerakan servo yang terarah. Hal ini membuktikan bahwa mekanisme *tracking* berfungsi secara efektif, terus-menerus menyesuaikan sudut panel agar LDR5 mendekati LDR6, sehingga memastikan panel selalu menerima iradiasi matahari tertinggi yang tersedia pada setiap interval waktu.

5.2.6 Pengujian Daya Panel Surya

Pengujian daya panel dilakukan dengan mengukur Tegangan (V) dan Arus (I) yang dihasilkan oleh panel surya pada kondisi sebenarnya. Nilai Daya (P) kemudian dihitung berdasarkan hasil pengukuran menggunakan persamaan dasar listrik.

$$P = V \times I \quad (2)$$

Dengan:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

A. Hari Pertama

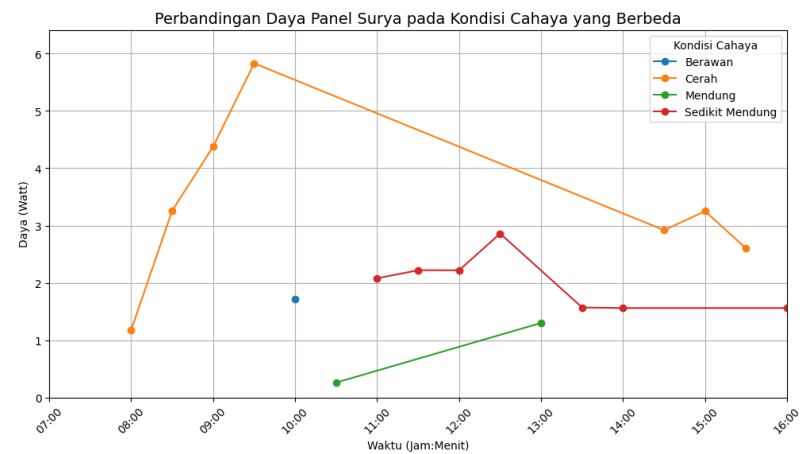
Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 5.9, data pengukuran yang tercantum memperlihatkan data yang tidak sesuai, di mana nilai daya dan arus tercatat lebih tinggi pada saat kondisi Berawan/Sedikit mendung dibandingkan saat kondisi cuaca Cerah pada waktu tertentu. Secara teori, daya maksimum panel surya seharusnya dicapai saat iradiasi puncak (saat cerah). Data yang tidak sesuai ini bukan mencerminkan kinerja dari panel surya yang sebenarnya, melainkan disebabkan oleh titik pengukuran yang dilakukan pada keluaran SCC tanpa adanya beban DC yang konstan.

SCC bertindak sebagai regulator yang memprioritaskan kondisi baterai, di mana ketika baterai telah mencapai status hampir penuh di bawah cuaca cerah, SCC secara otomatis akan membatasi atau mengurangi arus pengisian untuk mencegah *overcharge*, sehingga pembacaan daya menjadi rendah. Sebaliknya, saat cuaca mendung, tegangan baterai mungkin menurun yang memicu SCC untuk meningkatkan arus pengisian. Akibatnya, arus yang diukur pada keluaran SCC menjadi lebih tinggi karena regulator sedang berusaha mengoptimalkan pengisian baterai dengan daya yang tersedia, meskipun daya panel aktual lebih rendah. Dengan demikian, data tersebut lebih mempresentasikan status regulasi pengisian baterai dari pada kemampuan daya puncak panel akibat variasi iradiasi matahari.

