

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang dilakukan untuk menyelesaikan rumusan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah penentuan spesifikasi baterai manajemen sistem, perancangan serta pengujian baterai manajemen sistem.

#### **3.1 Spesifikasi Alat**

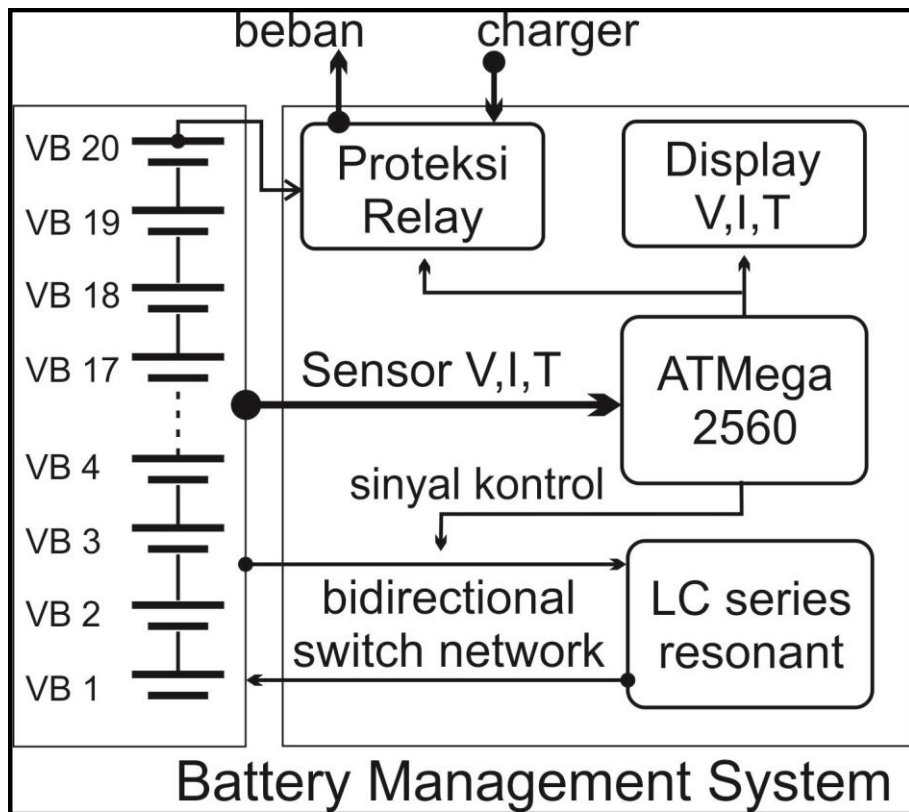
Spesifikasi alat ditentukan secara keseluruhan agar dapat dijadikan acuan untuk membuat baterai manajemen sistem yang diinginkan serta dapat bekerja dengan optimal. Alat yang dibuat memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Baterai manajemen sistem dapat digunakan pada 20 baterai litium ion yang tersusun seri
2. Metode *balancing* menggunakan *active cell balancing*
3. Penentuan kapasitas baterai menggunakan metode *coloumb counting*
4. Batas arus untuk proteksi *overcurrent* 20A saat pengosongan dan 10,4A saat pengisian
5. Batas tegangan untuk proteksi *overvoltage* adalah 4,2 volt
6. Batas tegangan untuk proteksi *undervoltage* adalah 2,75 volt
7. Batas suhu untuk proteksi *overheat* adalah 45°C
8. Peroteksi proses pengisian dan pengosongan baterai menggunakan *relay* dan *fuse*
9. Pengolahan data dilakukan secara digital menggunakan *Microcontroller ATmega 2560*
10. Sensor arus yang digunakan adalah ACS7120-30A
11. Sensor tegangan yang digunakan adalah *voltage divider*
12. Sensor suhu yang digunakan LM35
13. Media penampil yang digunakan adalah LCD 20x4

#### **3.2 Perancangan Alat**

Perancangan ini terdiri dari perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perancangan dan pembuatan perangkat keras terdiri dari rangkaian sensor tegangan, sensor arus, sensor suhu, *active cell balancing*, dan juga sistem proteksi. Kemudian semua rangkaian rangkaian tersebut dijadikan satu sebagai baterai management sistem (BMS) seperti yang ditunjukkan dalam

gambar 3.1. Perancangan perangkat lunak menggunakan bahasa C dengan aplikasi Arduino IDE yang diupload pada *microcontroller ATmega 2560*.



Gambar 3.1 Diagram blok keseluruhan alat

*Microcontroller ATmega 2560* memiliki 16 pin *input analog to digital converter* (ADC), dan 54 pin *input output* (I/O) digital. 4 pin ADC digunakan untuk keluaran sensor suhu LM35, 1 pin ADC untuk keluaran sensor arus ACS712-30, 2 pin ADC untuk keluaran sensor tegangan, 1 pin ADC untuk pembacaan tegangan 0 volt pada sensor tegangan. 5 pin I/O digital digunakan untuk *multiplexer*, 1 pin I/O digital untuk mengaktifkan sensor tegangan, 2 pin I/O digital untuk LCD 20x04, 1 pin I/O digital untuk *relay*, 21 pin I/O digital untuk rangkaian *balancing*.

### 3.2.1 Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan dibuat untuk mengetahui tegangan sel setiap baterai agar dapat dilakukan proteksi *overvoltage* dan *undervoltage*, selain itu tegangan setiap sel menjadi acuan baterai mana yang akan dilakukan proses *balancing*. Sensor tegangan seperti dalam gambar 3.2 menggunakan metode

pembagi tegangan dengan komponen utama variabel resistor bernilai 100k $\Omega$  digunakan untuk mengetahui tegangan pak pada setiap tingkat baterai seri, dan juga menggunakan *n channel mosfet* sebagai komponen saklar elektronik agar arus hanya mengalir saat proses pembacaan tegangan saja. Dan dengan menggunakan multiplexer untuk menghemat penggunaan pin *Analog to Digital Conversion* (ADC) pada *microcontroller*.

