BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian Alat

Pengujian pada *power bank* tenaga *hybrid* ini terdiri dari pengujian pada blok *input*, blok proses, dan blok *output* dengan parameter *output* tegangan dan arus. Pengujian alat ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian spesifikasi alat yang tercantum pada spesifikasi data teknis terhadap hasil pengujian di lapangan secara langsung. Dengan adanya proses pengujian ini, maka dapat disimpulkan bahwa apakah kinerja dari alat-alat yang akan digunakan telah mencapai hasil yang diharapkan dan dapat dipergunakan sesuai dengan fungsinya.

Pengujian ini juga dilakukan untuk memastikan semua rangkaian yang digunakan telah terhubung dengan benar dan tidak terjadi kesalahan. Sehingga, apabila terjadi kesalahan pada alat maka dapat segera dilakukan perbaikan dan dapat melakukan penyempurnaan alat lebih lanjut. Adapun instrumen pengujian dan pengukuran pada penelitian alat ini yaitu menggunakan multimeter digital merk Heles UX-8383TR dan Aron DT9205A.

4.1.1. Hasil Pengujian Blok *Input*

1. Hasil Pengujian Sumber Catu Daya

Pada penelitian ini, baterai *Lithium ion* yang digunakan untuk pengisian berkapasitas 10,2 AH dengan tegangan awal baterai pada saat pengisian adalah sebesar 3,0 volt. Terdapat 2 buah sumber listrik/catu daya yang

digunakan pada pengujian alat ini yaitu *power supply* (listrik PLN) dan dari sel surya. Pengukuran dan pengujian blok ini digunakan untuk mengetahui kondisi tegangan dan arus pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* terhadap masing-masing sumber catu daya yang digunakan.

a. *Power Supply*

Pengujian dalam pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* menggunakan sumber catu daya dari *power supply* (listrik PLN) dengan cara menghubungkan kabel adaptor ke dalam koneksi USB *input* yang ada pada *power bank power bank* tenaga *hybrid*. Pada tahap pengujian dengan sumber *power supply*, adaptor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Merk	: Samsung
Model. No.	: ETA0U83EWE
Input/Tegangan Listrik (AC)	: 100-240V ~ Frekuensi 50-60 Hz ; 0.15 A
Output (DC)	: 5.0V; 1.0A

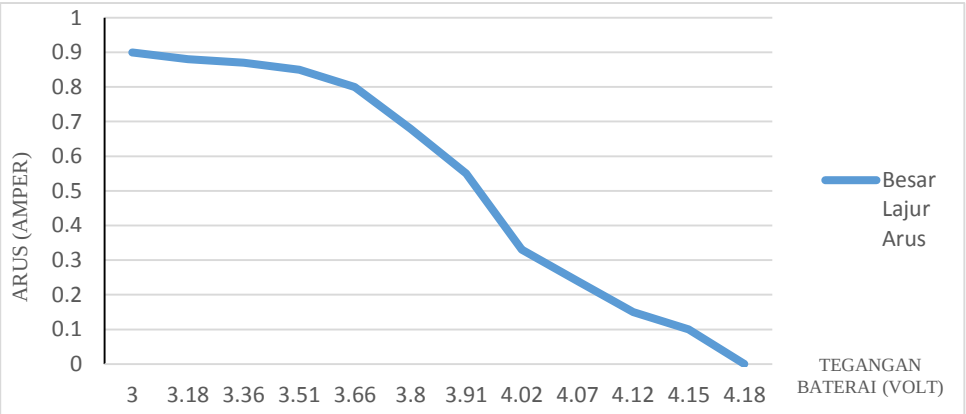
Besar nilai tegangan *output* dari adaptor setelah dilakukan pengukuran yaitu sebesar 5,17 volt dan besar arus maksimal yang dapat dialirkan ke beban baterai langsung adalah 1,20 A. Pada saat pengisian baterai berlangsung, LED merah pada modul *charger* akan menyala yang menandakan arus mengalir ke dalam rangkaian dan baterai. Ketika baterai sudah penuh, indikator LED merah mati, kemudian LED hijau menyala yang menandakan lajur pengisian arus ke baterai *power bank* tenaga *hybrid* sudah berhenti.

Adapun hasil pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* menggunakan *power supply* dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pada Pengisian Baterai Menggunakan *Power Supply*

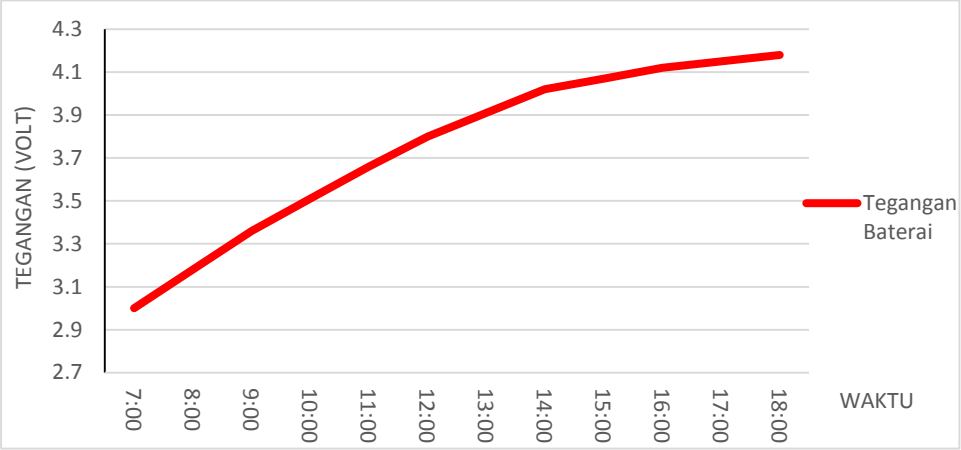
No.	Jam	Keadaan *Power Supply*		Tegangan Baterai	Keterangan
		V_{OUT} (Volt)	I_{OUT} (A)	V_{BAT} (Volt)	
1.	07:00	5,17	0,90	3,00	*Charging ON* (LED merah *ON*)
2.	08:00		0,88	3,18	
3.	09:00		0,87	3,36	
4.	10:00		0,85	3,51	
5.	11:00		0,80	3,66	
6.	12:00		0,68	3,80	
7.	13:00		0,55	3,91	
8.	14:00		0,33	4,00	
9.	15:00		0,17	4,07	
10.	16:00		0,15	4,12	
11.	17:00		0,10	4,15	
12.	18:00		0,00	4,18	*Charging OFF* (LED hijau *ON*)

Adapun grafik hasil pengukuran lajur arus pengisian baterai dengan menggunakan *power supply* terhadap kenaikan tegangan baterai dapat dilihat pada gambar 4.1. di bawah ini.



Gambar 4.1. Grafik Hasil Pengukuran Lajur Arus Pengisian Baterai Menggunakan *Power Supply* Terhadap Tegangan Baterai
Sumber : Dokumen Pribadi

Kemudian, grafik hasil pengukuran tegangan baterai saat pengisian menggunakan *power supply* terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Baterai Saat Pengisian Menggunakan *Power Supply* Terhadap Waktu
Sumber : Dokumen Pribadi

Seperti yang ditunjukan grafik pada gambar 4.2. di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin kosong kapasitas baterai *power bank* tenaga *hybrid*, maka semakin tinggi arus pengisian yang dibutuhkan atau diizinkan mengalir ke baterai oleh modul *charger*. Sebaliknya, semakin penuh kapasitas baterai *power bank* tenaga *hybrid*, maka semakin kecil arus yang dibutuhkan atau diizinkan mengalir ke baterai oleh modul *charger*.

2. Sel Surya

Panel/sel surya yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua buah panel yang disusun secara paralel sehingga tegangan maksimal yang dapat dihasilkan sebesar ± 7 volt dan nilai arus maksimal sebesar ± 250

mA. Kemudian, *output* tegangan positif dari sel surya dihubungkan ke pin positif rangkaian, dan *output* tegangan negatif dihubungkan ke *grounding*.

Pengujian modul panel surya ini dilakukan di bawah sinar matahari langsung dengan kondisi cuaca selama penelitian dan pengambilan data di lapangan cerah berawan. Sehingga hasil daya *output* dari sel surya yang digunakan kurang maksimal. Pengujian ini mengambil waktu 13 hari dengan waktu dari jam 9.00 sampai 16.00 WIB dimana tegangan awal baterai *power bank* sebesar 3,0 volt dan tegangan pada saat baterai penuh sebesar 4,18 volt. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Pada Pengisian Baterai Menggunakan Sel Surya

