

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Berdasarkan perancangan sistem yang dipaparkan pada Bab III, berikut diuraikan hasil dari implementasi sistem lampu jalan otomatis berbasis panel surya dan dipasang dilapangan, mencakup perangkat keras (hardware) yang terdiri dari kotak panel, panel surya , lampu LED, sensor LDR ,sensor PIR dan lensa Fresnel.



Gambar 4. 1 Hasil Implementasi Sistem

Hasil implementasi sistem Automatic Street Lighting System, berbasis panel surya telah berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sistem terdiri dari panel surya yang dipasang pada bagian atas tiang sebagai sumber energi utama untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Energi yang dihasilkan panel surya kemudian disimpan pada baterai dan digunakan untuk menyuplai kebutuhan daya pada sistem penerangan jalan. Seluruh komponen elektronika dan sistem kontrol ditempatkan di dalam panel box yang terpasang pada tiang sehingga terlindungi dari pengaruh lingkungan luar. Konstruksi mekanik sistem dirancang menggunakan rangka besi yang kokoh untuk menopang panel surya dan panel box dengan baik. Berdasarkan hasil implementasi, seluruh komponen dapat terpasang dengan baik dan membentuk satu kesatuan sistem yang siap digunakan untuk proses pengujian. Sistem yang telah direalisasikan ini diharapkan mampu bekerja secara mandiri dengan memanfaatkan energi matahari

sebagai sumber energi utama, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional serta mendukung penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan.

4.1.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras (Hardware)



(a) Tampak Dalam

(b) Tampak Luar

Gambar 4. 2 Hasil Perancangan Perangkat Keras

Pada **Gambar 4.1** Menunjukkan hasil realisasi perangkat keras Automatic Street Lighting System (ASLS) berbasis panel surya, sensor LDR, sensor PIR, dan mikrokontroler ESP32. Sistem ditempatkan di dalam panel box yang berfungsi melindungi seluruh komponen elektronik dari pengaruh cuaca dan lingkungan luar. Komponen utama yang digunakan terdiri dari Solar Charge Controller (SCC), baterai, ESP32, sensor tegangan DC, modul relay, sensor LDR, dan sensor PIR HC-SR501.

Pada sistem ini, energi listrik dari panel surya disimpan ke baterai melalui Solar Charge Controller (SCC). ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor LDR, sensor PIR, dan sensor tegangan DC. Sensor LDR digunakan untuk mengaktifkan lampu LED secara otomatis saat kondisi gelap, sedangkan sensor PIR mendeteksi pergerakan untuk meningkatkan intensitas cahaya lampu. Sensor tegangan DC berfungsi memantau kondisi baterai dan keluaran panel surya secara real-time. Hasil perancangan menunjukkan bahwa

seluruh komponen telah terintegrasi dan dapat bekerja sesuai fungsi yang dirancang.



Gambar 4.3 Hasil Pemasangan Sensor LDR & PIR HC-SR501

Pada **Gambar 4.2** Menunjukkan hasil dari pemasangan sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) dan sensor PIR (*Passive Infrared Receiver*) HC-SR501. Sensor yang ditempatkan di bagian atas lampu berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya matahari pada lingkungan secara langsung, sedangkan sensor PIR ditempatkan di bagian bawah dengan arah menghadap jalan sehingga dapat mendeteksi aktivitas pergerakan manusia atau kendaraan di area sekitaran lampu jalan. Posisi pemasangan kedua sensor yang disebutkan di atas dipilih sedemikian rupa untuk mendapatkan pembacaan yang tepat sesuai dengan fungsi dari masing-masing sensor.



(c) Tanpa Menggunakan
Lensa Fresnel



(d) Menggunakan Lensa Fresnel

Gambar 4. 4 Kondisi Panel Surya Tanpa dan Menggunakan Lensa Fresnel

Pada **Gambar 4.4** menunjukkan kondisi fisik panel surya pada dua pengujian yang dilakukan pada penelitian ini. Kondisi (c) memperlihatkan panel surya tanpa dipasang lensa Fresnel, sedangkan kondisi (d) memperlihatkan panel surya yang telah dipasang dua unit lensa Fresnel pada bagian atas permukaan panel sebagai solar concentrator. Kedua kondisi pengujian dilakukan pada posisi dan sudut kemiringan panel yang sama, sehingga perbedaan hasil pengukuran yang diperoleh murni disebabkan oleh pengaruh penggunaan lensa Fresnel, bukan oleh perbedaan orientasi maupun sudut penyinaran panel.

Pada penelitian ini panel surya dipasang dengan sudut kemiringan sebesar 15° . Pemilihan sudut tersebut disesuaikan dengan kondisi geografis Kota Palembang yang berada pada wilayah tropis dengan lintang sekitar 3° LS. Penggunaan sudut kemiringan 10° – 15° banyak direkomendasikan untuk instalasi panel surya tetap (*fixed tilt*) di daerah tropis karena mampu meningkatkan penerimaan radiasi matahari sepanjang hari sekaligus mempermudah aliran air hujan dan mengurangi penumpukan debu pada permukaan panel.