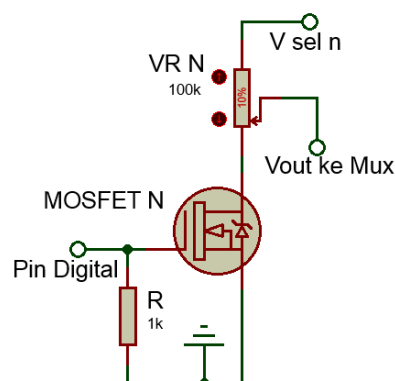
Nilai resistansi pembagi tegangan pada setiap sel diatur agar tegangan keluaran pembagi tegangan sebesar 4,5 V sehingga tidak melebihi tegangan *input* maksimal pin ADC *microcontroller*. Nilai resistansi pembagi tegangan dapat dihitung menggunakan Persamaan (3-1).

$$R_{pot} = \frac{4,5 \text{ volt} \times 100k\Omega}{V_{max \text{ bat}}} \dots\dots\dots (3-1)$$

Berikut adalah tabel nilai resistansi variabel resistor yang digunakan pada setiap sel baterai.

Tabel 3.1 *Nilai perhitungan resistansi variabel resistor*

Sel ke	V bat (volt)	V out (volt)	R pot (k $\Omega$ )	Sel ke	V bat (volt)	V out (volt)	R pot (k $\Omega$ )
1	4.2			11	46.2	4.5	9.7
2	8.4	4.5	53.6	12	50.4	4.5	8.9
3	12.6	4.5	35.7	13	54.6	4.5	8.2
4	16.8	4.5	26.8	14	58.8	4.5	7.7
5	21	4.5	21.4	15	63	4.5	7.1
6	25.2	4.5	17.9	16	67.2	4.5	6.7
7	29.4	4.5	15.3	17	71.4	4.5	6.3
8	33.6	4.5	13.4	18	75.6	4.5	6.0
9	37.8	4.5	11.9	19	79.8	4.5	5.6
10	42	4.5	10.7	20	84	4.5	5.4



Gambar 3.2 Rangkaian sensor tegangan

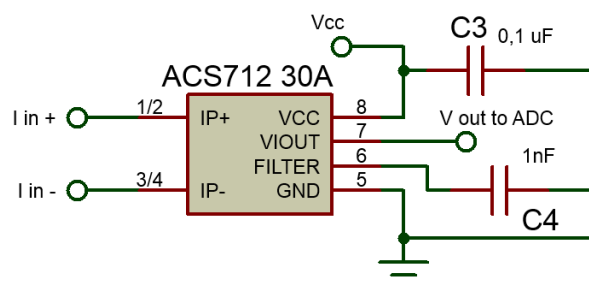
Pada sel baterai ke 1 langsung dihubungkan ke *multiplexer* tanpa pembagi tegangan dan *mosfet*, pada sel baterai ke 2 sampai ke 14 *mosfet* yang digunakan berjenis 2N7000 karena memiliki tegangan *drain-source* ( $V_{ds}$ ) maksimal 60 volt dan pada sel baterai ke 15 sampai ke 20 *mosfet* yang digunakan berjenis IRF540 karena memiliki tegangan *drain-source* ( $V_{ds}$ ) maksimal 100 volt. Resistor *pulldown* ditambahkan sebagai jalur pembuang muatan kapasitor *gate mosfet*, nilai  $R_{pulldown}$  ditentukan sebesar  $1k\Omega$  agar arus yang mengalir tidak terlalu besar dan juga waktu pengosongan kapasitor *gate mosfet* tidak terlalu lama. *Multiplexer* digunakan untuk memperkecil jumlah pin ADC yang digunakan pada *microcontroller* saat pembacaan tegangan, *multiplexer* yang digunakan adalah CD74HC 16 bit sebanyak 2 buah sehingga yang semulanya membutuhkan 20 pin ADC untuk membaca tegangan individu baterai menjadi hanya menggunakan 2 pin ADC.

Tegangan sel setiap baterai dapat diketahui setelah mengetahui tegangan *battery pack* tiap susun dengan melakukan pengurangan pada program menggunakan Persamaan (3-2).

$$V_{sel}(n) = V_{pak}(n) - V_{pak}(n-1) \dots \dots \dots (3-2)$$

### 3.2.2 Rangkaian Sensor Arus

Rangkaian sensor arus dirancang untuk mengetahui arus yang mengalir saat proses pengisian atau pengosongan baterai, sehingga dapat melakukan proteksi *overcurrent*. Sensor arus yang digunakan seperti dalam gambar 3.3 bertipe ACS712 dengan arus maksimal 30A serta keluaran berupa tegangan yang terhubung dengan pin *Analog to Digital Conversion* (ADC) *microcontroller*. Sensor arus yang digunakan sebanyak 1 buah yang diletakkan antara *battery pack* dengan *charger*/beban. Proses pembacaan sensor arus ini diatur setiap 1 detik agar dapat menghitung kapasitas *battery pack* dengan metode *coloumb counting*.

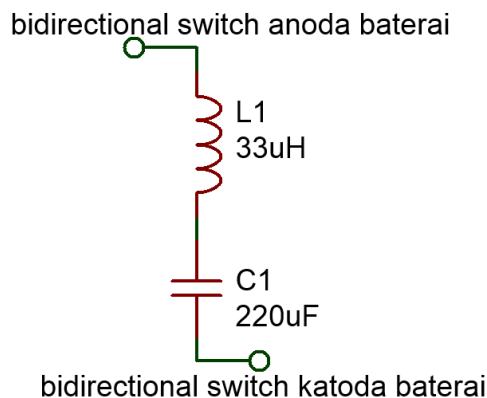


Gambar 3.3 Rangkaian sensor arus



ditentukan sekecil mungkin untuk mempercepat waktu *balancing*, induktor yang digunakan adalah power induktor dengan nilai 33uH. Dengan mempertimbangkan nilai resistansi mosfet ( $r_{ds\ on}$ ) sebesar 0,077  $\Omega$ , *equivalent series resistance* (ESR) pada induktor sebesar 0,24  $\Omega$  dan ESR kapasitor sebesar 0,117  $\Omega$  sehingga didapat nilai total resistansi pada rangkaian *balancing* ini sebesar 0,511  $\Omega$ . Dan nilai kapasitor ditentukan agar *damping ratio* ( $\zeta$ ) rangkaian LC seri lebih kecil dari 1 atau dalam kondisi *underdamped* dan tidak menyebabkan nilai frekuensi resonansi melebihi kemampuan frekuensi *switching mosfet* dan *optotransistor*. Dengan menggunakan Persamaan (3-6) didapat nilai maksimal kapasitor sebesar 505 uF, sehingga ditentukan nilai kapasitor sebesar 220 uF.

$$\frac{R^2 C}{4L} < 1 \quad \dots\dots\dots (3-6)$$



Gambar 3.5 Rangkaian LC seri resonan

Dengan menggunakan Persamaan (3-7), frekuensi resonansi dihitung sebesar 1,8 kHz. Nilai frekuensi ini menjadi frekuensi pensaklaran *switch network* yang bersumber dari pin digital *microcontroller ATmega 2560*.