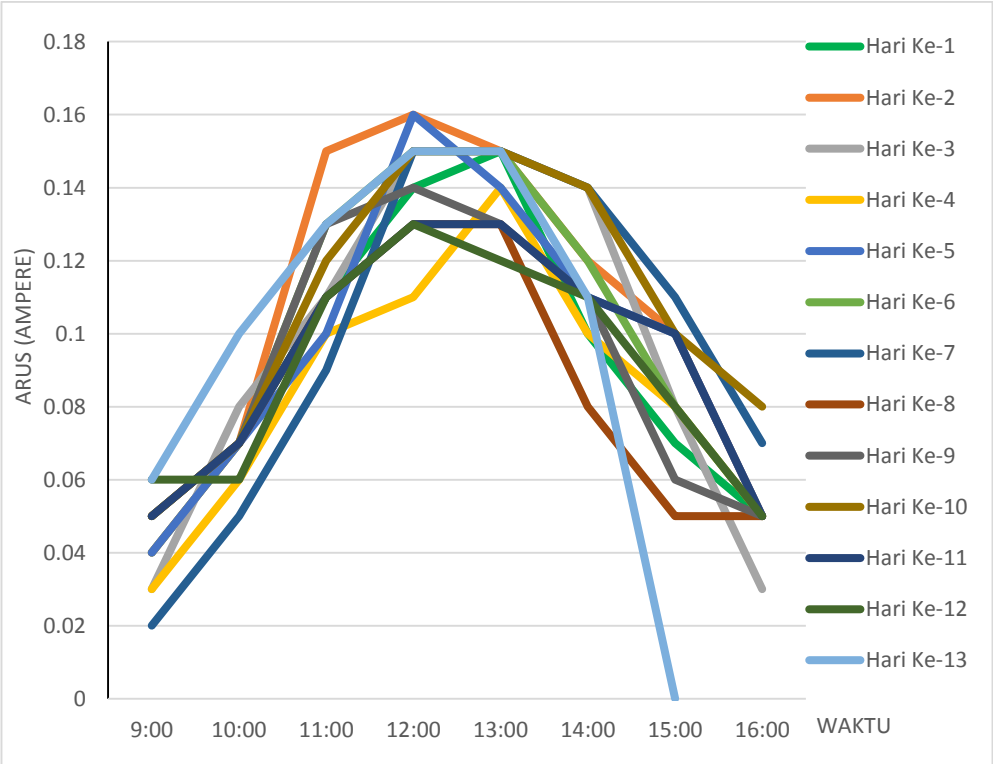
No.	**Hari**	**Jam**	**Keadaan Cuaca**	**Keadaan Sel Surya**		**Tegangan Baterai**	**Keterangan**
				V_{OUT} (Volt)	**I_{OUT} (A)**	**V_{BAT} (Volt)**	
1.	Pertama	09:00	Cerah berawan	5,56	0,04	3,00	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,72	0,07	3,01	
		11:00		6,35	0,11	3,02	
		12:00		6,46	0,14	3,04	
		13:00		6,50	0,15	3,06	
		14:00		6,13	0,10	3,08	
		15:00		5,85	0,07	3,09	
		16:00		5,61	0,05	3,09	
2.	Kedua	09:00	Cerah berawan	5,50	0,04	3,09	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,64	0,07	3,10	
		11:00		6,55	0,15	3,11	
		12:00		6,57	0,16	3,13	
		13:00		6,56	0,15	3,15	
		14:00		6,34	0,12	3,17	
		15:00		5,97	0,10	3,18	
		16:00		5,55	0,05	3,19	
3.	Ketiga	09:00		5,53	0,03	3,19	

		10:00	Cerah berawan	5,69	0,08	3,20	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		11:00		6,32	0,11	3,21	
		12:00		6,47	0,15	3,23	
		13:00		6,48	0,15	3,25	
		14:00		6,48	0,14	3,27	
		15:00		5,76	0,10	3,28	
		16:00		5,45	0,03	3,29	
4.	Keempat	09:00	Cerah berawan	5,48	0,03	3,29	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,76	0,06	3,29	
		11:00		5,98	0,10	3,30	
		12:00		6,35	0,11	3,30	
		13:00		6,40	0,14	3,31	
		14:00		6,12	0,10	3,32	
		15:00		5,61	0,08	3,33	
		16:00		5,58	0,05	3,33	
5.	Kelima	09:00	Cerah berawan	5,62	0,04	3,33	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,83	0,07	3,34	
		11:00		6,26	0,10	3,35	
		12:00		6,57	0,16	3,37	
		13:00		6,38	0,14	3,39	
		14:00		6,26	0,13	3,41	
		15:00		5,77	0,10	3,42	
		16.00		5,50	0,05	3,43	
6.	Keenam	09:00	Cerah berawan	5,64	0,05	3,43	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,77	0,07	3,44	
		11:00		6,41	0,13	3,45	
		12:00		6,47	0,15	3,47	
		13:00		6,47	0,15	3,49	
		14:00		6,29	0,12	3,51	
		15:00		5,75	0,08	3,51	
		16.00		5,52	0,05	3,52	
7.	Ketujuh	09:00	Cerah berawan	5,22	0,02	3,52	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,53	0,05	3,52	
		11:00		6,34	0,09	3,53	
		12:00		6,47	0,15	3,55	
		13:00		6,53	0,15	3,57	
		14:00		6,44	0,14	3,59	

		15:00		5,86	0,11	3,60	
		16.00		5,61	0,07	3,61	
8.	Kedelapan	09:00	Cerah berawan	5,49	0,05	3,61	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,65	0,07	3,62	
		11:00		6,13	0,11	3,63	
		12:00		6,37	0,13	3,64	
		13:00		6,38	0,13	3,66	
		14:00		6,11	0,08	3,67	
		15:00		5,53	0,05	3,67	
		16.00		5,50	0,05	3,67	
9.	Kesembilan	09:00	Cerah berawan	5,55	0,05	3,67	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,88	0,07	3,68	
		11:00		6,34	0,13	3,69	
		12:00		6,46	0,14	3,71	
		13:00		6,42	0,13	3,73	
		14:00		6,27	0,11	3,75	
		15:00		5,54	0,06	3,75	
		16:00		5,51	0,05	3,76	
10.	Kesepuluh	09:00	Cerah berawan	5,56	0,05	3,76	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		6,13	0,07	3,77	
		11:00		6,44	0,12	3,78	
		12:00		6,63	0,15	3,80	
		13:00		6,58	0,15	3,82	
		14:00		6,42	0,14	3,84	
		15:00		6,10	0,10	3,86	
		16:00		5,88	0,08	3,87	
11.	Kesebelas	09:00	Cerah berawan	5,55	0,05	3,87	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,84	0,07	3,88	
		11:00		6,45	0,11	3,89	
		12:00		6,52	0,13	3,91	
		13:00		6,50	0,13	3,93	
		14:00		6,35	0,11	3,95	
		15:00		5,87	0,10	3,96	
		16:00		5,51	0,05	3,96	
12.	Keduabelas	09:00	Cerah berawan	5,77	0,06	3,96	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,84	0,06	3,97	
		11:00		6,36	0,11	3,98	

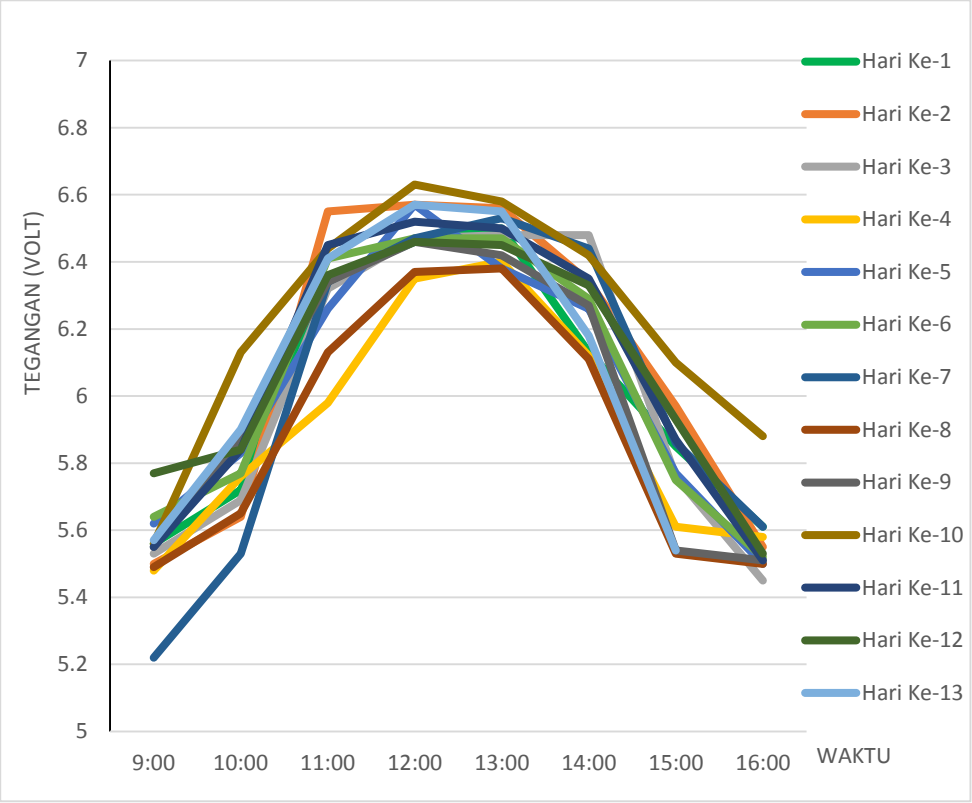
		12:00		6,46	0,13	4,01	
		13:00		6,45	0,12	4,03	
		14:00		6,33	0,11	4,05	
		15:00		5,93	0,08	4,07	
		16:00		5,53	0,05	4,08	
13.	Ketigabelas	09:00	Cerah berawan	5,57	0,06	4,08	*Charging ON* (LED merah *ON*)
		10:00		5,90	0,10	4,09	
		11:00		6,41	0,13	4,10	
		12:00		6,57	0,15	4,12	
		13:00		6,55	0,15	4,14	
		14:00		6,18	0,11	4,16	
		15:00		5,54	0,00	4,18	*Charging OFF* (LED hijau *ON*)

Pada gambar 4.3. di bawah ini terdapat grafik hasil pengukuran lajur arus sel surya terhadap waktu sesuai pada tabel 4.2. di atas.



Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengukuran Lajur Arus Sel Surya Terhadap Waktu
Sumber : Dokumen Pribadi

Pada gambar 4.4. di bawah ini terdapat grafik hasil pengukuran tegangan sel surya terhadap waktu sesuai dengan tabel 4.2. di atas.



Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Sel Surya Terhadap Waktu
Sumber : Dokumen Pribadi

4.1.2. Hasil Pengujian Blok Proses

1. Hasil Pengujian Rangkaian Regulator Tegangan Sel Surya

Pengujian rangkaian regulator tegangan sel surya dilakukan dengan cara menghubungkan pin V_{IN}, *ground*, dan V_{OUT} pada IC LM7805 secara paralel dengan multimeter, dan kemudian lihat hasil pengukuran V_{OUT} terhadap V_{IN} dari sel surya.