Lensa Fresnel dipasang pada jarak 10 cm dari permukaan panel surya. Jarak tersebut dipilih agar titik fokus cahaya yang dihasilkan lensa berada mendekati permukaan panel sehingga intensitas radiasi matahari yang diterima panel meningkat tanpa menyebabkan pemusatan cahaya yang berlebihan pada satu titik. Apabila jarak lensa terlalu dekat, cahaya belum mencapai titik fokus sehingga proses konsentrasi menjadi kurang optimal. Sebaliknya, apabila jarak terlalu jauh, titik fokus akan melewati permukaan panel sehingga sebagian energi cahaya tidak termanfaatkan secara maksimal. Oleh karena itu, penggunaan sudut kemiringan 15° dan jarak lensa sekitar 10 cm diharapkan mampu memberikan distribusi cahaya yang lebih merata serta meningkatkan kinerja panel surya selama proses pengujian.

4.2 Hasil pengujian dan Pengukuran

4.2.1 Hasil Pengukuran Tanpa Menggunakan Fresnel dengan Beban Lampu Aktif

Pengukuran pertama dilakukan pada kondisi panel surya tanpa menggunakan Fresnel, data yang diambil yaitu tegangan (V), arus (A), dan daya (W) Dengan waktu selama lima hari pengujian. Hasil dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Menggunakan Beban Lampu

No	Tanggal	Sesi	Tanpa Fresnel				Dengan Fresnel				Keterangan (Data BMKG)
			Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
1	2-7-2026	Pagi	10.15	12,84	1,20	15,40	10.45	12,68	2,10	26,62	Cerah Berawan
		Siang	12.40	20,72	2,32	29,25	13.17	21,68	2,30	53,11	Cerah Berawan
		Sore	16.55	12,40	0,82	10,16	17.20	12,75	1,65	21,03	Cerah Berawan
2	3-7-2026	Pagi	10.36	12,70	1,05	13,33	10.15	12,90	1,75	22,57	Cerah Berawan
		Siang	12.22	20,68	2,45	50,66	12.53	20,95	2,80	58,66	Cerah Berawan
		Sore	17.08	12,90	0,88	11,35	17.48	13,10	1,10	14,41	Cerah Berawan
3	4-7-2026	Pagi	10.47	13,40	1,85	24,79	10.05	17,10	2,95	50,45	Cerah Berawan disertai Hujan
		Siang	12.31	20,80	2,50	52,00	12.51	21,18	3,25	62,48	Cerah Berawan disertai
		Sore	17.12	12,90	0,92	11,86	17.55	13,90	1,30	18,07	Cerah Berawan disertai Hujan
4	5-7-2026	Pagi	10.05	13,47	1,90	25,59	10.45	18,40	3,05	56,12	Cerah Berawan

No	Tanggal	Sesi	Tanpa Fresnel				Dengan Fresnel				Keterangan (Data BMKG)
			Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
		Siang	12.18	21,10	2,55	53,81	12.48	21,35	2,98	63,62	Cerah Berawan
		Sore	16.48	13,90	0,86	11,95	16.48	11,50	1,88	21,62	Cerah Berawan
5	6-7-2026	Pagi	10.52	13,35	1,60	21,36	10.35	13,15	1,80	23,67	Cerah Berawan
		Siang	12.35	20,70	2,40	49,68	12.58	21,50	2,90	62,35	Cerah Berawan
		Sore	17.20	11,80	1,10	12,89	17.52	14,10	1,45	20,44	Cerah Berawan

Data BMKG

ID WMO : 96225

Nama Stasiun : Taman Alat Digital Staklim Sumsel (Sumatera Selatan)

Lintang : 3,0156

Bujur : 104,4300

Elevasi : 4 Meter

Tabel 4. 2 Data BMKG

Tanggal	Tavg (°C)	RR (mm)	ss (jam)
02-07-2026	28,4	0,0	7,1
03-07-2026	27,4	0,0	6,7
04-07-2026	28,1	20,0	8,0
05-07-2026	27,9	0,0	7,8
06-07-2026	28,4	0,0	7,6

Keterangan:

Tavg: Temperatur rata-rata (°C)

RR: Curah hujan (mm)

ss: Lamanya penyinaran matahari (jam)

Berdasarkan **Tabel 4.1**, hasil pengukuran selama 2–6 Juli 2026 menunjukkan bahwa penggunaan Lensa Fresnel mampu meningkatkan kinerja panel surya pada setiap sesi pengukuran, baik pagi, siang, maupun sore hari. Peningkatan paling terlihat terjadi pada parameter arus dan daya, sedangkan kenaikan tegangan relatif lebih kecil namun tetap konsisten. Nilai daya tertinggi diperoleh pada 4 Juli 2026 pukul 12.31 WIB, yaitu sebesar 62,48 W menggunakan Lensa Fresnel, sedangkan tanpa Fresnel hanya mencapai 52,00 W. Sebaliknya, daya terendah terjadi pada sesi sore hari ketika intensitas cahaya matahari mulai menurun.

