

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Pengujian

Tahap pengujian dilakukan setelah proses perancangan dan implementasi selesai dilakukan. Tahap pengujian alat bertujuan untuk menguji apakah alat yang sudah diimplementasikan sesuai dengan perencanaan dan memiliki kinerja yang baik atau tidak. Berikut ini adalah hal yang akan diuji pada penelitian ini.

1. Pengujian komponen penyusun PLTS *off-grid*. Komponen yang diuji adalah SCC, baterai, dan wattmeter.
2. Pengujian PLTS *off-grid* dengan mengamati hasil yang didapat pada pengukuran panel surya, variabel yang diamati adalah arus (A), tegangan (V), daya (W), energi (Wh), *wattpeak* (Wp) dan cuaca.
3. Pengujian pengisian dan pengosongan baterai. Pengujian pengisian baterai dilakukan dengan metode tegangan terbuka (*open voltage circuit*) variabel yang diamati adalah waktu, arus (A), tegangan (V) dan daya (W). Dan untuk pengujian pengosongan baterai dilakukan dengan dua beban yang berbeda yaitu beban *monitoring* sistem kendali irigasi dan beban *monitoring* sistem kendali irigasi yang diintegrasikan dengan pompa air. Variabel yang diamati adalah waktu, arus (A), tegangan (V), daya (W) dan kapasitas baterai (Ah).
4. Pengujian sistem kendali irigasi tetes. Variabel yang diuji adalah kelembapan tanah dan waktu penyiraman tanaman. Hasil dari pengujian kelembapan tanah akan dibandingkan dengan alat ukur.

Tahap pengujian alat dilakukan di Perumahan Pasanggrahan Indah, Kec. Ujung Berung, Kota Bandung dengan suhu rata-rata 32,9°. Alat yang dibuat sudah mengikuti hasil rancangan yang dilakukan pada tahap perancangan alat.

5.1.1 Pengujian Alat

Tahap pertama dalam proses pengujian adalah menguji alat ukur dan komponen yang digunakan pada penelitian. Pengujian alat bertujuan untuk memastikan bahwa alat ukur dan komponen masih layak digunakan. Pengujian alat

mencakup pengecekan baterai, pengecekan SCC, pengecekan wattmeter dan *battery analyzer* PZEM-015.

5.1.1.1 Pengecekan Baterai

Pengecekan baterai bertujuan untuk mengetahui kelayakan baterai yang digunakan dalam penelitian sehingga tidak menimbulkan masalah saat pengambilan data. Hasil pengukuran menggunakan multimeter menunjukkan tegangan 12,65 V, hal ini menunjukkan bahwa baterai dalam kondisi yang baik. Karena tegangan 12,6 V - 12,8 V merupakan tegangan di mana baterai berada setelah diisi penuh dan dibiarkan selama beberapa jam tanpa beban atau pengisian. Gambar 5.1 merupakan hasil pengecekan baterai menggunakan multimeter.



Gambar 5.1 Pengecekan baterai menggunakan multimeter

5.1.1.2 Pengecekan SCC

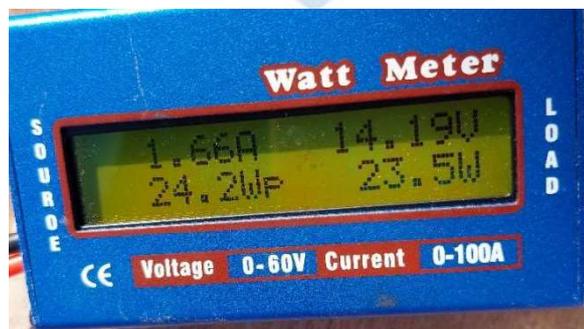
Pengecekan SCC bertujuan untuk mengetahui kelayakan SCC yang digunakan dalam penelitian. SCC bertugas untuk mengontrol pengisian baterai, jika terjadi masalah pada SCC maka akan merusak baterai. Ketika SCC sudah terhubung dengan panel surya dan baterai, SCC dapat menampilkan nilai dari tegangan pengisian baterai oleh panel surya, tegangan baterai dan tegangan penggunaan beban langsung dari SCC. Pengecekan SCC dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pengecekan SCC

5.1.1.3 Wattmeter

Penelitian ini menggunakan dua buah wattmeter, wattmeter DC tersambung pada jalur panel surya menuju SCC, *Battery analyzer* PZEM-015 tersambung pada jalur baterai menuju beban. Wattmeter DC digunakan untuk mengukur nilai arus, tegangan, dan daya yang masuk dari panel surya menuju SCC. Berfungsi atau tidaknya wattmeter dapat dilihat melalui *display* wattmeter. Jika *display* wattmeter menyala dan sudah terlihat parameternya, maka wattmeter sudah tersambung dan dapat berfungsi. Pengecekan wattmeter DC dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pengecekan wattmeter

Battery analyzer PZEM-015 digunakan untuk mengukur tegangan baterai, arus, daya, dan energi yang digunakan oleh beban dalam rentang waktu tertentu. Berfungsi atau tidaknya wattmeter PZEM-015 dapat dilihat melalui *display* wattmeter PZEM-015. Jika *display* wattmeter PZEM-015 menyala dan sudah terlihat parameternya, maka wattmeter sudah tersambung dan dapat berfungsi. Pengecekan *Battery analyzer* PZEM-015 dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Pengecekan *battery analyzer* PZEM-015

5.1.2 Pengujian Panel Surya

Pengujian panel surya dilakukan selama 10 hari dengan mengamati arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Data yang diambil dapat dilihat pada *display wattmeter* yang tersambung diantara jalur panel surya menuju SCC. Pada pengujian ini menambahkan beban *router* sebagai penyeimbang masukan dari panel surya menuju baterai dan keluaran dari baterai menuju beban.

Pengujian panel surya dilaksanakan dengan kondisi yang beragam yaitu, cerah, cerah berawan, berawan dan hujan. Tabel 5.1 merupakan pengujian yang dilakukan pada hari pertama, dan untuk data lainnya terletak di lampiran.