Sebelum digunakan, IC LM7805 melalui proses kalibrasi terlebih dahulu untuk membandingkan nilai karakteristrik terukur alat yang digunakan

dengan nilai karakteristik yang tertera di *datasheet*. Hasil pengujian kalibrasi pada regulator tegangan sel surya dapat dilihat pada tabel 4.3. di bawah ini.

Tabel 4.3. Hasil Kalibrasi Pada Regulator Tegangan Sel Surya

No.	**Keadaan**	**Nilai Tegangan (1)**		**Nilai Tegangan (2)**		**% Deviasi Kesalahan** $\left(\left\lvert\frac{Nilai\ Datasheet - Nilai\ Ukur}{Nilai\ Datasheet}\right\rvert \text{ x } 100\%\right)$	
		V_{IN}	V_{OUT}	V_{IN}	V_{OUT}	V_{OUT} **(1)**	V_{OUT} **(2)**
1.	*Datasheet*	7	5,0	10	5,0	2,4 %	3 %
2.	Pengukuran	7	5,12	10	5,15		
	Rata-rata					2,7 %	

Kemudian data pengujian yang diambil berdasarkan data *output* tegangan sel surya pada pengisian baterai hari pertama. Hasil pengujian rangkaian regulator tegangan sel surya dapat dilihat pada tabel 4.4. di bawah.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Rangkaian Regulator Tegangan Sel Surya

No.	**Jam (WIB)**	**Keadaan Tegangan Sel Surya**	
		V_{IN} **(Pin 1) (Volt)**	V_{OUT} **(Pin 3) (Volt)**
1.	09:00	5,56	4,72
2.	10:00	5,72	4,82
3.	11:00	6,35	5,00
4.	12:00	6,46	5,01
5.	13:00	6,50	5,01
6.	14:00	6,13	5,00
7.	15:00	5,85	4,87
8.	16:00	5,61	4,75

2. Hasil Pengujian Rangkaian *Switch* Tegangan

Pada rangkaian *switch* tegangan menggunakan prinsip kerja dioda sebagai penyearah tegangan dan gerbang aliran arus yang dipasang sebagai saklar terbuka untuk sumber sel surya. Pada *power bank* tenaga *hybrid* ini,

sumber utama yang digunakan adalah tetap sumber dari *power supply* dan sumber cadangannya yaitu sumber dari sel surya. Sebelum digunakan, dioda silikon 1N3819 melalui proses kalibrasi terlebih dahulu untuk membandingkan nilai karakteristrik terukur alat yang digunakan dengan nilai karakteristik yang tertera di *datasheet*. Hasil pengujian kalibrasi pada dioda dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Kalibrasi Pada Rangkaian *Switch* Tegangan (Dioda)

No.	**Keadaan**	**Nilai Tahanan Dioda**	**% Deviasi Kesalahan** $\left(\left\lvert\frac{Nilai\ Datasheet - Nilai\ Ukur}{Nilai\ Datasheet}\right\rvert \times 100\%\right)$
1.	*Datasheet*	200 Ω	7,5 %
2.	Pengukuran	185 Ω	

Data hasil pengujian dioda saat bekerja sebagai rangkaian *switch* tegangan dapat dilihat pada tabel 4.6. di bawah ini.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Rangkaian *Switch* Tegangan

No.	**Tegangan Sel Surya**		**Keadaan Dioda**	**I_{OUT} Catu Daya**		**Tegangan Dioda (Volt)**
	(V_{IN}) (Volt)	**(V_{OUT}) (Volt)**		**Sel Surya (A)**	***Power Supply* (A)**	
1.	5,0	4,68	Bias Maju	0,15	0	0,82
2.			Bias Mundur	0	0,85	0,60

3. Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Charger*

Pengujian pada modul *charger* dapat dilakukan dengan cara menghubungkan modul *charger* ke sumber listrik sebagai *input* daya dan hubungkan ke baterai sebagai *output* beban pengisian. Modul *charger* yang digunakan memiliki 3 tahapan pengujian, yaitu pengujian fungsi penstabil

tegangan, *overcharge* dan *overdischarge*. Berikut ini data hasil pengujian dari masing-masing tahapan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Hasil Pengujian Fungsi Penstabil Tegangan

Pada rangkaian modul *charger* ini, terdapat IC TP4056 yang berfungsi sebagai regulator yang akan menstabilkan tegangan keluaran dari sumber *power supply* atau sel surya menjadi 4,50 volt. Hubungkan multimeter pada pin V_{CC} atau USB *IN* sebagai tegangan *input* modul *charger*, dan hubungkan juga multimeter pada pin Bat sebagai tegangan *output* yang sudah distabilkan oleh modul *charger*. Data hasil pengujian penstabil tegangan pada modul *charger* dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Fungsi Penstabil Tegangan Pada Modul *Charger*

No.	**Sumber Catu Daya**	**Kondisi Modul *Charger***	
		V_{IN} (Pin Vcc) (Volt)	**V_{OUT} (Pin Bat) (Volt)**
1.	*Power Supply*	5,17	4,45
2.	Sel Surya	4,68	4,45

2. Hasil Pengujian Fungsi *Overcharge*

Kemudian, IC TP4056 juga menjalankan fungsi sebagai proteksi baterai dari *overcharge* pada saat pengisian berlangsung. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan pengisian baterai melalui modul *charger*. Tunggu beberapa saat sampai tegangan pada baterai penuh, yaitu sekitar pada tegangan 4,2 volt. Gunakan multimeter untuk mengukur tegangan pasti baterai ketika sudah mencapai tegangan penuh. Selama pengisian berlangsung, terdapat LED merah yang akan menyala dan menandakan

pengisian baterai sedang berjalan. Setelah baterai penuh, maka LED hijau akan menyala dan menandakan pengisian baterai sudah berhenti. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.8. di bawah ini.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Fungsi Proteksi *Overcharge* Pada Modul *Charger*

No.	Tegangan Baterai	Kondisi Modul *Charger*				Kondisi LED	
		V_{IN} (Pin Vcc) (Volt)	I_{IN} (Pin Vcc) (Volt)	V_{OUT} (Pin Bat) (Volt)	I_{OUT} (Pin Bat) (Volt)	CHRG (merah)	STDBY (hijau)
1.	Pengisian	5,17	0,90	4,45	0,85	ON	OFF
2.	Penuh	5,12	0	4,18	0	OFF	ON

3. Hasil Pengujian Fungsi *Overdischarge*

Kemudian, pada modul *charger* terdapat IC 8205A yang digunakan sebagai MOSFET yaitu untuk penggunaan saklar elektronik pada rangkaian *charger*, dan terdapat IC DW01A berfungsi sebagai proteksi baterai *power bank* tenaga *hybrid* dari kerusakan karena *overdischarge* pada saat digunakan untuk melayani beban baterai *smartphone* atau *gadget* lainnya, yaitu dengan besar tegangan minimum baterai *power bank* tenaga *hybrid* ketika *discharge* sebesar 2.5 volt. Pasang beban pengosongan baterai *power bank* tenaga *hybrid* pada pin *out* di modul *charger* agar fungsi *overdischarge* dapat bekerja. Gunakan multimeter untuk mengukur tegangan pasti baterai ketika baterai *power bank* tenaga *hybrid* sudah tidak dapat lagi mengalirkan arus pengosongan baterai ke beban *smartphone*.

Adapun data hasil pengujian proteksi *overdischarge* pada modul *charger* dapat dilihat pada tabel 4.9. di bawah ini.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Fungsi Proteksi *Overdischarge* Pada Modul *Charger*

No.	Tegangan Baterai	Kondisi Modul *Charger*	
		V_{OUT} (Pin *Out*) (Volt)	I_{OUT} (Pin *Out*) (Volt)
1.	Penuh dan proses pengisian beban baterai berlangsung	4,18	0,85
2.	Kosong dan beban baterai penuh	2,70	0

4. Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Step-Up* Tegangan IC A7530

Pengujian pada ini dilakukan pada rangkaian modul *step-up* 1 yaitu modul *step-up* IC A7530 yang berfungsi sebagai *boost voltage* 5 volt dari baterai *power bank* tenaga *hybrid* untuk dapat menyuplai daya pada rangkaian sensor arus ACS712 5A, mikrokontroler ATmega 8 dan LCD. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan V_{IN} dari baterai dengan nilai tegangan V_{OUT} dari modul *step-up* IC A7530 dengan menggunakan multimeter.

Adapun data hasil pengujian rangkaian modul *step-up* tegangan IC A7530 dapat dilihat pada tabel 4.10. di bawah ini.

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Step-Up* Tegangan IC A7530

No.	V_{IN} Baterai	V_{OUT} Modul *Step-Up* IC A7530
	V_{IN} (Pin V_{IN}) (Volt)	V_{OUT} (Pin *Out*) (Volt)
1.	2,82	5,00
2.	3,25	5,00
3.	3,53	5,00
4.	4,06	5,01
5.	4,18	5,01

5. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan pada penelitian alat ini menggunakan prinsip pembagi tegangan yang terdiri dari 2 buah resistor, yaitu R_1 = 10 kΩ dan R_2 = 10 kΩ. Pembagi tegangan digunakan pada tegangan *output* sel surya yang memiliki tegangan maksimal sebesar 7 volt, sehingga dibutuhkan pembagi tegangan agar besar tegangan yang dihasilkan sel surya tersebut bisa terbaca oleh ADC mikrokontroler ATmega 8 (data analog) dengan hasil *output* berupa tampilan data di layar LCD (data digital).

Sebelum digunakan, resistor 10 kΩ yang digunakan melalui proses kalibrasi terlebih dahulu untuk membandingkan nilai karakteristrik terukur alat yang digunakan dengan nilai karakteristik yang tertera di *datasheet*. Hasil pengujian kalibrasinya dapat dilihat pada tabel 4.11. di bawah ini.