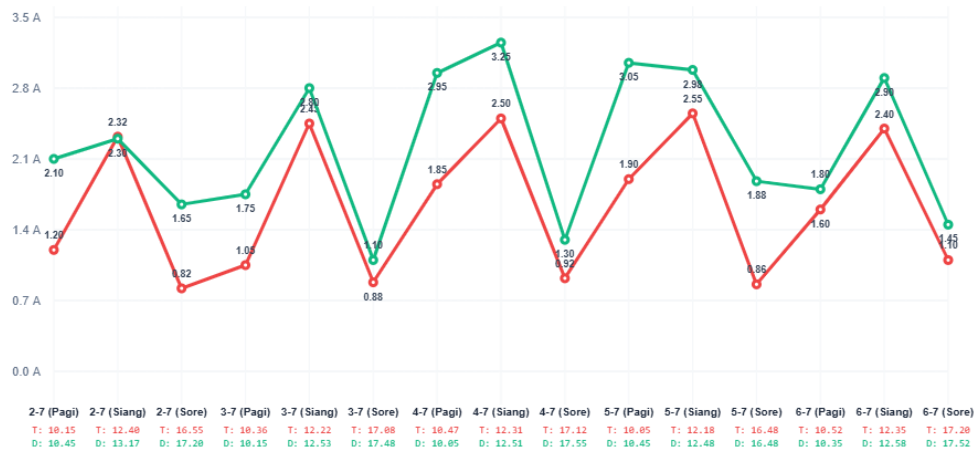
Selain dipengaruhi oleh penggunaan Lensa Fresnel, hasil pengukuran juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca berdasarkan data BMKG. Selama periode pengujian, cuaca didominasi cerah berawan, sehingga intensitas penyinaran

matahari masih cukup baik untuk proses pengisian panel surya. Secara keseluruhan, data pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan Lensa Fresnel mampu meningkatkan tegangan, arus, dan terutama daya keluaran panel surya, sehingga sistem bekerja lebih optimal dibandingkan tanpa menggunakan Lensa Fresnel.



Gambar 4.5 Tampilan Grafik Perbandingan Tegangan

Berdasarkan grafik tegangan, terlihat bahwa panel surya yang menggunakan Fresnel Solar Concentrator menghasilkan tegangan yang cenderung lebih tinggi dibandingkan tanpa Fresnel pada setiap hari pengujian. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada siang hari, yaitu berkisar 21,5 V, sedangkan pada pagi dan sore hari tegangan mengalami penurunan akibat berkurangnya intensitas cahaya matahari. Meskipun peningkatannya tidak terlalu besar, penggunaan Fresnel mampu menjaga tegangan panel tetap lebih stabil dibandingkan tanpa Fresnel.



Gambar 4. 6 Tampilan Grafik Perbandingan Arus

Grafik arus menunjukkan bahwa penggunaan Fresnel memberikan peningkatan arus yang cukup signifikan. Pada pengukuran siang hari, arus dengan Fresnel mencapai sekitar 2,8–3,2 A, sedangkan tanpa Fresnel hanya sekitar 2,3–2,5 A. Hal ini menunjukkan bahwa Fresnel mampu memusatkan cahaya matahari ke permukaan panel sehingga menghasilkan arus yang lebih besar. Pada pagi dan sore hari arus menurun, namun panel dengan Fresnel tetap menghasilkan nilai yang lebih tinggi.



Gambar 4. 7 Tampilan Grafik Perbandingan Daya

Pada Grafik daya diatas , terlihat bahwa panel surya dengan Fresnel selalu menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan tanpa Fresnel. Daya tertinggi terjadi pada siang hari, yaitu mencapai sekitar 60–63 W, sedangkan tanpa Fresnel hanya sekitar 50–54 W. Pada pagi dan sore hari daya ikut menurun karena intensitas

cahaya matahari berkurang. Secara keseluruhan, hasil grafik menunjukkan bahwa penggunaan Fresnel Solar Concentrator mampu meningkatkan daya keluaran panel surya sehingga kinerja sistem menjadi lebih optimal dibandingkan panel tanpa Fresnel.