Tabel 5. 9 Pengujian Daya Panel

Waktu	Nilai Sensor (Bit)						Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kondisi Cahaya
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6				
08:00	953	939	700	589	830	1023	13,13	0,09	1,18	Cerah
08:30	1001	994	736	643	781	1023	13,02	0,25	3,26	Cerah
09:00	1023	1023	799	655	885	1023	13,26	0,33	4,38	Cerah
09:30	1023	1023	814	801	936	1023	13,25	0,44	5,83	Cerah
10:00	1023	1023	839	816	934	1023	13,12	0,13	1,71	Berawan
10:30	848	852	830	609	806	1023	13,03	0,02	0,26	Berawan
11:00	1023	1023	915	921	996	1023	13,03	0,16	2,08	Sedikit Mendung
11:30	1023	1023	920	886	964	1023	13,06	0,17	2,22	Sedikit Mendung
12:00	1016	1023	1011	977	1009	1023	13,05	0,17	2,22	Sedikit Mendung
12:30	952	941	943	931	916	1023	13,02	0,22	2,86	Sedikit Mendung
13:00	986	982	992	986	999	1023	13,03	0,1	1,3	Mendung
13:30	921	947	935	976	949	1023	13,06	0,12	1,57	Sedikit Mendung
14:00	792	780	773	809	774	1023	13,04	0,12	1,56	Sedikit Mendung
14:30	865	867	827	881	895	1023	13,27	0,22	2,92	Cerah
15:00	789	769	731	771	775	1023	13,01	0,25	3,25	Cerah

Waktu	Nilai Sensor (Bit)						Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kondisi Cahaya
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6				
15:30	781	774	785	815	823	1023	13,02	0,2	2,6	Cerah
16:00	772	763	793	803	818	1023	13,02	0,12	1,56	Sedikit Mendung



Gambar 5. 12 Grafik Perbandingan Daya Panel Surya pada Kondisi Cahaya Berbeda

Grafik di atas memvisualisasikan data yang tidak sesuai, di mana pola daya yang tercatat tidak berkorelasi linear dengan kondisi cahaya yang sebenarnya. Secara visual, garis yang mewakili kondisi Cerah (warna oranye) menunjukkan puncak daya tertinggi diantara

semua kondisi, yaitu mencapai 5,9Watt pada pukul 09:30. Ini sesuai dengan prinsip bahwa iradiasi maksimum akan menghasilkan daya puncak. Namun, data yang tidak sesuai tersebut disebabkan oleh regulasi SCC yang terlihat jelas pada saat panel mencapai puncak, kurva cerah turun sangat signifikan dari 5,9Watt menjadi 2,9Watt pada pukul 14:30. Penurunan signifikan ini mengindikasikan bahwa SCC mulai membatasi arus pengisian baterai saat tegangan baterai sudah tinggi.

Sementara itu, saat kondisi cuaca sedikit mendung (garis merah) dari 2,2Watt pada pukul 12:00 ke 2,9Watt pada 12:30 ditengah kondisi cahaya yang tidak stabil, semakin menegaskan bahwa daya keluaran yang terekam dipengaruhi oleh kebutuhan arus pengisian baterai yang diatur oleh SCC, bukan karena kemampuan daya panel surya aktual yang seharusnya proporsional dengan iradiasi matahari sebenarnya.

B. Hari Kedua

Tabel 5. 10 Pengujian Daya Panel

WAKTU	Nilai Sensor (Bit)						Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kondisi Cahaya
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6				
8:00	961	845	694	551	970	1023	12,73	0,18	2,29	Cerah
8:30	986	956	710	641	979	891	12,75	0,18	2,30	Cerah
9:00	1007	930	744	660	980	1023	12,7	0,15	1,91	Cerah
9:30	1023	997	811	743	979	1023	12,68	0,12	1,52	Berawan
10:00	1023	1020	830	824	968	1023	12,69	0,13	1,65	Cerah
10:30	1023	991	823	856	913	1023	12,79	0,18	2,30	Cerah
11:00	1023	1023	903	950	981	1023	12,76	0,16	2,04	Cerah
11:30	1023	1023	926	964	965	1023	12,84	0,26	3,34	Cerah