Tabel 4.11. Hasil Kalibrasi Pada Resistor Pembagi Tegangan

No.	Keadaan	Nilai Tahanan Resistor	% Deviasi Kesalahan $\left(\left\lvert\frac{Nilai\ Datasheet - Nilai\ Ukur}{Nilai\ Datasheet}\right\rvert \text{ x } 100\%\right)$
1.	*Datasheet*	10 kΩ	0,8 %
2.	Pengukuran	9,92 Ω	

Adapun data hasil pengujian rangkaian sensor tegangan ketika sedang bekerja pada alat dapat dilihat pada tabel 4.12. di bawah.

Tabel 4.12. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

No.	V_{IN} Tegangan Primer (Volt)	V_{OUT} Pembagi Tegangan (Volt)
1.	5,56	2,78
2.	5,72	2,86
3.	6,35	3,17
4.	6,46	3,23
5.	6,50	3,25
6.	6,63	3,31

6. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Arus ACS712 5A

Pengujian pada sensor arus ACS712 5A dilakukan dengan cara membandingkan hasil *input* arus dari sel surya dengan sinyal *output* berupa nilai tegangan *sensing out* dari sensor arus ACS712 5A. Sebelum digunakan, modul sensor arus ACS712 5A melalui proses kalibrasi terlebih dahulu untuk membandingkan nilai karakteristrik terukur alat yang digunakan dengan nilai karakteristik yang tertera di *datasheet*. Hasil pengujian kalibrasinya dapat dilihat pada tabel 4.13. di bawah ini.

Tabel 4.13. Hasil Kalibrasi Pada RangkaianSensor Arus ACS712 5A

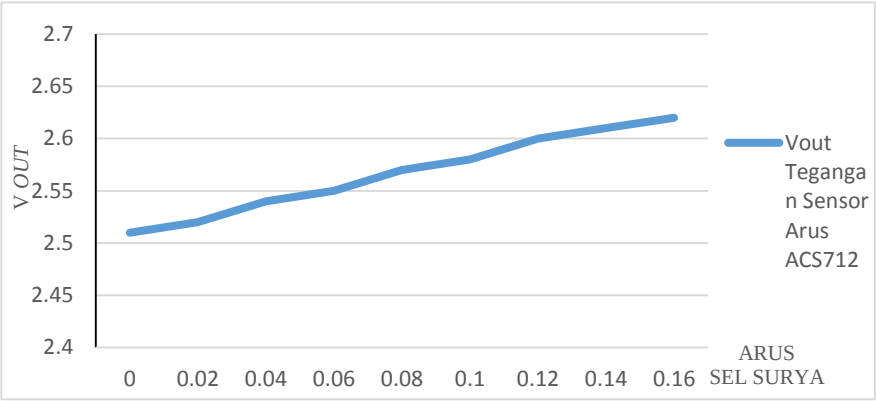
No.	Keadaan	Nilai Tegangan Terhadap Arus (1)		Nilai Tegangan Terhadap Arus (2)		% Deviasi Kesalahan $\left(\left\lvert\frac{Nilai\ Datasheet - Nilai\ Ukur}{Nilai\ Datasheet}\right\rvert \text{ x } 100\%\right)$	
		I_{IN}	V_{OUT}	I_{IN}	V_{OUT}	V_{OUT} (1)	V_{OUT} (2)
1.	*Datasheet*	0 A	2,5 V	1 A	2,68 V	0,4 %	7,08 %
2.	Pengukuran	0 A	2.51 V	1 A	2,87 V		
	Rata-rata					3,74 %	

Kemudian data hasil pengujian rangkaian dapat dilihat pada tabel 4.14. di bawah ini.

Tabel 4.14. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Arus ACS712 5A

No.	Arus DC Sel Surya (I_{IN}) (A)	V_{OUT} Tegangan *Sensing* ACS712 5A (Pin V_{IOUT}) (Volt)
1.	0	2,51
2.	0,02	2,51
3.	0,04	2,52
4.	0,06	2,52
5.	0,08	2,52
6.	0,10	2,53
7.	0,12	2,53
8.	0,14	2,54
9.	0,16	2,54

Adapun grafik perubahan tegangan *sensing out* pada sensor arus ACS712 5A terhadap nilai arus *input* dari sel surya dapat dilihat pada gambar 4.5. di bawah ini.



Gambar 4.5. Grafik Perubahan V_{OUT} Sensor Arus ACS712 5A Terhadap Perubahan Nilai Arus Sel Surya
Sumber : Dokumen Pribadi

7. Hasil Pengujian Tampilan LCD

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengubah posisi saklar 1 dalam posisi *ON* untuk menyalakan layar LCD dan saklar 2 dalam posisi ON untuk mengaktifkan lampu *backlight* LCD. Perhatikan tampilan LCD tentang besar tegangan baterai dan selanjutnya dibandingkan hasilnya dengan nilai yang tertera pada mulititester. Ketika membandingkan nilai tegangan baterai *power bank* pada LCD dengan multimeter, *power bank* tidak boleh dihubungkan ke pengisian atau pengosongan baterai *power bank*. Hal ini dilakukan supaya pengguna dapat melihat besar tegangan asli dari baterai *power bank* tanpa terpengaruh oleh daya luar akibat proses pengisian atau pengosongan. Kemudian, ketika sedang melakukan pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* menggunakan sumber sel surya, besar nilai arus dan tegangan sel surya

yang tertera pada LCD juga dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter sebagai tegangan acuan. Jika hasil tampilan dari LCD sama dengan yang tertera pada multimeter, maka fungsi LCD sebagai pemantau tegangan baterai, serta pemantau besar arus dan tegangan sel surya dapat digunakan sebagai referensi pengguna dalam melihat keadaan *power bank* tenaga *hybrid* ketika sedang digunakan. Adapun data hasil pengujian dalam perbandingan tampilan tegangan sel surya pada LCD dengan multimeter dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. Hasil Pengujian dalam Perbandingan Tampilan Tegangan Sel Surya Pada LCD dengan Multimeter

Pembacaan	**Tegangan Sel Surya**							
	V_{SC1} (Volt)	**V_{SC2} (Volt)**	**V_{SC3} (Volt)**	**V_{SC4} (Volt)**	**V_{SC5} (Volt)**	**V_{SC6} (Volt)**	**V_{SC7} (Volt)**	**V_{SC8} (Volt)**
Multimeter	5,56	5,72	6,35	6,46	6,50	6,13	5,85	5,61
LCD	5,6	5,7	6,4	6,5	6,5	6,1	5,9	5,6
Selisih Pengukuran	0,04	0,02	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,01

Kemudian data hasil pengujian dalam perbandingan tampilan arus sel surya pada LCD dengan multimeter dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16. Hasil Pengujian dalam Perbandingan Tampilan Arus Sel Surya Pada LCD dengan Multimeter

Pembacaan	**Arus Sel Surya**							
	I_{SC1} (A)	**I_{SC2} (A)**	**I_{SC3} (A)**	**I_{SC4} (A)**	**I_{SC5} (A)**	**I_{SC6} (A)**	**I_{SC7} (A)**	**I_{SC8} (A)**
Multimeter	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
LCD	0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,11	0,12	0,15
Selisih Pengukuran	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01

Kemudian data hasil pengujian dalam perbandingan tampilan tegangan baterai pada LCD dengan multimeter dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17. Hasil Pengujian dalam Perbandingan Tampilan Tegangan Baterai Pada LCD dengan Multimeter

Pembacaan	**Tegangan Baterai**							
	V_{Bat1} (Volt)	**V_{Bat2} (Volt)**	**V_{Bat3} (Volt)**	**V_{Bat4} (Volt)**	**V_{Bat5} (Volt)**	**V_{Bat6} (Volt)**	**V_{Bat7} (Volt)**	**V_{Bat8} (Volt)**
Multimeter	2,72	2,94	3,32	3,67	3,87	3,95	4,08	4,18
LCD	2,7	3,0	3,4	3,8	4,0	4,1	4,2	4,3
Selisih Pengukuran	0,02	0,06	0,08	0,13	0,13	0,15	0,12	0,12

4.1.3. Hasil Pengujian Blok *Output*

1. Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Step-Up* Tegangan IC MT3608

Pengujian pada rangkaian modul *step-up* ini dilakukan pada rangkaian modul *step-up* 2 yaitu modul *step-up* dengan IC MT3068 yang berfungsi sebagai boost voltage 5 volt dari baterai *power bank* tenaga *hybrid* supaya dapat menyuplai tegangan pada saat melayani beban *smartphone*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan V_{IN} dari baterai dengan nilai tegangan V_{OUT} dari modul *step-up* dengan menggunakan multimeter. Data hasil pengujian rangkaian dapat dilihat pada tabel 4.18. di bawah ini.

Tabel 4.18. Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Step-Up* Tegangan IC MT3608

No.	**V_{IN} Baterai**	**V_{OUT} Modul *Step-Up* IC MT3608**
	V_{IN} (Pin V_{IN}) (Volt)	**V_{OUT} (Pin *Out*) (Volt)**
1.	2,82	5,01
2.	3,25	5,01
3.	3,53	5,01
4.	4,06	5,01
5.	4,17	5,01

2. Hasil Pengujian Lajur Arus Pengosongan Baterai *Power Bank* Tenaga *Hybrid*

Prosedur pengujian lajur arus pengosongan baterai dilakukan untuk mengetahui estimasi laju arus pengosongan baterai *power bank* tenaga *hybrid* ketika melakukan pengisian pada sejumlah beban baterai *smartphone* dalam beberapa siklus pengisian. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Lajur Arus Pengosongan Baterai *Power Bank* Tenaga *Hybrid*

No.	Jenis *Smartphone* (Beban Baterai)	Tegangan Baterai *Smartphone*		Lajur Arus Pengisi-an Baterai (A)	Waktu Pengisian (menit)	Banyak Pengisian
	Merk (Kapasitas Baterai)	Sebelum Pengecasan (Kosong) (Volt)	Setelah Pengecasan (Penuh) (Volt)			
1.	Samsung Galaxy Prime (2600 mAH)	3,4	4,3	0,54	293	3,5 kali

4.2. Analisis Hasil Pengujian Alat

4.2.1. Analisis Hasil Pengujian Blok *Input*

Pada saat pengisian baterai menggunakan *power supply*, lamanya pengisian baterai *lithium ion* dengan kapasitas 10,2 AH dari kondisi tegangan baterai awal sebesar 3,0 volt sampai baterai terisi penuh dengan tegangan 4,18 volt, yaitu selama ± 11 jam atau 643 menit. Selama pengisian berlangsung, indikator LED merah pada modul *charger* selalu menyala dan ketika baterai sudah penuh, indikator LED merah mati, kemudian LED hijau menyala yang menandakan lajur pengisian arus ke baterai sudah berhenti.

