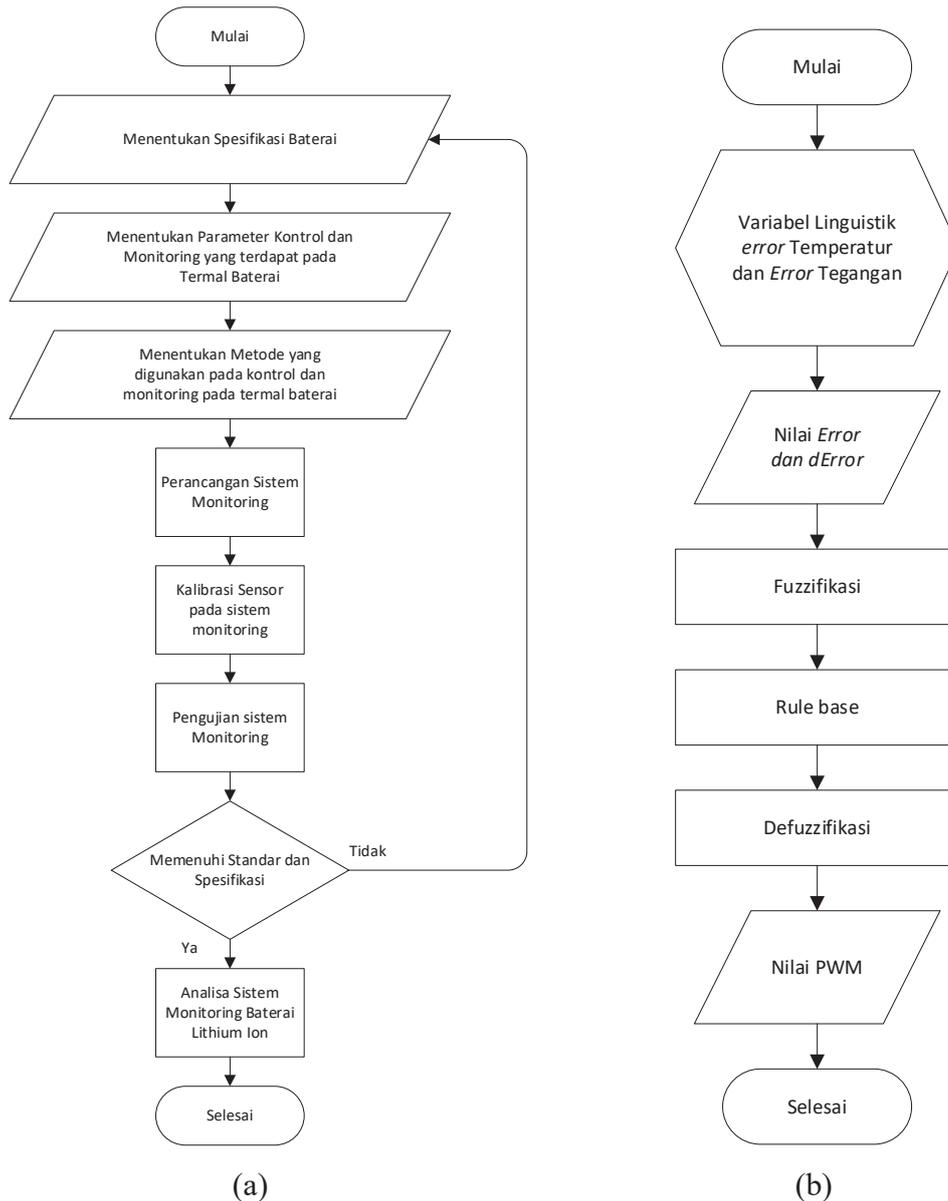


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan penelitian

Selanjutnya tahapan yang diperlukan dalam proses perancangan *monitoring* sistem termal pada baterai lithium ion dapat dilihat pada (gambar 3.1).



Gambar 3.1 Flowchart Sistem Monitoring Baterai dan Program Fuzzy Logic.

Berikut ini merupakan tahapan perancangan Sistem *monitoring* termal pada baterai lithium ion:

a. Menentukan Spesifikasi Baterai

Hal pertama yang kali dilakukan adalah menentukan spesifikasi baterai Lithium Ion dengan merek LG 18650HE4 3,6V 2500mAh.

b. Desain *Monitoring* Termal Baterai

Mendesain sistem *monitoring* termal baterai yang sudah didesain dengan metode *fuzzy logic*.

c. Perancangan perangkat keras

Membuat Perancangan perangkat keras pada penelitian ini berfungsi untuk mendapatkan sistem *monitoring* termal yang sesuai dengan hasil yang baik. Perancangan sistem *monitoring* termal berfungsi untuk memantau pengaruh suhu terhadap kinerja baterai, serta mengurangi efek negatif pada suhu baterai.

