

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

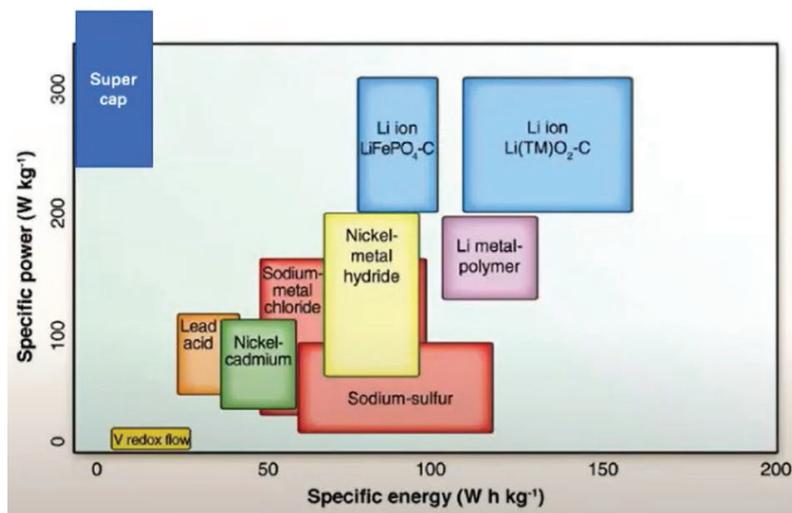
Baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik yang didalamnya terdapat proses berlangsungnya elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Reaksi elektrokimia *reversible* yang berlangsung di dalam baterai dapat mengubah kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian). Selanjutnya proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia [16].

Baterai lithium-ion yang digunakan adalah baterai LG 18650HE4 dengan kapasitas 12,6V 10,000mAh.

2.2 Sel Lithium Ion

Perancangan sebuah modul baterai lithium ion dalam penelitian ini meliputi komponen-komponen dari pembentukan baterai. Sel lithium ion merupakan elemen paling dasar dari baterai dalam lithium ion sel menghasilkan tegangan 3,6 V sampai 4,2 V.

Di dalam baterai, ion lithium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa lithium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai lithium non-isi ulang. Baterai lithium ion umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik. Baterai lithium ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori dan mengalami kehilangan energi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, baterai lithium ion dapat dikombinasikan dari baterai yang disusun secara seri atau paralel untuk mendapatkan tegangan dan kapasitas yang diharapkan. Pada (gambar 2.1) di bawah ini terdapat perbandingan *power density* dan *energy density* [1].



Gambar 2.1 Grafik Perbandingan *Power Density* dan *Energy Density*[1]

Di bawah ini merupakan (tabel 2.1) perbandingan Baterai Lithium Ion dan baterai lainnya

Tabel 2.1 Perbandingan Baterai Lithium Ion dan Baterai Lainnya [7]

Tipe Baterai	Li-Ion	Pb Acid	Ni-Cd	Ni-MH
<i>Temperature sensitivity</i>	>45° C	>25° C	-	>45° C
Waktu Hidup (<i>cycle</i>)	500-1000	200-500	500	500
Tegangan Kerja (V)	3,6	2	3,7	1,2
Energi Spesifik (Wh/kg)	100	30	60	70
Energi Spesifik (Wh/L)	240	100	155	190
<i>Overcahrge Tolerance</i>	<i>Very Low</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>
<i>Self-Discharge</i>	<i>Very Low</i>	<i>Low</i>	<i>Moderate</i>	<i>High</i>
<i>Thermal Stability</i>	<i>Least Stable</i>	<i>Most Stable</i>	<i>Least Stable</i>	<i>Least Stable</i>

Berdasarkan pada (Tabel 2.1) di atas, perbandingan baterai lithim ion denan baterai lainnya adalah memiliki waktu hidup (*cycle*) yang panjang. Selain waktu hidup yang panjang, baterai lithium ion mengalami degradasi lebih cepat jika terkena panas karena sangat sensitif terhadap suhu tinggi. Baterai lithium ion juga mati jika baterai benar-benar habis.

2.2.1 Unsur Kimia

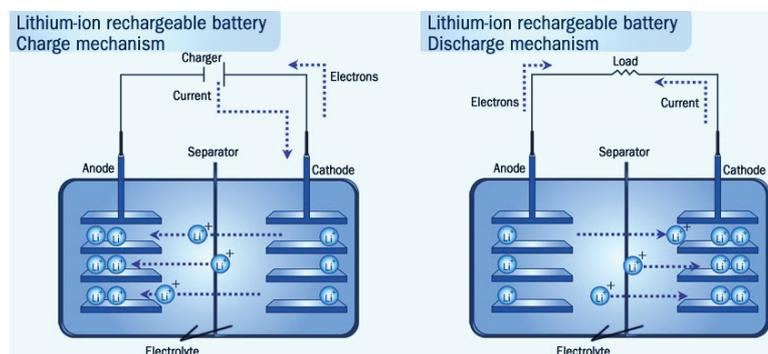
Lithium-ion adalah baterai yang dapat diisi ulang, ion lithium dapat bergerak di antara anoda dan katoda dan menciptakan aliran listrik yang berguna untuk aplikasi elektronik. Dalam Lithium Ion terdapat 3 elemen yang berperan dalam proses *discharge* dan *recharge* yaitu elektroda positif yang mengandung LiCoO_2 , elektroda negatif yang terbuat dari karbon grafit (C_6), dan separator yang terbuat dari lapisan tipis plastik yang dapat dilalui oleh ion-ion [7]. Persamaan (2.1) sampai (2.3) merupakan elemen ion yang berperan dalam proses *discharge* dan *recharge*:



2.2.2 Prinsip Kerja

Anoda dan katoda baterai lithium-ion terbuat dari karbon dan oksida lithium. Sedangkan, elektrolit terbuat dari garam lithium yang dilarutkan dalam pelarut organik. Bahan pembuat anoda sebagian besar merupakan grafit sedangkan katoda terbuat dari lithium kobalt oksida (LiCoO_2).

Sel lithium ion terisi oleh larutan organik yang bersifat elektrolit yang di dalamnya terdapat lembaran-lembaran yang dipisahkan oleh sparator berbahan plastik yang memiliki lubang berukuran mikroskopik. Apabila elektroda positif dan negatif terpisah oleh separator. Ion-ion (partikel bermuatan listrik) mampu melewati lubang tersebut [8]. (Gambar 2.2) merupakan Proses *Charging* dan *Discharging*



Gambar 2.2 Proses *Charging* dan *Discharging* pada Baterai Lithium Ion

Pada saat digunakan berkerja sebagai sel volta Lithium akan mengantarkan elektron dari anoda menuju alat yang membutuhkan elektron seperti kapasitor dan *processor* di *handphone* atau laptop kemudian berakhir di katoda. Sedangkan proton dari katoda masuk menembus separator diantara anoda dan katoda (proses interkalasi). Proses ini berlangsung terus menerus hingga kapasitas penggunaan baterai habis [8].

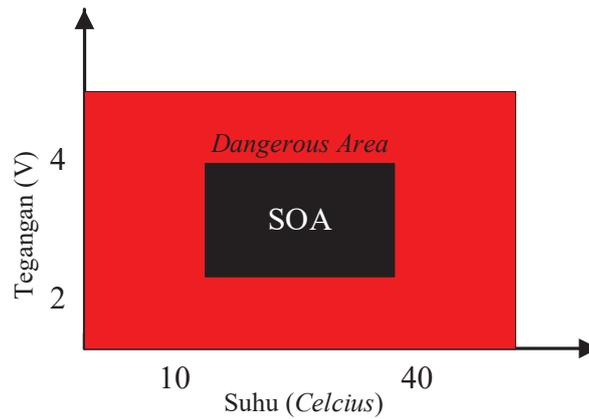
2.2.3 Fungsi dan Komponen

Baterai lithium ion merupakan baterai yang tersusun dari banyak komponen penyusunnya. Katoda merupakan bagian yang berisikan elektroda positif. Sehingga dengan adanya elektroda positif akan mengalami oksidasi untuk dapat diproses menjadikan sumber energi daya. Anoda merupakan bagian yang berisikan elektroda negatif. Sehingga dengan adanya elektroda positif akan mengalami reduksi untuk dapat diproses menjadikan sumber energi daya ketika bergabung dengan komponen lainnya [17].

Separator digunakan untuk memisahkan atau sebagai pemisah antara katoda dan anoda. Elektrolit merupakan sebuah ion yang bertugas untuk menghantarkan *transfer* antara anoda dan katoda sehingga terjadi pertemuan ion dan bisa menghasilkan energi [18].

2.2.4 *Safe Operating Area* (SOA)

Pada baterai lithium ion terdapat *Safe Operating Area* (SOA) atau area aman pada saat baterai beroperasi. SOA pada Li-Ion meliputi arus, suhu, dan tegangan. Gambar di bawah ini merupakan daerah aman operasi baterai ditujukan pada (gambar 2.3) [19].



Gambar 2.3 Area Operasi Baterai Lithium Ion [19]

Berdasarkan pada (gambar 2.3) di atas, berikut ini penjelasan Area Operasi Baterai Lithium ion.