4.2.2 Hasil Pengukuran Tanpa Menggunakan Fresnel Tanpa Beban Lampu

Pengukuran dilakukan pada kondisi panel surya tanpa menggunakan Fresnel ,data yang diambil yaitu tegangan (V) , arus (A) , dan daya (W) Dengan waktu selama lima hari pengujian. Hasil dapat dilihat pada **Tabel 4.3** berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Tanpa Menggunakan Beban Lampu

No	Tanggal	Sesi	Tanpa Fresnel				Dengan Fresnel				Keterangan (DataBMKG)
			Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
1	2-6-2026	Pagi	10.15	13,20	1,30	17,16	10.45	13,10	2,25	29,48	Cerah Berawan
		Siang	12.40	21,15	2,45	51,81	13.17	21,80	2,45	53,41	Berawan
		Sore	16.55	12,80	0,90	11,52	17.20	13,15	1,75	23,01	Berawan
2	3-6-2026	Pagi	10.36	13,10	1,15	15,06	10.15	13,30	1,90	25,27	Cerah Berawan
		Siang	12.22	21,08	2,55	53,75	12.53	21,10	2,95	62,25	Berawan
		Sore	17.08	13,00	0,95	12,35	17.48	13,35	1,25	16,69	Berawan
3	4-6-2026	Pagi	10.47	13,50	2,00	27,00	10.05	17,40	3,10	53,94	Cerah Berawan
		Siang	12.31	21,20	2,70	57,24	12.51	21,35	3,40	72,59	Cerah Berawan
		Sore	17.12	13,00	1,00	13,00	17.55	14,10	1,45	20,45	Berawan
4	5-6-2026	Pagi	10.05	13,60	2,05	27,88	10.45	18,70	3,20	59,84	Cerah Berawan
		Siang	12.18	21,25	2,75	58,43	12.48	21,55	3,15	67,88	Berawan
		Sore	16.48	13,15	0,95	12,49	16.48	11,80	2,00	23,60	Berawan
5	6-6-2026	Pagi	10.52	13,40	1,75	23,45	10.35	13,40	1,95	26,13	Berawan Tebal
		Siang	12.35	21,10	2,60	54,86	12.58	21,65	3,10	67,12	Berawan Tebal
		Sore	17.20	12,90	1,20	15,48	17.52	14,30	1,60	22,88	GerimisBerpetir

Data BMKG

ID WMO : 96225
 Nama Stasiun : Taman Alat Digital Staklim Sumsel (Sumatera Selatan)
 Lintang : 3,0156
 Bujur : 104,4300
 Elevasi : 4 Meter

Tabel 4. 4 Data BMKG

Tanggal	Tavg (°C)	RR (mm)	ss (jam)
02-07-2026	28,4	0,0	7,1
03-07-2026	27,4	0,0	6,7
04-07-2026	28,1	20,0	8,0
05-07-2026	27,9	0,0	7,8
06-07-2026	28,4	0,0	7,6

Keterangan:

Tavg: Temperatur rata-rata (°C)

RR: Curah hujan (mm)

ss: Lamanya penyinaran matahari (jam)

Berdasarkan **Tabel 4.3** hasil pengukuran panel surya tanpa menggunakan beban lampu selama 2–6 Juli 2026 menunjukkan bahwa penggunaan Lensa Fresnel tetap memberikan peningkatan terhadap kinerja panel surya. Pada hampir seluruh sesi pengukuran, nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan panel dengan Fresnel lebih tinggi dibandingkan panel tanpa Fresnel. Peningkatan paling terlihat terjadi pada parameter arus dan daya, terutama saat pengukuran siang hari ketika intensitas penyinaran matahari berada pada kondisi maksimum. Sebagai contoh, pada 4 Juli 2026 pukul 12.51 WIB, daya panel dengan Fresnel mencapai 72,59 W, sedangkan tanpa Fresnel hanya 57,24 W.

Selain itu, hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai daya cenderung meningkat dari pagi menuju siang hari dan kembali menurun pada sore hari. Pola ini dipengaruhi oleh perubahan intensitas radiasi matahari sepanjang hari.

Berdasarkan data BMKG, kondisi cuaca selama pengujian didominasi cerah berawan, sehingga panel surya masih memperoleh penyinaran matahari yang cukup baik. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa penggunaan Lensa Fresnel mampu meningkatkan keluaran daya panel surya meskipun sistem tidak menggunakan beban lampu, sehingga kinerja panel menjadi lebih optimal dibandingkan tanpa menggunakan Lensa Fresnel.



Gambar 4. 8 Tampilan Grafik Perbandingan Tegangan

Berdasarkan grafik tegangan, terlihat bahwa panel surya yang menggunakan Fresnel Solar Concentrator menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan panel tanpa Fresnel pada hampir seluruh waktu pengukuran. Tegangan tertinggi terjadi pada saat siang hari, yaitu berkisar 21,49–21,65 V pada panel dengan Fresnel, sedangkan tanpa Fresnel berada pada kisaran 20,95–21,35 V. Pada pagi dan sore hari tegangan mengalami penurunan karena intensitas cahaya matahari lebih rendah. Meskipun demikian, panel dengan Fresnel tetap mampu mempertahankan tegangan yang lebih baik, sehingga menunjukkan bahwa penggunaan Fresnel membantu meningkatkan penerimaan radiasi matahari oleh panel surya.