Pengisian baterai menggunakan *power supply* lebih cepat dibandingkan dengan pengisian menggunakan sel surya dikarenakan suplai tegangan *output* dari

adaptor yang digunakan adalah 5,17 volt konstan dan mampu mengalirkan arus sampai 1 A.

Pada tabel 4.1. di atas, saat pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* dengan tegangan awal 3,0 volt, adaptor dapat mengalirkan arus maksimal dengan besar nilai arus yaitu 0,90 A. Ketika baterai sudah pada tegangan 4,00 volt, besarnya arus yang mengalir hanya sebesar 0,33 A, dan besarnya arus yang mengalir akan terus menurun sampai berhenti mengalir ketika baterai sudah mencapai tegangan penuh, yaitu pada tegangan 4,18 volt.

Seperti yang ditunjukan grafik pada gambar 4.1. di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin kosong kapasitas baterai *power bank* tenaga *hybrid* maka semakin tinggi arus pengisian yang dibutuhkan atau yang diizinkan mengalir ke baterai oleh modul *charger*. Sebaliknya, semakin penuh kapasitas baterai *power bank* tenaga *hybrid*, maka semakin kecil arus yang dibutuhkan atau yang diizinkan mengalir ke baterai oleh modul *charger*.

Kemudian, pada saat pengisian baterai menggunakan sumber sel surya, lamanya pengisian baterai *lithium ion* dengan kapasitas 10,2 AH dari kondisi baterai kosong dengan tegangan 3,0 volt, sampai baterai terisi penuh dengan tegangan 4,18 volt, yaitu selama ± 13 hari atau 90 jam. Selama pengisian berlangsung, indikator LED merah pada modul *charger* selalu menyala dan ketika baterai sudah penuh, indikator LED merah mati, kemudian LED hijau menyala yang menandakan lajur pengisian arus ke baterai sudah berhenti.

Berikut ini data hasil besar tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan dari sel surya yang dapat dilihat pada tabel 4.20. di bawah ini.

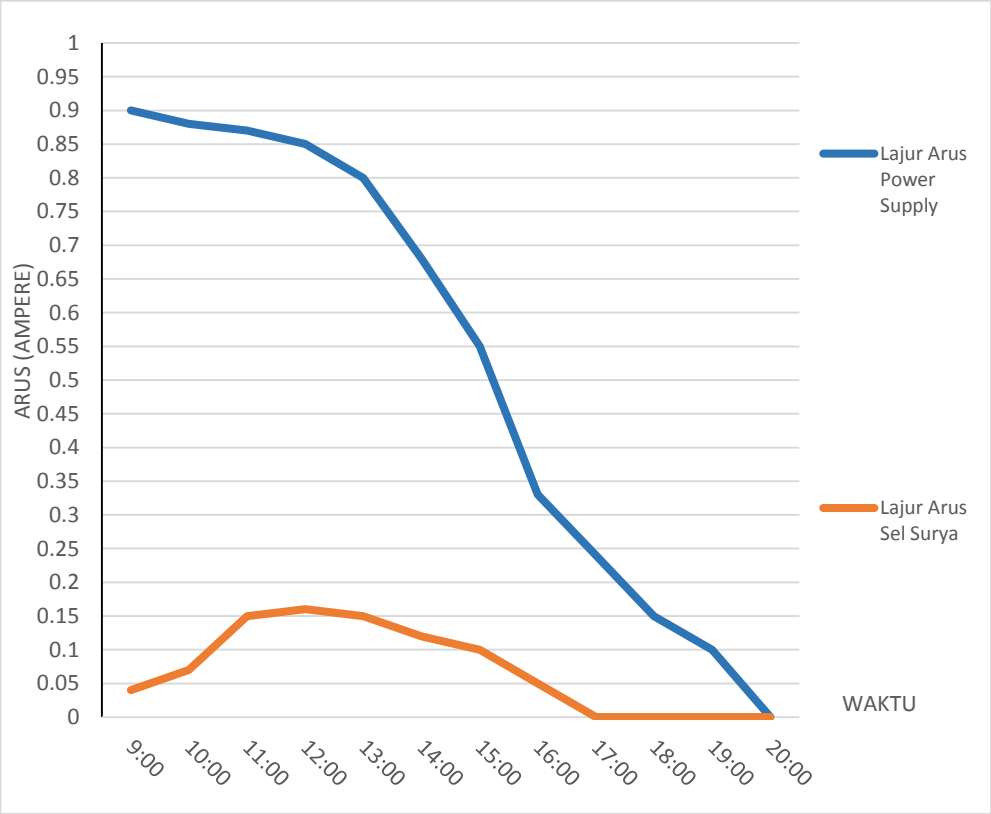
Tabel 4.20. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Sel Surya Rata-Rata per Hari

No.	Hari	Tegangan dan Arus Sel Surya		Kenaikan Tegangan Baterai (Volt)
		Tegangan Rata-Rata (Volt)	Arus Rata-Rata (A)	
1.	Pertama	6,02	0,09	3,09
2.	Kedua	6,08	0,10	3,19
3.	Ketiga	6,02	0,09	3,29
4.	Keempat	5,91	0,08	3,33
5.	Kelima	6,02	0,09	3,43
6.	Keenam	6,04	0,10	3,52
7.	Ketujuh	6,00	0,09	3,61
8.	Kedelapan	5,91	0,08	3,67
9.	Kesembilan	6,01	0,09	3,76
10.	Kesepuluh	6,21	0,11	3,87
11.	Kesebelas	6,07	0,09	3,96
12.	Keduabelas	6,08	0,09	4,08
13	Ketigabelas	6,10	0,10	4,18

Besarnya nilai arus dan tegangan panel surya yang berfluktuasi dikarenakan kondisi penyinaran matahari kurang ideal dan tertutup banyak awan sehingga mendapatkan daya yang tidak maksimal dari sel surya. Hal tersebut dikarenakan kondisi cuaca yang tidak menentu, sehingga menyebabkan sistem pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* memperoleh suplai energi yang bervariasi dan sangat mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya. Pada tabel 4.20. di atas, tegangan sel surya maksimal rata-rata per hari yaitu sebesar 6,21 volt dengan keluaran arus maksimal rata-rata per hari adalah 0,11 A pada pengisian hari kesepuluh. Sementara itu, tegangan sel surya minimal rata-rata per hari yaitu sebesar 5,91 volt dengan keluaran arus minimal rata-rata per hari adalah 0,08 A pada pengisian hari kelima dan kedelapan.

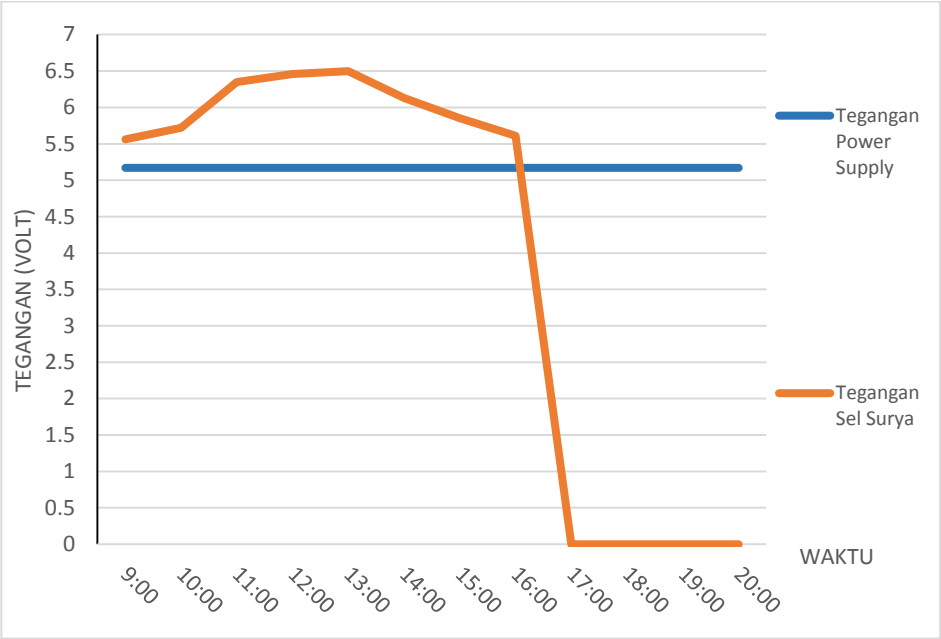
Setelah melakukan analisis selama pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* dengan menggunakan sumber sel surya, maka akan dilakukan pengamatan untuk membandingkan pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* sebesar 10,2 AH yang menggunakan sumber *power supply* (listrik PLN) dengan pengisian menggunakan sumber sel surya. Kesimpulan pengamatan dan lama waktu pengisian akan dapat dilihat pada tabel 4.17. di bawah ini.

Jika merujuk pada gambar 4.1. dan gambar 4.3., maka dapat dibandingkan besarnya nilai arus pengisian antara sumber *power supply* dengan sumber sel surya terhadap waktu pengisian. Adapun grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.6. di bawah ini.



