

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis alat yang sudah dibuat. Pembahasan hasil pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan hasil pengujian sensor tegangan
2. Pembahasan hasil pengujian sensor arus
3. Pembahasan hasil pengujian sensor suhu
4. Pembahasan hasil pengujian rangkaian *balancing*
5. Pembahasan hasil pengujian rangkaian proteksi

4.1 Pembahasan Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian rangkaian sensor tegangan ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan sensor tegangan terhadap *battery pack* yang tersusun secara seri sejumlah 20 buah sel baterai.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan

N	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	V4 (V)	V5 (V)	V6 (V)
VB1	3.94	3.94	3.94	3.93	3.93	3.93
VB2	7.85	3.91	4.36	4.36	7.85	3.92
VB3	11.88	4.03	4.01	4.01	11.87	4.02
VB4	15.71	3.83	4.06	4.05	15.68	3.82
VB5	19.69	3.98	4.39	4.39	19.63	3.95
VB6	23.68	3.99	4.09	4.08	23.66	4.03
VB7	27.51	3.83	4.06	4.05	27.46	3.8
VB8	31.47	3.96	4.01	3.99	31.33	3.87
VB9	35.46	3.99	3.87	3.85	35.39	4.07
VB10	39.23	3.77	4.14	4.13	39.15	3.76
VB11	42.9	3.67	4	3.99	42.79	3.64
VB12	46.8	3.9	3.76	3.74	46.75	3.96
VB13	50.7	3.9	4.06	4.05	50.63	3.89
VB14	54.8	4.1	3.79	3.78	54.67	4.04
VB15	58.5	3.7	3.8	3.79	58.29	3.62
VB16	62.6	4.1	3.91	3.9	62.5	4.21
VB17	66.4	3.8	3.81	3.8	66.24	3.74
VB18	70.2	3.8	4.09	4.08	70.03	3.79
VB19	74.1	3.9	4.08	4.06	73.82	3.79
VB20	78	3.9	3.96	3.96	77.94	4.12

Keterangan :

N : Tingkat susunan baterai

V1 : Tegangan pak dari bacaan *voltmeter*

V2 : Tegangan sel dari bacaan *voltmeter*

V3 : Tegangan keluaran resistor variabel dari bacaan *voltmeter*

V4 : Tegangan keluaran resistor variabel dari bacaan sensor

V5 : Tegangan pak dari bacaan sensor

V6 : Tegangan sel dari bacaan sensor

Tabel 4.2 *Selisih pembacaan sensor terhadap voltmeter*

N	ΔV_o resistor (V)	ΔV_{pak} (V)	ΔV_{sel} (V)
VB1	-0,01	-0,01	-0,01
VB2	0	0	0,01
VB3	0	-0,01	-0,01
VB4	-0,01	-0,03	-0,01
VB5	0	-0,06	-0,03
VB6	-0,01	-0,02	0,04
VB7	-0,01	-0,05	0,03
VB8	-0,02	-0,14	-0,09
VB9	-0,02	-0,07	0,08
VB10	-0,01	-0,08	-0,01
VB11	-0,01	-0,11	-0,03
VB12	-0,02	-0,05	0,06
VB13	-0,01	-0,07	-0,01
VB14	-0,01	-0,13	-0,06
VB15	-0,01	-0,21	-0,08
VB16	-0,01	-0,1	0,11
VB17	-0,01	-0,16	-0,06
VB18	-0,01	-0,17	-0,01
VB19	-0,02	-0,28	-0,11
VB20	0	-0,06	0,22
Rata-rata	0,01	0,091	0,054

Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan yang dirancang. Selisih rata-rata pembacaan tegangan keluaran resistor variabel sebesar 0,01 V dengan selisih maksimal sebesar -0,02 V. Selisih rata-rata pembacaan tegangan pak sebesar 0,091 V dengan selisih maksimal sebesar -0,28 V yang terjadi pada susunan *battery pack* ke 19. Selisih rata-rata pembacaan tegangan sel sebesar 0,054 V dengan selisih maksimal sebesar 0,22 V yang terjadi pada

susunan *battery pack* ke 20. Dari data tersebut dapat diketahui sumber selisih adalah perhitungan nilai tegangan pak pada program, yakni kesalahan penentuan nilai resistor pada rumus, sehingga pembacaan tegangan sel individu baterai juga terdapat selisih karena perhitungan tegangan sel tergantung dari hasil perhitungan tegangan pak. Selain itu metode pembacaan tegangan sel individu baterai ini rentan terjadi kesalahan, karena kesalahan hasil pembacaan tegangan sel akan memengaruhi kesalahan hasil pembacaan tegangan sel pada susunan sebelum dan sesudahnya.