Gambar 4. 9 Tampilan Grafik Perbandingan Arus

Berdasarkan grafik arus, terlihat bahwa penggunaan Fresnel memberikan peningkatan arus yang cukup signifikan. Pada pengukuran siang hari, arus panel dengan Fresnel mencapai sekitar 2,95–3,40 A, sedangkan panel tanpa Fresnel hanya sekitar 2,45–2,75 A. Perbedaan ini menunjukkan bahwa cahaya yang dipusatkan oleh lensa Fresnel mampu meningkatkan jumlah energi yang diterima panel sehingga arus yang dihasilkan menjadi lebih besar. Pada pagi dan sore hari arus mengalami penurunan, namun nilai arus pada panel dengan Fresnel tetap lebih tinggi dibandingkan panel tanpa Fresnel.



Gambar 4. 10 Tampilan Grafik Perbandingan Daya

Berdasarkan grafik daya, terlihat bahwa panel surya yang menggunakan Fresnel menghasilkan daya yang lebih besar pada setiap hari pengujian. Daya

maksimum diperoleh pada 4 Juli siang, yaitu sekitar 72,53 W, sedangkan tanpa Fresnel hanya mencapai 57,25 W. Pada pengukuran 5 Juli siang dan 6 Juli siang, daya dengan Fresnel juga lebih tinggi, masing-masing sekitar 67,25 W dan 66,79 W, dibandingkan tanpa Fresnel sebesar 58,93 W dan 54,84 W. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan Fresnel Solar Concentrator mampu meningkatkan daya keluaran panel surya secara konsisten, sehingga kinerja sistem menjadi lebih optimal dibandingkan panel tanpa Fresnel.

4.2.3 Hasil Pengukuran Menggunakan Beban Lampu (Data Real-Time)

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Data Real-Time

No	Tanggal	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan (Data BMKG)
1	29-07-2026	08.10	19,36	0,130	2,51	21,59	0,197	3,17	Cerah Berawan
		09.55	18,65	0,181	3,37	20,27	0,199	4,08	
		10.29	18,79	0,139	2,61	20,57	0,192	3,94	
		11.26	20,53	0,137	2,81	21,64	0,198	4,28	
		12.08	19,79	0,227	4,49	21,80	0,237	5,16	
		13.51	19,34	0,203	3,92	20,06	0,200	4,02	
2	30-07-2026	08.29	18,92	0,188	3,55	21,20	0,191	4,06	Berawan
		09.10	19,76	0,125	2,47	20,03	0,205	4,10	
		10.56	19,51	0,139	2,71	20,79	0,143	2,97	
		11.45	19,97	0,146	2,91	20,83	0,189	3,93	
		12.27	20,21	0,164	3,31	21,82	0,210	4,58	
		13.05	20,53	0,137	2,81	21,56	0,168	3,62	
3	31-07-2026	08.26	19,15	0,130	2,48	20,07	0,189	3,79	Cerah Berawan
		09.14	19,64	0,120	2,35	20,95	0,237	4,99	
		10.11	19,60	0,234	4,58	20,36	0,211	4,29	
		11.06	20,22	0,225	4,54	21,17	0,242	5,12	
		12.58	19,73	0,226	4,45	20,11	0,246	5,19	

No	Tanggal	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan (Data BMKG)
		13.35	20,81	0,232	4,82	21,51	0,241	5,18	
4	03-08-2026	08.08	19,32	0,193	3,72	20,81	0,223	4,64	Berawan
		09.24	20,95	0,208	4,35	21,22	0,244	5,17	
		10.09	20,44	0,203	4,14	21,01	0,240	5,04	
		11.13	20,75	0,236	4,89	21,54	0,247	5,32	
		12.45	21,14	0,234	4,94	21,32	0,246	5,24	
		13.33	20,85	0,194	4,04	21,26	0,204	4,33	
5	04-08-2026	08.40	21,09	0,209	4,40	21,70	0,250	5,42	Cerah
		09.16	20,89	0,207	4,32	21,83	0,249	5,43	
		10.21	19,95	0,192	3,83	20,96	0,226	4,73	
		11.31	20,44	0,233	4,76	21,24	0,213	4,52	
		12.39	20,22	0,230	4,65	21,29	0,243	5,17	
		13.41	20,46	0,198	4,05	21,15	0,230	5,03	

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.2.3, pengujian dilakukan selama lima hari, yaitu tanggal 29 Juli sampai 4 Agustus 2026, dengan waktu pengambilan data mulai pukul 08.00 hingga 13.41 WIB. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan panel surya tanpa menggunakan lensa Fresnel berada pada kisaran 18,65–21,14 V, sedangkan setelah menggunakan lensa Fresnel meningkat menjadi 20,03–21,83 V. Secara rata-rata, tegangan mengalami kenaikan sekitar 1,3 V atau sekitar 6–7%, yang menunjukkan bahwa lensa Fresnel mampu meningkatkan tegangan keluaran panel meskipun tidak terlalu signifikan.