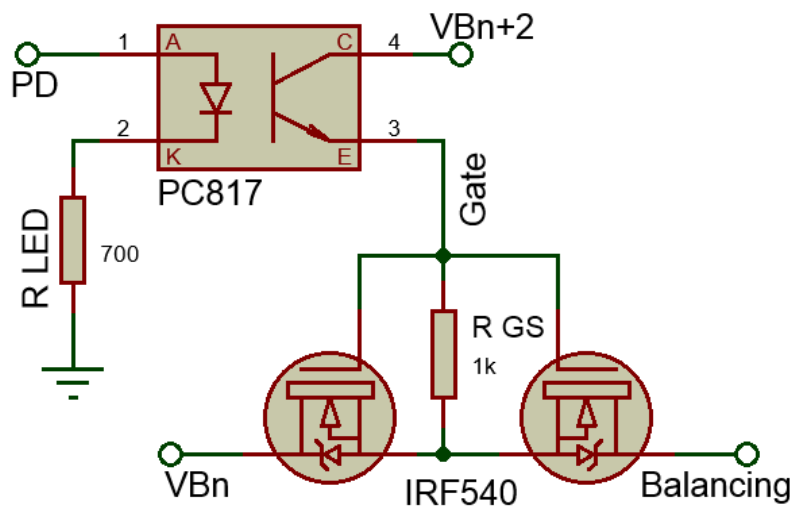
$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

*Switch network* menggunakan metode *bidirectional switch* yang berarti dapat menghantarkan arus dua arah. Komponen yang digunakan sebagai *bidirectional switch* adalah dua *mosfet* yang disusun secara seri seperti dalam gambar 3.6, setiap sel baterai menggunakan dua *bidirectional switch* yang terhubung pada anoda dan katoda baterai. Pada sel baterai ke 1 sampai 18 menggunakan N chanel *mosfet* IRF540, karena mosfet menggunakan dua baterai diatasnya untuk aktif, sedangkan pada sel baterai ke 19 dan 20 menggunakan P

channel *mosfet* IRF9540, karena *mosfet* menggunakan dua baterai dibawahnya untuk aktif. *Driver gate mosfet* yang digunakan adalah *optotransistor* PC817 dengan *input* terhubung ke pin digital *microcontroller*, *optotransistor* PC817 memiliki *rise time* dan *fall time* sebesar 18 us, nilai ini masih cukup kecil dibandingkan dengan *periode switching* sebesar 556 us.

Berdasarkan *datasheet* *optotransistor* PC817, pada bagian *input* tegangan *forward led* ( $V_f$ ) adalah 1,5V dengan arus ( $I_f$ ) 5mA dan tegangan pin digital ( $V_{pd}$ ) 5V, dapat dihitung nilai resistor led dengan Persamaan (3-8) sebesar 700 $\Omega$ .