4.2 Pembahasan Hasil Pengujian Sensor Arus

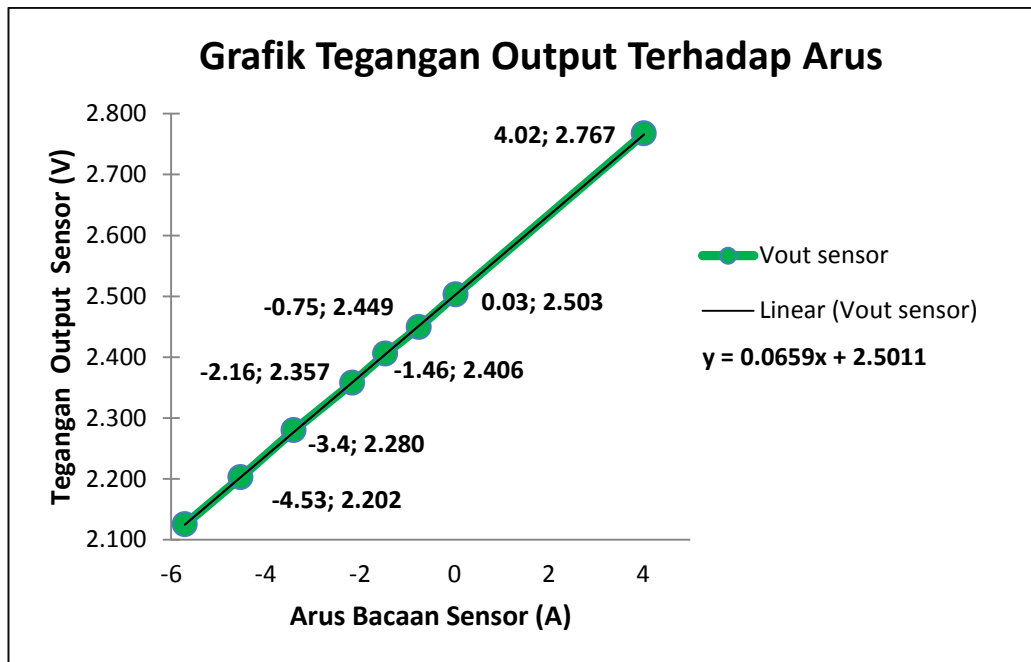
Pengujian sensor arus bertujuan untuk mengetahui seberapa besar selisih pembacaan arus saat proses pengisian dan pengosongan *battery pack*. Hasil pembacaan arus sensor arus ACS712-30 A yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712-30A

Pengisian					
I Ampere meter (A)	I sensor (A)	ΔI(A)	Vout sensor teori (V)	Vout sensor realita (V)	ΔV_{out} (V)
4,02	4,05	0,03	2,765	2,767	0,002
Pengosongan					
I Ampere meter (A)	I sensor (A)	ΔI(A)	Vout sensor teori (V)	Vout sensor realita (V)	ΔV_{out} (V)
0,03	0,04	0,01	2,502	2,503	0,001
-0,75	-0,77	0,02	2,451	2,449	-0,002
-1,46	-1,43	-0,03	2,404	2,406	0,002
-2,16	-2,16	0	2,357	2,357	0
-3,4	-3,34	-0,06	2,276	2,280	0,004
-4,53	-4,51	-0,02	2,201	2,202	0,001
-5,71	-5,68	-0,16	2,123	2,125	0,002
 Rata-rata ΔI (A)		0,04	 Rata-rata ΔV_{out} (V)		0,015

Dari tabel 4.3 diketahui selisih rata-rata pembacaan sensor arus ACS712-30A sebesar 0,04 A dengan selisih maksimal sebesar -0,16A saat proses pengosongan. Tanda positif berarti arus mengalir masuk dari charger ke baterai yang berarti proses pengisian, dan tanda negatif (-) berarti arus mengalir keluar dari baterai ke beban yang berarti proses pengosongan.