Gambar 4.6. Grafik Arus *Power Supply* vs Arus Sel Surya Terhadap Waktu
Sumber : Dokumen Pribadi

Kemudian, jika merujuk pada gambar 4.2. dan gambar 4.4., maka dapat dibandingkan besarnya nilai teganngan *input* antara sumber *power supply* dengan sumber sel surya. Adapun grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Tegangan *Power Supply* vs Tegangan Sel Surya Terhadap Waktu
Sumber : Dokumen Pribadi

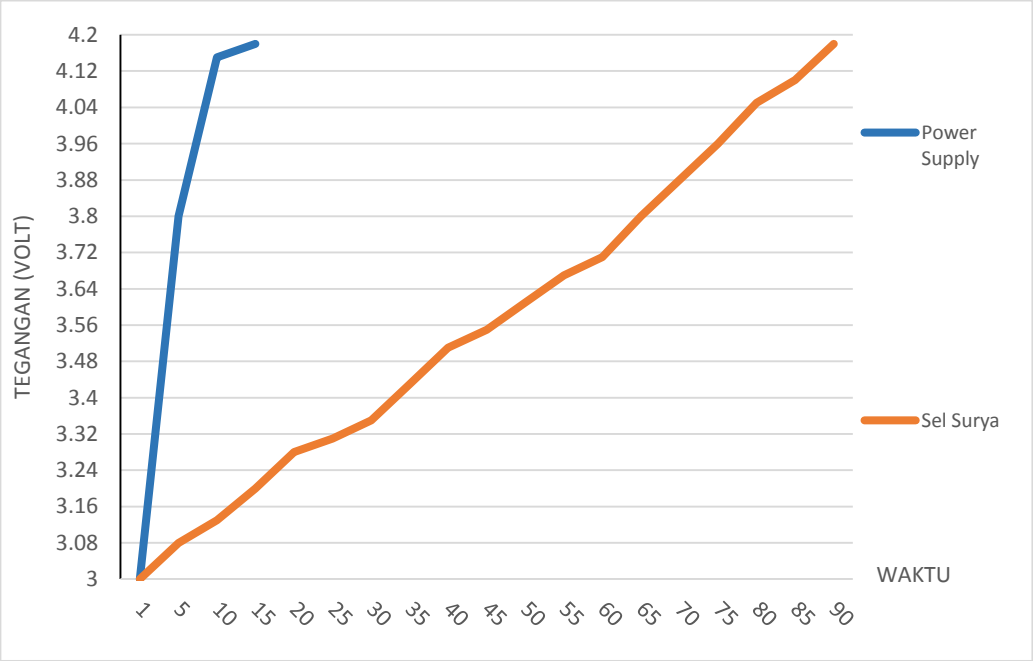
Dari gambar 4.6. dan 4.7. di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa besarnya arus dan tegangan pengisian menggunakan *power supply* lebih bagus dibandingkan dengan menggunakan sel surya. Hal tersebut dikarenakan sumber arus dan tegangan dari *power supply* memang mendapat sumber catu daya dari adaptor (listrik PLN) dengan tegangan konstan dan arus yang lebih maksimal daripada sumber catu daya dari sumber sel surya yang sifat arus dan tegangan *input*-nya bersifat fluktuatif.

Kemudian, kesimpulan pengamatan dan lama waktu pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* berkapasitas 10,2 AH menggunakan sumber *power*

supply dan sel surya dapat dilihat pada tabel 4.21. dan dalam bentuk grafik pada gambar 4.8. di bawah ini.

Tabel 4.21. Hasil Pengamatan Pada Pengisian Baterai *Power Bank* Tenaga *Hybrid*

No.	**Sumber Catu Daya**	**Tegangan Ketika Baterai *Power Bank***		**Waktu Pengisian Baterai (menit)**	**Keterangan**
		Sebelum Pengisian (kosong)	**Setelah Pengisian (penuh)**		
1.	*Power Supply*	3,0	4,18	643	Pengisian maksimal
2.	Sel Surya	3,0	4,18	5400	Pengisian kurang maksimal (fluktuatif)



Gambar 4.8. Grafik Pengamatan Waktu Pengisian Baterai *Power Bank* Menggunakan *Power Supply* vs Sel Surya
Sumber : Dokumen Pribadi

4.2.2. Analisis Hasil Pengujian Blok Proses

1. Analisis Hasil Pengujian Regulator Tegangan Sel Surya

Regulator tegangan digunakan sebagai penstabil tegangan keluaran dari sel surya. Rangkaian regulator yang digunakan pada alat ini adalah satu buah regulator IC LM7805. Jika mengacu pada *datasheet*, IC LM7805 mempunyai *range* tegangan masukan dari 5 volt sampai 18 volt dan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 4,80 volt sampai 5,20 volt dengan *output* arus maksimal sebesar 1 A. Pada tabel 4.4. di atas, didapatkan hasil keluaran tegangan sel surya setelah diregulasi menjadi stabil 5 volt dengan tegangan *input* V_{IN} minimal sebesar 6 volt. Sehingga, rangkaian regulator ini dapat bekerja dengan baik dan tegangan *output* sel surya setelah diregulasi bisa menjadi tegangan referensi untuk selanjutnya dialirkan ke rangkaian *switch* tegangan dan rangkain modul *charger*.

2. Analisis Hasil Pengujian Rangkaian *Switch* Tegangan

Setelah tegangan keluaran dari sel surya sudah stabil 5 volt, maka selanjutnya aliran arus akan mengalir ke rangkaian *switch* tegangan dengan menggunakan dioda. Pada hasil penelitian, dioda dapat bekerja dengan baik sebagai tegangan halang untuk keluaran sel surya dan sebagai gerbang aliran arus sel surya sehingga dapat menjalankan fungsinya sebagai rangkaian *switch* tegangan. Tegangan keluaran dari sel surya setelah melewati rangkaian regulator menjadi stabil 5 volt, dan setelah melewati dioda, tegangan keluaran sel surya teregulasi lagi menjadi 4,68 volt. Pada saat pengujian, didapatkan hasil ketika sumber sel surya digunakan sebagai sumber pengisian baterai, arus dapat mengalir ke modul *charger* (saklar terbuka/bias maju) dengan arus

maksimal sebesar 0,15 mA dan tegangan pada dioda sebesar 0,82 volt. Namun, ketika modul *charger* dihubungkan dengan sumber *power supply*, maka arus pengisian pada sel surya menjadi 0 A atau tidak mengalir (saklar tertutup/bias mundur) dengan tegangan pada dioda menjadi sebesar 0,60 volt. Hal tersebut dikarenakan ketika sumber *power supply* dengan tegangan *output* lebih besar yaitu 5,17 volt dihubungkan ke modul *charger* dan mengalirkan arus pengisian, dioda pada *output* sel surya akan otomatis menutup aliran arus dari *power supply* sehingga tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian sel surya (pengaman). Sementara itu, dioda ketika pada saat berfungsi sebagai saklar tertutup/bias mundur, dioda akan menghasilkan tahanan yang besar sehingga arus pengisian dari sel surya tidak dapat mengalir ke rangkaian modul *charger*.

3. Analisis Hasil Pengujian Modul *Charger*

Pada hasil pengujian rangkaian modul *charger*, didapatkan *output* tegangan dari modul *charger* untuk pengisian baterai *power bank* tenaga *hybrid* menjadi stabil, yaitu sebesar 4,45 volt ketika diberi tegangan *input* V_{IN} dari *power supply* sebesar 5,17 volt dan dari sel surya sebesar 4,8 volt. Kemudian, modul *charger* juga dapat difungsikan sebagai pengaman baterai dari *overcharge*, dengan arus pengisian ketika baterai sudah pada tegangan 4,18 volt (penuh) menjadi 0 A (terputus), sehingga pengisian baterai berhenti. Selain itu, modul *charger* juga dapat difungsikan sebagai pengaman baterai dari *overdischarge*, dengan arus keluaran baterai ketika melayani pengisian beban *smartphone* menjadi 0 A ketika baterai *power bank* tenaga *hybrid* sudah pada tegangan 2,70 volt.

Pada data ini, terdapat perbedaan antara data yang tercatat pada spesifikasi modul *charger* dengan data hasil pengujian alat langsung. Nilai acuan pada spesifikasi modul *charger* yang digunakan menjelaskan bahwa nilai tegangan proteksi *overcharge* pada tegangan penuh baterai yaitu sebesar 4,2 volt. Namun pada saat pengujian langsung, lajur arus pengisian sudah berhenti pada saat tegangan baterai mencapai tegangan 4,18 volt. Selain itu, modul *charger* yang digunakan juga menjelaskan bahwa nilai tegangan proteksi *overdischarge* pada tegangan kosong baterai yaitu sebesar 2,50 volt. Namun pada saat pengujian langsung, lajur arus pengosongan baterai *power bank* tenaga *hybrid* ketika melayani beban *smartphone* sudah berhenti pada saat tegangan baterai mencapai 2,70 volt.

Sehingga, modul *charger* memiliki deviasi kesalahan yang didapat dari hasil pengujian dan analisis alat. Pembuktian deviasi kesalahan modul *charger* pada proteksi *overcharge* dapat dibuktikan pada rumus berikut :

$$\% \text{ deviasi kesalahan} = \left|\frac{Nilai\ Acuan - NIlai\ Terukur}{Nilai\ Acuan}\right| \text{ x } 100\% \qquad (4.2a)$$

$$= \left|\frac{4{,}20\ volt - 4{,}18\ volt}{4{,}2\ volt}\right| \text{ x } 100\%$$

$$= 0{,}47\%$$

Kemudian pembuktian deviasi kesalahan modul *charger* pada proteksi *overdischarge* dapat dibuktikan pada rumus berikut :

$$\% \text{ deviasi kesalahan} = \left|\frac{Nilai\ Acuan - NIlai\ Terukur}{Nilai\ Acuan}\right| \text{ x } 100\% \qquad (4.2b)$$

$$= \left|\frac{2{,}50\ volt - 2{,}70\ volt}{2{,}50\ volt}\right| \text{ x } 100\%$$

$$= 8\%$$

4. Analisis Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Step-Up* Tegangan IC A7530

Pengujian ini dilakukan pada rangkaian modul *step-up* tegangan 1 yaitu modul *step-up* tegangan IC A7530 yang berfungsi sebagai *boost voltage* 5 volt dari baterai *power bank* tenaga *hybrid* untuk dapat menyuplai daya untuk rangkaian sensor arus ACS712 5A, mikrokontroler ATmega 8 dan LCD. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan V_{IN} dari baterai dengan nilai tegangan V_{OUT} dari modul *step-up* tegangan A7530 dengan menggunakan multimeter.