$$R_{led} = (V_{pd} - V_f) / I_f \dots\dots\dots (3-8)$$

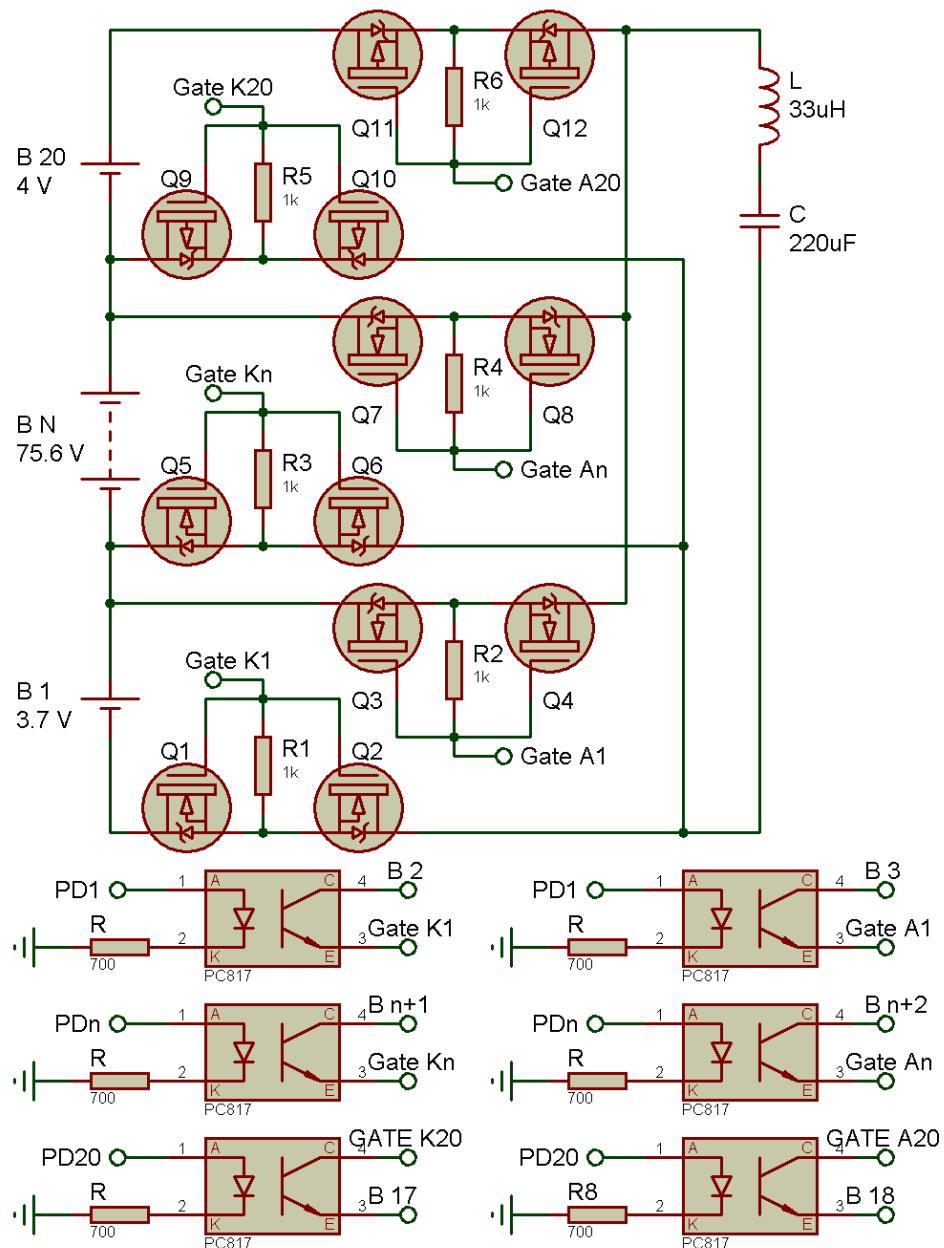


Gambar 3.6 Rangkaian *bidirectional switch*

Dengan nilai arus *forward* ( $I_f$ ) sebesar 5 mA dan *current transfer ratio* (CTR) *optotransistor* PC817 sebesar 600%, dapat diketahui nilai arus saturasi *output optotransistor* sebesar 30 mA yang menjadi arus pengaktifan *mosfet*. Besarnya muatan yang diperlukan pada bagian *gate* untuk mengaktifkan *mosfet* IRF540 sebesar 72 nC, sehingga dengan arus sebesar 30 mA dibutuhkan waktu minimal sebesar 2,4 us untuk mengaktifkan *mosfet*.

Dalam gambar 3.7 ditunjukkan keseluruhan rangkaian pada proses *balancing*. Mekanisme *switching* pertama-tama menghubungkan baterai bertegangan lebih tinggi dengan rangkaian *balancing* dengan cara mengaktifkan *bidirectional switch* yang terhubung dengan anoda dan katoda baterai melalui pin digital *microcontroller*, pada proses ini baterai akan melepaskan energinya

dan disimpan pada rangkaian LC seri resonan sebagai rangkaian *active balancing*. Selanjutnya *bidirectional switch* pertama dimatikan dan *bidirectional switch* kedua diaktifkan untuk menghubungkan baterai bertegangan lebih rendah dengan rangkaian *balancing*, pada proses ini rangkaian LC resonan akan melepas energi yang tersimpan ke baterai bertegangan lebih rendah sehingga terjadi transfer energi antara baterai bertegangan lebih tinggi ke baterai bertegangan lebih rendah. Kedua proses pengisian dan pengosongan ini dilakukan berulang-kali hingga tegangan kedua baterai sama.

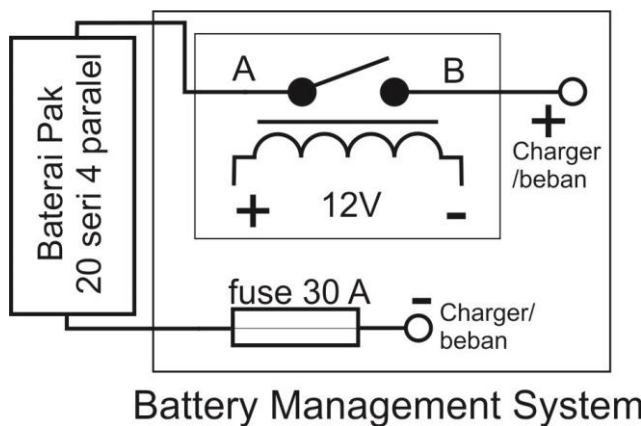


Gambar 3.7 Rangkaian *active cell balancing*



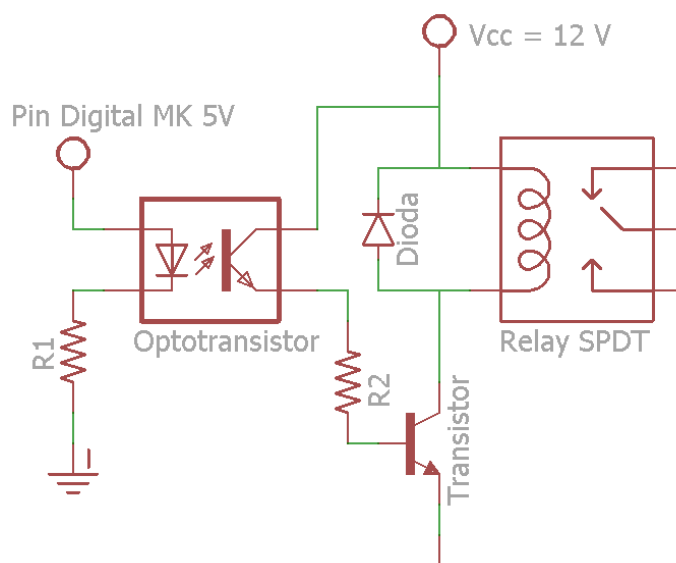
### 3.2.5 Rangkaian Proteksi

Rangkaian proteksi berfungsi untuk memutus jalur daya antara *battery pack* dengan *charger/beban*, dengan menggunakan *relay* sebagai komponen proteksi ketika terjadi kondisi *overvoltage*, *undervoltage*, *overcurrent*, dan *overheat*, dan juga *fuse* sebagai komponen proteksi ketika terjadi kondisi *shortcircuit*. *Relay* yang digunakan adalah *relay* 12 V, dan mampu mengalirkan arus sebesar 30 A, dan *fuse* yang digunakan adalah *fuse* 30A karena batas *overcurrent* yang diinginkan sebesar 20A. Gambar 3.8 adalah diagram blok rangkaian proteksi yang dirancang.



