

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

5.1 Prosedur Pengujian dan Pengukuran

Prosedur pengujian dan pengukuran dilakukan sebagai tahapan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring panel surya yang telah dirancang. Pengujian meliputi pengujian pada setiap komponen utama, validasi hasil pembacaan sensor menggunakan alat ukur pembanding, serta pengujian fungsi sistem secara keseluruhan. Adapun langkah-langkah pengujian dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada subbab berikut.

5.1.1 Langkah-Langkah Pengujian

Pengujian pada penelitian ini dilakukan setelah seluruh proses perancangan dan implementasi sistem selesai. Sebelum pengujian dilakukan, seluruh perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada sistem monitoring kinerja panel surya dipersiapkan terlebih dahulu, meliputi panel surya, mikrokontroler ESP32 DevKit V1, sensor BH1750, sensor INA219, LCD I2C 20×4, keypad I2C, serta sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan Google Spreadsheet dan Telegram Bot. Seluruh komponen dipastikan telah terpasang sesuai dengan rancangan dan berfungsi dengan baik sebelum proses pengujian dilaksanakan. Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan seluruh perangkat keras dan perangkat lunak serta memastikan setiap komponen telah terpasang sesuai dengan rancangan dan berada dalam kondisi siap digunakan.
2. Menyiapkan alat ukur pembanding berupa lux meter untuk membandingkan hasil pembacaan sensor BH1750 dan multimeter digital untuk membandingkan hasil pembacaan sensor INA219.
3. Memastikan sistem berhasil terhubung ke jaringan WiFi sehingga proses monitoring, pengiriman data ke Google Spreadsheet, dan komunikasi melalui Telegram Bot dapat berjalan dengan baik.

4. Melakukan pengujian pada setiap bagian sistem, meliputi sensor BH1750, sensor INA219, LCD I2C 20×4, keypad I2C, Google Spreadsheet, dan Telegram Bot sesuai dengan fungsi masing-masing.
5. Mencatat seluruh hasil pengujian sebagai dasar dalam proses analisis kinerja sistem monitoring panel surya.

5.1.2 Peralatan Pengujian

Untuk memastikan sistem monitoring kinerja panel surya dapat bekerja sesuai dengan perancangan, dilakukan pengujian pada setiap komponen serta validasi hasil pembacaan sensor menggunakan alat ukur pembanding. Sistem yang dikembangkan juga dilengkapi dengan fitur monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) melalui Google Spreadsheet dan Telegram Bot sehingga data hasil pengukuran dapat dipantau secara *real-time*. Berikut peralatan penguji terdapat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Peralatan Pengujian

No.	Peralatan	Dokumentasi	
1	Lux Meter		
2	Multimeter Digital		

5.2 Pengujian dan Analisa Alat

Pengukuran dan pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring panel surya. Sensor BH1750 dibandingkan dengan lux meter, sedangkan sensor INA219 dibandingkan dengan multimeter digital. Langkah-langkah pengujian dijelaskan sebagai berikut.

5.2.1 Pengujian dan Analisa Sensor BH1750

Pengujian sensor BH1750 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur intensitas cahaya matahari sebagai representasi radiasi yang diterima oleh panel surya. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan *lux meter* sebagai alat ukur pembanding pada rentang pengukuran yang masih berada dalam batas ukur *lux meter*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur acuan, sehingga nilai lux yang digunakan pada perhitungan *Pin* (daya radiasi) dapat dipertanggungjawabkan keakuratannya.

Tingkat kesalahan pembacaan sensor BH1750 dihitung menggunakan persamaan galat relatif persentase dengan lux meter sebagai alat ukur referensi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [26]:

$$\text{Selisih} = |\text{Lux}_{\text{meter}} - \text{Lux}_{\text{BH1750}}| \quad (5.1)$$

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{|\text{Lux}_{\text{meter}} - \text{Lux}_{\text{BH1750}}|}{\text{Lux}_{\text{meter}}} \right) \times 100\% \quad (5.2)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\% - \text{Error}(\%) \quad (5.3)$$

Sebagai contoh perhitungan, pada kondisi Terang 1 sensor BH1750 menunjukkan hasil pembacaan sebesar 54.211,67 Lux, sedangkan lux meter sebagai alat ukur acuan menunjukkan nilai 54.300 Lux. Berdasarkan Persamaan (5.1), (5.2), dan (5.3) diperoleh:

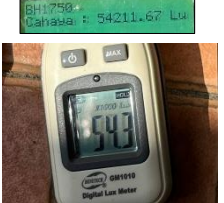
$$\text{Selisih} = |54.300 - 54.211,67| = 88,33 \text{ Lux} \quad (5.1)$$

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{88,33}{54,300} \right) \times 100\% \quad (5.2)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\% - 0,16\% = 99,84\% \quad (5.3)$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi intensitas cahaya tinggi, sensor BH1750 mampu membaca nilai yang sangat mendekati alat ukur acuan dengan error hanya sebesar 0,16%. Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh kondisi pengujian dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor BH1750