Dari Gambar 4.1 diketahui tegangan keluaran sensor *linear* dengan nilai *gradient* sebesar 0,0659 yang berarti sensitivitas sensor sebesar 65,9 mV/A.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan pembacaan arus

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Waktu Pembacaan Sensor Arus

Data Ke-	Waktu (ms)	Arus (A)	Data Ke-	Waktu (ms)	Arus (A)	Data Ke-	Waktu (ms)	Arus (A)
1	999	0,15	14	14002	0,3	27	27003	0,15
2	1999	0,3	15	15001	0,3	28	28004	0,15
3	2999	0,3	16	16002	0,3	29	29004	0,3
4	3999	0,3	17	17002	0,3	30	30004	0,3
5	5000	0,15	18	18002	0,3	31	31004	0,3
6	6000	0,3	19	19002	0,15	32	32005	0,3
7	7000	0,3	20	20002	0,15	33	33005	0,15
8	8000	0,3	21	21003	0,3	34	34004	0,3
9	9000	0,3	22	22002	0,3	35	35005	0,3
10	10001	0,3	23	23003	0,3	36	35901	0,3
11	11000	0,3	24	24003	0,3	37	36901	0,15
12	12001	0,3	25	25004	0,15	38	37902	0,3
13	13001	0,15	26	26003	0,15	39	38902	0,15

Pengujian waktu pembacaan sensor arus dilakukan menggunakan fungsi *millis* yang ada pada *microcontroller* untuk mengetahui apakah sensor arus sudah melakukan pembacaan setiap 1 detik. Hasil pengujian waktu pembacaan sensor arus ditunjukkan dalam Tabel 4.4, dapat diketahui proses pembacaan sensor arus sudah dilakukan setiap 1 detik dengan selisih minimal 1 milidetik dan maksimal 104 milidetik yang terjadi proses pembacaan date ke-36.

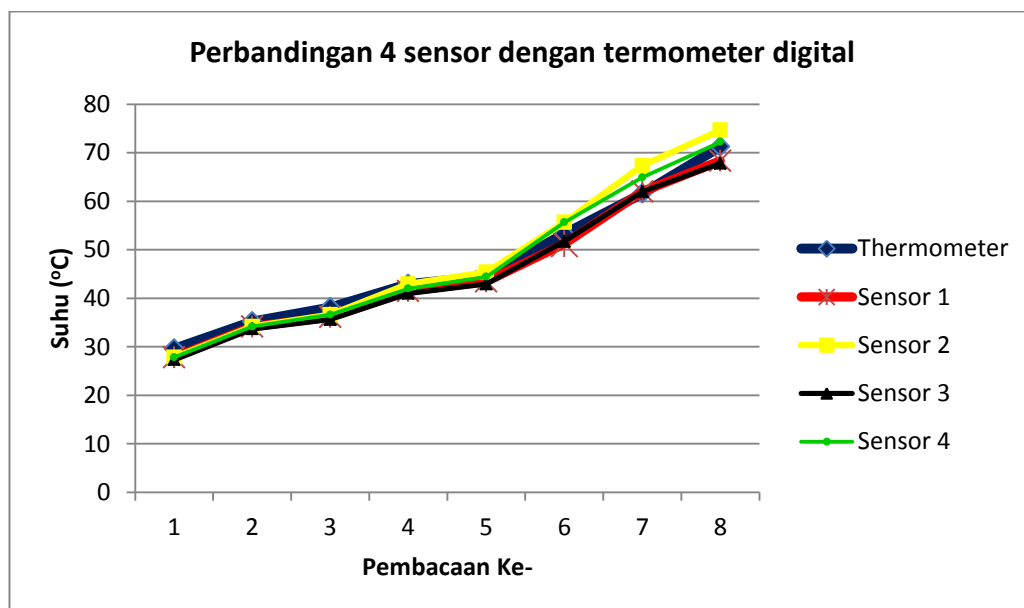
4.3 Pembahasan Hasil Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu bertujuan mengetahui seberapa selisih pembacaan suhu setiap sensor. Hasil pengujian sensor suhu LM35 ditunjukkan dalam Tabel 4.5. Dari tabel 4.5 dapat diketahui rata-rata selisih pembacaan suhu sebesar $1,21^{\circ}\text{C}$ dengan selisih maksimal sebesar $2,5^{\circ}\text{C}$ pada pengukuran ke-7.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35