Gambar 3.8 Diagram blok rangkaian proteksi

Driver *relay* yang dirancang menggunakan komponen diode 1N4007, transistor NPN 2N5551, resistor ¼ watt, dan optocoupler PC817 sebagaimana yang terdapat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Rangkaian driver relay

Dioda ditambahkan secara parallel dengan *coil relay* sebagai jalur arus ketika *relay* dimatikan, karena *coil relay* bertindak seperti induktor dan tidak bisa merubah arus yang mengalir secara spontan. Berdasarkan *datasheet optocoupler PC817 input* tegangan forward led ( $V_f$ ) adalah 1,5V dengan arus ( $I_f$ ) 5mA dan tegangan pin digital ( $V_{pd}$ ) 5V, dapat dihitung nilai R1 dengan Persamaan (3-8) sebesar  $700\Omega$ . Dan nilai R2 dapat dihitung dengan mempertimbangkan arus minimal untuk menghidupkan *relay*.

$$R_2 = (12 - V_{CE\ sat\ optocoupler} - V_{BE\ transistor}) / I_B \dots\dots\dots (3-9)$$

$$I_B = (12 - V_{CE\ sat\ transistor}) / \beta \times R_{coil} \dots\dots\dots (3-10)$$

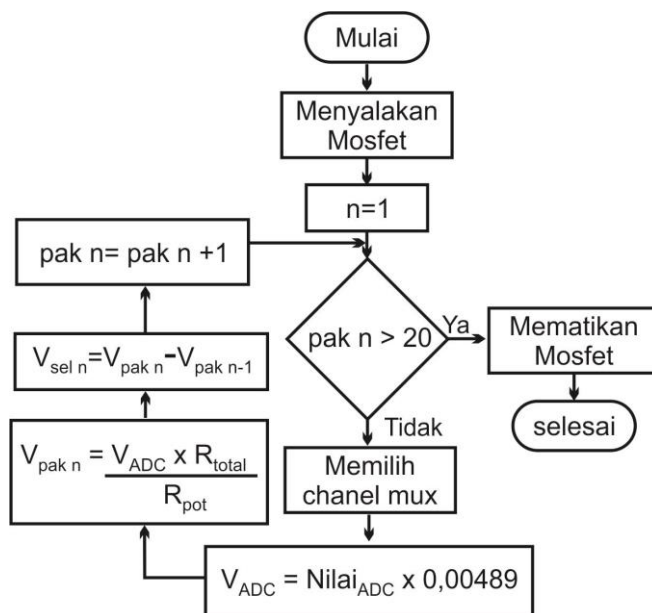
Dengan menggunakan Persamaan (3-9) dan (3-10) dapat dihitung nilai R2 sebagai berikut :

$$I_B = (12 - 0,2) / 155 = 11,8 / 2325 = 5,08\ mA$$

$$R_2 = (12 - 0,2 - 1) / 5,08 \times 10^{-3} = 2,13k\Omega \approx 2,2k\Omega$$

### 3.2.6 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak digunakan untuk mengatur *microcontroller* sebagai pusat kontrol BMS, perangkat lunak seperti dalam gambar 3.11 terdiri dari pembacaan sensor tegangan, pembacaan sensor arus, pembacaan sensor suhu, proses *balancing*, proses proteksi, proses menampilkan informasi melalui LCD 20x4.



Gambar 3.10 Diagram alir proses pembacaan sensor tegangan

Proses pembacaan sensor tegangan seperti dalam gambar 3.10 mengaktifkan *mosfet* terlebih dahulu, kemudian memilih sel baterai pertama untuk dilakukan pembacaan tegangan melalui *multiplexer*, kemudian dilakukan proses perhitungan untuk mendapat nilai tegangan sel, hal ini dilakukan hingga seluruh sel baterai diketahui tegangannya.

Proses pembacaan sensor arus seperti dalam gambar 3.12 diatur waktu pembacaannya setiap 1 detik sekali, hal ini menggunakan metode *interrupt timer* yang ada pada *microcontroller ATmega 2560*. Menggunakan timer 2 yang menghitung bilangan dari 0-255, dengan frekuensi *clock microcontroller* 16 MHz waktu setiap hitungan diatur 2 mikrodetik dengan cara memilih nilai *perscaler* (N) sebesar 32 sesuai dengan Persamaan (3-11). Setiap kali hitungan mencapai nilai 255 maka fungsi *interrupt service routine* (ISR) dijalankan sehingga nilai awal (TCNT2) diatur sebesar 116 agar fungsi ISR dijalankan setiap 278 mikrodetik. Setiap kali fungsi ISR dijalankan, maka nilai variabel x bertambah 1, sehingga 1 detik terjadi ketika variabel x bernilai 3597.