Setelah dilakukan pengujian sesuai dengan skenario pengujian, didapatkan bahwa tegangan keluaran *step-up* tegangan bernilai 5 volt pada saat diberi *input* tegangan baterai pada *range* 2,82 volt sampai 4,18 volt. Hal ini membuktikan bahwa *output* tegangan dari modul modul *step-up* tegangan A7530 memiliki kemampuan untuk menaikkan dan menstabilkan tegangan *output* saat diberi tegangan *input* mulai dari tegangan baterai sebesar 2,82 volt.

5. Analisis Hasil Pegujian Rangkaian Sensor Tegangan

Kemudian, pada pengujian sensor tegangan dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan yang difungsikan untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber sel surya menjadi tegangan yang dikehendaki oleh ADC mikrokontroler dapat bekerja dengan baik. Dari data hasil pengujian pada tabel 4.12. didapat tegangan maksimal dari sel surya sebesar 6,63 volt. Ketika melewati rangkaian pembagi tegangan, maka tegangan yang dibaca oleh ADC mikrokonteroler menjadi 3,31 volt. Selanjutnya, tegangan

pembacaan pada ADC mikrokontroler tersebut akan diolah oleh pemograman mikrokontroler, agar tetap akan menampilkan tegangan nyata dari keluaran sel surya pada LCD. Berdasarkan hasil pengujian pada sistem pembagian tegangan dapat dibuktikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \times V_{in} \quad (4.3)$$

$$= \frac{10\ k\Omega}{(10+10)\ k\Omega} \times 6{,}63\ V = 3{,}315\ volt$$

6. Analisis Hasil Pengujian Rangkaian Sensor ACS712 5A

Pada hasil pengujian rangkaian sensor arus, sensor arus dapat bekerja dengan baik dengan besar tegangan *sensing out* dari modul sensor ACS712 5A mempunyai nilai yang bervariasi tergantung pada *input* arus dari sel surya. Namun dari data hasil pengujian, besarnya tegangan *sensing out* dari sensor arus tidak berbeda jauh dikarenakan sumber arus sel surya yang hanya dapat memberikan *input* arus dari 0,02 A sampai 0,16 A. sehingga hasilnya nanti tidak akan berpengaruh jauh pada tampilan LCD.

Dari tabel 4.13. di atas, keluaran sensor arus berupa tegangan yang diujikan dengan menggunakan multimeter pada saat suplai arus sel surya 0 A adalah sebesar 2,51 volt. Sementara itu, pada saat sel surya mendapatkan arus *input* maksimal yaitu pada 0,16 A, maka besaran keluaran tegangan *sensing out* sebesar 2,54 volt.

Kemudian, pada gambar 4.5. dapat disimpulkan bahwa tegangan yang keluar dari sensor arus berbanding lurus dengan besarnya arus pada

multimeter, dimana semakin tinggi nilai arus yang diukur maka semakin tinggi pula tegangan *output* pada sensor arus ACS712 5A.

7. Analisis Hasil Pengujian Tampilan LCD

Pada saat melakuakan pengujian, posisi saklar 1 diubah ke dalam posisi *ON* untuk menyalakan layar LCD dan saklar 2 dalam posisi *ON* untuk mengaktifkan lampu *backlight* LCD agar tampilan LCD lebih mudah dilihat. Setelah dilakukan pengujian dalam memandingkan nilai pengukuran pada multitester dengan nilai pada LCD yang dapat dilihat pada tabel 4.15., tabel 4.16. dan tabel 4.17. terdapat selisih antara pengukuran multimeter dengan tampilan LCD yang digunakan.

Sehingga, pada tampilan LCD memiliki deviasi kesalahan yang didapat dari hasil pengujian dan analisis alat. Pembuktian deviasi kesalahan tampilan LCD dengan pengukuran dapat dibuktikan dengan perumusan sebagai berikut :

$$\% \text{ deviasi kesalahan} = \left|\frac{Nilai\ Multimeter - Nilai\ LCD}{Nilai\ Multimeter}\right| \text{ x } 100\% \qquad (4.4)$$

Maka, besar nilai deviasi kesalahan nilai tegangan sel surya pada LCD menurut persamaan di atas dapat dilihat pada tabel 4.22. berikut ini.

Tabel 4.22. Hasil Deviasi Kesalahan Tampilan LCD Terhadap Multitester Pada Tegangan Sel Surya

No.	Pengukuran Tegangan Sel Surya	% deviasi kesalahan $\left(\left\|\frac{Nilai\ Multimeter - Nilai\ LCD}{Nilai\ Multimeter}\right\| \text{ x } 100\%\right)$
1.	Pertama	0,71%
2.	Kedua	0,34%
3.	Ketiga	0,78%

4.	Keempat	0,61%
5.	Kelima	0,76%
6.	Keenam	0,48%
7.	Ketujuh	0,85%
8.	Kedelapan	0,17%
Rata-Rata Deviasi Kesalahan		0,58%

Dari hasil rata-rata deviasi kesalahan tersebut, dapat dikatakan bahwa tampilan LCD untuk menampilkan besarnya nilai tegangan sel surya dapat berjalan dengan baik. Selanjunya, besar nilai deviasi kesalahan nilai arus sel surya pada LCD menurut persamaan di atas dapat dilihat pada tabel 4.23. berikut ini.

Tabel 4.23. Hasil Deviasi Kesalahan Tampilan LCD Terhadap Multitester Pada Arus Sel Surya

No.	**Pengukuran Arus Sel Surya**	**% deviasi kesalahan** $\left(\left\lvert\frac{Nilai\ Multimeter - Nilai\ LCD}{Nilai\ Multimeter}\right\rvert \text{ x } 100\%\right)$
1.	Pertama	50%
2.	Kedua	25%
3.	Ketiga	16,67%
4.	Keempat	0%
5.	Kelima	10%
6.	Keenam	8,3%
7.	Ketujuh	14,28%
8.	Kedelapan	6,25%
Rata-Rata Deviasi Kesalahan		16,3%

Dari hasil rata-rata deviasi kesalahan tersebut, dapat dikatakan bahwa tampilan LCD untuk menampilkan besarnya nilai arus sel surya dapat berjalan dengan baik. Selanjunya, besar nilai deviasi kesalahan nilai tegangan baterai pada LCD menurut persamaan di atas dapat dilihat pada tabel 4.24. berikut ini.

Tabel 4.24. Hasil Deviasi Kesalahan Tampilan LCD Terhadap Multitester Pada Tegangan Baterai

No.	Pengukuran Tegangan Baterai	% deviasi kesalahan $\left(\left\lvert\frac{Nilai\ Multimeter - Nilai\ LCD}{Nilai\ Multimeter}\right\rvert \text{ x } 100\%\right)$
1.	Pertama	0,73%
2.	Kedua	2,04%
3.	Ketiga	2,4%
4.	Keempat	3,5%
5.	Kelima	3,35%
6.	Keenam	3,8%
7.	Ketujuh	2,94%
8.	Kedelapan	2,87%
Rata-Rata Deviasi Kesalahan		2,81%

Dari hasil rata-rata deviasi kesalahan tersebut, dapat dikatakan bahwa tampilan LCD untuk menampilkan besarnya nilai tegangan baterai dapat berjalan dengan baik. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tampilan LCD sebagai pemantau besar nilai tegangan baterai, serta nilai arus dan tegangan sel surya dapat berfungsi baik sehingga dapat digunakan sebagai data referensi bagi pengguna *power bank* tenaga *hybrid* untuk mengetahui kondisi nyata tentang sisa kapasitas tegangan baterai *power bank* dan besar arus serta tegangan *input* dari sel surya.

4.2.3. Analisis Hasil Pengujian Blok *Output*

1. Analisis Hasil Pengujian Rangkaian Modul *Step-Up* Tegangan IC MT3608

Pengujian ini dilakukan pada rangkaian modul *step-up* tegangan 2 yaitu modul *step-up* tegangan IC MT3608 yang berfungsi sebagai *boost voltage* 5 volt dari baterai *power bank* tenaga *hybrid* untuk dapat menyuplai daya ketika

power bank tenaga *hybrid* ingin digunakan untuk melayani beban baterai *smartphone*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan V_{IN} dari baterai dengan nilai tegangan V_{OUT} dari modul *step-up* tegangan IC MT3608 dengan menggunakan multimeter. Sebelumnya potensiometer pengatur tegangan V_{OUT} dari modul *step-up* tegangan IC MT3608 ini diputar dan diatur sampai keluaran tegangannya tepat 5 volt.

Setelah dilakukan pengujian sesuai dengan skenario pengujian, didapatkan bahwa tegangan keluaran *boost converter* bernilai 5 volt pada saat diberi *input* tegangan baterai pada *range* 2,82 volt sampai 4,18 volt. Hal ini membuktikan bahwa *output* tegangan dari modul modul *step-up* tegangan IC MT3608 memiliki kemampuan untuk menaikkan dan menstabilkan tegangan *output* saat diberi tegangan *input* baterai mulai dari tegangan 2,82 volt.