No	Termo Meter ($^{\circ}\text{C}$)	Sensor LM35 ($^{\circ}\text{C}$)				Rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)
		1	2	3	4		
1	29,6	27,8	27,8	27,3	27,8	27,7	-1,9
2	35,2	34,2	34,2	33,7	34,2	34,1	-1,1
3	38,1	36,1	36,6	35,6	36,6	36,2	-1,9
4	42,9	41,5	42,9	41	42	41,8	-1,1
5	44,5	43,4	45,4	42,9	44,4	44	-0,5
6	53,3	51,2	55,6	51,7	55,6	53,6	0,3
7	61,6	62	67,3	62	64,9	64,1	2,5
8	71,2	68,3	74,7	67,8	72,2	70,8	-0,4
Rata-rata ΔT							1,21

Gambar 4.2 merupakan grafik perbandingan setiap sensor dengan thermometer, dapat dilihat sensor 2 memiliki rata-rata selisih pembacaan suhu paling besar yakni $2,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan sensor 1 memiliki rata-rata selisih pembacaan suhu sebesar $1,58^{\circ}\text{C}$, sensor 3 memiliki rata-rata selisih pembacaan suhu sebesar $1,88^{\circ}\text{C}$, dan sensor 4 memiliki rata-rata selisih pembacaan suhu sebesar $1,5^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan sensor suhu dengan thermometer

4.4 Pembahasan Hasil Pengujian Rangkaian *Balancing*

Pengujian rangkaian *balancing* bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus, tegangan, dan waktu rangkaian *balancing*.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Proses *Balancing*