No	Kondisi Cahaya	Lux Meter (Lux)	Sensor BH1750 (Lux)	Selisih (Lux)	Error (%)	Akurasi (%)	Dokumentasi
1	Gelap	0	0	0	0	100	
2	Terang 1	54.300	54.211,67	88,33	0,16	99,84	
3	Terang 2	51.200	51.270,83	70,83	0,14	99,86	
4	Terang 3	6.000	6.450,00	450,00	7,50	92,50	
5	Terang 4	42.000	42.607,50	607,50	1,45	98,55	

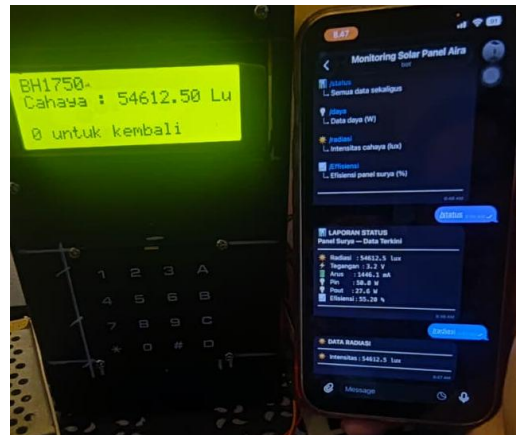
No	Kondisi Cahaya	Lux Meter (Lux)	Sensor BH1750 (Lux)	Selisih (Lux)	Error (%)	Akurasi (%)	Dokumentasi
6	Terang 5	8.960	8.809,17	150,83	1,68	98,32	
Rata-rata					1,82%	98,18%	



Gambar 5.1 Pengujian Sensor BH1750 Menggunakan Lux Meter



Gambar 5.2 Hasil Pembacaan Sensor BH1750 pada Serial Monitor



Gambar 5.3 Nilai Lux ditampilkan pada Telegram BOT

5.2.2 Pengujian dan Analisa Sensor INA219

Pengujian sensor INA219 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur besaran listrik berupa tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan multimeter digital sebagai alat ukur acuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian nilai yang diperoleh. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa data kelistrikan yang digunakan dalam perhitungan daya keluaran panel surya (P_{out}) memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga dapat digunakan sebagai dasar perhitungan efisiensi sistem.

Tingkat kesalahan pembacaan sensor Sensor INA219 dihitung menggunakan persamaan galat relatif persentase dengan lux meter sebagai alat ukur referensi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [27]:

Untuk pengujian arus:

$$\text{Selisih} = |I_{\text{multimeter}} - I_{\text{INA219}}| \quad (5.4)$$

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{|I_{\text{multimeter}} - I_{\text{INA219}}|}{I_{\text{multimeter}}} \right) \times 100\% \quad (5.5)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\% - \text{Error}(\%) \quad (5.6)$$

Sebagai contoh perhitungan, pada kondisi Pengukuran 1 sensor INA219 menunjukkan hasil pembacaan sebesar 1,65 mA, sedangkan multimeter sebagai alat ukur acuan menunjukkan nilai 1,85. Berdasarkan Persamaan (5.3), (5.4), dan (5.5) diperoleh:

$$\text{Selisih} = |1,85 - 1,85| = 0,00 \text{ mA} \quad (5.3)$$

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{0,00}{1,85} \right) \times 100\% = 0,00\% \quad (5.4)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\% - 0,00\% = 100\% \quad (5.5)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor INA219 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam mengukur arus. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur pembanding, diperoleh nilai error rata-rata sebesar 0,00%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan arus oleh sensor INA219 memiliki kesesuaian dengan nilai pengukuran acuan.

Untuk pengujian Tegangan:

$$\text{Selisih} = |V_{\text{multimeter}} - V_{\text{INA219}}| \quad (5.6)$$

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{|V_{\text{multimeter}} - V_{\text{INA219}}|}{V_{\text{multimeter}}} \right) \times 100\% \quad (5.7)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\% - \text{Error}(\%) \quad (5.8)$$

Sebagai contoh perhitungan, pada kondisi Pengukuran 1 sensor INA219 menunjukkan hasil pembacaan sebesar 4,86 V, sedangkan multimeter sebagai alat ukur acuan menunjukkan nilai 4,75 V. Berdasarkan Persamaan (5.9), (6.0), dan (6.1) diperoleh:

$$\text{Selisih} = |4,75 - 4,86| = 0,11 \text{ mA} \quad (5.9)$$

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{0,11}{4,75} \right) \times 100\% = 2,32\% \quad (6.0)$$

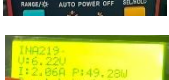
$$\text{Akurasi}(\%) = 100\% - 2,32\% = 97,68\% \quad (6.1)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor INA219 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengukur arus. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur pembanding, diperoleh nilai error rata-rata sebesar 2,32%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan tegangan oleh sensor INA219 memiliki kesesuaian dengan nilai pengukuran acuan. Perhitungan pada seluruh data pengujian disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Pengujian Arus Sensor INA219

No	Kondisi Pengukuran	Multimeter (mA)	Sensor INA219 (mA)	Selisih (mA)	Error (%)	Akurasi (%)	Dokumentasi
1	Pengukuran 1	1,85	1,85	0,00	0,00	100%	 
2	Pengukuran 2	2,21s	2,20	0,01	0,45	99,55%	 
3	Pengukuran 3	2,03	2,03	0,00	0,00	100%	 
4	Pengukuran 4	2,04	2,04	0,00	0,00	100%	 
5	Pengukuran 5	2,06	2,06	0,00	0,00	100%	 
Rata-rata					0,09%	99,91%	