Tabel 5.1 Pengujian panel surya hari ke-1

Waktu	Arus (A)	Tegangan(V)	Daya (W)	<i>Wattpeak</i> (Wp)	Energi (Wh)	Cuaca
08.00	1,45	13,02	18,88	20,3	9,44	C
08.30	1,84	13,97	25,7	27	12,85	C
09.00	2,21	14,31	31,62	32	15,81	C
09.30	2,5	14,69	36,72	37,9	18,36	C
10.00	2,78	14,42	40,09	40,3	20,04	C
10.30	2,76	14,71	40,6	42,6	20,3	C
11.00	2,5	14,69	36,72	37,9	18,36	C
11.30	2,71	15,1	40,92	42,3	20,46	C
12.00	2,56	15,46	39,6	43,5	19,79	C
12.30	2,35	15,36	36,10	43,5	18,05	C
13.00	0,82	13,9	11,4	43,5	5,7	B
13.30	0	13,2	0	43,5	0	B
14.00	0,1	13,37	1,34	43,5	0,67	B
14.30	1,79	14,64	26,2	43,5	13,1	C

Waktu	Arus (A)	Tegangan(V)	Daya (W)	Wattpeak (Wp)	Energi (Wh)	Cuaca
15.00	1,05	15	15,75	43,5	7,87	B
15.30	1,4	15,24	21,34	43,5	10,67	C
Rata-rata					13,22	
Jumlah					211,5	

Keterangan

C = Cerah

B = Berawan

5.1.3 Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian pengisian baterai dilakukan dengan metode tegangan terbuka dimana baterai tidak terhubung dengan beban. Pengujian pengisian baterai bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh panel surya untuk mengisi baterai dari tegangan 12,1 V sampai 13,03 V. Pencuplikan data dilakukan selama 10 menit sekali. Variabel yang diukur adalah tegangan baterai, waktu, arus, tegangan dan daya panel surya. Data pengukuran pengisian baterai menggunakan panel surya *monocrystalline* 50 Wp dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengujian pengisian baterai

Waktu (menit)	Panel Surya			Tegangan Baterai
	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	
10	1,53	13,87	21,22	12,17
20	1,98	14,27	28,25	12,22
30	2,07	14,55	30,11	12,25
40	1,81	14,09	25,5	12,28
50	1,75	14	24,5	12,3
60	2,02	14,32	28,92	12,33
70	2,08	14,36	29,86	12,36
80	1,85	14,14	26,15	12,38
90	1,05	13,46	14,13	12,4
100	1,34	13,66	18,3	12,44
110	2,39	14,41	34,43	12,47
120	2,35	14,51	34	12,51
130	2,3	14,68	33,76	12,55
140	2,81	15,04	42,26	12,59

Waktu (menit)	Panel Surya			Tegangan Baterai
	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	
150	2,74	15	41,1	12,64
160	2,58	14,86	38,33	12,67
170	2,41	14,85	35,78	12,71
180	2,31	14,76	34,09	12,74
190	2,2	14,73	32,4	12,77
200	1,95	14,6	28,47	12,79
210	1,73	14,36	24,84	12,81
220	2,01	14,65	29,44	12,85
230	2,16	14,66	31,66	12,87
240	2,24	15,08	33,77	12,93
250	2	14,89	29,78	12,95
260	1,96	14,54	28,5	12,99
270	1,84	14,34	26,38	13,03

5.1.4 Pengujian Pengosongan Baterai

Pengujian pengosongan baterai dilakukan dengan dua beban yang berbeda yaitu, beban *monitoring* sistem kendali irigasi dan beban *monitoring* sistem kendali irigasi yang diintegrasikan dengan pompa air. Variabel yang diamati adalah waktu, arus, tegangan, daya dan kapasitas baterai. Komponen yang digunakan dalam *monitoring* kelembapan tanah adalah Arduino UNO, sensor kelembapan tanah, LCD 16x2 dan relai. Hasil pengujian pengosongan baterai menggunakan beban sistem *monitoring* kelembapan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Pengosongan baterai dengan beban *monitoring*

Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Beban			
		Arus (mA)	Daya (W)	Energi (Wh)	Kapasitas (mAh)
30	13,01	56	0,75	0	27
60	12,99	57	0,71	0	55
90	12,99	57	0,71	0	82
120	12,99	58	0,73	0	110
150	12,99	58	0,72	1	133
180	12,99	59	0,74	1	161
210	12,98	59	0,73	2	189

Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Beban			
		Arus (mA)	Daya (W)	Energi (Wh)	Kapasitas (mAh)
240	12,98	57	0,71	2	217
270	12,98	58	0,73	2	246
300	12,97	58	0,73	3	274
330	12,97	57	0,71	3	298
360	12,96	58	0,72	3	331
390	12,96	57	0,71	4	361
420	12,95	58	0,72	4	389
450	12,95	57	0,71	5	422
480	12,95	58	0,72	5	446
510	12,94	59	0,74	5	479

Pengujian selanjutnya adalah pengujian baterai dengan beban sistem *monitoring* kelembapan tanah ditambah pompa air DC 12 V 5 A yang dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Pengujian baterai dengan beban irigasi tanaman

Pengujian	Tegangan awal (V)	Tegangan akhir (V)	beban				Waktu (s)
			arus (mA)	Daya (W)	Energi (Wh)	Kapasitas (mAh)	
1	13	13	755	9,13	0	8	30
2	13	13	743	9,01	0	8	27
3	13	13	737	8,94	0	7	25
4	13	13	738	8,95	0	7	23
5	13	13	738	8,94	0	6	21
6	13	12,99	735	8,83	1	6	20
7	12,99	12,99	735	8,95	1	5	18
8	12,99	12,99	735	8,95	1	4	15
9	12,99	12,99	730	8,88	1	4	14
10	12,99	12,98	745	8,97	1	5	10
Total					1	60	203

5.1.5 Pengujian Sistem Kendali Irigasi Tetes

Pengujian diawali dengan melakukan kalibrasi sensor kelembapan tanah. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor kelembapan tanah yang

dipakai layak atau tidak. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan pada kondisi kelembapan yang berbeda-beda, hasil dari pengukuran sensor dibandingkan dengan alat ukur. Untuk mendapatkan data selisih penguluran dan *error* pada setiap kondisi kelembapan tanah dapat menggunakan rumus seperti berikut.

$$\text{Nilai Error} = \frac{\text{Kelembapan sensor} - \text{kelembapan soil moisture meter}}{\text{kelembapan soil moisture meter}} \times 100\%$$

Hasil kalibrasi sensor kelembapan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Akurasi kelembapan tanah

Pengujian	Kelembapan Tanah			Error
	soil moisture	Soil meter	Selisih	
1	10%	13%	3%	23.07%
2	13%	17%	4%	23.52%
3	28%	32%	4%	12.5%
4	39%	42%	3%	7.14%
5	45%	47%	2%	4.25%
6	51%	54%	3%	5.5%
7	67%	70%	3%	4.28%
8	72%	76%	4%	5.26%
9	81%	84%	3%	3.57%
10	92%	96%	4%	4.16%
Rata-rata	49.8%	53.1%	3.3%	9.32%

Pengujian berikutnya adalah pengujian penaikan kelembapan tanah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh pompa untuk mengairi tanaman. Hasil pengujian penaikan kelembapan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Pengujian penaikan kelembapan tanah

Pengujian	Kelembapan awal sensor (%)	Kelembapan akhir sensor (%)	Kondisi pompa	waktu (s)
1	31%	71%	hidup	46
2	33%	67%	hidup	42
3	35%	68%	hidup	37
4	38%	65%	hidup	33
5	39%	65%	hidup	29
6	41%	63%	hidup	27

Pengujian	Kelembapan awal sensor (%)	Kelembapan akhir sensor (%)	Kondisi pompa	waktu (s)
7	42%	64%	hidup	24
8	46%	61%	hidup	20
9	47%	60%	hidup	18
10	49%	59%	hidup	14

