

BAB II

TINJAUAN PUTAKA

2.1 Baterai

Baterai (Battery) adalah sumber daya yang merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan seperti pada perangkat elektronik. Hampir semua perangkat elektronik *portable* seperti handphone, laptop, dan mainan *remote control* menggunakan baterai sebagai sumber listrik (daya). Dengan adanya baterai, sehingga tidak perlu menyambungkan kabel listrik ke terminal dapat dapat mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga dapat mudah dibawa kemana saja. Baterai memiliki beberapa struktur dasar yaitu : pertama, sel elektrokimia adalah unit dasar baterai yang mengandung anoda (elektroda negatif), katoda (elektroda positif), dan elektrolit. kedua, Anoda adalah elektroda negatif dimana reaksi redoks terjadi saat baterai di isi ulang. Ketiga katoda (elektroda positif) adalah dimana reaksi redoks terhadap baterai terjadi saat baterai digunakan dan memberikan energi listrik. Keempat, elektrolit adalah larutan atau material konduktif yang memungkinkan aliran ion antara anoda dan katoda. Proses pengisian dan pengosongan baterai, ketika baterai di isi ulang, reaksi kimia terjadi diantara anoda dan katoda sehingga menyimpan energi kimia dalam bentuk ion-ion[8]. Selama pemakaian energi kimia diubah menjadi energi listrik dengan reaksi-balik diantara anoda dan katoda. Proses ini terjadi secara siklik dan dapat diulang sampai baterai mencapai umur masa akhirnya. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut dengan siklus pengisian dan pengosongan.

2.1 Lithium-Ion

Baterai lithium-Ion adalah baterai yang memberikan performa tinggi yang telah banyak digunakan sebagai perangkat penyimpanan energi untuk aplikasi portable seperti ponsel, laptop, dan elektronik digital, ini karena keunggulannya seperti kepadatan energi dan daya yang tinggi, efek memori yang rendah, dan ramah

lingkungan[10]. Agar didapat performa yang maksimal dari baterai lithium-ion, pengisian baterai lithium-ion harus dilakukan dengan cara yang tepat. Jika pengisian baterai lithium-ion dilakukan dengan cara yang salah, maka baterai tersebut akan mengalami gangguan dan performanya akan menurun. Pengisian baterai litium-ion berbeda dengan pengisian baterai lainnya seperti NiMH. Baterai lithium-ion merupakan baterai yang sensitif terhadap tegangan dari pada arus. Pengisian baterai lithium-ion mirip dengan pengisian baterai lead acid. Perbedaannya adalah lithium-ion memiliki tegangan yang lebih tinggi di setiap selnya. Ketika baterai sudah terisi arus pengisian baterai lithium-ion harus dihentikan, karena baterai jenis ini tidak memperoleh pengisian yang berlebihan (*overcharging*)[9].

Baterai lithium-ion juga merupakan baterai isi ulang yang bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan. Arahnya akan kembali saat discharge dan memakai senyawa lithium yang berbahan elektroda. Baterai jenis ini memiliki kepadatan pada energi yang terbaik, tidak ada efek negatif terhadap memori, dan juga tidak akan kehilangan isi saat tidak digunakan[8], [9]. Baterai ini memiliki kemampuan untuk menyimpan energi tinggi untuk per satuan volume, artinya jenis energi listrik yang terkandung didalamnya adalah elektrokimia. Dalam penggunaannya, agar bisa berfungsi dengan sangat baik maka harus dilengkapi dengan elektroda dan elektrolit yang saling berhubungan.

Keunggulan baterai litihum-ion :

1. Kapasitas energi yang tinggi: Baterai Lithium-ion memiliki tingkat kapasitas energi yang tinggi, sehingga dapat menyimpan lebih banyak energi dalam berat yang relatif ringan dibandingkan dengan jenis baterai lainnya.
2. Tidak ada efek memori: Baterai Lithium-ion tidak menderita efek memori seperti beberapa jenis baterai lainnya. Artinya, mereka tidak perlu sepenuhnya dikosongkan sebelum diisi ulang, sehingga lebih nyaman dan mudah digunakan.

3. Tidak ada pelepasan sisa daya yang signifikan: Baterai Lithium-ion memiliki pelepasan sisa daya yang relatif rendah saat tidak digunakan, yang memungkinkan perangkat untuk tetap aktif dalam mode siaga lebih lama.
4. Kinerja yang stabil: Baterai Lithium-ion memiliki tegangan keluaran yang stabil selama penggunaan yang memungkinkan perangkat bekerja dengan efisien.

Keterbatasan baterai lithium-ion :

1. Potensi Bahaya Terkait Termal: Jika tidak diatur atau diperlakukan dengan baik, baterai Lithium-ion dapat mengalami masalah termal, seperti overheating, bahkan kebakaran atau ledakan. Oleh karena itu, penggunaan dan pengisian baterai harus sesuai dengan pedoman dan peringatan produsen.
2. Umur Layanan Terbatas: Seperti halnya jenis baterai lain, baterai Lithium-ion juga memiliki siklus pengisian dan pengosongan terbatas sehingga kapasitasnya akan menurun seiring waktu.