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Pengujian Tegangan Sensor INA219

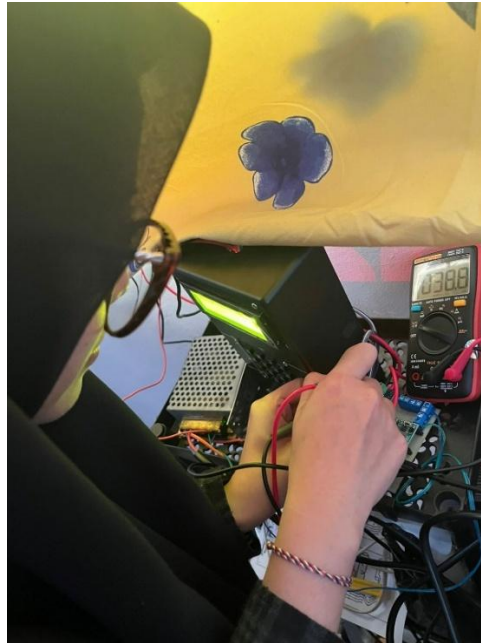
No	Kondisi Pengukuran	Multimeter (V)	Sensor INA219 (V)	Selisih (V)	Error (%)	Akurasi (%)s	Dokumentasi
1	Pengukuran 1	4,75	4,86	0,11	2,32	97,68%	 
2	Pengukuran 2	2,43	2,51	0,08	3,29	96,71%	 
3	Pengukuran 3	4,14	4,18	0,04	0,97	99,03%	 
4	Pengukuran 4	2,48	2,53	0,05	2,02	97,98%	 
5	Pengukuran 5	2,06	2,06	0,00	0,00	100%	 

Rata-rata					1,72%	98,28%	

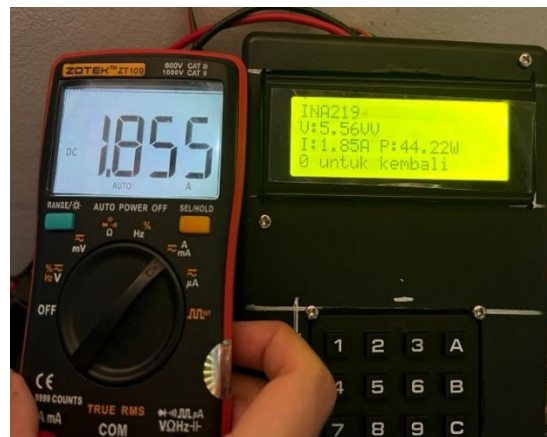
Berdasarkan hasil pengujian pengujian sensor INA219 pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4, diperoleh nilai pembacaan arus dan tegangan yang relatif mendekati hasil pengukuran menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur acuan. Pada pengukuran arus, selisih hasil pembacaan berada pada rentang 0,00 mA hingga 0,01 mA, sedangkan pada pengukuran tegangan selisih pembacaan berada pada rentang 0,00 V hingga 0,11 V. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor INA219 mampu mengukur arus dan tegangan dengan tingkat perbedaan yang rendah dibandingkan alat ukur acuan.

Hasil perhitungan error menunjukkan bahwa pada pengukuran arus nilai error berada pada rentang 0,00% hingga 0,45%. Nilai error terkecil diperoleh pada Pengukuran 1, Pengukuran 3, Pengukuran 4, dan Pengukuran 5 sebesar 0,00%, sedangkan nilai error terbesar terjadi pada Pengukuran 2 sebesar 0,45%. Sementara itu, pada pengukuran tegangan nilai error berada pada rentang 0,00% hingga 3,29%. Nilai error terkecil diperoleh pada Pengukuran 5 sebesar 0,00%, sedangkan nilai error terbesar terjadi pada Pengukuran 2 sebesar 3,29%.

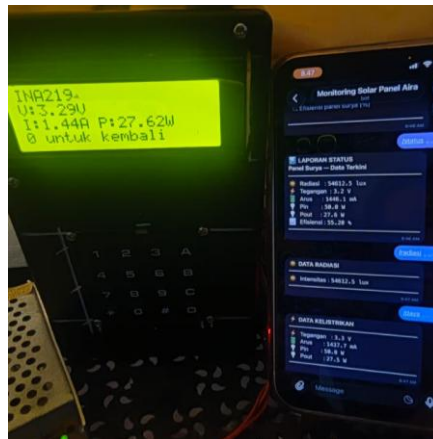
Secara keseluruhan, sensor INA219 memiliki nilai error rata-rata sebesar 0,09% pada pengukuran arus dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,91%, sedangkan pada pengukuran tegangan diperoleh nilai error rata-rata sebesar 1,72% dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 98,28%. Nilai error yang relatif kecil pada kedua parameter menunjukkan bahwa sensor INA219 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengukur arus dan tegangan.