Pengujian berikutnya adalah pengujian sistem kendali irigasi tetes secara keseluruhan. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui apakah sistem yang telah diimplementasikan berjalan dengan baik dan sesuai dengan hasil perancangan. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil sebanyak 10 data. Data yang diambil berupa kelembapan tanah dan kondisi pompa. Hasil pengujian sistem kendali irigasi tetes dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Pengujian sistem kendali irigasi tetes

Pengujian	Nilai kelembapan tanah (%)	Kondisi pompa	Keadaan
1	5%	hidup	sesuai
2	9%	hidup	sesuai
3	14%	hidup	sesuai
4	28%	hidup	sesuai
5	31%	hidup	sesuai
6	58%	mati	sesuai
7	69%	mati	sesuai
8	71%	mati	sesuai
9	73%	mati	sesuai
10	81%	mati	sesuai

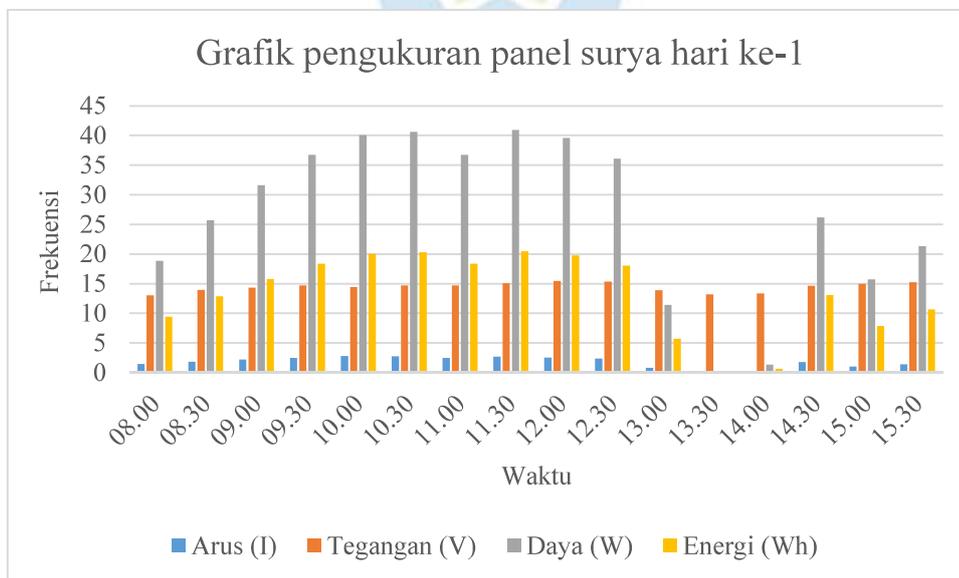
5.2 Analisis

Tahap analisis bertujuan untuk mengolah data yang didapat dari proses penelitian menjadi informasi baru yang mudah dipahami. Analisis pada penelitian ini mencakup analisis pengujian panel surya, analisis pengisian dan pengosongan baterai dan pengujian sistem kendali irigasi tetes.

5.2.1 Analisis Pengujian Panel Surya

Analisis pengujian panel surya dilakukan untuk mengolah data yang dihasilkan oleh panel surya. Data yang diolah merupakan data energi harian yang diproduksi oleh panel surya, dan total energi yang didapatkan selama 10 hari pengujian. Pencuplikan data dilakukan sebanyak 16 kali setiap 30 menit dalam rentang waktu 08.00 – 15.30 WIB per harinya.

Berdasarkan Tabel 5.1 diperoleh data produksi energi listrik dari panel surya hari pertama. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 11.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Kemudian langsung turun secara drastis karena cuaca berawan. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Cuaca pada hari tersebut didominasi cerah dan berawan ketika siang hari. Berdasarkan Tabel 5.1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari pertama berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.

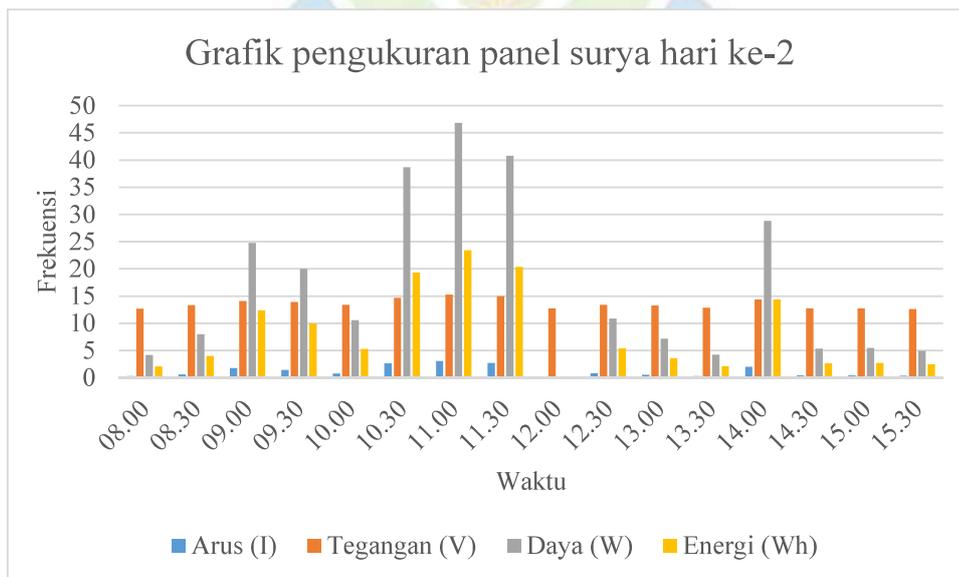


Gambar 5.5 Grafik pengukuran panel surya hari ke-1

Berdasarkan Gambar 5.5 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari pertama adalah 20,46 Wh dengan arus 2,71 A, tegangan 15,1 V dan daya 40,92 W pada pukul 11.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Pukul 13.00 – 14.00 WIB

terjadi penurunan energi akibat cuaca berawan yang mengakibatkan panel surya tidak terpapar sinar matahari. Energi paling sedikit diproduksi pada hari pertama adalah 0 Wh dengan arus 0 A, tegangan 13,2 V, dan daya 0 W pada pukul 13.00 WIB. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 13,25 Wh dan 211,5 Wh. Hal tersebut karena cuaca pada hari pertama didominasi cuaca cerah.

Berdasarkan Tabel 1 yang terdapat pada lampiran 1 diperoleh data produksi energi listrik dari panel surya hari kedua. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik turun secara signifikan karena perubahan cuaca setiap waktu. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 1 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari kedua berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.6.