d. Kalibrasi Sensor

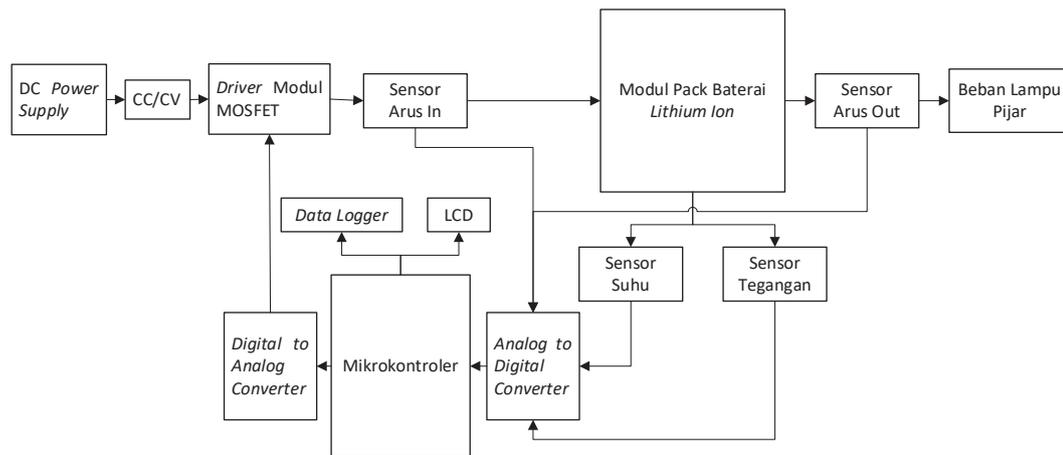
Tahap selanjutnya adalah kalibrasi sensor yang diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran sudah akurat. Kalibrasi sensor pada sistem *monitoring* termal baterai yaitu sensor tegangan, sensor arus dan sensor suhu.

e. Analisis

Tahap selanjutnya adalah kalibrasi sensor yang diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran sudah akurat. Kalibrasi sensor pada sistem *monitoring* termal baterai yaitu sensor tegangan, sensor arus dan sensor suhu.

3.2 Blok Sistem Diagram

Blok diagram berfungsi untuk menggambarkan perangkat keras atau sistem perangkat lunak serta untuk persiapan prosedur dan proses. Dalam diagram blok blok dijelaskan dalam hal fungsi dan struktur mereka serta hubungannya dengan blok lain dan didefinisikan. Pada (gambar 3.2) adalah blok sistem diagram, blok sistem diagram digunakan agar sistem dapat berkerja dengan baik.



Gambar 3.2 Blok Sistem *Monitoring Termal Baterai Li-Ion* [7]

Fungsi dari bagian-bagian blok diargam sistem adalah sebagai berikut:

1. Modul Baterai Lithium Ion
 Pada bagian ini sel Lithium-ion yang digunakan adalah Panasonic LG 18650HE4 3,6V 2.500mAh.
2. Mikrokontroller
 Pada bagian ini mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 2560 dan dapat mengubah sinyal analog menjadi digital dan memproses *fuzzy logic* yang digunakan untuk *output* sinyal PWM dan mengubah sinyal digital ke analog. Selanjutnya pada LCD (*Liquid Crystal Display*). LCD yang digunakan berukuran 20 x 4 yang menampilkan suhu, arus *charging* dan *discharging*, tegangan, dan kapasitas baterai.
3. Sensor Arus
 Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini adalah ACS712ELCTR-5A-T. Sensor ini diperlukan untuk mengambil data arus yang masuk dan arus yang keluar pada pengujian *charging* dan *discharging*, keluaran dari sensor arus terhubung ke *pin* ADC (*Analog Digital Converter*) pada mikrokontroler.
4. Sensor Suhu
 Sensor Suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah MAX6675 *thermocouple type-k*. Sensor ini membutuhkan suplai tegangan DC 5V dan memerlukan Arus DC sebesar 60 μ A saat beroperasi. Sensor suhu digunakan untuk pemantauan suhu pada *modul* baterai lithium ion. Sensor suhu juga

digunakan sebagai input *fuzzy logic* untuk menghasilkan *output* PWM sesuai perancangan.

5. Sensor Tegangan

Pada penelitian ini sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke *pin* analog mikrokontroler agar dapat dimonitoring. Sensor tegangan digunakan sebagai *input fuzzy logic* untuk menghasilkan *output* PWM sesuai perancangan.

6. Driver Module MOSFET

Driver module MOSFET yang digunakan adalah LR7843. Sensor ini berkerja dengan input control tegangan sebesar 2,5 – 20 V dan output control tegangan 6 – 28 V. *Driver modul MOSFET* digunakan untuk mengendalikan sakelar elektronik daya semacam ini biasanya menggunakan sesuatu yang disebut sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitude yang tetap menghasilkan sinyal analog dari perangkat digital seperti mikrokontroler.