Nilai arus juga mengalami peningkatan setelah menggunakan lensa Fresnel. Pada kondisi tanpa Fresnel, arus berada pada rentang 0,120–0,236 A, sedangkan dengan Fresnel meningkat menjadi 0,143–0,249 A. Rata-rata kenaikan arus sekitar 0,03 A atau sekitar 15–17%. Peningkatan arus ini terjadi karena lensa Fresnel

memfokuskan radiasi matahari ke permukaan panel sehingga intensitas cahaya yang diterima panel menjadi lebih tinggi.

Peningkatan tegangan dan arus tersebut berdampak langsung pada daya keluaran panel surya. Daya tanpa menggunakan Fresnel berada pada kisaran 2,35–4,94 W, sedangkan setelah menggunakan Fresnel meningkat menjadi 2,97–5,43 W. Dari seluruh data pengujian, rata-rata daya meningkat sekitar 0,7 W atau sekitar 18–20% dibandingkan kondisi tanpa Fresnel. Daya tertinggi diperoleh pada 4 Agustus 2026 pukul 09.16 WIB, yaitu sebesar 5,43 W, sedangkan daya terendah terjadi pada 30 Juli 2026 pukul 10.56 WIB, yaitu 2,97 W. Perbedaan daya tersebut dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari, kondisi cuaca, serta sudut datang cahaya matahari pada saat pengukuran.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan lensa Fresnel mampu meningkatkan kinerja panel surya ketika digunakan untuk menyuplai beban lampu. Peningkatan paling signifikan terjadi pada daya keluaran, dengan kenaikan rata-rata sekitar 18–20%, diikuti oleh peningkatan arus sekitar 15–17%, sedangkan tegangan meningkat sekitar 6–7%. Hal ini membuktikan bahwa lensa Fresnel efektif dalam memusatkan cahaya matahari sehingga energi listrik yang dihasilkan panel surya menjadi lebih besar dan sistem Automatic Street Lighting System dapat bekerja dengan lebih optimal.



Gambar 4. 11 Tampilan Grafik Tegangan

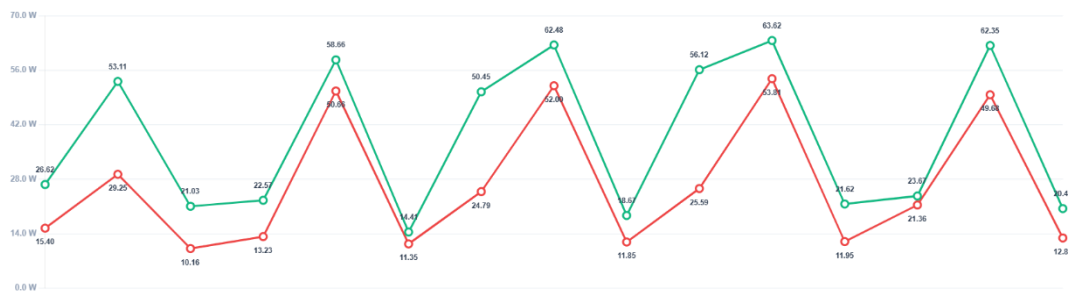
Berdasarkan grafik tegangan, terlihat bahwa nilai tegangan panel surya yang menggunakan lensa Fresnel selalu berada di atas tegangan panel surya tanpa menggunakan lensa Fresnel pada setiap waktu pengukuran. Tegangan tanpa Fresnel berada pada kisaran 18,65–20,53 V, sedangkan dengan Fresnel meningkat menjadi 20,03–21,82 V. Selisih tegangan berkisar antara 0,8–1,8 V atau sekitar 6–7% lebih

tinggi dibandingkan tanpa Fresnel. Peningkatan tegangan ini menunjukkan bahwa lensa Fresnel mampu memusatkan intensitas cahaya matahari ke permukaan panel surya sehingga proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik berlangsung lebih optimal. Meskipun perubahan tegangan tidak terlalu besar, nilai tegangan yang lebih stabil memberikan pengaruh positif terhadap performa sistem secara keseluruhan, terutama saat panel digunakan untuk menyuplai beban lampu.



Gambar 4. 12 Tampilan Grafik Arus

Berdasarkan grafik arus, penggunaan lensa Fresnel menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan kondisi tanpa Fresnel selama seluruh periode pengujian. Arus tanpa Fresnel berada pada kisaran 2,40–2,59 A, sedangkan dengan Fresnel meningkat menjadi 2,35–3,02 A, dengan nilai tertinggi mencapai 3,02 A pada tanggal 4 Juli 2026. Peningkatan arus lebih terlihat dibandingkan peningkatan tegangan karena arus sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya. Dengan adanya lensa Fresnel, cahaya matahari difokuskan pada permukaan panel sehingga jumlah energi yang diserap meningkat. Hal ini menyebabkan arus keluaran panel menjadi lebih besar dan berdampak langsung pada peningkatan daya yang dihasilkan.