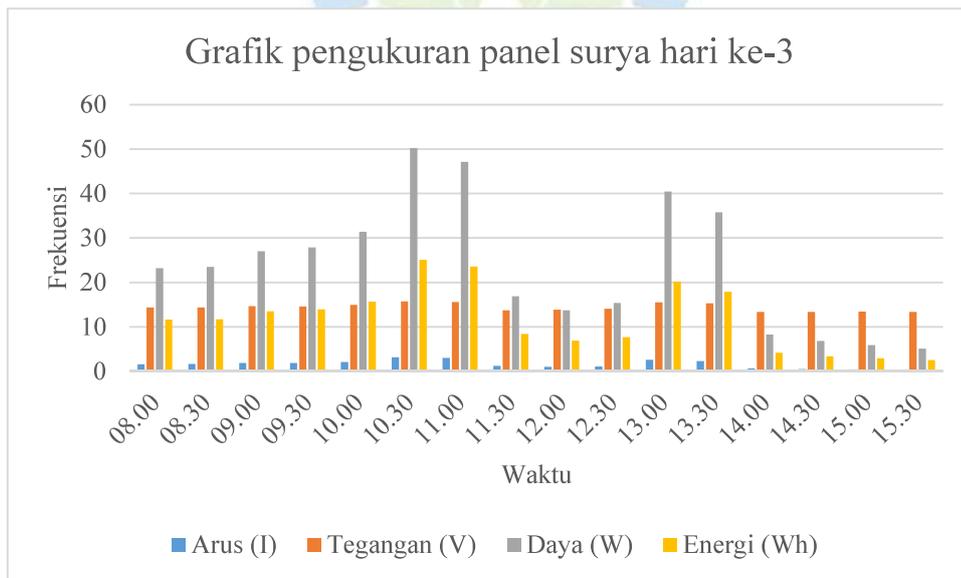


Gambar 5.6 Grafik pengukuran panel surya hari ke-2

Berdasarkan Gambar 5.6 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari kedua adalah 23,42 Wh dengan arus 3,07 A, tegangan 15,26 V dan daya 46,85 W pada pukul 11.00 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Pukul 12.00 – 13.30 WIB terjadi penurunan energi akibat cuaca berawan yang mengakibatkan panel surya tidak terpapar sinar matahari. Energi paling sedikit diproduksi pada hari kedua adalah 0 Wh dengan arus 0 A, tegangan 12,73 V, dan daya 0 W pada pukul 12.00

WIB. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 8,15 Wh dan 130,38 Wh. Produksi energi hari kedua lebih sedikit jika dibandingkan dengan hari pertama. Hal ini dikarenakan cuaca pada hari kedua didominasi cuaca berawan.

Berdasarkan Tabel 2 yang terdapat pada lampiran 2 diperoleh data produksi energi listik dari panel surya hari ketiga. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 10.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 2 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari ketiga berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.7.

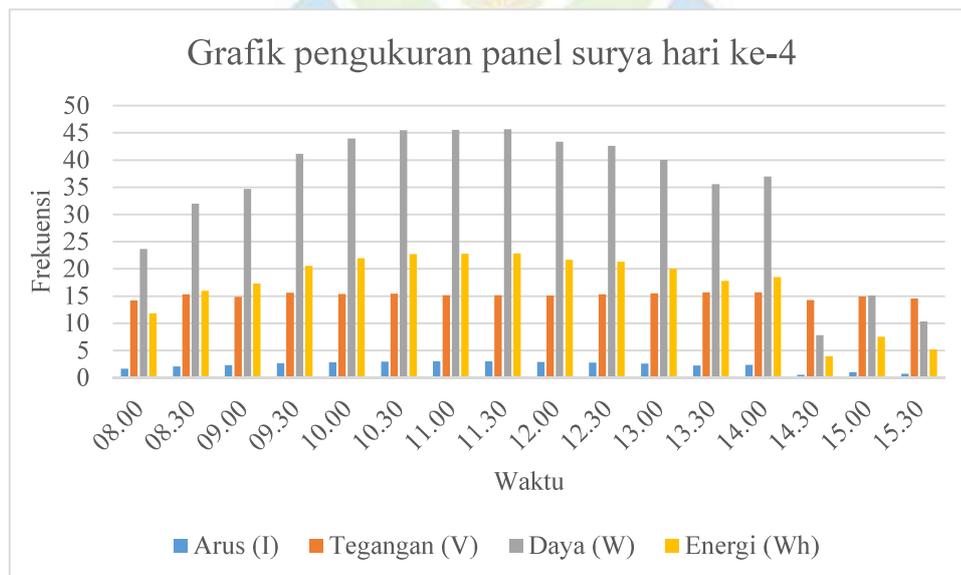


Gambar 5.7 Grafik pengukuran panel surya hari ke-3

Berdasarkan Gambar 5.7 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari ketiga adalah 25,09 Wh dengan arus 3,19 A, tegangan 15,73 V dan daya 50,18 W pada pukul 10.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Pukul 11.30 – 12.30 WIB dan pukul 14.00 – 15.30 WIB terjadi penurunan energi akibat cuaca berawan yang mengakibatkan panel surya tidak terpapar sinar matahari secara maksimal. Energi paling sedikit diproduksi pada hari ketiga adalah 2,54 Wh dengan arus 0,38 A, tegangan 13,38 V, dan daya 5,08 W pada pukul 15.30 WIB. Energi rata-rata dan

total energi yang diproduksi adalah 11,83 Wh dan 189,25 Wh. Produksi energi hari ketiga lebih besar jika dibandingkan dengan hari kedua. Hal ini dikarenakan cuaca pada hari ketiga didominasi cuaca cerah.

Berdasarkan Tabel 3 yang terdapat pada lampiran 3 diperoleh data produksi energi listik dari panel surya hari keempat. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 11.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Kemudian turun secara bertahap hingga turun secara drastis pada pukul 14.30 WIB karena cuaca berawan. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 3 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari keempat berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.8.

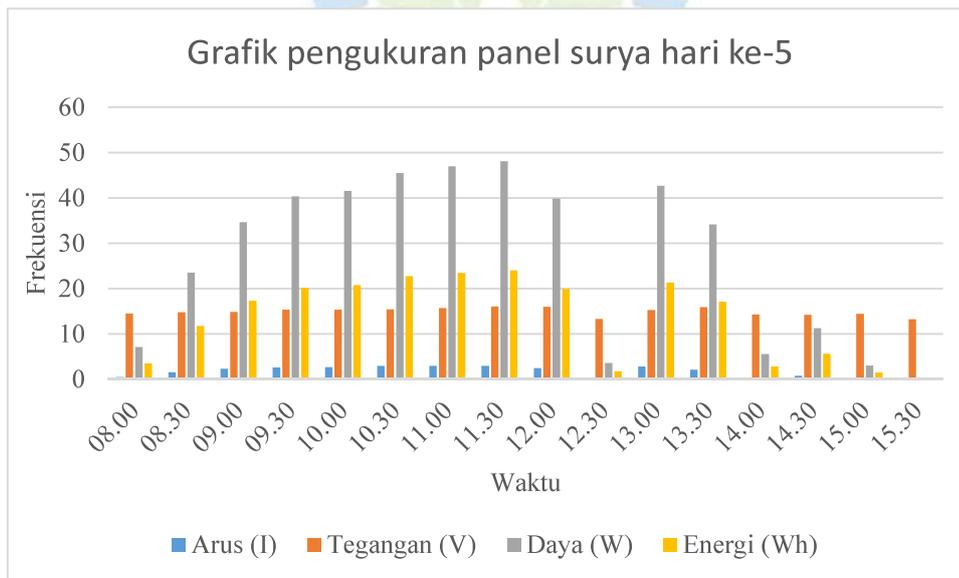


Gambar 5.8 Grafik pengukuran panel surya hari ke-4

Berdasarkan Gambar 5.8 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari keempat adalah 22,83 Wh dengan arus 3,01 A, tegangan 15,17 V dan daya 45,66 W pada pukul 11.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah.. Energi paling sedikit diproduksi pada hari keempat adalah 3,92 Wh dengan arus 0,55 A, tegangan 14,26 V, dan daya 7,84 W pada pukul 14.30 WIB dengan keadaan cuaca berawan. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 17 Wh dan 271,95 Wh. Produksi

energi hari keempat lebih besar jika dibandingkan dengan hari ketiga. Hal ini dikarenakan cuaca pada hari ketiga didominasi cuaca cerah.

