

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

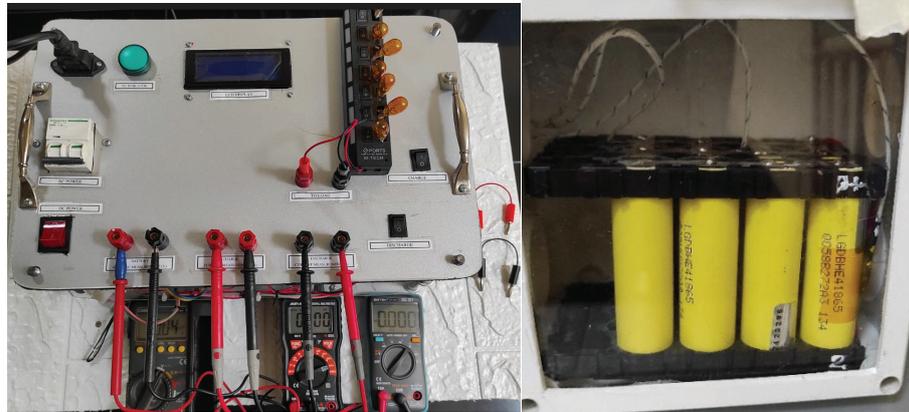
Pada bab ini dilakukan perbandingan hasil pembuatan alat dan pengukuran yang telah dilakukan pada Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal Pada Baterai Lithium Ion (Li-Ion) Menggunakan *Fuzzy Logic Control*. Data hasil pengujian yang diperoleh dari sensor pada baterai di analisis dan kemudian dibandingkan. Analisis dan perbandingan diukur dengan menggunakan alat multimeter digital dan termometer digital sebagai acuan agar dapat memperoleh kesimpulan dari penelitian yang di buat.

1. Mengetahui pemodelan sistem *monitoring* termal dan mengontrol suhu pada proses *charging*.
2. Dapat memantau pengaruh suhu terhadap kinerja baterai pada baterai lithium ion menggunakan metode *fuzzy logic control* pada kondisi siang dan malam hari.

4.1 Hasil Perancangan

Perancangan sistem *monitoring* pada baterai lithium ion LG 18650HE4 dengan kapasitas 3,6V, 2500mAh Baterai *pack* yang dirancang pada penelitian ini sebesar 12,6V dengan kapasitas 10.000 mAh menggunakan 3 buah baterai yang disusun secara seri dan 4 buah baterai yang disusun secara paralel. Sumber *charging* yang digunakan adalah *power supply* 24V 10A, yang menggunakan metode *constant current (CC)* dan *constant voltage (CV)*. Pengaturan menggunakan modul *charge CC CV Buck Converter*. Dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 komponen sistem *monitoring* yaitu, menggunakan sensor suhu MAX6675 *Thermocouple type-k*, sensor arus menggunakan ACS712 dan sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Sensor-sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler ATmega 2560 dan *discharging* menggunakan beban 7 buah lampu pijar 12V 10W berukuran 4,3A. Ketika tegangan pengisian pada baterai telah mencapai 12,6 V maka MOSFET sebagai sakelar digunakan untuk memutus sistem pengisian pada baterai. Pengaturan termal baterai pada saat *charging* diatur oleh *fuzzy logic control* sistem. Ketika suhu pada baterai melebihi batas aman maka

MOSFET memutus sistem *charging*. Hasil perancangan ditunjukkan oleh (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Hasil Perancangan *Monitoring* Termal Baterai Lithium Ion

4.2 Hasil perancangan sistem *Monitoring*

Hasil Perancangan pada penelitian ini ditampilkan pada layar LCD berukuran 20 x 4 pada (Gambar 4.2) seperti di bawah ini.



Gambar 4. 2 Tampilan Sistem *Monitoring* Pada LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi untuk menampilkan suatu nilai hasil sensor, menampilkan teks, atau menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler. Pada (Gambar 4.2) terdapat dua tampilan yaitu; tampilan pertama menampilkan waktu, *state of charge* (SoC), nilai tegangan total (Vt), nilai masing-masing tegangan pada baterai (V) dan suhu pada baterai ($^{\circ}\text{C}$), dan tampilan kedua menampilkan waktu, *state of charge* (SoC), arus *charging* (A) dan arus *discharging* (A) serta total daya (*watt*) pada baterai.