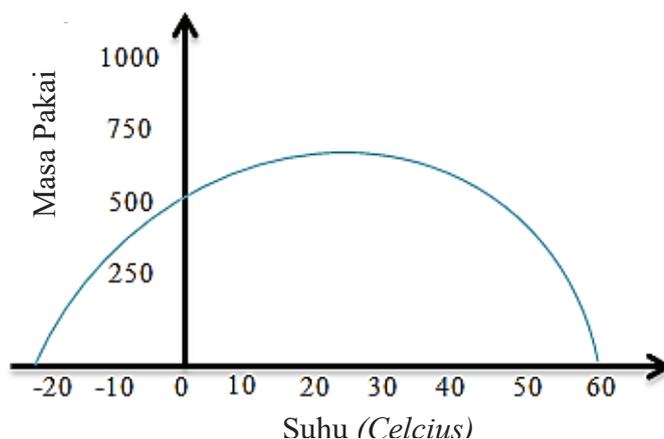
1. Sel Li-Ion cepat rusak dan dapat terbakar jika diisi berlebihan di atas tegangan tertentu.
2. Kebanyakan sel Li-Ion rusak jika di *discharge* di bawah batas tertentu
3. Umur sel Li-Ion berkurang drastis jika di *discharge* di luar kisaran suhu tertentu, atau di,isi daya di luar suhu yang bahkan lebih ketat jarak.
4. Sel Li-Ion dapat mengalami *thermal runaway* dan terbakar jika dibiarkan melebihi suhu aman bahkan sel yang tidak rentan terhadap *thermal runaway* mungkin mengandung elektrolit organik, yang menyulut api.
5. Umur sel Li-Ion berkurang jika di*discharge* pada arus yang terlalu tinggi, atau diisi terlalu cepat.
6. Sel Li-Ion dapat rusak jika dioperasikan pada arus pulsa tinggi selama lebih dari beberapa detik.

Batasan ini sangat bervariasi dengan sifat kimiawi sel baterai. Misalnya, standar Sel lithium kobalt oksida (LiCoO_2), tanpa mekanisme perlindungan pada terjadi *thermal runaway*, sedangkan sel LiFePO_4 secara internal kebal terhadap *termal runaway*. Batasan ini bervariasi hingga batas tertentu tergantung dengan pabrikan [20].

2.2.5 Siklus Penggunaan (*Cycle Life*)

Baterai Li-ion bekerja dengan memanfaatkan gerakan elektron antara elektroda positif dan negatif. Secara teori, mekanisme tersebut seharusnya dapat bekerja selamanya, tetapi karena adanya siklus dan kenaikan suhu, kemampuan baterai terus menurun seiring dengan berjalannya waktu. Para pembuat baterai telah mengambil langkah aman dengan menyatakan bahwa masa pakai baterai Li-ion hanya 500-1000 siklus pengisian dan pengosongan (*charge and discharge cycle*) [9].

Penentuan usia pemakaian baterai berdasarkan penghitungan jumlah siklus tidak bersifat konklusif karena proses pengosongan atau penggunaan baterai bisa bervariasi dan tidak ada standar yang mendefinisikan apa itu sebuah siklus [10]. (Gambar 2.4) di bawah merupakan pengaruh suhu dan tegangan pengisian terhadap siklus penggunaan baterai.



Gambar 2.4 Grafik Perbandingan Siklus Hidup baterai dan Suhu Lithium Ion [8]

Baterai Li-ion menjadi stres ketika terkena suhu tinggi, begitu juga dengan menjaga tegangan sel pada level yang tinggi. Baterai yang disimpan pada suhu di atas 30°C dan tegangan sebesar 4,10 V/sel juga dianggap sebagai tegangan yang tinggi. Selanjtnya memaparkan baterai terhadap suhu tinggi dan disimpan dengan tegangan penuh yang tinggi bisa lebih merusak pada siklus tersebut. Tabel 2.2 menggambarkan penurunan kapasitas sebagai fungsi dari suhu dan SoC. Kapasitas yang bisa digunakan dalam jangka panjang ketika baterai Li-ion disimpan selama

setahun pada berbagai suhu. Suhu tinggi mempercepat penurunan kapasitas secara permanen [21]. Tidak semua sistem baterai Li-ion memiliki sifat yang sama.

Tabel 2.2 Pengosongan Dan Kapasitas Sebagai Batas Tegangan Pengisian

<i>Charger cell</i> (V/cell)	<i>Discharge</i> <i>cycles</i>	<i>Capacity at full</i> <i>charge</i>
4,30	150-250	~114%
4,20	300-500	100%
4,10	600-1000	~86%
4,00	1200-2000	~72%
3,92	2400-4000	~58%

Berdasar tabel (Tabel 2.3) Siklus pengosongan dan kapasitas sebagai fungsi dari batas tegangan pengisian. Tiap penurunan sebesar 0,10 V/sel di bawah 4,20 V/sel mengurangi *cycles life* dan menurunkan kapasitas. Meningkatkan tegangan di atas 4,20 V/sel memperpendek usia baterai.