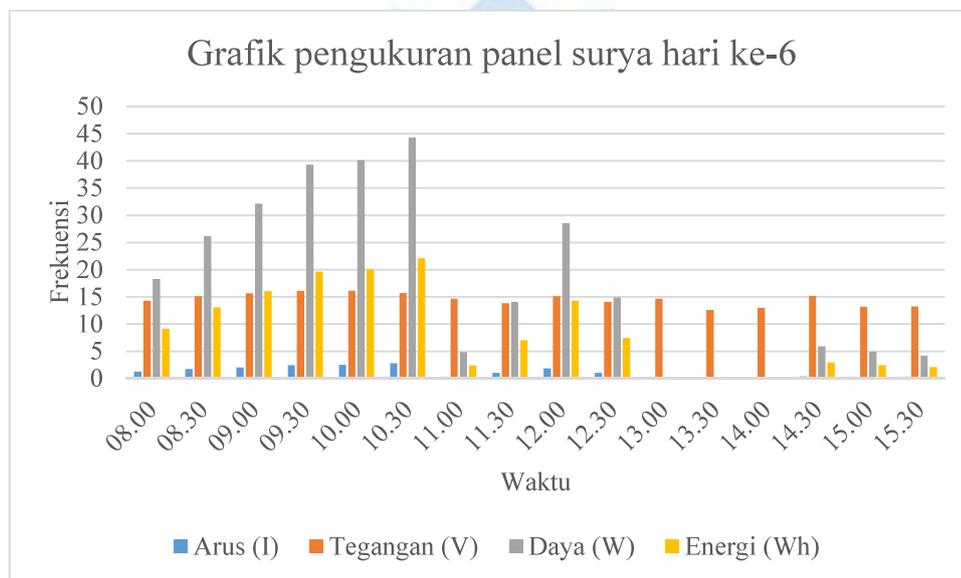
Berdasarkan Tabel 4 yang terdapat pada lampiran 4 diperoleh data produksi energi listrik dari panel surya hari kelima. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 11.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Kemudian turun secara drastis pada pukul 12.30 WIB karena cuaca berawan. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 4 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari kelima berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik pengukuran panel surya hari ke-5

Berdasarkan Gambar 5.9 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari kelima adalah 24,04 Wh dengan arus 2,99 A, tegangan 16,08 V dan daya 48,08 W pada pukul 11.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Energi paling sedikit diproduksi pada hari kelima adalah 0 Wh dengan arus 0 A, tegangan 13,25 V, dan daya 0 W pada pukul 15.30 WIB dengan keadaan cuaca berawan. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 13,37 Wh dan 213,88 Wh. Produksi energi hari kelima lebih kecil jika dibandingkan dengan hari keempat.

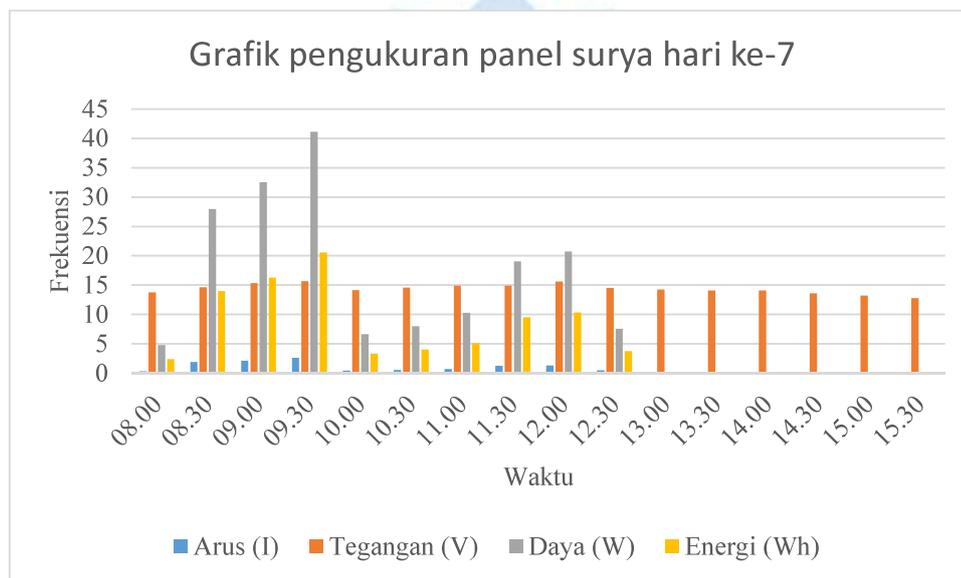
Berdasarkan Tabel 5 yang terdapat pada lampiran 5 diperoleh data produksi energi listrik dari panel surya hari keenam. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 10.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Kemudian turun secara drastis pada pukul 13.00 – 14.00 WIB karena hujan. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 5 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari keenam berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik pengukuran panel surya hari ke-6

Berdasarkan Gambar 5.10 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari keenam adalah 22,13 Wh dengan arus 2,82 A, tegangan 15,70 V dan daya 44,27 W pada pukul 10.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Energi paling sedikit diproduksi pada hari keenam adalah 0 Wh pada pukul 13.00 - 14.00 WIB karena pada waktu tersebut turun hujan sehingga panel surya tidak memproduksi energi listrik. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 8,68 Wh dan 138,85 Wh. Produksi energi hari keenam lebih kecil jika dibandingkan dengan hari kelima. Hal ini dikarenakan cuaca pada hari ketiga didominasi cuaca berawan dan hujan.