4.3 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Suhu

Termometer digital dan Max6675 merupakan komponen yang digunakan dalam pengujian dan kalibrasi sensor suhu. Mempunyai *range* pengukuran suhu -

200°C sampai 1300°C. Tujuannya adalah untuk membandingkan data pembacaan sensor dengan termometer digital sebelum digunakan sebagai *input* data logika *fuzzy*. Dapat dilihat pada (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Kalibrasi Sensor Suhu

Hasil Pengujian Sensor Suhu							
No	Waktu Charging	Nilai pada Termometer Digital (°C)	Nilai Suhu pembacaan sensor 1 MAX6675 Thermocouple-K (°C)	Nilai Suhu pembacaan sensor 2 MAX6675 Thermocouple-K (°C)	Nilai Suhu pembacaan sensor 3 MAX6675 Thermocouple-K (°C)	Error (°C)	Error (%)
1	07:52:03	30	31,18	30,44	30,19	0,099	0,329
2	07:52:13	30	30,69	29,7	29,95	0,010	0,035
3	07:52:24	30	30,19	30,19	29,7	0,011	0,036
4	07:52:34	30	30,94	29,95	29,95	0,002	0,008
5	07:52:45	30	30,94	30,44	29,95	0,021	0,069
6	07:52:55	30	30,69	30,44	29,7	0,091	0,304
7	07:53:06	30	30,44	30,44	29,45	0,106	0,355
8	07:53:16	30	30,69	30,44	30,19	0,058	0,192
9	07:53:27	30	30,44	30,44	29,95	0,010	0,032
10	07:53:37	30	30,69	29,95	29,7	0,010	0,035
Jumlah Error %							1,39
Rata-rata Error (%)							0,14

Berdasarkan (Tabel 4.1) menunjukkan adanya perbandingan antara kalibrasi suhu pada sensor dan suhu pada termometer digital dengan perubahan waktu. Suhu yang terbaca pada sensor dan termometer digital memiliki sedikit perbedaan, sehingga akurasi dari sensor yang digunakan baik. Rata-rata *error* pembacaan sekitar 0,14%.

4.4 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Tegangan

Pengujian dan kalibrasi sensor tegangan dengan menggunakan multimeter dan sensor pembagi tegangan atau *voltage divider* mempunyai *range* pengukuran tegangan DC 0V sampai 25V dapat dilihat pada (Tabel 4.2). Tujuannya untuk membandingkan data pembacaan sensor dengan multimeter sebelum digunakan sebagai *input* data logika *fuzzy*.

Tabel 4.2 Data Kalibrasi Sensor Tegangan

No.	Nama sel	Nilai Tegangan pada Multimeter (V)	Nilai Tegangan pada LCD (V)	<i>Error</i> (V)	<i>Error</i> (%)
1	V1	4,21	4,18	0,03	0,713
2	V2	4,19	4,19	0	0,000
3	V3	4,19	4,14	0,05	1,193
Jumlah <i>Error</i>					1,906
Rata-rata <i>error</i> (%)					0,635

Berdasarkan (Tabel 4.2) menunjukkan perbandingan kalibrasi tegangan pada sensor dan tegangan pada baterai lithium ion. Tegangan yang terbaca pada sensor dan multimeter terlihat sedikit perbedaan, sehingga akurasi dari sensor yang digunakan baik. Rata-rata *error* pembacaan pada kalibrasi tegangan sekitar 0,635%.

4.5 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Arus

Pengujian dan kalibrasi sensor arus dengan menggunakan multimeter dan sensor ACS712 5A. Mempunyai *range* pengukuran arus 0 sampai 5 A dapat dilihat pada (Tabel 4.3). Tujuannya untuk membandingkan data pembacaan sensor dengan multimeter sebagai informasi data pengisian dan pengosongan pada baterai.