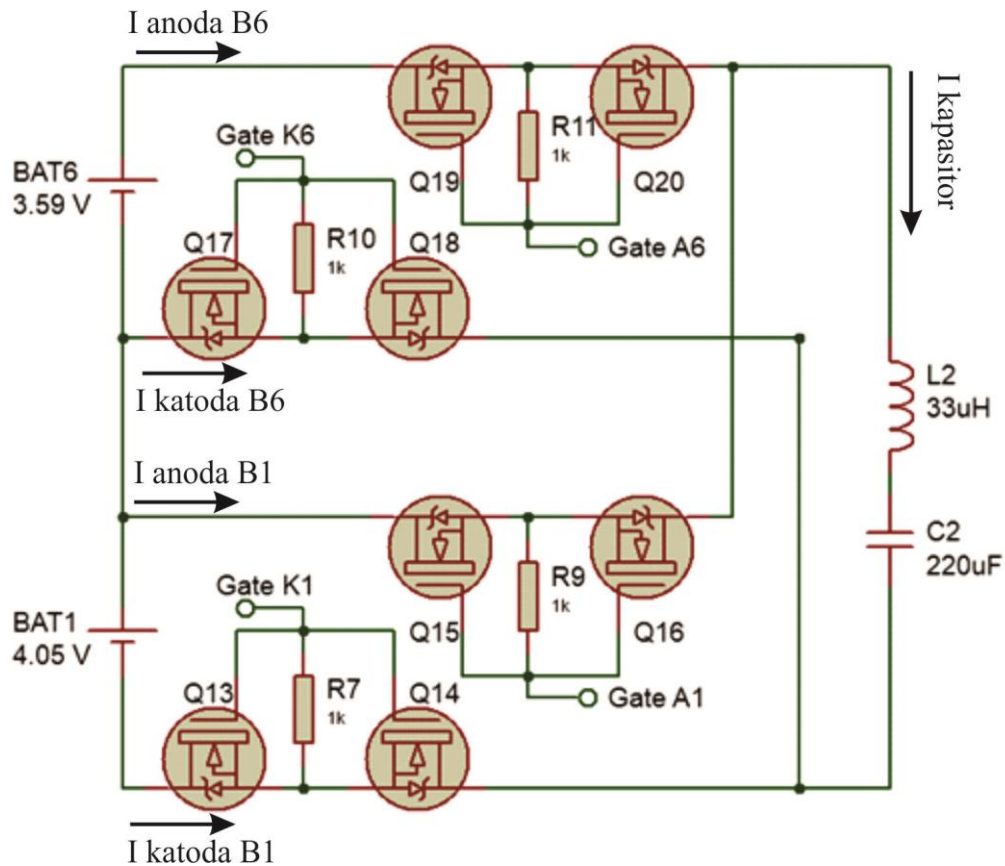
Bat	V	Bat	V	Bat	V	Bat	V
B1	4,05	B6	3,59	B11	3,77	B16	3,77
B2	3,77	B7	3,73	B12	3,92	B17	3,67
B3	3,79	B8	3,90	B13	3,83	B18	3,78
B4	3,78	B9	4,04	B14	3,80	B19	3,84
B5	3,77	B10	3,77	B15	3,77	B20	3,95
Vmax: B1= 4,05V				Vmin: B6=3,59V			
Waktu (jam)	1	2	3	4	5	6	
Vmax (V)	4,04	4,03	4,02	4,015	4,011	4,005	
Vmin (V)	3,62	3,64	3,65	3,661	3,666	3,669	
ΔV (V)	0,42	0,39	0,37	0,354	0,345	0,336	

Dari tabel 4.6 diketahui tegangan sel tertinggi pada baterai susunan ke-1 dengan tegangan sebesar 4,05 V, dan tegangan sel terendah pada baterai susunan ke-6 dengan tegangan sebesar 3,59 V, dan juga modus nilai tegangan sel keseluruhan baterai adalah 3,77 V yang akan menjadi tegangan akhir baterai. Dalam kurun waktu 6 jam, tegangan sel baterai ke-1 turun sebesar 0,035 V dari yang awalnya 4,04 V menjadi 4,005 V, dan pada baterai ke-6 tegangannya naik sebesar 0,049 V dari yang awalnya 3,62 V menjadi 3,669 V. Selisih tegangan antara baterai ke-1 dan baterai ke-6 turun sebesar 0,084 V dari yang awalnya 0,42 V menjadi 0,336 V. Sehingga dapat diketahui terjadi proses transfer energi dari baterai bertegangan tinggi ke baterai bertegangan rendah, yang menandakan terjadinya proses *active balancing* yang diinginkan.

Tabel 4.7 merupakan hasil pengujian arus rangkaian *balancing*, arus pada kapasitor diukur menggunakan amperemeter AC, karena ketika menggunakan amperemeter DC arusnya bernilai 0. Hal ini menandakan arus yang mengalir pada kapasitor berjenis AC, karena nilai rata-rata gelombang AC bernilai 0.