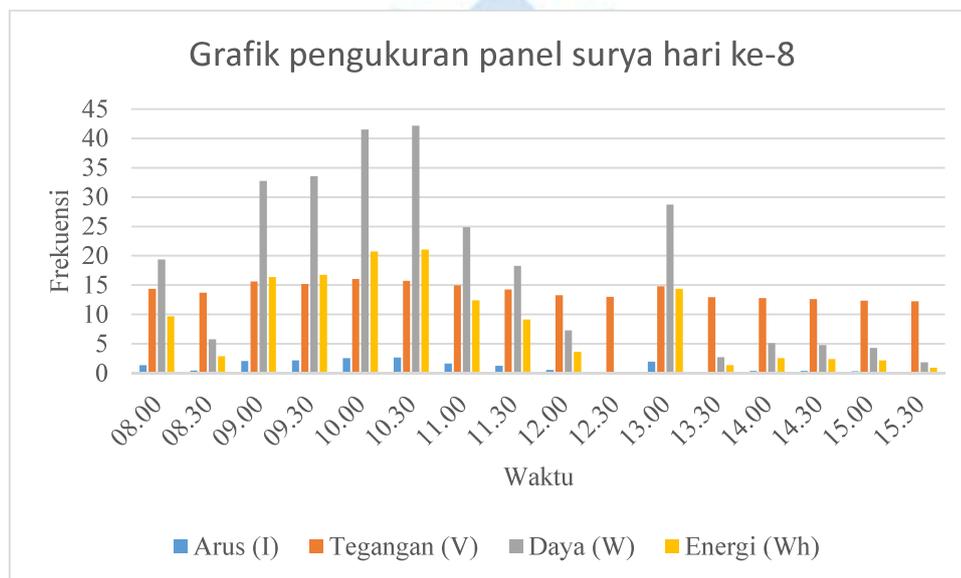
Berdasarkan Tabel 6 yang terdapat pada lampiran 6 diperoleh data produksi energi listrik dari panel surya hari ketujuh. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 09.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Kemudian turun secara drastis pada pukul 13.00 – 15.30 WIB karena hujan. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 6 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari ketujuh berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Grafik pengukuran panel surya hari ke-7

Berdasarkan Gambar 5.11 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari ketujuh adalah 20,56 Wh dengan arus 2,62 A, tegangan 15,70 V dan daya 41,13 W pada pukul 09.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Energi paling sedikit diproduksi pada hari ketujuh adalah 0 Wh pada pukul 13.00 - 15.30 WIB karena pada waktu tersebut turun hujan sehingga panel surya tidak memproduksi energi listrik. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 5,58 Wh dan 89,36 Wh. Produksi energi hari ketujuh lebih kecil jika dibandingkan dengan hari keenam. Hal ini dikarenakan cuaca pada hari ketiga didominasi cuaca berawan dan hujan.

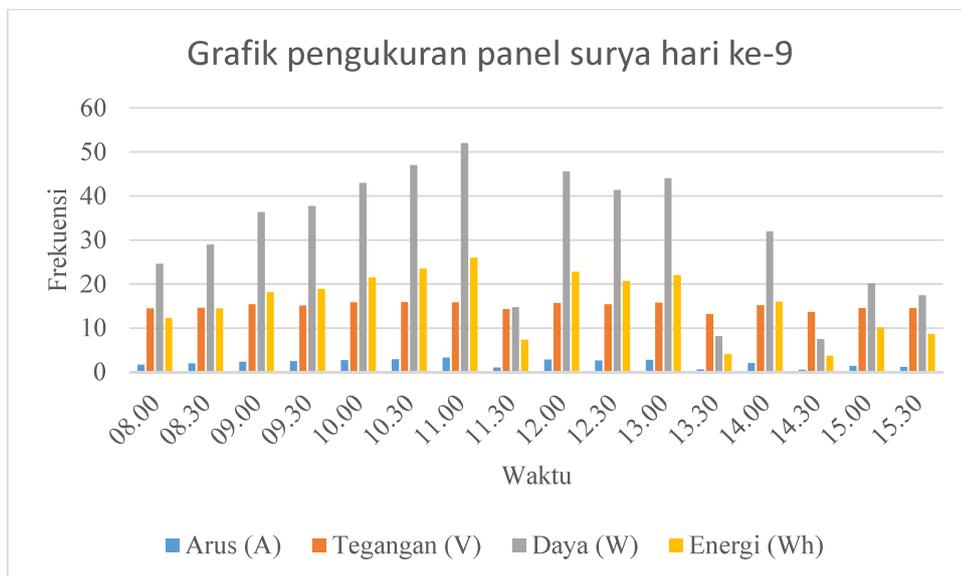
Berdasarkan Tabel 7 yang terdapat pada lampiran 7 diperoleh data produksi energi listik dari panel surya hari kedelapan. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 10.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Kemudian turun secara perlahan dan turun secara drastis pada pukul 13.30 WIB karena cuaca berawan. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 7 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari kedelapan berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Grafik pengukuran panel surya hari ke-8

Berdasarkan Gambar 5.12 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari kedelapan adalah 21,08 Wh dengan arus 2,68 A, tegangan 15,73 V dan daya 42,16 W pada pukul 10.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Energi paling sedikit diproduksi pada hari pertama adalah 0 Wh dengan arus 0 A, tegangan 13,01 V dan daya 0 W pada pukul 12.30 WIB karena pada waktu tersebut turun hujan sehingga panel surya tidak memproduksi energi listrik. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 8,53 Wh dan 136,5 Wh. Walaupun cuaca pada hari kedelapan didominasi cuaca berawan, namun produksi energi hari kedelapan lebih besar jika dibandingkan dengan hari ketujuh.

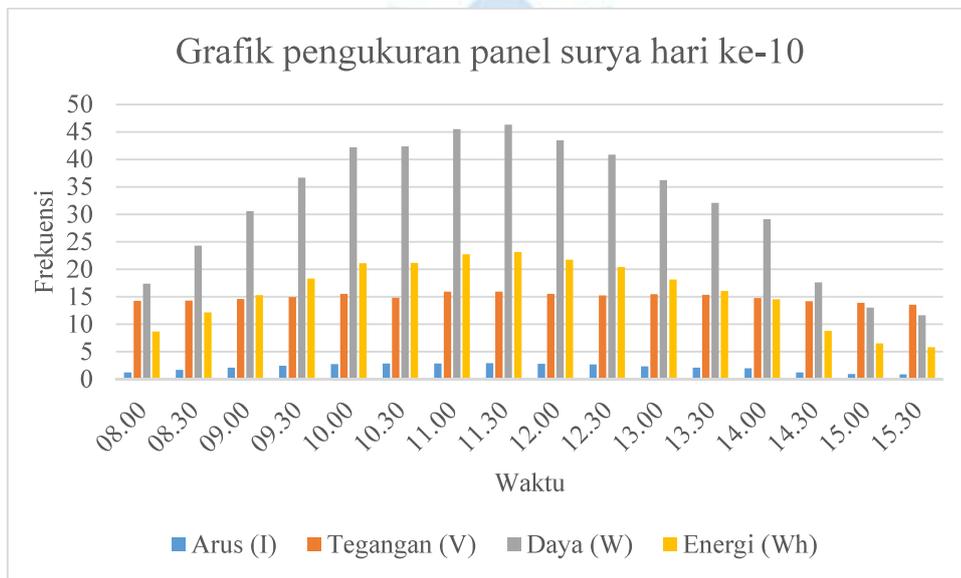
Berdasarkan Tabel 8 yang terdapat pada lampiran 8 diperoleh data produksi energi listik dari panel surya hari kesembilan. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 11.00 WIB ketika kondisi cuaca cerah. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 8 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari kesembilan berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik pengukuran panel surya hari ke-9

Berdasarkan Gambar 5.13 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari kesembilan adalah 26,01 Wh dengan arus 3,28 A, tegangan 15,86 V dan daya 52,02 W pada pukul 11.00 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Energi paling sedikit diproduksi pada hari kesembilan adalah 3,75 Wh dengan arus 0,55 A, tegangan 13,66 V dan daya 7,51 W pada pukul 14.30 WIB karena pada waktu tersebut cuacanya berawan sehingga panel surya tidak memproduksi energi listrik dengan maksimal. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 15,65 Wh dan 250,49 Wh. produksi energi hari kesembilan lebih besar jika dibandingkan dengan hari kedelapan. Karena cuaca pada hari kesembilan didominasi cuaca cerah.