Tabel 4.3 Data Kalibrasi Sensor Arus

No.	Waktu <i>Charging</i>	Nilai Arus pada Multimeter (A)	Nilai Arus pada Sensor ACS712 (A)	<i>Error</i> (A)	<i>Error</i> (%)
1	07:52:34	4,4	4,25	0,15	3,41
2	07:52:45	4,4	4,17	0,23	5,23
3	07:52:55	4,4	4,25	0,15	3,41
4	07:53:06	4,4	4,17	0,23	5,23
5	07:53:16	4,4	4,25	0,15	3,41
6	07:53:27	4,4	4,17	0,23	5,23
7	07:53:37	4,4	4,17	0,23	5,23
8	07:53:48	4,4	4,17	0,23	5,23
9	07:53:58	4,4	4,17	0,23	5,23
10	07:54:09	4,4	4,17	0,23	5,23
Jumlah <i>Error</i>					46,82

Lanjutan dari (Tabel 4.3)

Rata-rata <i>Error</i> (%)	4,68
----------------------------	------

Berdasarkan (Tabel 4.3) menunjukkan perbandingan kalibrasi arus pada sensor dan arus pada multimeter dengan perubahan waktu. Arus yang terbaca pada sensor dan multimeter terlihat jauh perbedaan pada setiap perubahan waktu, hal ini terjadi karena akurasi dari sensor yang digunakan tidak baik. Sehingga rata-rata *error* pembacaan sekitar 4,68%.

4.6 Pengujian Modul MOSFET

Hasil kalibrasi sensor tegangan dengan menggunakan multimeter yang diatur pada skala pembacaan tegangan PWM MOSFET diperoleh data (Tabel 4.4) bawah ini.

Tabel 4.4 Data Kalibrasi MOSFET

No	Waktu	PWM	<i>Duty Cycle</i>	Multimeter (<i>Volt</i>)
1	17:24:00	0	0	0
2	17:24:05	15	5,88	1,9
3	17:24:10	30	11,76	2,65
4	17:24:15	45	17,65	3,37
5	17:24:20	60	23,53	4,09
6	17:24:25	75	29,41	4,81
7	17:24:30	90	35,29	5,51
8	17:24:35	105	41,18	6,18
9	17:24:40	120	47,06	6,86
10	17:24:45	135	52,94	7,56
11	17:24:50	150	58,83	8,26
12	17:24:55	165	64,71	8,94
13	17:25:00	180	70,59	9,63
14	17:25:05	195	76,49	10,31
15	17:25:10	210	82,35	10,98
16	17:25:15	225	88,24	11,65
17	17:25:20	240	94,12	12,32
18	17:25:25	255	100	12,6

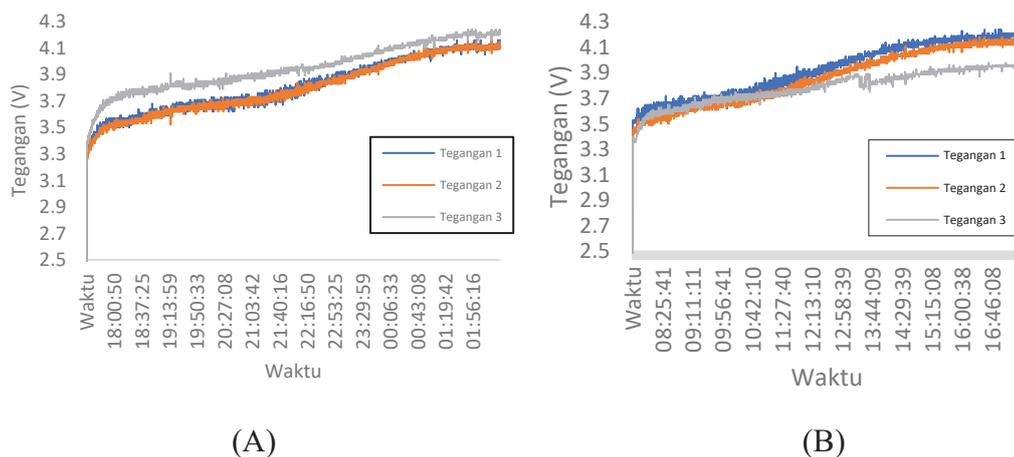
Berdasarkan (Tabel 4.4) pengambilan data tegangan dengan multimeter, nilai PWM yang dioutputkan dibagi menjadi 18 macam data *output*, Mulai dari 0 sampai dengan 255. Pada pengujian ini ditampilkan bentuk gelombang *pulse width modulation (PWM)* dari MOSFET.