7. Constant Current (CC) dan Constant Voltage (CV)

Pada penelitian ini menggunakan modul *charge Buck converter cc cv* yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari 24V menjadi 12V dan membatasi arus dari menjadi 1A. Modul ini digunakan untuk proses pengisian (*charging*) karena baterai lithium ion menggunakan arus dan tegangan yang konstan dalam proses pengisiannya.

8. Data Logger

Data Logger adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk mencatat data dari waktu ke waktu yang terintegrasi dengan sensor. Penyimpan data menggunakan *SD Card* kemudian data tersebut di baca dan diolah menggunakan Ms excel.

9. Catu Daya (Power Suplly)

Bagian catu daya digunakan sebagai sumber tegangan DC pada proses pengisian. Tegangan *power suplly* yang digunakan sebesar 24V dengan arus 10A.

3.3 Perancangan Sistem *Monitoring* Termal Baterai Lithium Ion

Sebelum melakukan perancangan sistem *monitoring* termal pada baterai lithium ion perlu diketahui spesifikasi baterai yang digunakan. (Gambar 3.3) merupakan gambar baterai lithium ion yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.3 Spesifikasi Li-Ion LG 18650HE4

Tabel ini adalah Spesifikasi Li-Ion LG 18650HE4 ditunjukkan pada (Tabel 3.1) sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Li-Ion LG 18650HE4

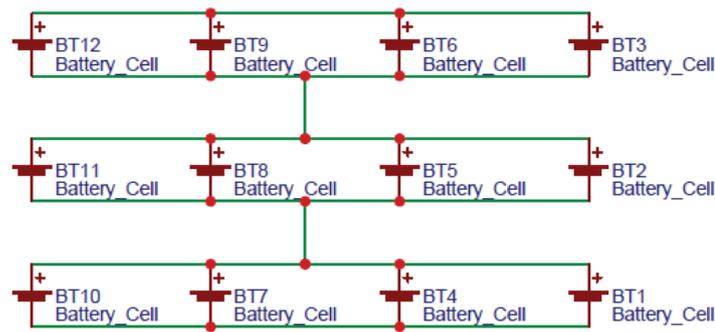
Kapasitas Nominal	2500 mAh
Tegangan Nominal	3,6 V
Standar Pengisian	CC-CV 1250 mA 4,2 V
Standar pengosongan	500 mA 2.5 V
Suhu Operasi	0 – 50°C
Berat	47,0 g
<i>Energy Density</i>	<i>Volumetric 514 Wh/L</i> <i>Gravimetric 191 Wh/kg</i>

Berdasarkan Tabel 3.1 untuk mendapatkan tegangan nominal dapat menggunakan konfigurasi sel seri dan paralel. Perhitungan konfigurasi sel seri (3.1) dan paralel (3.2) adalah sebagai berikut:

$$\Sigma bat = \frac{V_{tot}}{V_{bat}} \quad (3.1)$$

$$I_{tot} = I_{cell1} + I_{cell2} + I_{cell3} + I_{cell4} \quad (3.2)$$

Berdasarkan perhitungan di atas, untuk mendapatkan tegangan nominal dan kapasitas nominal maka konfigurasi susunan sel baterai lithium ion dapat dilihat pada (Gambar 3.4) dan (Gambar 3.5) sebagai berikut:



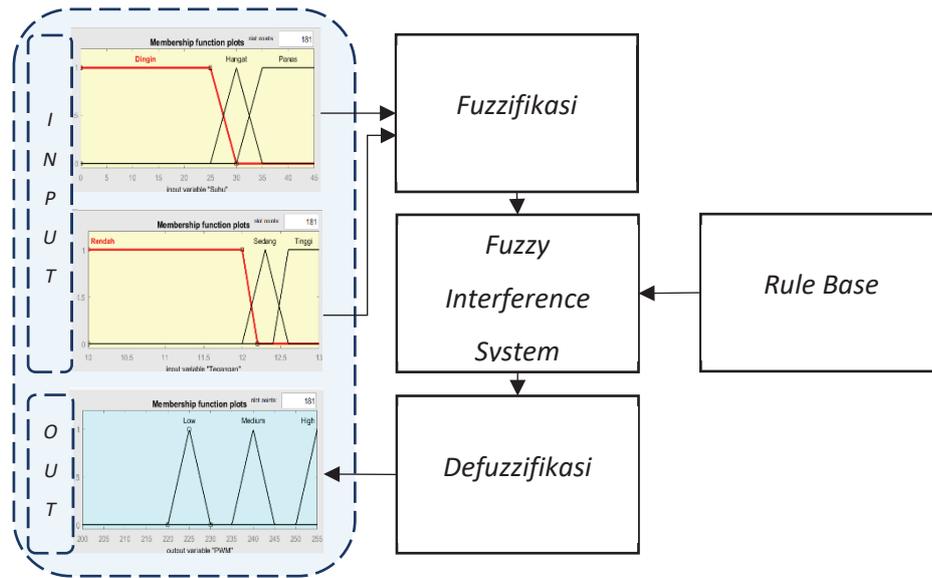
Gambar 3.4 Konfigurasi seri paralel baterai Li-Ion LG 18650HE4