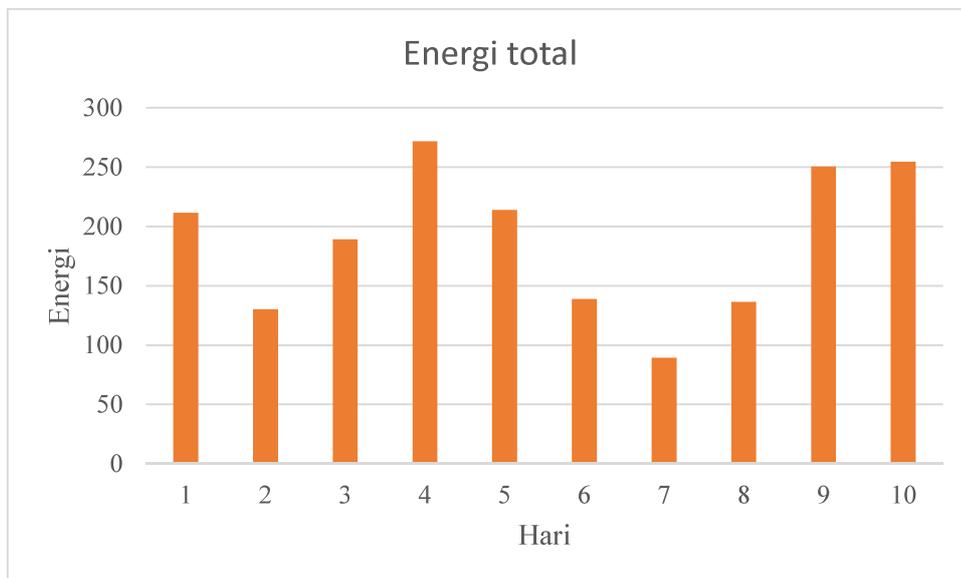
Berdasarkan Tabel 9 yang terdapat pada lampiran 9 diperoleh data produksi energi listik dari panel surya hari kesepuluh. Dapat dilihat tegangan dan arus panel surya berubah-ubah setiap setengah jam dikarenakan kondisi cuaca yang berubah setiap waktu. Daya yang diproduksi panel surya naik secara bertahap dari pukul 08.00 WIB hingga puncak pada pukul 11.30 WIB ketika kondisi cuaca cerah dan turun secara bertahap hingga pukul 15.30. Sampel data diambil mulai dari pukul 08.00 – 15.30 WIB. Berdasarkan Tabel 9 yang terdapat pada lampiran 1 didapatkan grafik pengukuran panel surya hari kesepuluh berupa empat variabel, yaitu arus, tegangan, daya dan energi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.6. Adapun grafik pengukuran hari kesepuluh dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Grafik pengukuran panel surya hari ke-10

Berdasarkan Gambar 5.14 energi paling tinggi yang diproduksi pada hari kesepuluh adalah 23,16 Wh dengan arus 2,91 A, tegangan 15,92 V dan daya 46,32 W pada pukul 11.30 WIB dengan keadaan cuaca cerah. Energi paling sedikit diproduksi pada hari kesepuluh adalah 5,81 Wh dengan arus 0,86 A, tegangan 13,52 V dan daya 11,63 W pada pukul 15.30 WIB. Energi rata-rata dan total energi yang diproduksi adalah 15,91 Wh dan 254,6 Wh. produksi energi hari kesepuluh lebih besar jika dibandingkan dengan hari kesembilan. Karena cuaca pada hari kesepuluh didominasi cuaca cerah.

Berdasarkan data pengujian panel surya yang dilakukan selama 10 hari, dapat disimpulkan bahwa daya keluaran dari panel surya memiliki nilai yang selalu berubah-ubah. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya, temperatur dan perubahan cuaca yang tidak menentu sehingga dapat menyebabkan daya keluaran panel surya berfluktuasi. Berdasarkan sepuluh hari pengujian panel surya didapatkan grafik energi terhadap hari yang dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik energi panel surya selama 10 hari pengujian

Berdasarkan Gambar 5.15 hari ke-10 memiliki energi rata-rata dan energi total paling banyak, yaitu sebesar 15,91 Wh dan 254,6 Wh. Karena cuaca pada hari ke-10 didominasi oleh cuaca cerah sehingga panel surya dapat menyerap sinar matahari secara maksimal. Sedangkan hari dengan energi rata-rata dan energi total paling rendah adalah hari ke-7 sebesar 5,58 Wh dan 89,36 Wh. Karena pada hari ke-7 cuaca didominasi oleh cuaca berawan dan hujan sehingga panel surya tidak mendapat sinar matahari secara maksimal. Energi total yang didapatkan selama sepuluh hari pengujian adalah 1886,76 Wh.

5.2.2 Analisis Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian pengisian baterai dilakukan secara langsung tanpa terhubung dengan beban. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari pengisian

baterai VRLA AGM 12 V 20 Ah dengan tegangan 12 V – 13 V yang mendapatkan suplai listrik dari panel surya dengan kapasitas 50 Wp. Nilai yang diukur adalah waktu, tegangan baterai, arus, tegangan dan daya panel surya menggunakan *wattmeter* dan multimeter digital. Pencuplikan data pengisian baterai dilakukan setiap 10 menit sekali, dari tegangan 12,17 V sampai 13,03 V.

Analisis pengisian baterai dilakukan untuk menganalisis berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dari tegangan 12,17 V sampai 13,3 V. Berdasarkan Tabel 5.1 didapatkan grafik pengukuran tegangan pengisian (*charging*) baterai terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Grafik pengukuran tegangan pengisian baterai

Berdasarkan Tabel 5.1 pengujian pengisian pada baterai yang disuplai oleh panel surya memiliki arus rata-rata sebesar 2,05 A, tegangan rata-rata sebesar 14,46 V dan daya-rata-rata sebesar 29,84 watt. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya dan perubahan cuaca yang tidak menentu sehingga keluaran dari panel surya selalu berubah-ubah. Berdasarkan grafik 5.1 terdapat kenaikan tegangan paling besar pada menit ke-150 dan ke-240. Total waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dengan kapasitas 12 V 12 Ah menggunakan panel surya dengan kapasitas 50 Wp dari tegangan awal 12,17 V – 13,03 V adalah 270 menit.