Gambar 5.4 Proses Pengujian Sensor INA219 Menggunakan Multimeter



Gambar 5.5 Hasil Pembacaan Sensor INA219 pada LCD I2C 4x4



Gambar 5.6 Tampilan Data Sensor INA219 pada LCD dan Telegram Bot

Pada Gambar 5.6. Informasi yang ditampilkan meliputi tegangan, arus, daya keluaran (Pout), dan efisiensi panel surya secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, nilai tegangan dan arus yang dibaca sensor INA219 sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter digital, sehingga sensor dinyatakan mampu bekerja dengan baik sebagai sumber data utama dalam perhitungan daya keluaran (Pout) dan efisiensi panel surya.

5.3 Pengujian dan Analisa Antarmuka Sistem

Pengujian antarmuka dilakukan untuk memastikan LCD I2C 20×4 dan keypad I2C berfungsi sebagai media interaksi pengguna. Pengujian meliputi tampilan LCD dan respons keypad dalam mengakses menu monitoring.

5.3.1 Pengujian dan Analisa LCD I2C 20×4

Pengujian LCD I2C 20×4 dilakukan untuk memastikan seluruh informasi hasil monitoring dapat ditampilkan dengan baik sesuai kondisi sistem. Pengujian dilakukan dengan mengakses setiap menu yang tersedia menggunakan keypad, kemudian mengamati kesesuaian data yang ditampilkan dengan hasil pembacaan sensor dan status sistem. Dokumentasi tampilan LCD disajikan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Tampilan Menu LCD I2C 20×4

Berdasarkan hasil pengujian, LCD I2C 20×4 berhasil menampilkan seluruh informasi yang dibutuhkan, meliputi menu utama, data intensitas cahaya dari sensor BH1750, data tegangan, arus, dan daya dari sensor INA219, status pengiriman data ke Google Spreadsheet, status pengiriman data ke Telegram, serta nilai efisiensi panel surya. Dokumentasi setiap tampilan LCD disajikan pada Gambar 5.7, yang terdiri atas menu utama sistem, nomor 1 tampilan data sensor BH1750, nomor 2 tampilan data sensor INA219, nomor 3 tampilan proses pengiriman data ke Google Spreadsheet, nomor 4 tampilan pengiriman data ke Telegram, dan nomor 5 tampilan efisiensi panel surya. Selain itu, perpindahan antar menu juga berjalan dengan baik tanpa terjadi tampilan berkedip (*flicker*), sehingga informasi dapat dibaca dengan jelas oleh pengguna. Dengan demikian, LCD I2C 20×4 dinyatakan mampu berfungsi dengan baik sebagai antarmuka lokal pada sistem monitoring panel surya.

5.3.2 Pengujian dan Analisa Keypad I2C

Pengujian keypad I2C dilakukan untuk memastikan setiap tombol dapat menjalankan fungsi navigasi dan kontrol sesuai dengan perancangan sistem. Pengujian dilakukan dengan menekan setiap tombol fungsi kemudian mengamati respons yang ditampilkan pada LCD. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh tombol berfungsi sesuai dengan perancangannya, yaitu tombol 1 untuk menampilkan data sensor BH1750, tombol 2 untuk menampilkan data sensor INA219, tombol 3 untuk mengirim data monitoring ke Google Spreadsheet secara manual yang hanya aktif di luar jam pengiriman otomatis (pukul 17.00–10.00 WIB), tombol 4 untuk mengirim data monitoring ke Telegram secara manual, tombol 5 untuk menampilkan hasil perhitungan efisiensi panel surya, serta tombol 0 untuk kembali ke menu utama. Seluruh fungsi dapat dijalankan dengan baik sehingga proses navigasi sistem menjadi

lebih mudah dan interaktif bagi pengguna. Ringkasan hasil pengujian fungsi setiap tombol keypad disajikan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Fungsi Tombol Keypad I2C

Tombol	Fungsi	Hasil Pengujian
1	Menampilkan data sensor BH1750	Berhasil
2	Menampilkan data sensor INA219	Berhasil
3	Kirim manual ke Google Spreadsheet (aktif pukul 17.00–10.00)	Berhasil
4	Mengirim data monitoring ke Telegram secara manual	Berhasil
5	Menampilkan nilai efisiensi panel surya	Berhasil
0	Kembali ke menu utama	Berhasil

5.4 Pengujian dan Analisa Sistem Monitoring IoT

Pengujian sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dilakukan untuk memastikan pengiriman, penyimpanan, dan pemantauan data hasil pengukuran berjalan dengan baik. Pengujian meliputi pengiriman data ke Google Spreadsheet untuk data logging serta Telegram Bot untuk monitoring dan notifikasi pengguna.

5.4.1 Pengujian dan Analisa Google Spreadsheet

Pengujian Google Spreadsheet dilakukan untuk memastikan data hasil pengukuran dapat tersimpan secara otomatis sebagai data historis sistem monitoring panel surya. Pengujian dilakukan dengan membiarkan sistem beroperasi sesuai interval pengiriman data yang telah ditentukan pada program, serta menguji fitur