4.7 Pengujian *Charging* baterai lithium ion

Pengujian *charging* pada penelitian ini menggunakan arus sebesar 1,125A (0,5 C-rate) dan tegangan 12,60V. Pengujian *charging* menggunakan sumber dari *power Supply DC* dengan tegangan 24V 10A dengan modul *charge buck converter cc cv* yang menurunkan tegangan dari 24V menjadi 12,60V dan membatasi arus dari 10A menjadi 1,125A. Pengujian menggunakan dua buah data *fuzzy logic* yang dilakukan pada kondisi siang dan malam hari. Kondisi ini menguji suhu baterai.

4.7.1 Pengukuran Tegangan Baterai Lithium Ion pada Proses *Charging*

Hasil pengambilan data tegangan (V) dan tegangan total (Vt) baterai saat melakukan pengisian pada kondisi siang dan malam hari. Hasil *monitoring* didapat grafik data seperti (Gambar 4.3) di bawah ini.

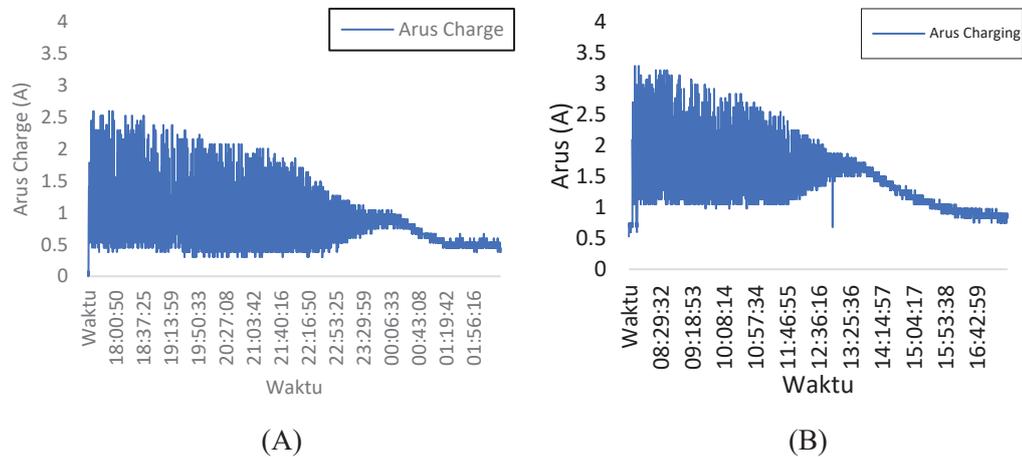


Gambar 4.3 Grafik Tegangan Baterai (V) pada Proses *Charging*

Pada saat proses pengisian menggunakan *fuzzy logic control*, terlihat gambar (Grafik 4.3) tiga buah sensor menunjukkan perbedaan tegangan baterai pada saat *charging* menggunakan pada kondisi siang dan malam hari. Nilai tegangan tertinggi kondisi malam hari pada sensor tegangan 3 bernilai 4,2 V, sedangkan nilai terendah pada sensor terbaca oleh sensor 2 sebesar 4,06 V. Nilai tegangan tertinggi kondisi malam hari pada sensor tegangan 3 bernilai 4,24 V, sedangkan nilai tegangan terendah kondisi siang hari pada sensor terbaca oleh sensor 3 sebesar 3,32 V Berdasarkan data tersebut tegangan baterai mengalami kenaikan berdasarkan lama waktu proses *charging*.

4.7.2 Pengukuran Arus Baterai Lithium Ion pada Proses *Charging*

Hasil pengambilan data Arus baterai saat melakukan pengisian dengan menggunakan sensor arus ACS712 5A baterai diperoleh data grafik seperti pada (Gambar 4.4) di bawah ini.