Gambar 4. 13 Tampilan Grafik Daya (Watt)

Berdasarkan grafik daya, terlihat bahwa penggunaan lensa Fresnel memberikan peningkatan daya yang cukup signifikan dibandingkan tanpa Fresnel pada setiap hari pengujian. Daya tanpa Fresnel berada pada kisaran 10,16–53,21 W, sedangkan dengan Fresnel meningkat menjadi 21,03–63,62 W. Nilai daya tertinggi sebesar 63,62 W diperoleh saat menggunakan lensa Fresnel, sedangkan daya tertinggi tanpa Fresnel hanya mencapai 53,21 W.

Peningkatan daya terjadi karena daya merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus ($P = V \times I$). Walaupun kenaikan tegangan relatif kecil, peningkatan arus yang lebih besar menyebabkan daya keluaran panel meningkat secara signifikan. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa peningkatan daya paling tinggi terjadi ketika intensitas cahaya matahari berada pada kondisi optimal. Secara keseluruhan, grafik membuktikan bahwa penggunaan lensa Fresnel mampu meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya matahari sehingga panel surya menghasilkan daya yang lebih besar dan mampu mendukung kinerja Automatic Street Lighting System secara lebih optimal.

4.3 Analisis Perbandingan Data Hasil Pengukuran

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pengaruh penggunaan lensa Fresnel, dilakukan perbandingan rata-rata nilai tegangan arus, dan daya antara kedua perbandingan data pengujian pada setiap slot waktu pengukuran.

4.3.2 Analisis Perbandingan Data tanpa Fresnel dan Menggunakan Fresnel

Berdasarkan data rata-rata hasil pengujian selama 5 hari dengan kondisi beban lampu aktif yang dilakukan perbandingan performa elektrik yang berfokus pada nilai Tegangan (V) dan Arus (I). Pada sesi pagi hari (10.00 - 11.00 WIB), tanpa lensa Fresnel, nilai tegangan rata-rata berada pada 13,15 V dengan arus 1,52 A. Setelah menggunakan lensa Fresnel, nilai tegangan meningkat menjadi 14,85 V dan arus meningkat secara signifikan ke angka 2,33 A. Hal ini menunjukkan bahwa pemfokusan cahaya pada pagi hari sangat efektif menstimulasi pergerakan elektron pada sel fotovoltaik meskipun posisi matahari belum tegak lurus.

Pada sesi siang hari (12.00 - 13.00 WIB) yang merupakan kondisi puncak, panel surya tanpa lensa menghasilkan tegangan sebesar 20,80 V dan arus 2,44 A. Penggunaan lensa Fresnel meningkatkan tegangan secara stabil menjadi 21,33 V dan arus menjadi 2,85 A. Kenaikan arus pada siang hari ini membuktikan intensitas densitas fluks cahaya yang terkonsentrasi dengan optimal. Sementara itu, pada sesi sore hari (16.00 - 17.00 WIB) di saat intensitas matahari mulai menurun, panel tanpa lensa hanya menghasilkan 12,78 V dan 0,92 A. Namun, intervensi lensa Fresnel mampu menjaga parameter tetap tinggi di angka 13,07 V dengan arus sebesar 1,48 A. Secara keseluruhan, perbandingan parameter memperlihatkan bahwa dampak paling dominan dari pemanfaatan Fresnel Solar

Concentrator berada pada peningkatan kuantitas arus listrik (I), secara langsung dengan jumlah foton matahari yang berhasil dikonsentrasikan ke permukaan panel.

Table 4. 6 Perbandingan Tanpa Fresnel dan Menggunakan Fresnel

Sesi Waktu	Tanpa Menggunakan Lensa Fresnel (Rata-rata)			Menggunakan Lensa Fresnel (Rata-rata)			Peningkatan Daya (%)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
Pagi 08.08 - 09.55 WIB	19,77	0,17	3,35	20,97	0,22	4,49	+33,80%
Siang 10.09 - 11.45 WIB	20,02	0,19	3,78	21,01	0,21	4,41	+16,83%
Sore 12.08 - 13.51 WIB	20,31	0,20	4,15	21,19	0,22	4,75	+14,56%

Berdasarkan **Tabel 4.5** penggunaan lensa Fresnel memberikan peningkatan terhadap kinerja panel surya pada setiap sesi pengukuran. Pada sesi pagi (08.08–09.55 WIB), rata-rata tegangan meningkat dari 19,77 V menjadi 20,97 V, sedangkan arus meningkat dari 0,17 A menjadi 0,22 A. Akibatnya, daya keluaran panel surya meningkat dari 3,35 W menjadi 4,49 W, dengan persentase peningkatan sebesar 33,80%. Peningkatan yang paling besar terjadi pada pagi hari karena intensitas cahaya matahari yang masih rendah dapat difokuskan oleh lensa Fresnel sehingga energi yang diterima panel surya menjadi lebih optimal.