Gambar 3.5 Hasil Perancangan Modul Baterai *Pack* Li-Ion LG 18650HE4

3.4 Perancangan Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal Baterai Li-Ion

Perancangan sistem *monitoring* termal baterai Li-Ion dirancang agar dapat melakukan sistem *monitoring* termal yaitu menjaga baterai agar tetap berada pada SOA (*Safety Operating Area*) dan menjaga suhu tetap aman. Maka perancangan dibuat dengan metode *constant current* dan *constant voltage*. Selain *monitoring*, digunakan juga sensor suhu, sensor suhu memberikan *input* berupa data *analog* yang selanjutnya di proses di *fuzzy logic controller*. *Fuzzy logic controller* melibatkan *variable input* tegangan dan suhu agar sistem termal pada baterai lithium ion berkerja pada batas aman. (Gambar 3.6) merupakan perancangan Sistem kontrol termal baterai lithium ion



Gambar 3.6 Perancangan Sistem Kontrol Termal Baterai Lithium Ion

Parameter yang digunakan dalam algoritma *fuzzy logic* adalah *membership function* dan *rule base*. Algoritma *Input Suhu Fuzzy logic* menggunakan 3 Variabel, yaitu Dingin, Hangat, dan Panas. Berikut adalah *membership function error* dan *delta error* yang di ditampilkan pada (Tabel 3.2).

Tabel 3. 2 *Membership function* pada *Input Suhu error* dan *delta error*

Variabel	Tipe	Membership Function Error dan Delta Error
Dingin	<i>Trapmf</i>	[0 0 25 30]
Hangat	<i>Trapmf</i>	[25 30 30 35]
Panas	<i>Trapmf</i>	[30 35 45 45]

Kesimpulan dari sekumpulan kaidah *fuzzy* dilakukan dengan menggunakan metode Mamdani atau disebut juga metode *Min-Max Inferencing*, sedangkan pada proses *defuzzification* digunakan metode *Center of Gravity* (COG). Berikut adalah *membership function* pada *output duty cycle* (DC) dijelaskan pada (Tabel 3.3) di bawah ini.

Tabel 3.3 *Membership function* pada *Input Tegangan error* dan *delta error*

Variabel	Tipe	Membership Function Error dan Delta Error
Rendah	<i>Trapmf</i>	[10 10 12 12.2]
Sedang	<i>Trapmf</i>	[12 12.3 12.3 12.6]
Tinggi	<i>Trapmf</i>	[12.4 12.6 13 13]

Berdasarkan *input* pada (Tabel 3.2) dan (Tabel 3.3) dilakukan *rule base* untuk *output duty cycle* yang di tampilkan pada tabel berikut.

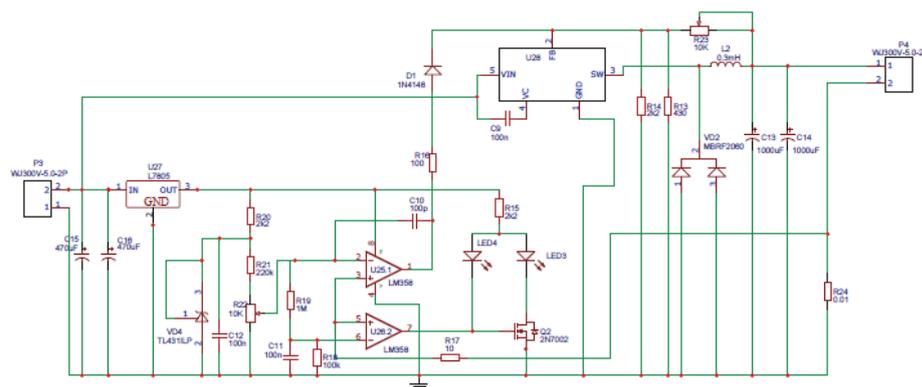
Tabel 3.4 *Rule Base* pada *Interference System*

<i>Fuzzy Rules</i>	<i>Error</i>			
		Rendah	Sedang	Tinggi
<i>Delta Error</i>	Dingin	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>
	Hangat	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>
	Panas	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>

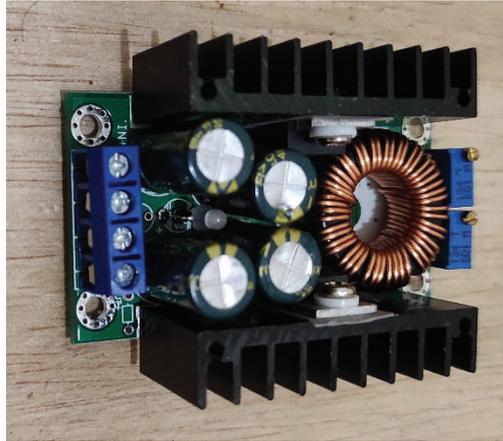
Variabel pada (Tabel 3.4) berfungsi untuk memetakan area *fuzzy* pada *membership function* dan memudahkan dalam menentukan *fuzzy rule*. Jumlah *rule base* pada penelitian ini adalah 9 *rule base*. Jumlah ini sesuai dengan banyak *variabel* pada nilai *input fuzzy*.