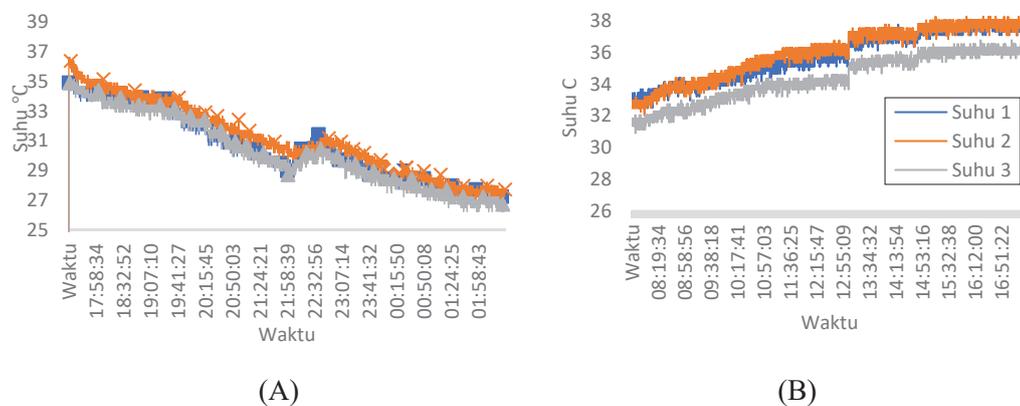


Gambar 4. 4 Grafik Arus (A) pada Proses *Charging*

Berdasarkan (Gambar 4.4) menunjukkan grafik arus pengisian baterai pada sensor terhadap perubahan waktu. Arus yang terbaca pada sensor terlihat tidak linear pada setiap perubahan waktu, hal ini terjadi karena akurasi dari sensor yang digunakan tidak baik. Sehingga pembacaan arus berubah-ubah daripada pembacaan multimeter.

4.7.3 Pengukuran Suhu Baterai Lithium Ion pada Proses *Charging*

Hasil pengambilan data suhu baterai saat melakukan pengisian dengan menggunakan 3 buah sensor suhu Max6675 *thermocouple type-k* didapat data grafik seperti pada (Gambar 4.5) di bawah ini.



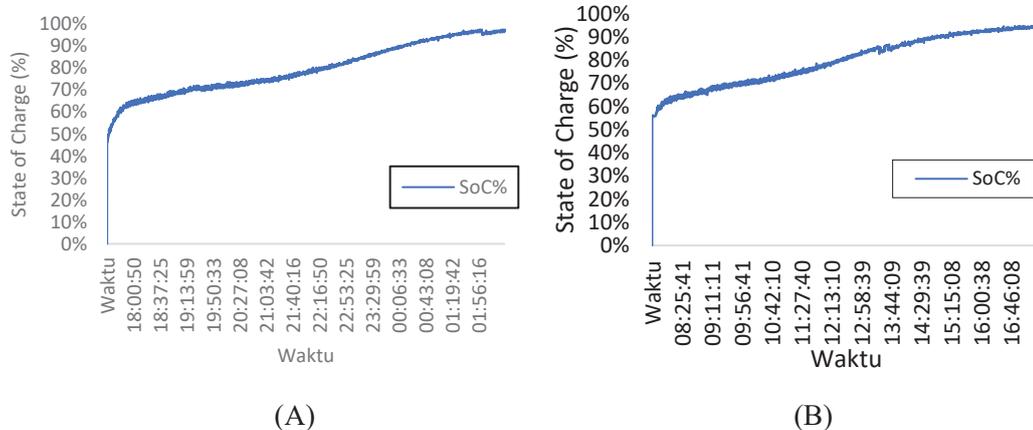
Gambar 4.5 Grafik Pengukuran Suhu Baterai pada Proses *Charging*

Pada saat proses pengisian menggunakan *fuzzy logic control*, terlihat gambar (Grafik 4.5) (A) tiga buah sensor menunjukkan suhu baterai mengalami perbedaan berdasarkan lama waktu proses *charging*. Saat *charging* menggunakan kondisi malam hari. Nilai suhu tertinggi pada sensor suhu 2 bernilai 36,63°C, sedangkan nilai suhu terendah terbaca oleh sensor 3 sebesar 26,23°C. Nilai suhu mengalami penurunan dikarenakan waktu *charging* di kerjakan pada malam hari.

Pada gambar (Grafik 4.5) (B) tiga buah sensor menunjukkan suhu baterai mengalami perbedaan berdasarkan lama waktu proses *charging*. Saat *charging* menggunakan kondisi siang. Nilai suhu tertinggi pada sensor suhu 1 dan 2 bernilai 38,27°C, sedangkan nilai suhu terendah terbaca oleh sensor 3 sebesar 30,91°C. Nilai suhu mengalami kenaikan dikarenakan waktu *charging* di kerjakan pada siang hari.