$$t = N / f_{clock} \dots\dots\dots (3-11)$$

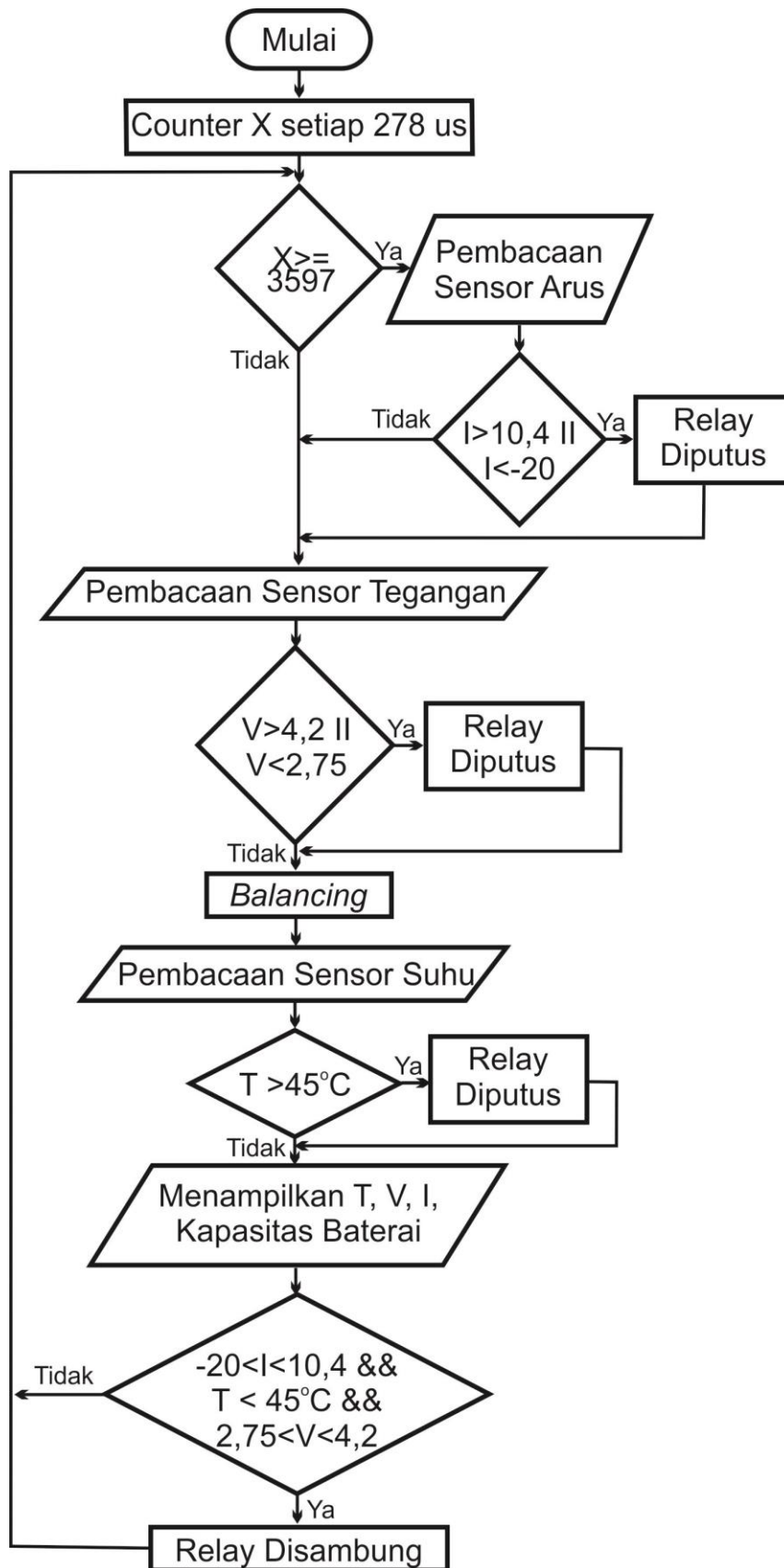
$$TCNT2 = 255 - (278\mu S / 2\mu S) = 116$$

Kapasitas (SoC) awal baterai ditentukan dengan mengetahui tegangan *battery pack* berdasar grafik tegangan terhadap SoC pada gambar 2.1, kemudian setiap kali proses pembacaan sensor arus dilakukan, maka dengan metode coulomb counting maka dapat diketahui perubahan kapasitas *battery pack*.

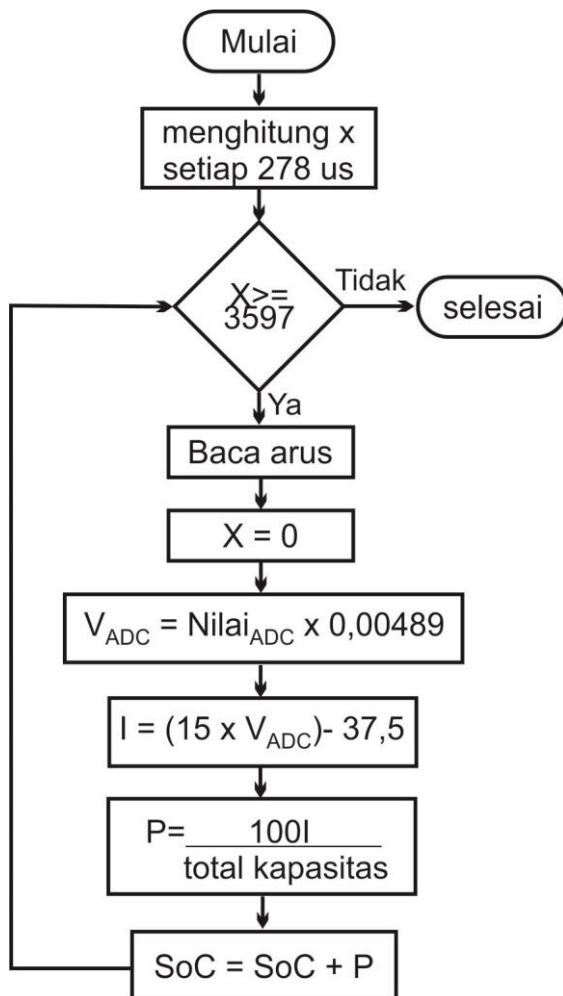
Proses *balancing* seperti dalam gambar 3.13 menggunakan sinyal *pulse width modulation* (PWM) pada pin digital untuk menghidup-matikan *mosfet* sesuai baterai yang akan diseimbangkan tegangannya, pembangkitan sinyal PWM menggunakan metode *interrupt timer* juga seperti pembacaan sensor arus. Algoritma ini membutuhkan 20 pin digital untuk mengatur saklar 20 sel *battery pack* seri.

### 3.3 Pengujian Alat

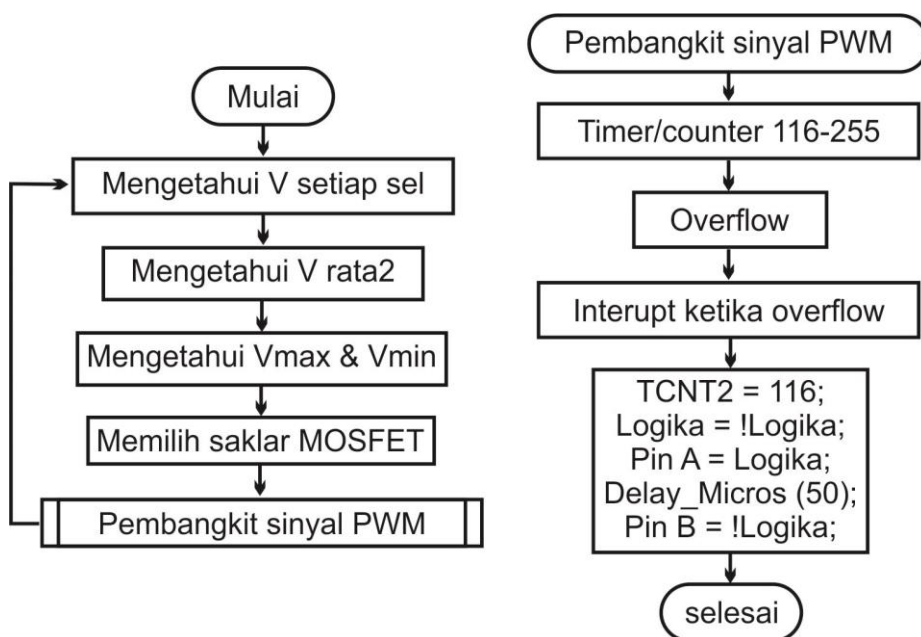
Pengujian alat dilakukan untuk menganalisis kinerja alat yang sudah dibuat. Pengujian dilakukan pada setiap subsistem dari diagram blok BMS yakni rangkaian sensor tegangan, sensor arus, sensor suhu, rangkaian *balancing*, rangkaian proteksi dan juga pengujian perangkat lunak/program.