2.2.6 Efisiensi

Sel-sel Li-ion memiliki kelebihan yang signifikan dibandingkan dengan sel kimia lainnya yaitu sangat efisien dalam energi dan daya. Persamaan daya (2.4) dan (2.5) adalah sebagai berikut.

$$P = I^2 R \quad (2.4)$$

$$P = V \times I \quad (2.5)$$

Keterangan:

P = Daya sel (W)

I = Arus pada sel (A)

R = Resistansi (Ohm)

Untuk mengetahui nilai Wh dapat ditentukan dengan persamaan (2.6) sebagai berikut.

$$Wh = Ah \times V \quad (2.6)$$

Keterangan:

Wh = Watt per jam

Ah = Kapasitas baterai

V = Tegangan baterai

Untuk nilai tingkat kapasitas pengisian atau pengosongan baterai dalam satu jam dinyatakan dalam “C” dapat ditentukan dengan persamaan (2.7) dan persamaan (2.8) berikut:

$$\text{Energi Densitas} = \frac{Wh}{\text{Massa Baterai (Kg)}} \quad (2.7)$$

Untuk menentukan daya densitas atau kepadatan daya yang berarti daya puncak persatuan massa (W/kg) dapat dinyatakan dengan persamaan (2.8) berikut:

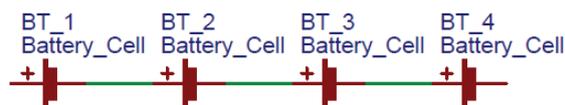
$$\text{Daya Densitas} = \frac{\text{Daya Puncak}}{\text{Massa Baterai (Kg)}} \quad (2.8)$$

2.2.7 Konfigurasi Sel

Konfigurasi atau susunan sel lithium ion digunakan agar baterai dapat mencapai tegangan dan kapasitas yang diinginkan. Proses penyusunan sel baterai lithium ion menggunakan 3 metode rangkaian yaitu rangkaian seri, rangkaian paralel dan rangkain seri paralel [22].

1) Rangkaian Seri (*Series Connection*)

Susunan sel litium-ion secara seri digunakan untuk menakikan kapasitas tegangan baterai, rangkaian penyusunan sel seri terdapat pada (Gambar 2.5) di bawah ini.



Gambar 2.5 Rangkaian Seri Sel Li-Ion

Ketika baterai dihubungkan secara seri maka tegangannya bertambah sesuai dengan pengertian tegangan yaitu perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik yang dinyatakan dengan satuan *Volt* (V) tetapi kapasitas arus listrik tidak bertambah. Dirumuskan oleh persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$V_{tot} = V_{cell1} + V_{cell2} + V_{cell3} \dots \dots \dots + V_{celln} \quad (2.9)$$

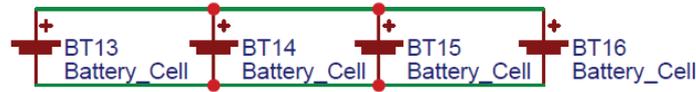
Keterangan:

V_{tot} = Tegangan total

V_{celln} = Tegangan pada masing-masing sel

2) Rangkaian Paralel (*Parallel Connection*)

Susunan sel litium-ion secara paralel digunakan untuk menaikkan kapasitas baterai, rangkaian penyusunan sel paralel terdapat pada (Gambar 2.6) di bawah ini.



Gambar 2.6 Rangkaian Paralel Sel Li-Ion

Rangkaian paralel sel lithium ion digunakan untuk mendapatkan kapasitas sesuai yang diinginkan. Pada saat sel dihubungkan secara paralel maka kapasitas arus yang dihasilkan bertambah sedangkan untuk tegangannya tetap. Dapat dirumuskan oleh persamaan (2.10) di bawah ini:

$$I_{tot} = I_{cell1} + I_{cell2} + I_{cell3} \dots \dots \dots + I_{celln} \quad (2.10)$$

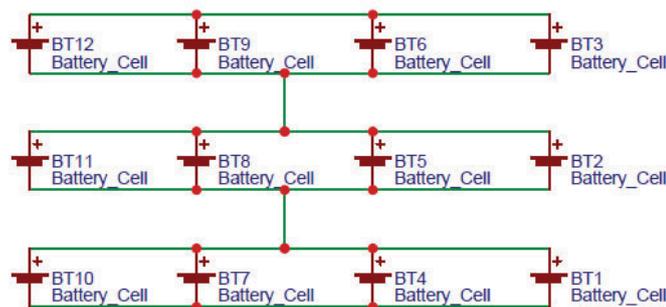
Keterangan:

I_{tot} = Arus total

I_{celln} = Arus pada masing-masing sel

3) Rangkaian Seri Paralel (*Series Parallel Connection*)

Susunan sel litium-ion secara seri dan paralel digunakan untuk menaikkan kapasitas dan tegangan baterai, rangkaian penyusunan sel seri paralel terdapat pada (Gambar 2.7) di bawah ini.



Gambar 2.7 Rangkaian Seri Paralel Sel Li-Ion

Rangkaian kombinasi seri dan paralel pada sel digunakan untuk menghasilkan tegangan dan kapasitas sesuai keinginan. Penggunaan rangkaian kombinasi ini paling banyak digunakan terutama untuk kebutuhan perangkat penyimpanan yang besar seperti kendaraan listrik.

2.3 Sistem *monitoring* termal baterai

Sistem *monitoring* termal baterai ini merupakan alternatif untuk menjadikan baterai Lihitum Ion tidak mengalami *overheat* dan *short circuit* yang dapat mengurangi kehandalan dan kesehatannya.