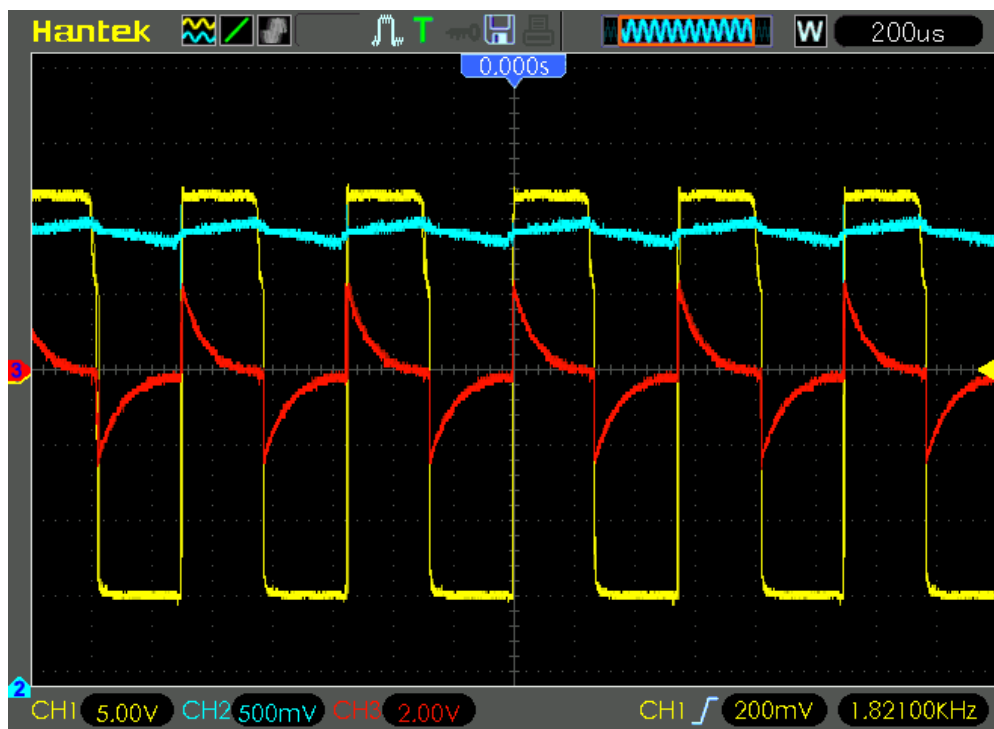
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Arus Proses Balancing

I efektif kapasitor (mA)	I anoda B1 (mA)	I katoda B1 (mA)	I anoda B6 (mA)	I katoda B6 (mA)
22,5 rms	17,3	-25,85	-24,12	18,75

Gambar 4.3 Aliran arus pada rangkaian *Balancing*

Gambar 4.3 menerangkan arus pada baterai kuat dan lemah yang diukur pada bagian anoda dan katoda agar mengetahui arah arusnya sehingga dapat memastikan terjadinya transfer energi. Nilai positif pada arus anoda B1 menandakan arus mengalir dari anoda B1 ke rangkaian *balancing*, nilai negatif pada arus katoda B1 menandakan arus mengalir dari rangkaian *balancing* ke katoda B1. Nilai negatif pada arus anoda B6 menandakan arus mengalir dari rangkaian *balancing* ke anoda B6, nilai positif pada arus katoda B6 menandakan arus mengalir dari katoda B6 ke rangkaian *balancing*. Arah arus pada B1 menandakan adanya transfer energi dari B1 ke rangkaian *balancing* saat *mosfet*nya diaktifkan, dan arah arus pada B6 menandakan adanya transfer energi dari rangkaian *balancing* ke B6 saat *mosfet*nya diaktifkan.

Nilai arus pada katoda B1 lebih besar dibandingkan dengan nilai arus pada anoda B1, selisih nilai arus pada anoda katoda B1 sebesar 8,55 mA, hal ini terjadi karena adanya arus *gate mosfet* yang mengalir melalui *gate* K1 dan *gate* A1. Begitu juga pada baterai B6, nilai arus pada anoda B6 lebih besar dibandingkan dengan nilai arus pada katoda B6, selisih nilai arus anoda katoda B6 sebesar 5,37 mA, hal ini terjadi karena adanya arus *gate mosfet* yang mengalir melalui *gate* K6 dan *gate* A6.



Gambar 4.4 Sinyal pada osiloscope

Gambar 4.4 merupakan sinyal yang ditampilkan pada *osiloscope*, sinyal berwarna kuning merupakan sinyal *switch mosfet* yang menghubungkan baterai kuat dengan rangkaian LC seri, sinyal berwarna biru merupakan sinyal tegangan kapasitor, dan sinyal berwarna merah merupakan sinyal arus yang mengalir pada kapasitor. Ketika *switch mosfet* berlogika HIGH, tegangan kapasitor naik sampai 4,04 V yang berarti terjadi pengisian pada kapasitor dari baterai kuat (B1) dengan arus maksimal yang mengalir sekitar 24 mA, sedangkan ketika *switch mosfet* berlogika LOW, tegangan kapasitor turun hingga 3,84 V yang berarti terjadi pengosongan muatan kapasitor ke baterai lemah (B6) dengan arus maksimal sekitar -24 mA.