Pada sesi siang (10.09–11.45 WIB), rata-rata tegangan mengalami kenaikan dari 20,02 V menjadi 21,01 V, sedangkan arus meningkat dari 0,19 A menjadi 0,21 A. Daya panel surya juga meningkat dari 3,78 W menjadi 4,41 W, atau mengalami peningkatan sebesar 16,83%. Persentase peningkatan pada siang hari lebih kecil dibandingkan pagi hari karena intensitas radiasi matahari sudah tinggi, sehingga kontribusi lensa Fresnel dalam memusatkan cahaya tidak sebesar saat pagi hari.

Selanjutnya, pada sesi sore (12.08–13.51 WIB), tegangan meningkat dari 20,31 V menjadi 21,19 V, sedangkan arus naik dari 0,20 A menjadi 0,22 A. Daya keluaran

panel meningkat dari 4,15 W menjadi 4,75 W, dengan persentase peningkatan sebesar 14,56%. Meskipun masih terjadi peningkatan, nilainya lebih kecil dibandingkan sesi pagi karena posisi matahari mulai berubah sehingga fokus cahaya yang diterima panel surya tidak seoptimal sebelumnya.

Secara keseluruhan, penggunaan lensa Fresnel terbukti mampu meningkatkan performa panel surya pada seluruh sesi pengukuran. Rata-rata peningkatan daya mencapai sekitar 21,73% dari seluruh waktu pengujian, dengan peningkatan terbesar terjadi pada sesi pagi (33,80%), diikuti sesi siang (16,83%), dan sore (14,56%).

4.4 Pengujian Sistem Otomatis dengan Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*)

Selain melakukan pengujian pada panel surya, dilakukan pula pengujian sistem otomatisasi lampu menggunakan sensor LDR. Sensor akan mendeteksi kondisi gelap atau terang lingkungan dan mengirimkan sinyal ke ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan relay yang mengendalikan lampu LED. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor LDR bekerja dengan baik. Pada kondisi terang (siang hari), nilai resistansi LDR rendah sehingga sistem memutuskan aliran listrik ke lampu. Sebaliknya, pada kondisi gelap (malam hari atau tertutup), nilai resistansi LDR meningkat sehingga sistem mengaktifkan relay dan menyalakan lampu LED secara otomatis. Fungsi otomatisasi ini berjalan stabil tanpa memerlukan intervensi manual, sesuai dengan tujuan perancangan sistem.

Sistem juga telah berhasil terkoneksi ke platform IoT melalui modul Wi-Fi ESP32, sehingga status lampu dan data sensor dapat dipantau secara daring (online). Fitur monitoring ini memberikan kemudahan bagi pengelola dalam memantau kondisi operasional sistem penerangan lampu jalan otomatis tenaga surya dari jarak jauh. Secara keseluruhan, hasil pengujian dan analisis pada bab ini menunjukkan bahwa sistem lampu jalan otomatis tenaga surya yang dirancang telah berfungsi sesuai dengan perancangan. Penggunaan lensa Fresnel sebagai concentrator cahaya memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan efisiensi energi panel surya.

4.5 Pengujian Sistem Pergerakan dengan Sensor PIR (Passive Infrared Receiver)

Pengujian sensor PIR HC-SR501 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi pergerakan manusia sistem Automatic Street Lighting System (ASLS). Sensor PIR dipasang pada ketinggian yang telah ditentukan dan dihubungkan dengan ESP32 sebagai pengendali utama. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan gelap sehingga sensor LDR mengaktifkan sistem. Setelah sensor PIR mendeteksi adanya pergerakan manusia pada area deteksi, ESP32 akan mengaktifkan relay sehingga lampu LED menyala secara otomatis. Lampu akan tetap menyala selama 10 detik setelah tidak ada lagi pergerakan yang terdeteksi, kemudian lampu akan padam kembali secara otomatis.

pengujian juga menunjukkan bahwa ketika objek berada dalam kondisi diam, sensor PIR tidak memberikan respons karena sensor bekerja berdasarkan perubahan radiasi inframerah yang disebabkan oleh pergerakan objek. Selain itu, ketika objek bergerak pada jarak lebih dari 1,5 meter, sensor tidak lagi mampu mendeteksi keberadaan objek sehingga lampu tetap dalam kondisi mati. Hal ini menunjukkan bahwa jarak efektif sensor PIR pada sistem yang dirancang yaitu 1–1,5 meter, sesuai dengan posisi pemasangan sensor dan pengaturan sensitivitas yang dipasang.