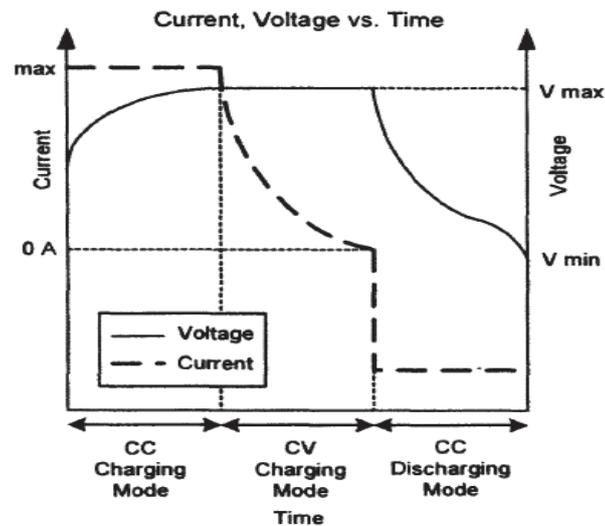
2.3.1 Fungsi Sistem *Monitoring* Termal Baterai Lithium Ion

Sel lithium ion memerlukan sistem *monitoring* termal dengan tujuan agar sel tetap berada pada daerah aman beroperasinya. Sistem *monitoring* termal memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Pemantauan tegangan, arus dan suhu baterai pada saat proses *charging*.
2. Memutus dan menyambung baterai dalam keadaan tertentu seperti pengisian penuh, baterai dalam keadaan hampir habis, kelebihan arus pada beban (*overcurrent*) dan suhu yang tinggi pada baterai (*overheated*).
3. Mengetahui pemodelan sistem *monitoring* termal untuk mengontrol suhu pada sistem.
4. Memantau pengaruh suhu terhadap kinerja baterai, sehingga mengurangi efek negatif suhu pada baterai.

2.3.2 Pengisian dan Pengosongan Baterai Lithium Ion

Metode pengisian baterai lithium ion memiliki 2 tahap yang disebut dengan arus konstan (*constant current*) dan tegangan konstan (*constant voltage*) [14]. Pada tahap pengisian pertama arus konstan (CC) menghasilkan arus konstan yang meningkatkan tegangan baterai, pada saat tegangan mencapai nilai konstan, dan baterai hampir terisi penuh selanjutnya masuk ketahap kedua tegangan konstan (CV) [23].



Gambar 2.8 Grafik Charging Discharging Baterai Li-ion

Pada (Gambar 2.8) tahap *charging* mempertahankan tegangan konstan saat arus baterai meluruh secara eksponensial sampai baterai terisi. Proses pengisian dan pengosongan baterai memiliki ketentuan untuk memperpanjang umur pemakaian baterai,

2.3.3 State of Charge

State of charge (SoC) adalah kapasitas yang tersisa pada baterai dan dinyatakan dalam persen (%). Kemampuan ini pengguna dapat menentukan kapan waktu yang tepat untuk pengisian baterai (*charging*) dan berhenti mengisi baterai (*discharging*) [17]. Estimasi nilai SoC adalah yang paling penting dalam penelitian dan pembuatan sistem manajemen, nilai SoC menjadi titik tersulit karena nilai harus di perkirakan secara akurat dan memiliki dampak langsung terhadap baterai lithium [19].

Banyak faktor yang membuat penentuan nilai SoC tepat waktu pada baterai lithium menjadi sulit karena bergantung pada suhu baterai, efek polaritas dan masa pakai baterai. Metode *Open Circuit Battery* (OCV) merupakan metode yang paling sederhana untuk menentukan nilai SOC, metode OCV dirumuskan oleh persamaan (2.11) dan (2.12) sebagai berikut:

$$SOC = \frac{V_{\text{saat ini}} - V_{\text{min}}}{X_i} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$X_i = V_{\text{max}} - V_{\text{min}} \quad (2.12)$$

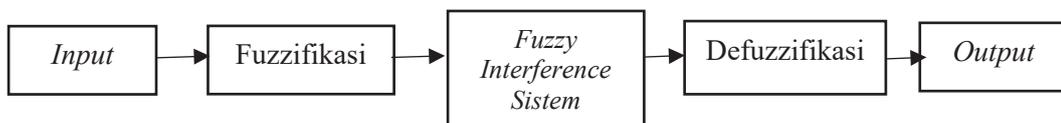
Keterangan:

V = Nilai Tegangan

Xi = Nilai Acuan

2.3.4 Fuzzy Logic Controller

Fuzzy logic secara umum merupakan sebuah metodologi berhitung yang efisien untuk memecahkan masalah pemetaan *non-linier* dengan menggunakan variabel kata yang mendekati intuisi manusia. Istilah *fuzzy* dalam kamus Oxford didefinisikan sebagai *blurred* (samar-samar), *indistinct* (tidak jelas), *confuse* (membingungkan), dan *imprecisely definition* (didefinisikan secara tidak presisi). Meski memiliki istilah yang samar-samar, namun metode ini memiliki definisi cara kerja dan deskripsi yang jelas. Logika *fuzzy* merupakan suatu cara untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output*. Logika *fuzzy* berbeda dengan logika digital biasa, logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu, ya dan tidak, *on* dan *Off*, atau *High Low* dan “1_0”. Sedangkan logika *fuzzy* meniru cara berpikir manusia dengan menggunakan konset sifat kesamaran suatu nilai.