3.4.1 Modul *Charge Constant Current Constant Voltage*

Pada perancangan sistem *monitoring* termal baterai li-ion ini, proses pengisian dan pengosongan harus memiliki karakteristik yang sesuai pada barterai. Proses pengisian (*charge*) menggunakan metode CC (*constant current*) dan CV (*constant voltage*). Modul yang digunakan adalah *Buck Converter* XL4005 DC-DC STEP DOWN 300W. *Buck Converter* berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 24V *power supply* menjadi 12,6 V dan arus konstan sebesar 0,5 C pada proses pengujian *charging*. Rangkaian skematik *Buck Converter* ditampilkan pada (Gambar 3.6) dan (Gambar 3.7) di bawah ini.



Gambar 3. 6 Rangkaian *Buck Converter* DC-DC STEP DOWN 300W

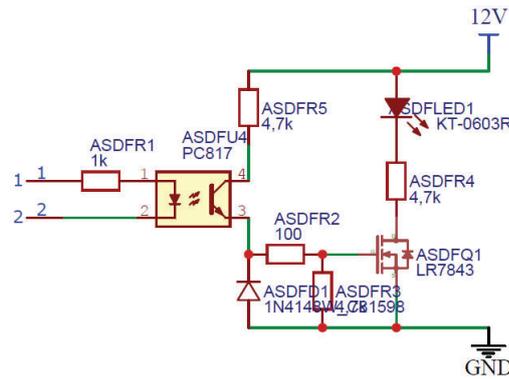


Gambar 3.7 Modul Charge Buck Converter CC-CV

3.4.2 Driver Module MOSFET

Sistem pengisian baterai menggunakan *fuzzy logic* pada penelitian ini berupa dua buah *input* yaitu tegangan dan suhu. Selanjutnya sistem menentukan suhu sesuai dengan karakteristik baterai yaitu 0 – 40°C. Jika tidak, maka sistem memproses *input* berupa tegangan untuk menentukan nilai *error* dan *delta error*.

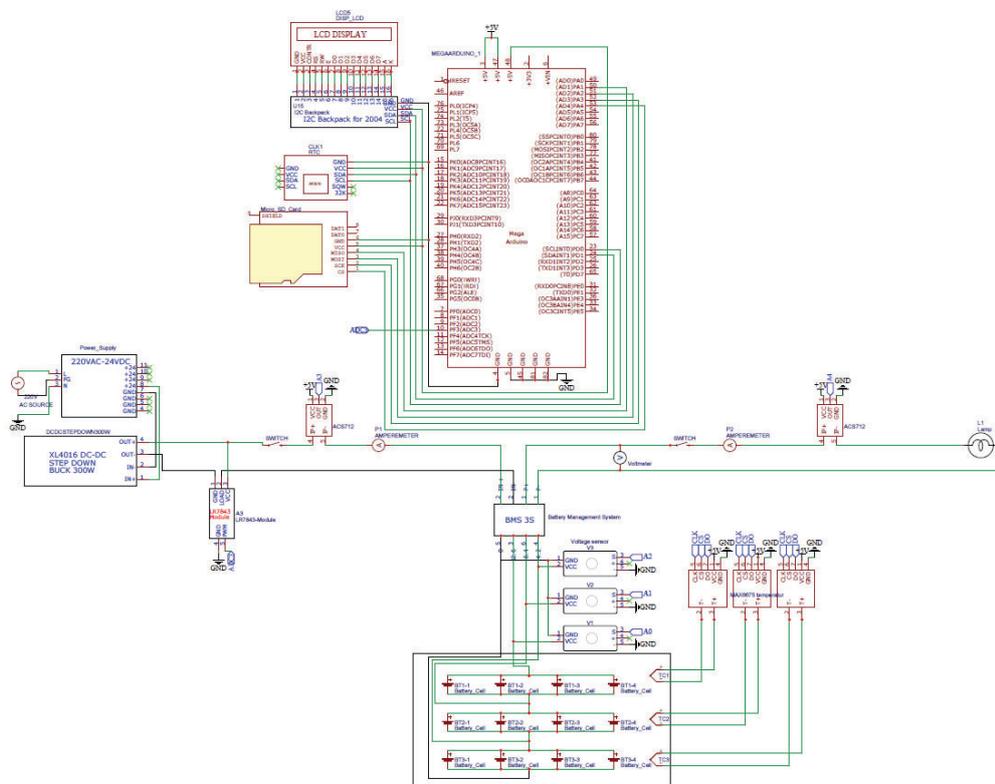
Error adalah nilai *set point* dikurangi dengan nilai pada kondisi sekarang, Berlaku untuk *input* tegangan dan suhu. Sedangkan nilai *delta error* adalah nilai *error* sebelumnya dikurangi nilai *error* sekarang. Selanjutnya nilai *error* dan *delta error* di proses oleh *fuzzy logic controller* untuk menentukan *output* berupa nilai PWM. Ketika suhu pada baterai melebihi 40°C, maka sistem memproses input berupa tegangan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *error* dan *delta error*. Selanjutnya nilai *error* dan *delta error* tegangan di proses oleh control *fuzzy logic* untuk mendapatkan *output* berupa nilai PWM yang digunakan untuk pensaklaran pada *driver* modul MOSFET. Berikut ini merupakan rangkaian Skematik *Driver module* MOSFET LR7843 ditampilkan pada (Gambar 3.8) Di bawah ini.