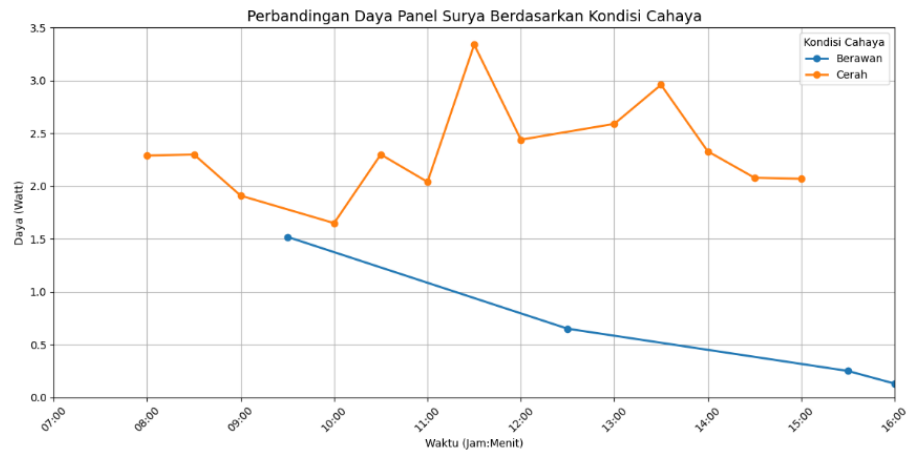
WAKTU	Nilai Sensor (Bit)						Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kondisi Cahaya
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	LDR 5	LDR 6				
12:00	996	976	821	887	887	1023	12,84	0,19	2,44	Cerah
12:30	997	947	859	930	901	1023	12,9	0,05	0,65	Berawan
13:00	939	906	804	882	857	1023	12,95	0,2	2,59	Cerah
13:30	980	985	910	952	972	1023	12,85	0,23	2,96	Cerah
14:00	941	958	864	914	974	1023	12,92	0,18	2,33	Cerah
14:30	891	839	844	880	978	1023	12,97	0,16	2,08	Cerah
15:00	860	897	815	859	972	1023	12,94	0,16	2,07	Cerah
15:30	788	792	731	773	823	1023	12,65	0,02	0,25	Berawan
16:00	261	200	242	312	412	826	12,57	0,01	0,13	Berawan

Berdasarkan tabel 5.10, daya keluaran yang tercatat sekitar 0,13V – 3,34V yang menunjukkan pola yang sangat dipengaruhi oleh dua faktor yang saling berkaitan, yaitu SCC dan iradiasi. Secara umum, hubungan iradiasi dan daya terjadi peningkatan daya dari pagi hingga siang hari yang mencerminkan peningkatan iradiasi. Daya mencapai puncak 3,34W pada pukul 11:30, di mana kondisi cahaya masih cerah sebelum iradiasi harian mencapai maksimum. Setelah pukul 11:30, daya cenderung menurun meskipun kondisi masih cerah yang menunjukkan bahwa panel telah melewati daya puncak.

Pola penurunan daya di tengah hari yaitu pukul 11:30 menguatkan dugaan bahwa SCC sedang meregulasi arus karena baterai mendekati kondisi penuh. Walaupun iradiasi masih tinggi, tegangan keluaran sistem di bawah 13V dan arus dibatasi. Hal ini

menyebabkan daya keluaran menjadi terbatas dan tidak mencapai daya puncak panel aktual seharusnya. Penurunan daya yang signifikan terjadi pada sore hari pukul 16:00, dengan nilai arus 0,01A dan daya hanya 0,13W. Hal tersebut normal karena tidak lagi menerima energi matahari yang cukup untuk pengisian yang efektif. Secara keseluruhan, meskipun sistem menunjukkan kemampuan untuk menghasilkan daya puncak yaitu 3,34V, rentang nilai daya yang kecil disebabkan oleh faktor proteksi baterai oleh SCC.

Data pengukuran juga menunjukkan bahwa tegangan keluaran sistem pada pengujian hari kedua secara konsisten berada di bawah 13V (berkisar 12,57V - 12,95V), bahkan saat kondisi Cerah dengan iradiasi tinggi. Pola tegangan ini jika dibandingkan dengan pengukuran hari pertama, bukanlah indikasi kegagalan panel surya melainkan hasil regulasi tegangan oleh SCC yang dipengaruhi oleh status pengisian baterai dan variasi suhu.