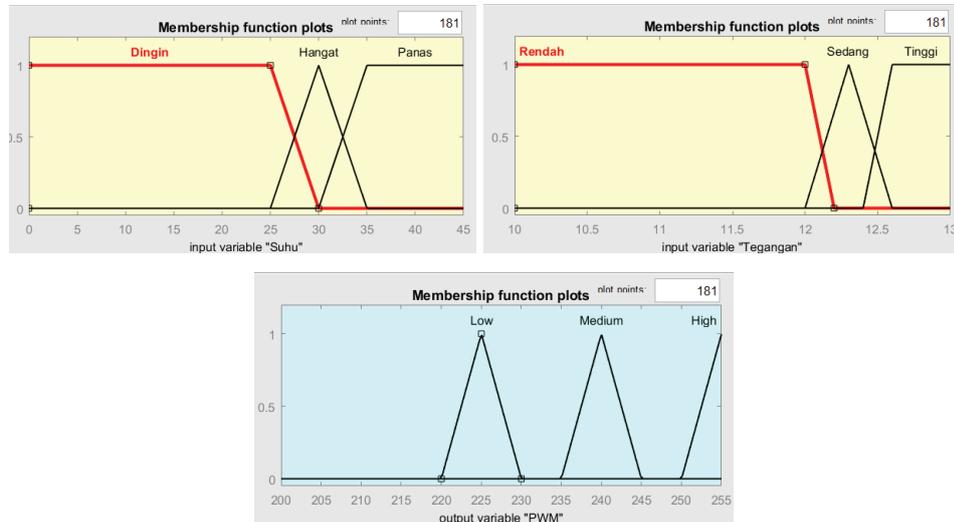


Gambar 2.9 Diagram Blok *Fuzzy Logic Control*

Berdasarkan (Gambar 2.9) merupakan proses yang terjadi dalam sistem logika fuzzy, melibatkan *variable* fuzzy *Input* dan *Output*. Oleh karena itu *variable input* yang bersifat *crisp* harus diubah menjadi *variable fuzzy* melalui tahapan fuzzifikasi. Fungsi yang memetakan *variable fuzzy input* dan *output* dilakukan oleh metode interferensi. Fungsi interferensi berkerja berdasarkan aturan-aturan logika yang dibuat oleh perancang. Tahap akhir pemrosesan untuk mengembalikan keadaan hasil perhitungan sistem logika fuzzy ke dalam *crisp*. Proses pada (Gambar 2.9) tersebut dinamakan sebagai proses defuzzifikasi [18].

1. Fuzzifikasi adalah proses untuk mengubah *variable* numerik menjadi *variable* linguistik. Nilai input yang masih dalam bentuk *variable* numerik (*crisp*) diolah dahulu ke pengontrol fuzzy sebelum di ubah ke *variable* linguistik. Proses ini dilakukan dengan mendefinisikan fungsi keanggotaan.

2. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki *interval* antara 0 dan 1.



Gambar 2.9 Grafik Fungsi Keanggotaan

3. Defuzzifikasi adalah proses memetakan kembali himpunan fuzzy ke dalam himpunan *crisp* agar keluaran dari sistem fuzzy dapat diproses lebih lanjut.

Fuzzy mengolah nilai *input* menjadi sebuah nilai *output* yang berupa *duty cycle*[17][18]. Pada proses validasi *fuzzy logic* blok ini dapat digunakan untuk mengamati ketepatan nilai *input* dan nilai *output* berdasarkan *membership function* yang telah dibuat sebelumnya. *Input error* dan *change error* harus sesuai dengan *membership* yang sudah dilakukan sebelumnya,

2.4 Mikrokontroler ATmega 2560

Mikrokontroler digunakan untuk mengolah atau mengoperasikan aplikasi tertentu. Mikrokontroler adalah komputer yang berukuran mikro dalam satu *chip* IC (*Integrated Circuit*) yang terdiri dari *processor*, *memory*, dan antarmuka yang bisa di program. Berikut *data sheet* dan bentuk fisik ditampilkan pada (gambar 2.10).



Gambar 2.10 Mikrokontroler Atmega 2560

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega 2560 dengan spesifikasi ditunjukkan pada (tabel 2.3) sebagai berikut:

Tabel 2.3 Spesifikasi Mikrokontroler ATmega 2560.