4.7.4 State of Charge pada Pengujian Charging

Pada penelitian ini untuk menentukan nilai SOC menggunakan metode OCV (*Open Circuit Voltage*). Nilai SOC berdasarkan pada nilai tegangan saat ini dan nilai tegangan setelah *charging* di tujukan pada (Gambar 4.6) di bawah ini.



Gambar 4.6 Grafik *State Of Charge* (Soc) pada Saat *Charging*

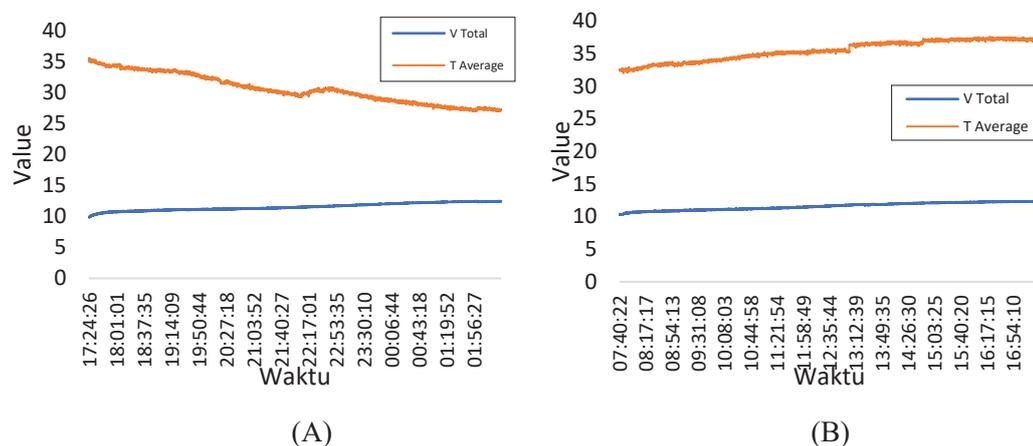
Grafik pada (Gambar 4.6) (A) merupakan SoC *charging* yang dilakukan pada malam hari. Kapasitas yang tersisa pada baterai dan dinyatakan dalam persen (%). Pada saat awal proses *charging* SoC baterai terbaca sebesar 46,17%, mengalami kenaikan berdasarkan lama waktu pengisian. Pada saat nilai SoC terbaca bernilai 97,61%.

Grafik pada (Gambar 4.6) (B) merupakan SoC *charging* yang dilakukan pada siang hari. Kapasitas yang tersisa pada baterai dan dinyatakan dalam persen

(%). Pada saat awal proses *charging* SoC baterai terbaca sebesar 54,38%, mengalami kenaikan berdasarkan lama waktu pengecasan. Pada saat nilai SoC terbaca bernilai 95,01%. atau dalam keadaan hampir penuh, mikrokontroler memberikan sinyal agar MOSFET memutus *output charger* yang terhubung langsung ke baterai sehingga proses *charging* terhenti secara otomatis.

4.8 Perbandingan Hasil Pengujian menggunakan Metode *Fuzzy Logic Control* pada Kondisi Siang dan Malam Hari

Perbandingan hasil pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian *charging* yang telah dilakukan menggunakan *fuzzy logic control* dengan membandingkan kondisi siang dan malam hari. Berikut ini adalah (Gambar 4.7) grafik hasil pengujian ditambahkan berikut ini



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Tegangan Total Dan Suhu Pada *Charging*

Berdasarkan (Gambar 4.7) hasil pengujian *charging* baterai lithium ion menggunakan *fuzzy logic control*. Kondisi pengujian menyesuaikan dengan membandingkan kondisi siang dan malam hari. Perbandingan hasil pengujian terlihat adanya perbedaan antara nilai suhu dan lama waktu *charging*. Pada kondisi Malam hari terjadi penurunan suhu 36,63°C sampai 26,23°C. Hasil pergerakan tegangan hingga mencapai *full charge* bergerak dengan konstan pada nilai 12,49 V dengan lama waktu charge 6 Jam 35 menit. Sedangkan Pada kondisi Siang hari terjadi kenaikan suhu 30,91°C sampai 38,27°C. Hasil pergerakan tegangan hingga mencapai *full charge* bergerak dengan konstan pada nilai 12,33 V dengan lama waktu charge 8 Jam 54 menit.