Gambar 3.8 Rangkaian Skematik *Driver Module* MOSFET LR7843

3.5 Perancangan Sistem *Monitoring*

Sistem *monitoring* memberikan informasi secara langsung ketika program menjalankan fungsinya. Informasi dan keadaan sistem dimaksudkan untuk mendapatkan informasi baterai yaitu monitor suhu, arus dan tegangan baterai. Di bawah ini merupakan sistem *monitoring* dengan rangkaian skematik yang ditampilkan pada (Gambar 3.9) Sebagai berikut:

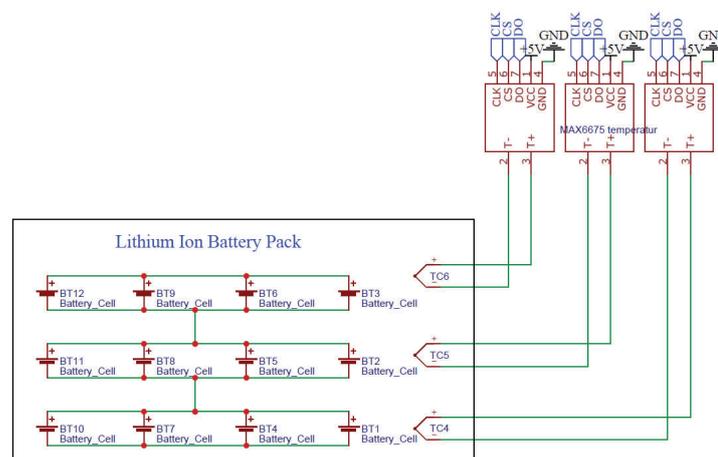


Gambar 3.9 Rangkaian Skematik Sistem *Monitoring* Tegangan, Arus Dan Suhu

Sistem *monitoring* digunakan untuk memberikan informasi tentang kondisi baterai. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah Sensor tegangan, Sensor Arus dan Sensor suhu. Perancangan sensor masing – masing dijelaskan sebagai berikut.

3.5.1 Perancangan Sensor Suhu

Pada penelitian ini sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi suhu pada baterai ketika beroperasi adalah MAX6675 dengan *thermocouple type-K*. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi sebesar $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ dan kemudahan dalam perancangan. Sensor ini berkerja pada tegangan 5 VDC dan membutuhkan arus maksimal 50mA. Sensor ini memiliki keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan. Pemantauan baterai lithium ion harus sesuai dengan karakteristik baterai dengan suhu aman operasi $0 - 40^{\circ}\text{C}$. Ketika suhu tinggi maka berakibat merusak sel-sel kimia dan memperpendek umur baterai. Suhu maksimal pada saat beroperasi juga bisa menyebabkan *overheat* sehingga menyebabkan ledakan pada baterai lithium ion. Perancangan snsor suhu ditampilkan pada (Gambar 3.10) di bawah ini.

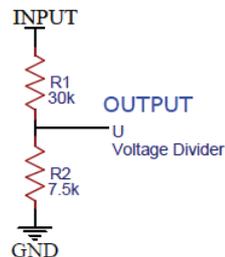


Gambar 3.10 Rangkaian Sensor Suhu MAX6675 Dengan *Thermocouple Type-K*

3.5.2 Perancangan Sensor Tegangan

Pada penelitian ini sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*). Rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar untuk

tegangan referensi pada sensor. *Pin* ADC Arduino memiliki batasan pembacaan tegangan sebesar $\leq 5V$. Oleh karena itu rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) digunakan untuk memperkecil tegangan sesuai dengan perbandingan yang telah dihitung.