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasional	5V
Tegangan <i>Input</i> (rekomendasi)	7-12V
Tegangan <i>Input</i> (<i>limit</i>)	6-20V
<i>Pin Digital I/O</i>	54 (<i>of which 15 provide PWM output</i>)
<i>Pin Analog Input</i>	16
Arus DC per <i>Pin I/O</i>	20 mA
Arus DC untuk <i>Pin 3.3 V</i>	50 mA
<i>Memori Flash</i>	256 KB <i>of which 8 KB used by bootloader</i>
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
LED BUILTIN	13
<i>Length</i>	101.52 mm
<i>Width</i>	53,3 mm
<i>Weight</i>	37 g

2.5 Sensor Max6675 Thermocouple type k

Sensor suhu yang digunakan untuk pemantauan baterai lithium ion. adalah 3 buah Max6675 *Thermocouple type k*. yang digunakan untuk pemantauan suhu pada modul lithium ion. Data hasil pengukuran suhu di *outputkan* melalui kaki *pin* SCL dan SDA ke Arduino. Berikut *data sheet* dan bentuk fisik ditampilkan pada (gambar 2.11).



Gambar 2.11 Sensor suhu Max6675 *Thermocouple type k*

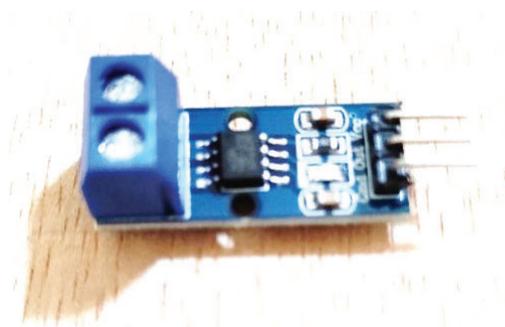
Penelitian ini menggunakan sensor suhu Max6675 dengan spesifikasi ditunjukkan pada (Tabel 2.4) sebagai berikut:

Tabel 2.4 Spesifikasi sensor suhu Max6675

Sensor Suhu	Max6675
Tegangan Operasional	5V DC
<i>Operating Current</i>	50mA
Jarak pengukuran suhu	-200° - 1300°C
Akurasi pengukuran suhu	± 1,5 °C
Berat modul	4 g

2.6 Sensor Arus ACS712

Sensor arus berfungsi untuk mengambil data arus yang masuk dan keluar pada pengujian *charging* dan *discharging*. *Output* sensor arus terhubung ke ADC *Converter* pada mikrokontroler. Sensor arus yang digunakan adalah ACS712ELCTR-5A-T. Berikut *data sheet* dan bentuk fisik ditampilkan pada (gambar 2.12).



Gambar 2.12 Sensor Arus ACS712

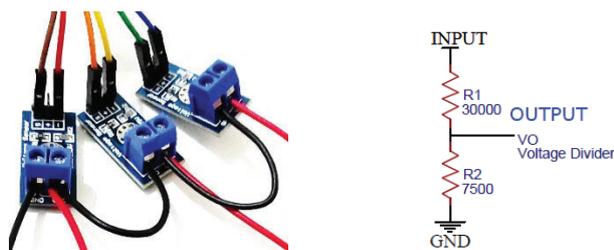
Penelitian ini menggunakan Sensor Arus ACS712 dengan spesifikasi ditunjukkan pada (tabel 2.5) sebagai berikut:

Tabel 2.5 Spesifikasi sensor Arus ACS712

Sensor Arus	ACS712ELCTR-5A-T
Tegangan Operasional	4,5V-5,5V DC
<i>Sensitivity</i>	185mv/A

2.7 Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk pemantauan tegangan sel baterai lithium ion dan secara keseluruhan. Cara untuk menentukan nilai resistansi yang digunakan menggunakan persamaan (2.10), sensor tegangan dirancang untuk dapat membaca nilai tegangan persel dan *modul* baterai. Agar nilai tegangan dapat terbaca oleh mikrokontroler maka tegangan yang masuk ke mikrokontroler harus $\leq 5V$. Oleh karena itu, rangkaian pembagi tegangan (*Voltage divider*) digunakan untuk memperkecil tegangan sesuai dengan perbandingan yang telah dihitung. Berikut *data sheet* dan bentuk fisik ditampilkan pada (gambar 2.13).



Gambar 2.13 Rangkaian Pembagi Tegangan

Penelitian ini menggunakan sensor tegangan dengan spesifikasi ditunjukkan pada (tabel 2.6) sebagai berikut:

Tabel 2.6 Spesifikasi sensor tegangan

Sensor Tegangan	<i>Voltage sensor</i>
Tegangan Operasional	0-25 V DC
Tegangan deteksi	0,02445-25 V DC
<i>Sensitivity</i>	0,00489 V

2.8 Driver Module MOSFET

Driver Module MOSFET adalah komponen elektronika daya seperti saklar elektrik, berguna untuk mengendalikan saklar elektronik daya semacam ini biasanya menggunakan sesuatu yang disebut sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) [24]. PWM adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap [25]. PWM ini dapat

dianggap sebagai kebalikan dari ADC (*Analog to Digital Converter*) yang mengonversi sinyal *analog* ke *digital*, yaitu menghasilkan sinyal *analog* dari perangkat digital seperti mikrokontroler. Sinyal PWM umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki *duty cycle* (lebar pulsa) yang bervariasi antara 0% sampai 100%. *Driver* MOSFET yang digunakan adalah LR7843. Berikut data sheet dan bentuk fisik ditampilkan pada (gambar 2.14).