2. Analisis Hasil Pengujian Lajur Arus Pengosongan Baterai *Power Bank*

Prosedur pengujian lajur arus pengosongan baterai dilakukan untuk mengetahui estimasi laju arus pengosongan baterai *power bank* tenaga *hybrid* pada saat melakukan pengisian pada beban baterai *smartphone* dalam beberapa siklus pengisian. Menurut data hasil pengujian pada tabel 4.15. di atas, dapat disimpulkan bahwa *power bank* tenaga *hybrid* dapat digunakan untuk melayani beban *smartphone* Samsung Galaxy Prime dengan kapasitas baterai sebesar 2600 mAH sebanya 3,5 kali dengan lamanya 1 kali pengisian selama 293 menit dan sisa tegangan baterai terakhir pada *power bank* tenaga *hybrid* adalah sebesar 2,83 volt.

4.2.4. Analisis Perhitungan Jumlah dan Konversi Energi Pada Panel Surya

Perhitungan dilakukan untuk menetukan ukuran, jumlah sel surya dan baterai untuk sistem energi matahari dengan kapasitas baterai 10,2 AH. Langkah-langkah perancangan panel surya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan Susunan Modul Optimum Untuk Panel Surya

   Penyusunan optimum adalah cara yang akan menentukan kebutuhan tegangan dan arus total panel dengan jumlah modul seminimum mungkin. Penentuan konfigurasi modul minimum dengan menghitung jumlah minimum modul yang menyediakan nilai arus panel maksimal yang bisa dihasilkan dengan tegangan tetap. Adapun persamaan untuk menentukan jumlah panel surya adalah sebagai berikut :

   a. Jumlah modul sel surya yang tersusun seri ditentukan oleh persamaan :

   $$J_S = \frac{V_{OC}}{V_{MF}} = \frac{7\ volt}{0{,}5\ volt} = 14 \text{ modul sel surya seri} \qquad (4.5.)$$

   b. Jumlah modul sel surya yang tersusun paralel ditentukan oleh persamaan :

   $$J_P = \frac{P}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{2{,}8\ Watt}{7\ volt \times 0{,}20\ A} = 2 \text{ panel surya} \qquad (4.6.)$$

   Dimana : J_S = Jumlah seri modul sel surya
   V_{OC} = Tegangan maksimum sistem modul surya (volt)
   J_P = Jumlah rangkaian paralel modul sel surya
   P = Daya total panel surya (watt)
   I_{SC} = Arus maksimum modul surya (ampere)
   V_{MF} = Tegangan maksimum sel surya (volt)

2. Menentukan Kapasitas Energi Panel Surya

   Kapasitas energi adalah kemampuan suatu materi untuk melakukan kerja. Besarnya intensitas cahaya yang dapat diserap oleh sel surya bergantung

terhadap besarnya energi foton dari sumber cahaya. Besarnya intensitas cahaya matahari akibat *irradiance* matahari pada waktu cahaya maksimal (siang hari) adalah sebesar 1000 W/m^2. Adapun persamaan daya *input* sel surya adalah :

$$P_{IN} = J\ x\ A$$
$$= 1000\ W/m^2 \times (0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m) = 14\ watt \qquad (4.7.)$$

Dimana : P_{IN} = Daya *input* sel surya akibat *irradiance* matahari (watt)
J = Intensitas cahaya (1000 W/m^2)
A = Luas permukaan sel surya (m^2)

Sedangkan besarnya daya *output* maksimal sel surya adalah sebagai berikut :

$$P_{OUT} = Voc\ x\ Isc\ x\ FF \qquad (4.8.)$$
$$= 7\ volt \times 0{,}2\ A \times 0{,}72 = 1{,}008\ watt$$

Dimana : P_{OUT} = Daya *output* maksimal yang dibangkitkan sel surya (watt)
Voc = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (volt)
Isc = Arus hubungan singkat pada sel surya (ampere)
FF = *Fill Factor* (0,72)

Adapun besar energi total yang diserap sel surya dalam sehari ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$P = V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t \qquad (4.9.)$$

Dimana : P = Kapasitas Energi Total (Wh)
V_{SISTEM} = Tegangan Sel Surya (volt)
I_{SISTEM} = Arus Sel Surya (ampere)
t = Waktu (jam)

1. Hari Pertama
   $P = V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   $= 6{,}02\ V \times 0{,}09\ A \times 5\ jam = 2{,}709\ Wh$

2. Hari Kedua
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 6,08 $V \times$ 0,10 $A \times$ 5 jam = 3,040 Wh

3. Hari Ketiga
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 6,02 $V \times$ 0,09 $A \times$ 5 jam = 2,709 Wh

4. Hari Keempat
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 5,91 $V \times$ 0,08 $A \times$ 5 jam = 2,364 Wh

5. Hari Kelima
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 6,02 $V \times$ 0,09 $A \times$ 5 jam = 2,709 Wh

6. Hari Keenam
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 6,04 $V \times$ 0,10 $A \times$ 5 jam = 3,030 Wh

7. Hari Ketujuh
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 6,00 $V \times$ 0,09 $A \times$ 5 jam = 2,700 Wh

8. Hari Kedelapan
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 5,91 $V \times$ 0,08 $A \times$ 5 jam = 2,364 Wh

9. Hari Kesembilan
   P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
   = 6,01 $V \times$ 0,09 $A \times$ 5 jam = 2,704 Wh

10. Hari Kesepuluh
    P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
    = 6,21 $V \times$ 0,11 $A \times$ 5 jam = 3,415 Wh

11. Hari Kesebelas
    P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
    = 6,07 $V \times$ 0,09 $A \times$ 5 jam = 2,731 Wh

12. Hari Keduabelas
    P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
    = 6,08 $V \times$ 0,09 $A \times$ 5 jam = 2,736 Wh

13. Hari Ketigabelas
    P = $V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t$
    = 6,10 $V \times$ 0,10 $A \times$ 5 jam = 3,05 Wh

Kemudian, rumus kapasitas energi per satuan luas pada panel surya ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM}}{A} \quad (4.10.)$$

Dimana : P = Kapasitas Energi Total (Wh/m^2)
V_{SISTEM} = Tegangan Sel Surya (volt)
V_{SISTEM} = Arus Sel Surya (ampere)
A = Luas Permukaan Sel Surya (m^2)

1. Hari Pertama
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}02\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 193{,}50\ \text{Wh/m}^2$$

2. Hari Kedua
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}08\ V \times 0{,}10\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 217{,}14\ \text{Wh/m}^2$$

3. Hari Ketiga
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}02\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 193{,}50\ \text{Wh/m}^2$$

4. Hari Keempat
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{5{,}91\ V \times 0{,}08\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 168{,}85\ \text{Wh/m}^2$$

5. Hari Kelima
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}02\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 193{,}50\ \text{Wh/m}^2$$

6. Hari Keenam
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}04\ V \times 0{,}10\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 216{,}42\ \text{Wh/m}^2$$

7. Hari Ketujuh
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}00\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 192{,}50\ \text{Wh/m}^2$$

8. Hari Kedelapan
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{5{,}91\ V \times 0{,}08\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 168{,}85\ \text{Wh/m}^2$$

9. Hari Kesembilan
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}01\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 193{,}14\ \text{Wh/m}^2$$

10. Hari Kesepuluh
$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}21\ V \times 0{,}11\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 243{,}92\ \text{Wh/m}^2$$

11. Hari Kesebelas

$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}07\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 195{,}07\ \text{Wh/m}^2$$

12. Hari Keduabelas

$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}08\ V \times 0{,}09\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 195{,}42\ \text{Wh/m}^2$$

13. Hari Ketigabelas

$$P = \frac{V_{SISTEM} \times I_{SISTEM} \times t}{A} = \frac{6{,}10\ V \times 0{,}10\ A \times 5}{0{,}2\ m\ \times 0{,}07\ m} = 217{,}85\ \text{Wh/m}^2$$

3. Menentukan Jam Matahari Ekivalen

Matahari ekivalen suatu tempat ditentukan berdasarkan peta insolasi matahari dunia yang dikeluarkan oleh Solarex (Solarex, 1996). Berdasarkan peta insolasi matahari dunia, diperoleh ESH wilayah khatulistiwa yaitu 5 jam.

4.3. Kelebihan dan Kekurangan Alat

4.3.1. Kelebihan Alat

a. *Power bank* tenaga *hybrid* ini dapat melakukan pengisian dengan dua sumber catu daya, yaitu sumber catu daya dari *power supply* (listrik PLN) dan sumber catu daya dari sel surya.

b. Menggunakan dua buah panel surya sehingga arus yang dihasilkan dapat lebih maksimal.

c. Tampilan persentase kapasitas baterai dan besar tegangan baterai pada LCD dapat memudahkan pengguna *power bank* tenaga *hybrid* untuk mengetahui nilai pasti dari persentase kapasitas sisa baterai serta besar nilai tegangan baterai pada *power bank* tenaga *hybrid*.

d. Tampilan besar nilai tegangan dan arus *input* sel surya pada LCD dapat memudahkan pengguna *power bank* ketika ingin mengisi daya ulang baterai

power bank tenaga *hybrid* menggunakan sumber sel surya sehingga pengguna dapat memposisikan *power bank* tenaga *hybrid* dengan benar.

e. Masing-masing rangkaian terdiri dari modul siap pakai, sehingga apabila terjadi kerusakan akan lebih mudah untuk mengganti rangkaian yang rusak.
f. Penggunaan tempat baterai yang terpisah dari rangkaian sehingga memudahkan pengguna untuk mengganti baterai apabila umur baterai sudah habis.
g. Mudah untuk mengatur *output* tegangan baterai dengan memutar potensiometer pada rangkaian modul *step-up* tegangan IC MT3608 sehingga pengguna juga dapat menggunakan *power bank* tenaga *hybrid* ini untuk melayani beban yang membutuhkan tegangan sumber lebih dari 5 volt.

4.3.2. Kekurangan Alat

a. Dimensi *power bank* tenaga *hybrid* masih terkesan besar dan kurang rapih dibandingkan dengan *power bank* pada umumnya.
b. *Sliding* pada penyangga panel surya tambahan masih kurang rapih dan sedikit sulit untuk digunakan.
c. Terlalu banyak rangkaian yang digunakan sehingga mempengaruhi besar arus *input* pengisian baterai menggunakan sumber sel surya.