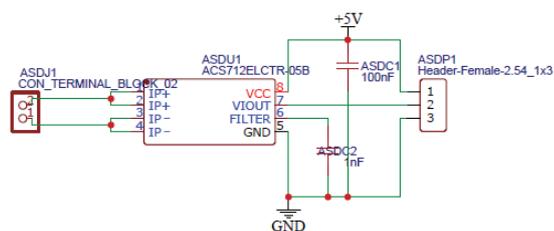
Gambar 3.11 Rangkaian Pembagi Tegangan (*Voltage Divider*)

Perhitungan pada (Gambar 3.11) digunakan untuk memperkecil tagangan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_i \quad (3.3)$$

3.5.3 Perancangan Sensor Arus

Pada peneitian ini sensor arus berfungsi untuk mengukur arus masuk dari modul *charge CC-CV* menuju baterai lithium ion dan keluar dari baterai menuju beban lampu. Selanjutnya hasil sensor ditampilkan pada *LCD*. Keluaran dari sensor arus terhubung ke mikrokontroller pada *pin ADC*. Sensor arus yang digunakan adalah ACS712-5A. Pada (Gambar 3.12) merupakan perancangan dari sensor arus.



Gambar 3.12 Perancangan Sensor Arus ACS712-5A

Pada *pin* IP+ yaitu *pin* pendeteksi arus, 3 GND *pin* ground, 2 *Vout* arus *output* ke *pin* ADC mikrokontroller, dan 1 *pin* Vcc *input* tegangan dari mikrokontroller.

Keterangan kerja sistem *monitoring* termal pada baterai li-ion adalah sebagai berikut:

1. Pada saat sistem *monitoring* aktif, mikrokontroler memproses sensor tegangan, sensor arus, dan sensor suhu ke tampilan *LCD*.
2. Pada saat *LCD* aktif, *LCD* menampilkan informasi pembacaan sensor tegangan dalam satuan volt, sensor suhu dalam satuan derajat *celcius* dan arus dalam ampere.
3. Pemantauan arus yang masuk menggunakan sensor ACS712. Pada proses *charge* baterai Li-ion memiliki batasan spesifikasinya. Arus *input* dan *output* keseluruhan ditampilkan di *LCD*.
4. Proses pembacaan tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*). Rangkaian pembagi tegangan berperan sebagai *input* sensor tegangan pada mikrokontroler. Selanjutnya tegangan menjadi *input* pada proses fuzzifikasi pada *fuzzy logic*. Tegangan keseluruhan ditampilkan di *LCD*.
5. Proses pembacaan suhu menggunakan sensor MAX6675 *thermocouple type-k*. Selanjutnya nilai suhu menjadi *input* proses fuzzifikasi pada *fuzzy logic*. Setelah itu informasi suhu pada baterai ditampilkan pada layar *LCD*.
6. Pada proses selanjutnya adalah kontrol menggunakan *fuzzy logic*. Tegangan dan suhu di proses oleh *fuzzy logic control* untuk mendapatkan *output* berupa nilai PWM yang digunakan untuk pensaklaran pada *driver* modul MOSFET.
7. Selanjutnya adalah kalibrasi pengukuran menggunakan peralatan multi meter dan termometer. Tujuan mengkalibrasi agar melakukan pengukuran baik tegangan dan suhu baterai tidak salah. Cara untuk melakukan kalibrasi dengan cara membandingkan setting pembacaan dari sensor dengan alat ukur tersebut.
8. Selanjutnya adalah menghitung nilai *State of Charge (SOC)* menggunakan metode *open circuit voltage (ocv)*. Total tegangan baterai saat pengisian dan pengosongan dihitung berdasarkan Persamaan (2.11) Nilai *SoC* digunakan untuk mengetahui kapasitas baterai dalam satuan persen (%).
9. Tahap terakhir yaitu pengambilan data pada proses *charging*, yaitu perbandingan data tegangan baterai saat pengisian, pengambilan data suhu baterai saat pengisian dan pengambilan data lama waktu. Pengujian proses

charging menggunakan metode pengujian langsung dengan membandingkan nilai pengukuran menggunakan sistem manajemen penelitian dan pengukuran menggunakan multimeter dan termometer agar dapat mengetahui nilai *error* dari sistem.

3.6 Metode Pengujian

Tahapan pengujian ini bertujuan untuk menentukan cara pengujian alat yang dilakukan pada penelitian Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal Pada Baterai Lithium Ion (Li-Ion) Menggunakan *Fuzzy Logic Control* dan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan alat ukur. Ada beberapa pengujian antara lain:

1. Pengujian sistem *monitoring* meliputi pengujian sensor tegangan, arus dan suhu.
2. Pengujian sistem kontrol termal menggunakan *fuzzy logic controller*.
3. Pengujian pengisian (*Charging*) dengan Tegangan 12,6V dan Arus 1,25 A (0,5 C).