Gambar 2.14 Driver Module MOSFET

Penelitian ini menggunakan Driver module MOSFET dengan spesifikasi ditunjukkan pada (tabel 2.7) sebagai berikut:

Tabel 2.7 Spesifikasi Driver Module MOSFET

<i>Driver module</i>	MOSFET LR7843
<i>RDS (on) Resistance</i>	3,3m Ω
<i>Tegangan input</i>	2,5V – 20V dengan <i>optoisolation</i>
<i>Output switching</i>	6 – 28V
<i>Continuous current handling capability</i>	15 A
<i>Logic Competible</i>	3,3 V and 5 V

2.9 Catu Daya

Catu daya digunakan sebagai sumber tegangan DC pada proses pengisian. Dalam proses ini, catu daya membutuhkan sumber energi listrik yang kemudian diubah menjadi energi listrik sesuai dengan kebutuhan perangkat. Tegangan *power supply* yang digunakan sebesar 24VDC 10A. Berikut data sheet dan bentuk fisik ditampilkan pada (gambar 2.15) dan (tabel 2.8).



Gambar 2.15 Catu Daya

AC to DC *power supply* yaitu DC *power supply* yang mengubah sumber tegangan listrik AC menjadi tegangan listrik DC yang dibutuhkan dalam proses pengisian baterai lithium ion. komponennya terdiri dari transformator *step up* atau *step down*, dioda penyearah dan kapasitor sebagai penyaring. Berikut data sheet yang ditampulkan pada (Tabel 2.8) sebagai berikut:

Tabel 2.8 Spesifikasi Catu daya

Catu daya	24 VDC 10 A
Voltase <i>Input</i>	120V – 240V AC 50/60Hz
Voltase <i>Output</i>	24 V DC

2.10 Kajian Pustaka

Tabel 2.9 Kajian Pustaka

Penulis	Judul	Hasil
Amar Anshori (2020)	Teknik <i>Fast Charging</i> Baterai <i>Lithium-Ion</i> Menggunakan <i>Logika Fuzzy</i>	Pada penelitian ini Teknik <i>fast charging</i> baterai <i>li-ion</i> menggunakan logika <i>fuzzy</i> untuk mengontrol suhu dan tegangan pada saat melakukan pengisian baterai menggunakan <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> .
Ahmad Faiz F (2016)	Desain <i>system monitoring State of Charge</i> Baterai pada <i>Charging Station</i> Mobil Listrik Berbasis <i>Fuzzy Logic</i> dengan Mempertimbangkan <i>Temperature</i>	Pada penelitian <i>system monitoring State of Charge</i> Baterai pada <i>Charging Station</i> Mobil Listrik untuk mendapatkan nilai <i>SoC</i> digunakan 2 <i>input membership function</i> yaitu tegangan dan suhu baterai. Hasil pengujian <i>Fuzzy Logic</i> dengan Mempertimbangkan <i>Temperature</i> dapat mengukur dan mengatur tegangan DC hingga 27-volt dengan tidak ada <i>error</i> dan mampu mengukur suhu dengan <i>error</i> 0,7%.

Lanjutan dari (tabel 2.9)

A. R. Hisan (2016)	Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Pendinginan Semi-Pasif	Secara keseluruhan hasil simulasi dengan hasil eksperimen memiliki selisih di bawah 0,5 volt. permodelan distribusi suhu dapat disimpulkan bahwa menambahkan proses konveksi paksa pada sistem membantu dalam distribusi suhu dengan selisih konveksi paksa dengan konduksi yaitu sebesar 0,9°C pada tiga baterai dan 3°C pada enam baterai.
Rizky Wahyudi (2019)	Perancangan Modular Baterai Lithium Ion(Li-Ion) untuk Beban Lampu Led	Pada penelitian ini <i>State of charge (soc)</i> dengan metode <i>open circuit voltage (ocv)</i> pada pengujian <i>charging</i> mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan kenaikan rata-rata sel sebesar 27%. <i>State of charge (soc)</i> dengan metode <i>open circuit voltage (ocv)</i> pada pengujian <i>discharging</i> mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan penurunan rata-rata sel sebesar 35,75%.
Wakhyu Dwiono (2017)	Kinerja Pengendali Fuzzy Untuk Pengisian Baterai Menggunakan Arus Tetap	Pengisian dengan arus tetap diatur pada nilai 10 % dari kapasitas. Dari hasil pengujian diperoleh data bahwa pengendali Fuzzy memiliki nilai awal lebih dari 0 amper, meski tanggapan waktu naik yang lebih lambat dibandingkan dengan PID, yaitu 4 detik tetapi <i>error</i> sistem adalah sekitar 2,8%.