Gambar 5. 13 Perbandingan Daya berdasarkan kondisi cahaya

Grafik "Perbandingan Daya Panel Surya Berdasarkan Kondisi Cahaya" memvisualisasikan daya yang dihasilkan sistem pada dua kategori kondisi cuaca, Cerah (Oranye) dan Berawan (Biru). Secara visual, garis Cerah menunjukkan level daya yang secara konsisten dan signifikan lebih tinggi dibandingkan garis Berawan, yang konsisten dengan prinsip fotovoltaiik bahwa daya berbanding lurus dengan iradiasi. Namun, grafik ini juga secara jelas menyoroti dua fenomena penting yang berkaitan dengan regulasi SCC.

Saat kondisi Cerah mencapai puncak daya tertinggi pada 3,34W sekitar pukul 11:30. Fenomena fluktuasi regulasi sangat terlihat setelah titik puncak ini, di mana terjadi penurunan daya tajam pada pukul 12:00 menjadi 2,46W meskipun kondisi masih cerah. Penurunan ini dan fluktuasi berikutnya kenaikan kecil dan penurunan mengindikasikan bahwa SCC sedang membatasi arus pengisian untuk mempertahankan tegangan baterai dalam mode Float Charging yang stabil berkisar di bawah 13V, sehingga daya yang tercatat tidak mencapai nilai daya puncak panel mentah.

5.3 Analisis Keseluruhan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem solar tracker berbasis sensor LDR dan motor servo mampu bekerja sesuai dengan rancangan. Sensor LDR berhasil mendeteksi intensitas cahaya dengan baik, ditunjukkan dari hubungan linier antara nilai Bit dan tegangan keluaran. Pada saat intensitas cahaya tinggi (siang hari), nilai

Bit mendekati maksimum (± 1023) dengan tegangan sensor 4,5–4,9 V, sedangkan pada pagi dan sore hari nilainya menurun seiring berkurangnya intensitas cahaya. Hal ini menandakan bahwa sistem sensor memiliki sensitivitas yang baik terhadap perubahan intensitas cahaya.

Pergerakan servo horizontal (timur–barat) dan vertikal (utara–selatan) juga menunjukkan respons yang konsisten terhadap data sensor. Pada pagi hari, servo horizontal berada di sudut terbesar ($\pm 180^\circ$) dan secara bertahap menurun hingga $\pm 80^\circ$ pada sore hari, mengikuti arah matahari. Sementara itu, servo vertikal bergerak naik dari posisi rendah ($\pm 90^\circ$) hingga mencapai puncak $\pm 140^\circ$ – 180° saat siang hari, kemudian menurun kembali pada sore hari. Pergerakan ini membuktikan bahwa sistem kendali servo mampu menyesuaikan posisi panel sesuai perubahan sudut datang cahaya matahari, meskipun terdapat gangguan cuaca (mendung/berawan).

Pengujian daya panel surya memperlihatkan bahwa daya maksimum dihasilkan pada kondisi cerah, khususnya pada pagi menjelang siang. Contohnya, pada hari pertama pukul 09:30 daya mencapai 5,83 W, sedangkan pada kondisi berawan hanya sekitar 0,26–2 W. Hal ini menegaskan bahwa intensitas cahaya merupakan faktor dominan dalam menentukan daya keluaran, sementara tegangan relatif stabil (± 12 – 13 V) karena dipengaruhi oleh sistem penyimpanan energi.

Secara umum, sistem solar tracker dual axis terbukti mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari karena panel selalu diarahkan ke posisi optimal. Namun, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa kondisi cuaca menjadi variabel eksternal yang paling berpengaruh. Pada cuaca mendung/berawan, daya menurun signifikan meskipun sistem pelacak bekerja dengan baik.