pengiriman data secara manual melalui tombol keypad. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 5.8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	WAKTU	Lux	Tegangan	Arus	Pin	Pout	Efisiensi						
767	25 Jun 2026, 00:00	0.83 Lux	0.02 V	-1.10 mA	0.00 W	-0.02 W	-2151.0 %						
768	25 Jun 2026, 00:01	0.83 Lux	0.00 V	-0.10 mA	0.00 W	-0.00 W	-1673.0 %						
769	25 Jun 2026, 00:02	0.83 Lux	0.02 V	-0.40 mA	0.00 W	-0.01 W	-6214.0 %						
770	25 Jun 2026, 00:03	0.83 Lux	0.00 V	-1.00 mA	0.00 W	-0.02 W	-7170.0 %						
771	25 Jun 2026, 00:04	0.83 Lux	-0.00 V	1.40 mA	0.00 W	0.03 W	-956.0 %						
772	25 Jun 2026, 00:06	0.83 Lux	0.02 V	-1.10 mA	0.00 W	-0.02 W	1673.0 %						
773	25 Jun 2026, 00:07	0.83 Lux	0.00 V	-1.70 mA	0.00 W	-0.03 W	717.0 %						
774	25 Jun 2026, 00:08	0.83 Lux	-0.00 V	-0.30 mA	0.00 W	-0.01 W	1912.0 %						
775	25 Jun 2026, 00:09	0.83 Lux	0.00 V	0.80 mA	0.00 W	0.02 W	-1434.0 %						
776	25 Jun 2026, 00:10	0.83 Lux	0.00 V	-1.50 mA	0.00 W	-0.03 W	-5975.0 %						
777	25 Jun 2026, 00:11	0.83 Lux	0.02 V	-0.50 mA	0.00 W	-0.01 W	-956.0 %						
778	25 Jun 2026, 00:12	0.83 Lux	0.01 V	-1.00 mA	0.00 W	-0.02 W	-6692.0 %						
779	25 Jun 2026, 00:13	0.83 Lux	0.00 V	1.10 mA	0.00 W	0.02 W	-478.0 %						
780	25 Jun 2026, 00:14	0.83 Lux	-0.00 V	0.20 mA	0.00 W	0.00 W	-3524.0 %						
781	25 Jun 2026, 00:18	0.83 Lux	-0.00 V	-1.20 mA	0.00 W	-0.02 W	-2390.0 %						
782	25 Jun 2026, 00:19	0.83 Lux	-0.00 V	-1.60 mA	0.00 W	-0.03 W	478.0 %						
783	25 Jun 2026, 00:20	0.83 Lux	0.02 V	-0.50 mA	0.00 W	-0.01 W	-956.0 %						
784	25 Jun 2026, 00:21	0.83 Lux	0.01 V	-3.00 mA	0.00 W	-0.06 W	-717.0 %						
785	25 Jun 2026, 00:22	0.83 Lux	0.01 V	-0.80 mA	0.00 W	-0.02 W	956.0 %						
786	25 Jun 2026, 00:23	0.83 Lux	-0.00 V	-1.00 mA	0.00 W	-0.02 W	-1912.0 %						
787	25 Jun 2026, 00:24	0.83 Lux	0.02 V	-1.20 mA	0.00 W	-0.02 W	-5019.0 %						
788	25 Jun 2026, 00:25	0.83 Lux	-0.00 V	-2.30 mA	0.00 W	-0.04 W	-717.0 %						

Gambar 5.8 Hasil Menampilkan Data di Google Spreadsheet

Data yang tersimpan pada setiap baris meliputi waktu pencatatan, intensitas cahaya (Lux), tegangan, arus, daya masukan (Pin), daya keluaran (Pout), dan nilai efisiensi. Pengujian pengiriman manual dilakukan dalam dua skenario. Pada skenario pertama, tombol 3 ditekan di luar jam operasional sistem berhasil mengirimkan data dan LCD menampilkan notifikasi keberhasilan upload. Pada skenario kedua, tombol 3 ditekan saat jam operasional masih aktif (10.00–17.00) sistem menolak perintah dan LCD menampilkan pesan "*Pengiriman Manual Dibatalkan! Msh jam operasional kirim otomatis aktif*" sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Tampilan LCD saat Pengiriman Manual Ditolak karena Masih Jam Operasional

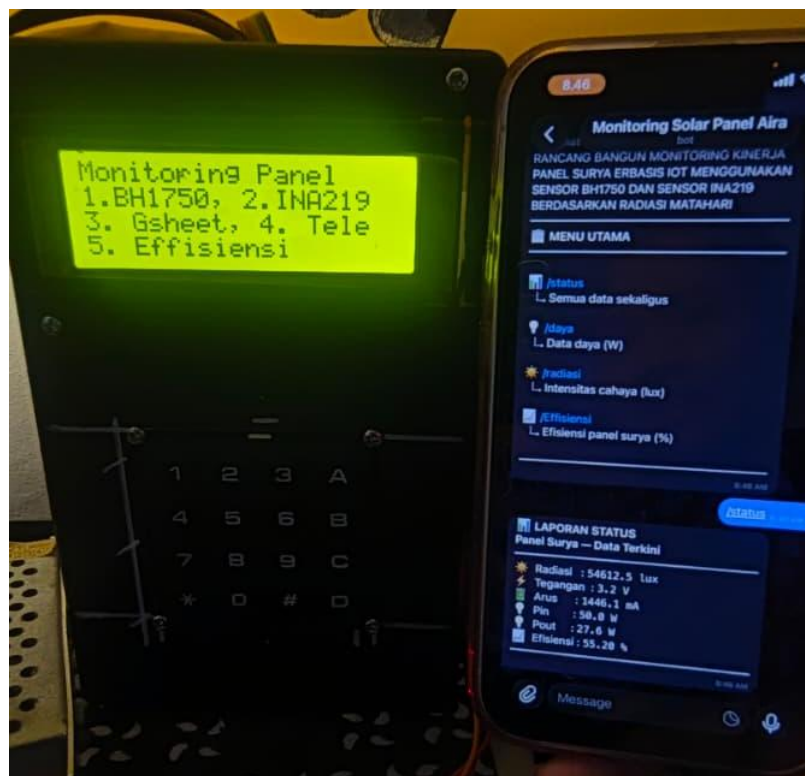
Pengujian mekanisme *cooldown* dilakukan dengan menekan tombol 3 dua kali berturut-turut dengan jeda kurang dari 1 menit. Pada percobaan kedua, sistem menolak pengiriman dan LCD menampilkan pesan "*Upload Manual Baru Saja Dilakukan Tunggu 1 menit untuk kirim lagi*" sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.10. Setelah jeda lebih dari 1 menit, tombol 3 kembali dapat digunakan. Mekanisme ini berhasil mencegah duplikasi data pada Google Spreadsheet.