Gambar 3.11 Diagram alir perangkat lunak keseluruhan



Gambar 3.12 Diagram alir proses pembacaan sensor arus



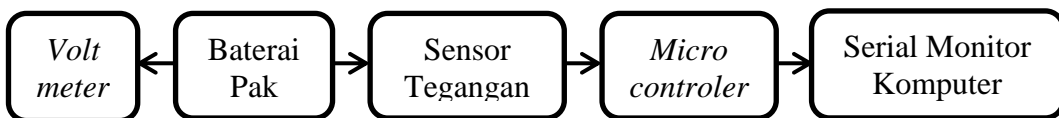
Gambar 3.13 Diagram alir proses balancing

### 3.3.1 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Pengujian rangkaian sensor tegangan ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan sensor tegangan terhadap tegangan keluaran variabel resistor, tegangan *battery pack* setiap tingkat, dan tegangan individu baterai sehingga. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran *voltmeter* dengan hasil pengukuran sensor tegangan yang dirancang sebagaimana yang ada pada diagram blok dalam Gambar 3.14.

Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian rangkaian sensor tegangan adalah sebagai berikut :

1. *Multimeter* SANWA CD800a
2. *Battery pack* 20 seri
3. Rangkaian Sensor Tegangan
4. *Microcontroller* ATmega 2560
5. Komputer



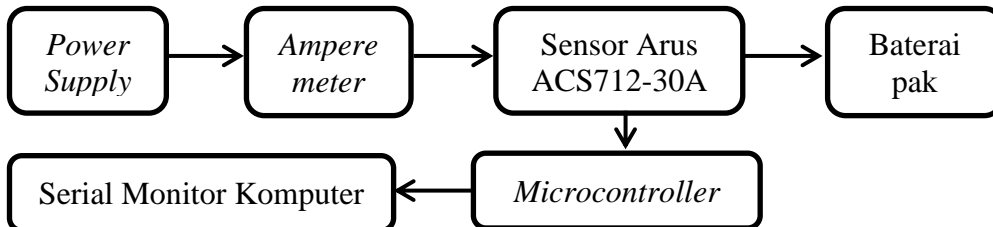
Gambar 3.14 Diagram blok pengujian sensor tegangan

### 3.3.2 Pengujian Rangkaian Sensor Arus

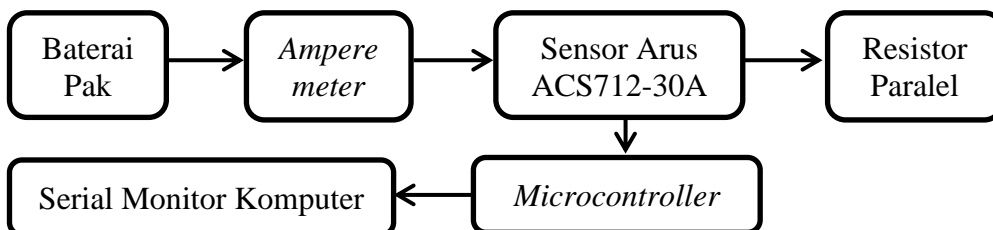
Pengujian rangkaian sensor arus bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan sensor arus terhadap arus saat proses pengisian dan pengosongan *battery pack* dan untuk mengetahui apakah sensor arus sudah melakukan proses pembacaan arus setiap 1 detik. Pengujian dilakukan dengan cara merubah nilai resistor agar arus yang mengalir bervariasi, kemudian membandingkan hasil pengukuran *amperemeter* dengan hasil pengukuran sensor arus yang dirancang, dan untuk pengujian waktu proses dilakukan menggunakan fungsi milis pada *microcontroller*. Proses pengujian sensor arus ini dapat dilihat dalam Gambar 3.15, 3.16, dan 3.17. Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut :

1. *Multimeter* SANWA CD800a
2. *Battery pack* 7,8 volt
3. *Power Supply*

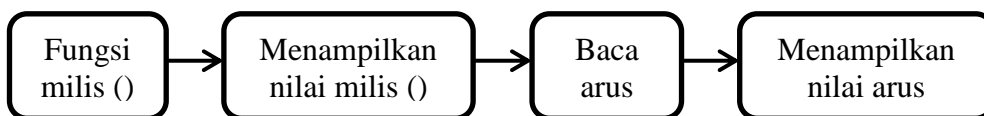
4. Sensor arus ACS712-30A
5. *Microcontroller ATmega 2560*
6. Resistor 10  $\Omega$  10 watt



Gambar 3.15 Diagram blok pengujian sensor arus saat proses pengisian



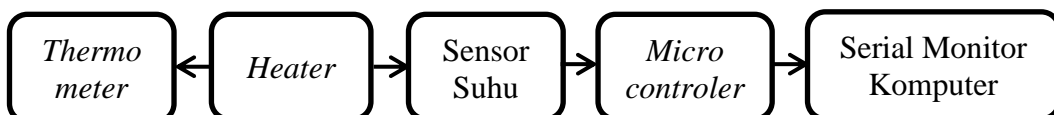
Gambar 3.16 Diagram blok pengujian sensor arus saat proses pengosongan



Gambar 3.17 Diagram blok pengujian waktu sensor arus

### 3.3.3 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Pengujian rangkaian sensor suhu bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan sensor suhu sehingga diketahui presisi sensor yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan cara merubah pengaturan suhu pada elemen pemanas dan *thermometer* serta 4 sensor suhu diletakkan secara konduksi dengan elemen pemanas, kemudian membandingkan hasil pengukuran *thermometer* dengan hasil pengukuran sensor suhu yang dirancang sejumlah 4 buah. Proses pengujian sensor suhu dapat dilihat dalam Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram blok pengujian sensor suhu