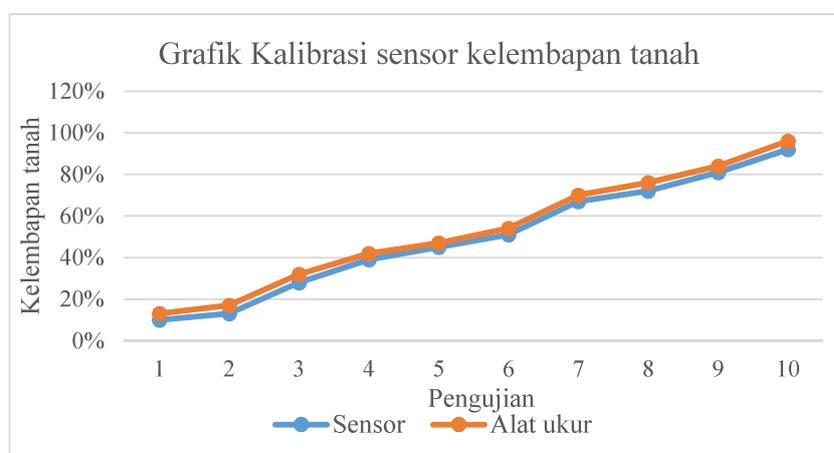
5.2.3 Analisis Pengujian Pengosongan Baterai

Pengujian baterai dilakukan menggunakan dua beban yang berbeda yaitu. Sistem *monitoring* kelembapan tanah dan irigasi tetes. Pengujian sistem *monitoring* kelembapan tanah dilakukan selama dua hari dan data dicuplik setiap 30 menit. Berdasarkan Tabel 5.3 dan Tabel 1 pada Lampiran 2, sistem *monitoring* kelembapan tanah mengkonsumsi energi sebanyak 11 Wh dan menguras baterai sebesar 959 mAh. Secara

Pengujian irigasi tetes dilakukan 10 kali percobaan selama 203 detik dengan kondisi kelembapan tanah yang bervariasi. Berdasarkan Tabel 5.4 pengujian baterai dengan beban irigasi tetes mengkonsumsi energi sebanyak 1 Wh dan menguras baterai sebesar 60 mAh. Secara keseluruhan beban yang digunakan mengkonsumsi energi sebanyak 12 Wh dan menguras baterai sebanyak 1,006 Ah Berdasarkan perhitungan jumlah energi yang disimpan dalam baterai (Wh) baterai yang digunakan memiliki kapasitas 144 Wh. Berdasarkan pengujian ini didapatkan bahwa PLTS *off-grid* yang telah dirancang dapat memenuhi suplai listrik yang dibutuhkan untuk beban sistem irigasi tetes.

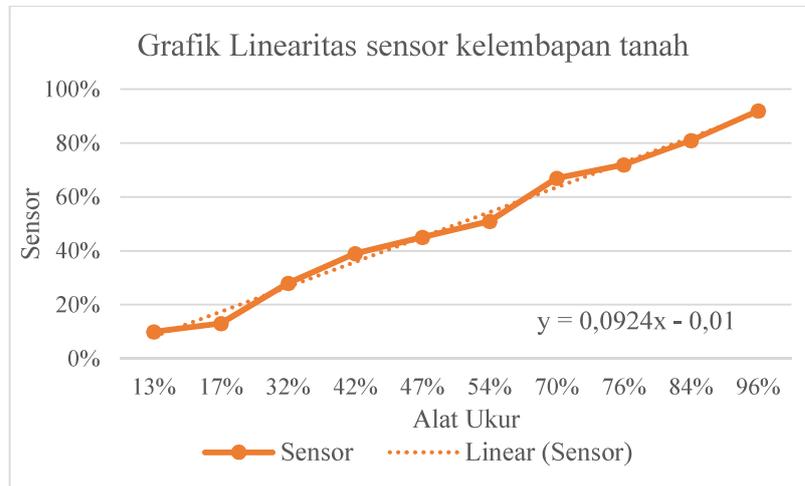
5.2.4 Analisis Pengujian Sistem Kendali Irigasi Tetes

Berdasarkan Tabel 5.5 didapatkan grafik kalibrasi sensor kelembapan tanah berupa dua variabel yaitu sensor dan alat ukur terhadap pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17. Grafik kalibrasi sensor kelembapan tanah

Berdasarkan Gambar 5.17 selanjutnya didapatkan grafik linearitas antara pengukuran dengan *soil* meter analog terhadap sensor yang dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Grafik linearitas sensor kelembapan tanah

Berdasarkan data dan grafik yang telah diolah diperoleh nilai *error* sebesar 9,32% dan nilai akurasi sebesar 90,68%. Artinya sensor soil moisture memiliki keakuratan yang cukup baik karena nilai *error* masih dibawah 10%. Selain itu didapatkan nilai linearitas sebesar $y = 0,0924x - 0,01$. Nilai variabel x sebesar 0,0924 menunjukkan bahwa sensor memiliki nilai linearitas yang baik karena nilai variabel x kurang dari 1% dinilai mempunyai linearitas yang baik. Nilai linearitas yang baik dibuktikan dengan membandingkan selisih rata-rata pengukuran alat ukur dengan rata-rata sensor memiliki nilai yang tidak terlalu berbeda secara signifikan. Faktor yang menyebabkan perbedaan tersebut salah satunya adalah karena perbedaan nilai *error* pada spesifikasi alat ukur dan sensor yang digunakan.

Berdasarkan data dan grafik yang telah diolah diperoleh nilai *error* sebesar 9,32% dan nilai akurasi sebesar 90,68%. Artinya sensor soil moisture memiliki keakuratan yang cukup baik karena nilai *error* masih dibawah 10%. Selain itu didapatkan nilai linearitas sebesar $y = 0,0924x - 0,01$. Nilai variabel x sebesar 0,0924 menunjukkan bahwa sensor memiliki nilai linearitas yang baik karena nilai variabel x kurang dari 1% dinilai mempunyai linearitas yang baik. Nilai linearitas yang baik dibuktikan dengan membandingkan selisih rata-rata pengukuran alat ukur dengan rata-rata sensor memiliki nilai yang tidak terlalu berbeda secara signifikan.

Faktor yang menyebabkan perbedaan tersebut salah satunya adalah karena perbedaan nilai *error* pada spesifikasi alat ukur dan sensor yang digunakan.

Pengujian kenaikan kelembapan tanah dilakukan dengan cara mengamati nilai kelembapan tanah dan penyiraman tanaman pakcoy dengan media tanah. Terdapat dua nilai kelembapan tanah yang diamati yaitu kelembapan tanah ketika sebelum penyiraman dan ketika sudah dilakukan penyiraman. Pengujian dilakukan dengan 10 percobaan. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan waktu yang paling banyak untuk melakukan penyiraman adalah pada pengujian pertama yaitu, selama 46 detik dari kelembapan awal 31% sampai 71%. Berdasarkan pengujian kalibrasi sensor dan kenaikan kelembapan tanah, dapat dikatakan bahwa sistem bekerja dengan sesuai perencanaan. Relai akan mengaktifkan pompa jika kelembapan tanah $\leq 50\%$ dan akan mati jika kelembapan tanah $\geq 55\%$.