Gambar 5.10 Tampilan LCD saat Pengiriman Manual Ditolak karena *Cooldown* 1 Menit Belum Selesai

5.4.2 Pengujian dan Analisa Telegram Bot

Pengujian Telegram Bot dilakukan untuk memastikan setiap perintah (*command*) yang tersedia, yaitu `/start`, `/daya`, `/radiasi`, `/status`, dan `/Effisiensi`, dapat memberikan balasan sesuai dengan data hasil pengukuran terkini. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan setiap command melalui aplikasi Telegram, kemudian membandingkan data yang diterima dengan data pada LCD dan Serial Monitor. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hasil Pengujian Telegram Bot

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Telegram Bot

No.	Command Telegram	Fungsi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	/start	Menampilkan menu dan daftar command	Berhasil	Sesuai perancangan
2	/daya	Menampilkan data tegangan, arus, dan daya panel	Berhasil	Data sesuai hasil pembacaan INA219
3	/radiasi	Menampilkan data intensitas cahaya (BH1750)	Berhasil	Data sesuai hasil pembacaan sensor
4	/status	Menampilkan kondisi monitoring panel surya	Berhasil	Informasi sesuai kondisi sistem
5	/Effisiensi	Menampilkan nilai efisiensi panel surya	Berhasil	Nilai sesuai hasil perhitungan sistem

Berdasarkan hasil pengujian Telegram Bot pada Tabel 5.5, seluruh *command* berhasil dijalankan dengan baik dan mampu menampilkan informasi yang sesuai dengan kondisi sistem secara *real-time*. Selain itu, sistem juga dirancang untuk

mengirimkan notifikasi otomatis apabila terjadi penurunan efisiensi panel surya. Selain pengujian command, dilakukan pula pengujian terhadap mekanisme notifikasi otomatis yang dirancang untuk memberikan peringatan kepada pengguna apabila terjadi penurunan efisiensi panel surya. Pengujian dilakukan bersamaan dengan proses pengambilan data selama tiga hari sehingga kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan kondisi panel dan mengirimkan notifikasi dapat dievaluasi. Hasil pengujian dibahas lebih lanjut pada Subbab 5.5 seluruh data pengujian diperoleh.

5.5 Pengujian Perbandingan Perhitungan Iradiasi dengan Alat Ukur Iradiasi (Solar Power Meter)

Pengujian kinerja panel surya pada kondisi normal dilakukan untuk mengetahui kondisi awal panel sebelum dilakukan pengujian penurunan kinerja. Pengujian dilakukan pada pukul 10.00–17.00 WIB menggunakan panel surya polikristalin 50 Wp dengan beban dummy load berupa 4 resistor kapur $10\ \Omega\ 15\ W$ yang dipasang secara seri dan paralel sehingga menghasilkan resistansi total sebesar $10\ \Omega$.

Pada pengujian ini, sensor BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari dalam satuan lux. Solar radiance meter digunakan sebagai alat pembanding untuk menyesuaikan hasil pembacaan BH1750 dengan kondisi radiasi matahari aktual. Sementara itu, sensor INA219 digunakan untuk mengukur tegangan dan arus keluaran panel. Seluruh data hasil pengukuran dicatat oleh sistem monitoring untuk mengetahui perubahan kondisi panel selama pengujian.

Hasil pengujian pada kondisi normal digunakan sebagai data awal untuk mengetahui kinerja panel surya sebelum dilakukan pengujian penurunan kinerja. Data hasil pengukuran BH1750 dan solar radiance meter digunakan untuk melihat kesesuaian pembacaan intensitas cahaya dengan kondisi radiasi aktual. Data tegangan dan arus dari INA219 digunakan untuk mengetahui daya keluaran panel pada kondisi tersebut.