4.5 Pembahasan Hasil Pengujian Rangkaian Proteksi

Pengujian rangkaian proteksi bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian proteksi yang dirancang dapat memutus jalur daya antara *battery pack* dengan *charger*/beban saat terjadi kondisi *undervoltage*, *overvoltage*, *overcurrent*, dan *overheat*.

Tegangan= 1.33	Status: Undervoltage	Relay: Terputus	I= 0.00
Tegangan= 1.34	Status: Undervoltage	Relay: Terputus	I= 0.15
Tegangan= 1.33	Status: Undervoltage	Relay: Terputus	I= 0.15
Tegangan= 1.58	Status: Undervoltage	Relay: Terputus	I= 0.15
Tegangan= 2.08	Status: Undervoltage	Relay: Terputus	I= 0.15
Tegangan= 2.67	Status: Undervoltage	Relay: Terputus	I= 0.15
Tegangan= 3.14	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.15
Tegangan= 3.46	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Tegangan= 3.57	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75

(a)

Tegangan= 4.90	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= 0.00
Tegangan= 4.90	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= -0.15
Tegangan= 4.90	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= -0.15
Tegangan= 4.87	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= 0.00
Tegangan= 4.77	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= -0.15
Tegangan= 4.60	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= -0.15
Tegangan= 4.25	Status: Overvoltage	Relay: Terputus	I= -0.15
Tegangan= 4.01	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= -0.15
Tegangan= 3.77	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.60
Tegangan= 3.44	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.60

(b)

Gambar 4.5 Serial monitor sistem proteksi tegangan pada komputer
(a)undervoltage (b) overvoltage

Gambar 4.5 bagian (a) merupakan tampilan serial monitor pada komputer saat pengujian proteksi *undervoltage*, batas tegangan *undervoltage* yang digunakan adalah sebesar 2,75 V. Ketika tegangan terdeteksi lebih kecil dari 2,75V, maka status baterai dianggap dalam keadaan *undervoltage* dan *microcontroller* akan memutuskan *relay* sehingga jalur daya antara baterai dan beban terputus, terlihat dari nilai arus yang mengalir melalui *relay* mendekati nol ketika *relay* terputus. Dan ketika tegangan terdeteksi lebih besar dari 2,75V, maka status baterai dianggap dalam keadaan aman dan *microcontroller* akan tetap menyambungkan *relay*, terlihat dari arus yang mengalir sebesar 0,75 A ketika *relay* tersambung.

Gambar 4.5 bagian (b) menjelaskan proses pengujian proteksi *overvoltage* dengan batas tegangan *overvoltage* sebesar 4,2 V. Ketika tegangan terdeteksi

lebih besar dari 4,2 V, maka status baterai dianggap dalam keadaan *overvoltage* dan *microcontroller* akan memutus *relay* sehingga jalur daya antara baterai dan *charger* terputus, terlihat dari nilai arus yang mengalir melalui *relay* mendekati nol ketika *relay* terputus. Dan ketika tegangan terdeteksi lebih kecil dari 4,2 V, maka status baterai dianggap aman dan *microcontroller* akan tetap menyambungkan *relay*, terlihat dari nilai arus yang mengalir sebesar 0,6 A ketika *relay* tersambung.