Persamaan (3.1) sampai (3.3) di bawah ini merupakan persamaan untuk mengolah hasil pengujian.

$$Error = \text{hasil multimeter} - \text{hasil sensor} \quad (3.1)$$

$$Persentase Error = \frac{\text{hasil multimeter} - \text{hasil sensor}}{\text{hasil multimeter}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$Rata - rata Error = \frac{\text{total \%}}{\text{Jumlah hasil pengukuran}} \quad (3.3)$$

3.7 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian merupakan alat bantu yang digunakan peneliti dalam melakukan perancangan, pengambilan dan pengolahan data. Instrumen penelitian berupa *software* dan *hardware*. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Arduino *Integrated Development Environment* (IDE)

Arduino IDE adalah *Software* yang digunakan Arduino untuk menulis suatu program. *Integrated Development Environment* (IDE), suatu program khusus untuk suatu komputer agar dapat membuat suatu rancangan atau

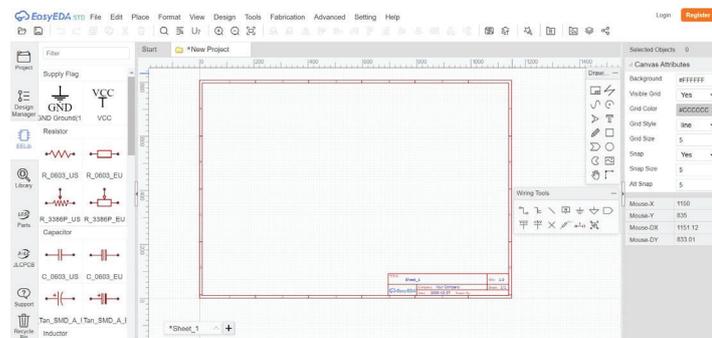
Sketsa program untuk papan Arduino. IDE arduino merupakan *Software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan *java*. Arduino IDE juga dapat mengedit program ialah Sebuah *Windows* yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*. Tampilan *software* ditunjukkan oleh Gambar (3.13) di bawah ini.



Gambar 3.13 Tampilan *Software* Arduino IDE

2. *Software EasyEDA*

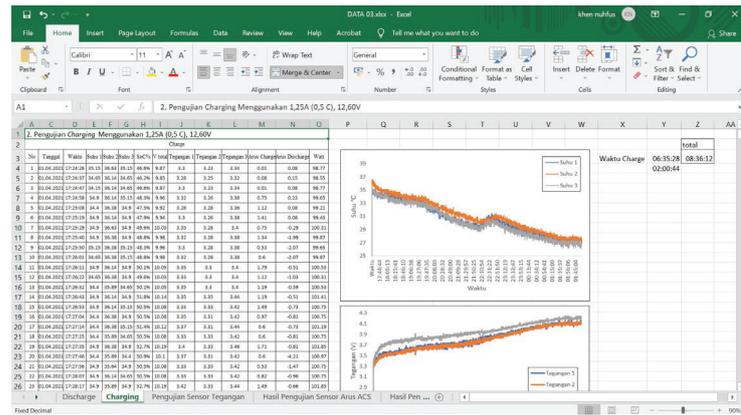
EasyEDA merupakan sebuah *software* atau aplikasi yang digunakan untuk mendesain skematik rangkaian elektronika dan PCB (*printed Circuit Board*). Tampilan *software* ditunjukkan oleh Gambar (3.14) di bawah ini.



Gambar 3.14 Tampilan *Software* EasyEDA

3. Microsoft Excel 2019

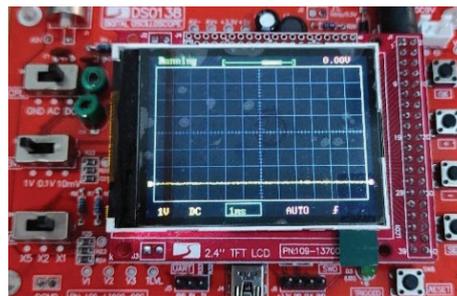
Excel merupakan salah satu produk microsoft yang berupa lembar kerja dalam bentuk *spreadsheet*. Pada umumnya microsoft excel digunakan untuk membantu pengguna dalam mengolah data. Salah satunya dimanfaatkan dalam mengolah dan menganalisis data seperti pada (gambar 3.15).



Gambar 3.15 Tampilan Microsoft Excel 2019

4. Oscilloscope Digital

(Gambar 3.16) menunjukkan osiloskop digital DSO138 yang dapat digunakan untuk mengukur data analog menjadi digital melalui sistem ADC (*Analog to Digital*).



Gambar 3.16 Tampilan Oscilloscope DSO138

5. Multimeter Digital

Multimeter digital berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus pada AC (*Alternating Current*) atau DC (*Direct Current*). Multimeter digital digunakan untuk pengambilan nilai *error* pada pengujian.

6. Termometer Digital

Termometer digital berfungsi untuk mengukur suhu. Termometer digital digunakan untuk membandingkan dan pengambilan nilai *error* suhu pada baterai lithium ion dengan sensor suhu.

3.8 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Waktu pengerjaan skripsi ini berlangsung dari bulan Agustus 2020 hingga Juni 2021.