Waktu	Radiasi Alat Konversi	Dokumentasi	Solar Meter (W/m ²)	Dokumentasi	Selisih	Error (%)
12:00 WIB	693		696		3	0,43
15:00 WIB	395		401		6	1,50

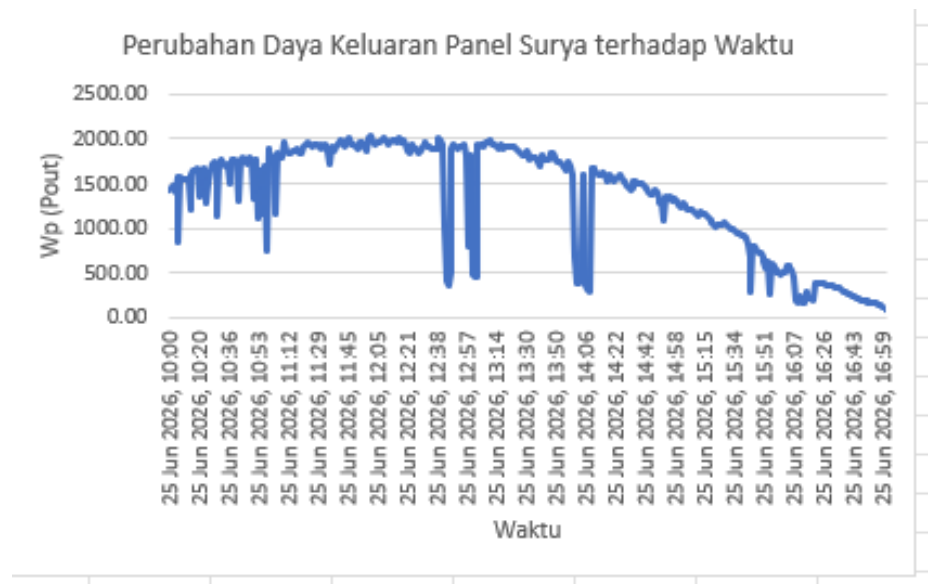
Berdasarkan hasil pengujian, pada pukul 12.00 WIB sensor BH1750 menunjukkan nilai radiasi sebesar 693 lux, sedangkan solar radiance meter menunjukkan nilai 696 W/m². Hasil perbandingan menunjukkan selisih sebesar 3 dengan error sebesar 0,43%. Pada pukul 15.00 WIB, sensor BH1750 menunjukkan nilai 395 lux, sedangkan solar radiance meter menunjukkan nilai 401 W/m², dengan selisih sebesar 6 dan error sebesar 1,50%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan BH1750 setelah dikonversi menjadi nilai irradiance memiliki hasil yang mendekati pembacaan solar radiance meter. Nilai error pada kedua pengujian berada di bawah 2%, sehingga hasil pembacaan BH1750 dapat digunakan untuk memantau perubahan intensitas cahaya matahari. Namun, pada perhitungan irradiance untuk analisis kinerja panel, nilai dari solar radiance meter digunakan secara langsung karena alat tersebut memberikan hasil pengukuran dalam satuan W/m² tanpa memerlukan proses konversi.

5.6 Pengujian Kinerja Panel Surya pada Kondisi Efisiensi Normal

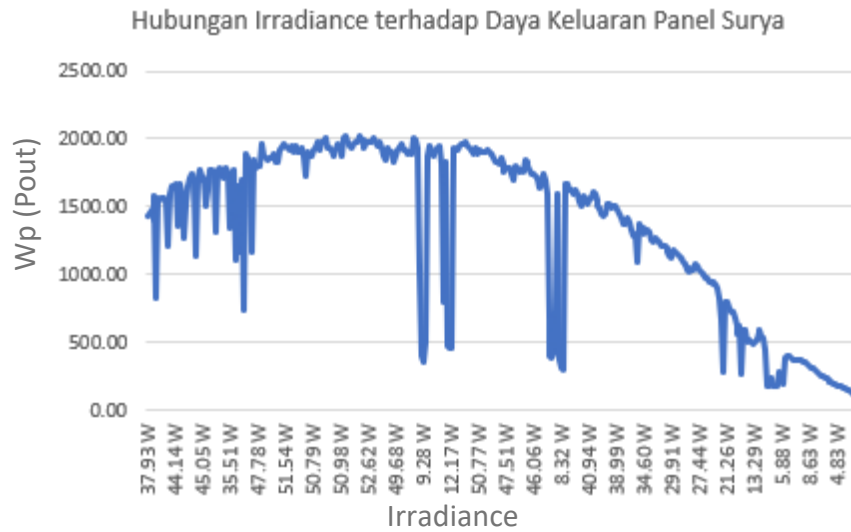
Pengujian kinerja panel surya pada kondisi efisiensi normal dilakukan selama satu hari, yaitu pada tanggal 25 Juni 2026. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati hubungan antara intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya dengan daya keluaran yang dihasilkan, serta mengevaluasi nilai efisiensi konversi panel dalam kondisi cuaca cerah tanpa adanya penghalang pada permukaan panel. Hasil pengujian digunakan sebagai data acuan (*baseline*) kinerja normal sistem sebelum dilakukan pengujian pada kondisi penurunan efisiensi. Pengambilan data dilakukan mulai pukul 10.00 hingga 17.00 WIB dengan interval pencatatan data ke *Google Spreadsheet* setiap

1 menit. Selama periode pengujian, sistem secara otomatis mencatat waktu, intensitas cahaya (lux), tegangan, arus, daya masukan (P_{in}), daya keluaran (P_{out}), dan nilai efisiensi panel surya secara *real-time*.