Suhu= 38.55	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 39.04	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.60
Suhu= 39.53	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 40.02	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 40.99	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 40.99	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 41.97	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 42.46	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 42.94	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 43.43	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.90
Suhu= 44.41	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 44.90	Status: Aman	Relay: Tersambung	I= 0.75
Suhu= 45.87	Status: Overheat	Relay: Terputus	I= 0.60
Suhu= 54.17	Status: Overheat	Relay: Terputus	I= 0.30
Suhu= 54.66	Status: Overheat	Relay: Terputus	I= 0.30
Suhu= 55.14	Status: Overheat	Relay: Terputus	I= 0.45
Suhu= 55.63	Status: Overheat	Relay: Terputus	I= 0.30

Gambar 4.6 Serial monitor sistem proteksi suhu pada komputer

Gambar 4.6 merupakan tampilan serial monitor pada komputer saat pengujian proteksi *overheat*, batas tegangan yang digunakan adalah 45°C saat proses pengisian atau pengosongan. Ketika suhu terdeteksi lebih besar dari 45°C, maka status baterai dianggap dalam keadaan *overheat* dan *microcontroller* akan memutuskan *relay* sehingga jalur daya antara baterai dan *charger*/beban terputus, terlihat dari nilai arus yang mengalir melalui *relay* mendekati nol ketika *relay* terputus. Dan ketika suhu terdeteksi lebih kecil dari 45°C, maka status baterai dianggap dalam keadaan aman dan *microcontroller* akan tetap menyambungkan *relay*, terlihat dari arus yang mengalir sebesar 0,75 A ketika *relay* tersambung.

Pengujian *overcurrent* dilakukan saat kondisi pengisian dan pengosongan dengan batas arus diatur 1A saat pengisian dan 4A saat proses pengosongan. Proses pengisian ditandai dengan arus yang mengalir positif, sedangkan saat proses pengosongan arus yang mengalir negatif.

Arus= 0.00	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 0.45	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 0.60	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 1.20	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.90	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 1.65	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.90	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 1.65	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.90	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 1.80	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.90	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 1.80	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.90	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= 1.95	Status: Overcurrent	Relay: Terputus

(a)

Arus= -0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -0.60	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -1.80	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -2.25	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -3.00	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -3.60	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -4.05	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -4.20	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -4.05	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -4.05	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -4.20	Status: Overcurrent	Relay: Terputus
Arus= 0.30	Status: Aman	Relay: Tersambung
Arus= -3.90	Status: Aman	Relay: Tersambung

(b)

Gambar 4.7 Serial monitor sistem proteksi arus pada komputer (a) pengisian (b) pengosongan

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian proteksi *overcurrent* saat proses pengisian dan pengosongan. Pada proses pengisian ketika arus terdeteksi lebih besar dari 1 A, maka status baterai dianggap dalam keadaan *overcurrent* dan *microcontroller* akan memutuskan *relay* sehingga jalur daya antara baterai dan *charger* terputus, saat *relay* terputus arus yang mengalir mendekati nol dan hal ini menyebabkan *relay* terhubung kembali. Dan ketika arus terdeteksi lebih kecil dari

1 A, maka status baterai dianggap dalam keadaan aman dan *microcontroller* akan tetap menyambungkan *relay*.

Pada proses pengosongan ketika arus terdeteksi lebih besar dari 4 A, maka status baterai dianggap dalam keadaan *overcurrent* dan *microcontroller* akan memutuskan *relay* sehingga jalur daya antara baterai dan beban terputus, saat *relay* terputus arus yang mengalir mendekati nol dan hal ini menyebabkan *relay* terhubung kembali. Dan ketika arus terdeteksi lebih kecil dari 4 A, maka status baterai dianggap dalam keadaan aman dan *microcontroller* akan tetap menyambungkan *relay*.

4.6 Pembahasan Hasil Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat dapat bekerja dengan benar setelah semua subsistem disatukan. Dari gambar 4.8 terlihat semua informasi sudah ditampilkan dengan baik melalui LCD 20x04, pada baris 1 informasi yang ditampilkan adalah status *battery pack* apakah dalam kondisi aman, *overcurrent*, *overvoltage*, *undervoltage*, atau *overheat*, pada baris 2 informasi yang ditampilkan adalah tegangan setiap sel baterai dan *battery pack*, pada baris 3 informasi yang ditampilkan adalah arus pengisian atau pengosongan *battery pack* dan kapasitas *battery pack*, pada baris 4 ditampilkan suhu *battery pack*.



Gambar 4.8 Tampilan LCD 20x04