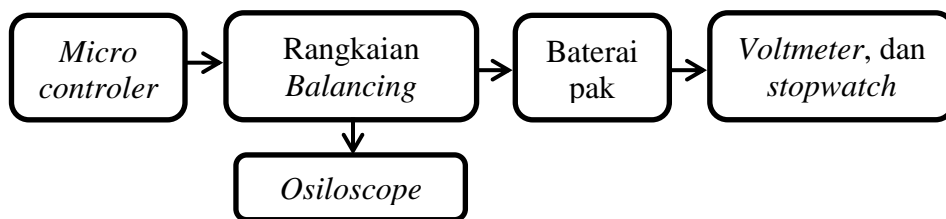
Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut :

1. *Thermometer* digital TP3001
2. Elemen pemanas

3. Sensor suhu LM35
4. *Microcontroller ATmega 2560*
5. Komputer

### 3.3.4 Pengujian Rangkaian *Balancing*

Pengujian rangkaian *balancing* bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian yang digunakan berhasil melakukan transfer energi dari baterai bertegangan kuat ke baterai bertegangan rendah. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan, arus, dan waktu proses *balancing* sebagaimana yang tertera dalam Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Diagram blok pengujian *balancing*

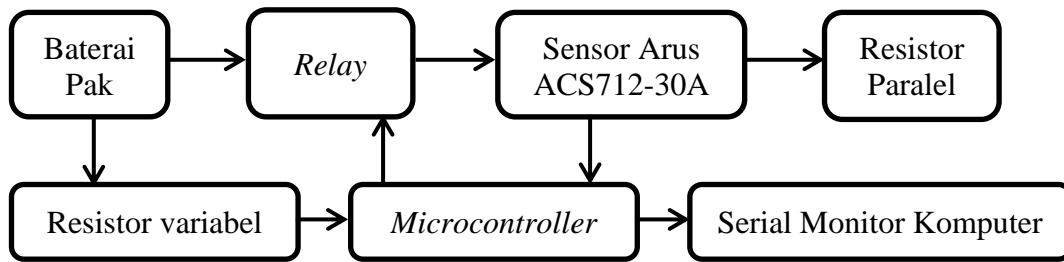
Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut :

1. Multimeter SANWA CD800a
2. *Stopwatch*
3. *Osilloscope MSO5074FG*
4. *Probe arus CC-65*
5. *Microcontroler ATmega 2560*
6. *Battery pack*

### 3.3.5 Pengujian Rangkaian Proteksi

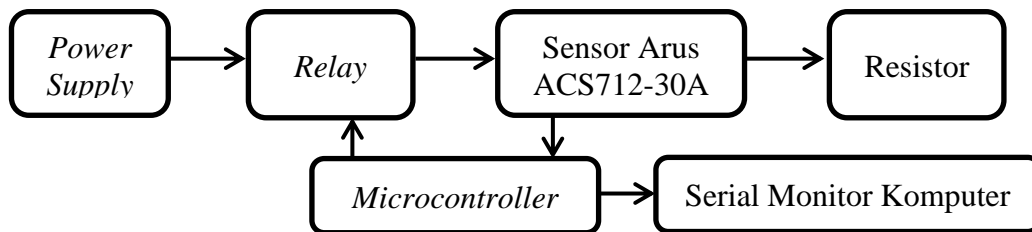
Pengujian rangkaian proteksi bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian bisa melakukan proteksi *battery pack* ketika terjadi kondisi *undervoltage*, *overvoltage*, *overcurrent*, dan *overheat*. Proses pengujian proteksi *undervoltage* dan *overvoltage* dilakukan seperti dalam Gambar 3.20, dengan menggunakan resistor variabel sehingga didapatkan tegangan yang bervariasi dan tegangan ini akan dideteksi menggunakan pin ADC pada *microcontroller*. Berdasarkan *datasheet* baterai litium ion 18650, batas tegangan yang digunakan dalam proses pengujian kondisi *undervoltage* adalah 2,75 V dan *overvoltage* adalah 4,2 V.





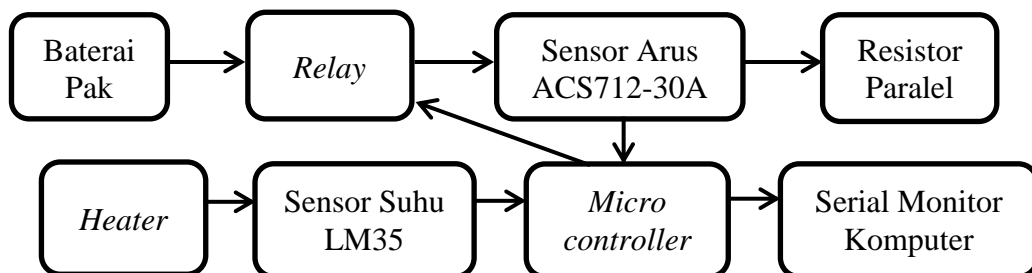
Gambar 3.20 Diagram blok pengujian proteksi tegangan

Proses pengujian proteksi *overcurrent* dilakukan seperti dalam Gambar 3.21, dengan menggunakan power supply untuk mendapatkan arus yang bervariasi. Pengujian ini dilakukan ketika kondisi pengisian dan pengosongan, dengan batas arus saat yang digunakan pada proses pengujian proteksi *overcurrent* saat pengisian adalah 1 A dan pengosongan 4 A.



Gambar 3.21 Diagram blok pengujian proteksi arus

Proses pengujian proteksi *overheat* dilakukan seperti dalam Gambar 3.22, dengan menggunakan elemen pemanas yang dapat diatur suhunya, dan batas suhu yang digunakan dalam pengujian *overheat* ini sebesar 45°C sesuai yang tertera pada *datasheet* baterai.



Gambar 3.22 Diagram blok pengujian proteksi suhu

### 3.3.6 Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan dilakukan setelah pengujian seluruh subsistem yang ada pada BMS dilakukan, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari BMS yang dibuat. Pengujian keseluruhan dilakukan dengan menggabungkan rangkaian-rangkaian sesuai dengan diagram blok BMS dan juga program sesuai diagram alir pada gambar 3.11 dimasukkan ke *microcontroller*.