Gambar 5.12 Grafik Daya Keluaran Panel Surya terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 5.12 yang menunjukkan perubahan daya keluaran panel surya terhadap waktu pada Hari ke-1, terlihat bahwa daya keluaran (P_{out}) mengalami fluktuasi selama periode pengujian. Pada awal pengujian sekitar pukul 10.00 WIB, nilai P_{out} berada pada kisaran 1.400–1.600 Wp dan kemudian meningkat hingga mencapai sekitar 1.900–2.000 Wp pada rentang pukul 11.00–13.00 WIB. Fluktuasi serta penurunan daya secara tiba-tiba pada beberapa waktu menunjukkan adanya perubahan intensitas radiasi matahari yang diterima panel, yang dapat disebabkan oleh kondisi awan yang menutupi panel secara sesaat. Setelah sekitar pukul 13.30 WIB, daya keluaran mulai menunjukkan tren penurunan secara bertahap hingga sore hari. Penurunan tersebut semakin terlihat setelah pukul 15.00 WIB dan terus berlanjut hingga akhir pengujian, seiring dengan berkurangnya intensitas radiasi matahari.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Irradiance terhadap Daya Keluaran Panel Surya

Selanjutnya, berdasarkan Gambar 5.13 yang menunjukkan hubungan *irradiance* terhadap daya keluaran panel surya, terlihat bahwa peningkatan nilai *irradiance* secara umum diikuti oleh peningkatan daya keluaran (*Pout*). Pada nilai *irradiance* yang lebih tinggi, daya keluaran panel berada pada kisaran 1.800–2.000 Wp, sedangkan ketika nilai *irradiance* menurun, *Pout* juga mengalami penurunan secara bertahap. Grafik juga menunjukkan beberapa penurunan daya secara tiba-tiba pada nilai *irradiance* tertentu yang menunjukkan adanya fluktuasi penerimaan radiasi matahari selama pengujian. Secara keseluruhan, kedua grafik menunjukkan bahwa perubahan intensitas radiasi matahari berpengaruh terhadap daya keluaran panel surya, di mana daya keluaran tertinggi diperoleh pada kondisi *irradiance* yang lebih tinggi.

Berdasarkan data yang tercatat selama pengujian, intensitas cahaya rata-rata pada Hari ke-1 adalah 40.038,3 lux, dengan *Pin* rata-rata sebesar 37,16 W dan *Pout* rata-rata sebesar 36,05 W. Efisiensi konversi rata-rata yang diperoleh pada hari ini adalah 94,00%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran dan monitoring perubahan kondisi radiasi matahari serta daya keluaran panel secara *real-time* selama periode pengujian.

5.7 Pengujian dan Analisa Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja komponen yang telah diintegrasikan, meliputi sensor BH1750, sensor INA219, LCD I2C 20×4, keypad I2C, Google Spreadsheet, dan Telegram Bot. Pengujian dilakukan pada panel surya yang terhubung dengan *dummy load* berupa resistor kapur dan terkena pencahayaan matahari secara langsung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor BH1750 dan INA219 berhasil melakukan pembacaan intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya keluaran panel. Data hasil pengukuran juga berhasil ditampilkan pada LCD serta dikirim ke Google Spreadsheet dan Telegram Bot secara *real-time*. Nilai efisiensi rata-rata berada pada rentang 13%–15% sebagai acuan kondisi normal, sehingga sistem dinyatakan mampu melakukan monitoring kinerja panel surya dengan baik.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

No	Aspek Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Sensor BH1750 (Tujuan 1)	Berhasil	Sensor berhasil mengukur intensitas cahaya matahari dengan baik dan memiliki selisih pembacaan yang kecil dibandingkan lux meter.
2	Sensor INA219 (Tujuan 2)	Berhasil	Sensor berhasil mengukur tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya dengan hasil yang mendekati pengukuran multimeter.
3	Monitoring Lokal dan IoT (Tujuan 3)	Berhasil	Sistem berhasil menampilkan data pada LCD, menerima navigasi melalui keypad, serta mengirimkan data ke Google Spreadsheet dan Telegram Bot

No	Aspek Pengujian	Hasil	Keterangan
			secara real-time melalui jaringan WiFi.
4	Pengujian Perhitungan Irradiance Menggunakan Solar Power Meter	Berhasil	Perhitungan <i>irradiance</i> berdasarkan daya panel, luas panel, dan efisiensi dibandingkan dengan hasil pengukuran Solar Power Meter untuk mengetahui kesesuaian nilai irradiance hasil perhitungan dengan kondisi aktual.
5	Analisis Kinerja Panel Surya (Tujuan 4)	Berhasil	Sistem berhasil menghitung efisiensi panel surya berdasarkan data hasil pengukuran serta menyajikan hasil monitoring secara real-time.

Rekapitulasi hasil pengujian keseluruhan sistem disajikan pada Tabel 5.6. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh sistem telah berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian meliputi pembacaan intensitas cahaya menggunakan sensor BH1750, pengukuran tegangan, arus, dan daya menggunakan sensor INA219, monitoring lokal dan IoT, perhitungan *irradiance* yang dibandingkan dengan hasil pengukuran Solar Power Meter, serta analisis efisiensi panel surya. Seluruh pengujian menunjukkan hasil berhasil, sehingga sistem mampu melakukan pengukuran, perhitungan, dan monitoring kinerja panel surya secara real-time.