Meskipun baterai Lithium-ion memiliki keterbatasan, peningkatan teknologi dan perawatan yang tepat dapat membantu memperpanjang umur layanan dan meningkatkan keamanan penggunaan baterai ini.

Tabel.2.1 Jenis-jenis dan karakteristik baterai lithium-ion[10]

<u>Karakteristik</u>	Cobalt Oxide	Manganese Oxide	Iron Phosphate	Nickel Manganese Cobalt Oxide	Nickel Cobalt Aluminium Oxide	Titanate
Voltages	3.60V	3.70V	3.20, 3.30V	3.60V, 3.70V	3.60V	2.40V
<u>Kapasitas</u>	150-200Wh/kg	100-150Wh/kg	90-120Wh/kg	150-220Wh/kg	200-260Wh/kg	50-80Wh/kg
Charge (C-rate)	0.7-1C	0.7-1C	1C	0.7-1C	0.7C	1C-5C
Discharge (C-rate)	1C; 2.50V cut-off	1C; 10C 2.50V cut-off	1C, 25C 2.50V cut-off	1C; 2C 2.50V cut-off	1C; 3.00V cut-off	10C; 1.80V cut-off
Cycle Life	500-1000	300-700	2000	1000-2000	500	3000-7000
<u>Thermal Runaway</u>	150°C (302°F)	250°C (482°F)	270°C (518°F)	210°C (410°F)	150°C (302°F)	150°C (302°F)

2.3 Charging baterai

Baterai merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan sumber energi listrik melalui proses elektro kimia yaitu dari proses kimia diubah menjadi tenaga listrik dan sebaliknya dari tenaga listrik diubah menjadi proses kimia. Sehingga dalam baterai tersebut terdapat dua proses yaitu *discharging* dan *charging*. Pengisian daya atau *charging* adalah proses dimana baterai akan dialiri oleh sumber listrik yang nilai tegangannya telah disesuaikan dengan spesifikasi baterai yang akan di *charge*.

Baterai Lithium-Ion adalah jenis baterai yang memiliki siklus hidup yang lebih panjang, kehandalan, kepadatan energi yang tinggi, toksitas rendah, tingkat *self-discharge* yang rendah, kepadatan daya yang tinggi, dan efisiensi yang tinggi. Akan tetapi baterai *Lithium-ion* memiliki sensitifitas terhadap *deep discharge* atau *overcharge*, *temperature*, arus *charge* atau *discharge*[8], [9], [10].

Performa yang dapat diandalkan dan masa pakai yang lama dari baterai *Lithium-Ion* akan bergantung pada *charging* baterai yang benar. *Charging* yang salah atau menggunakan peralatan pengisian daya yang tidak memadai dapat mengakibatkan penurunan masa pakai (*life-time*) baterai dan atau kinerja baterai yang buruk. Pemilihan pengisian daya baterai yang sesuai dan metode yang digunakan untuk mengisi dayanya sama pentingnya dengan memilih baterai yang tepat untuk aplikasi tersebut.

Baterai *Lithium-Ion* juga merupakan baterai isi ulang yang bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan. Arahnya akan kembali saat dicharger dan memakai senyawa *Lithium* yang berbahan elektroda. Baterai jenis ini memiliki kepadatan pada energi yang terbaik, tidak ada efek negatif terhadap memori, dan juga tidak akan kehilangan isi saat tidak digunakan[8], [11]. Baterai ini memiliki kemampuan dalam menyimpan energi tinggi untuk per satuan volume, artinya jenis energi listrik yang terkandung di dalamnya adalah elektrokimia. Dalam penggunaannya, agar bisa berfungsi dengan sangat baik maka harus dilengkapi dengan elektroda dan elektrolit yang saling berhubungan[11].

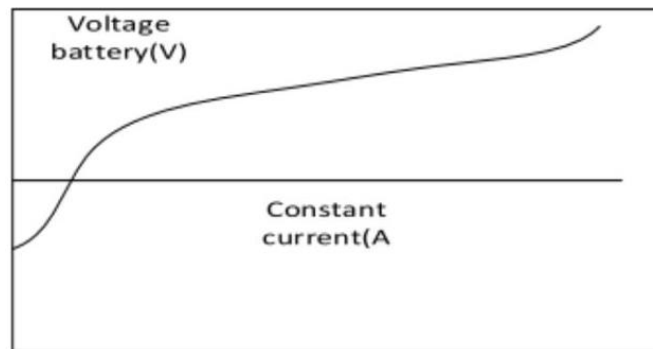
Tabel 2.2 Perbedaan Charging, Fast Charging, dan Smart Charging

Charging	Charging adalah proses mengisi energi ke dalam baterai atau perangkat elektronik. Ini adalah istilah umum yang mencakup semua metode pengisian daya, termasuk yang lambat dan cepat[12].
Fast Charging	Fast Charging adalah metode pengisian daya yang lebih cepat daripada metode konvensional. Ini memanfaatkan teknologi khusus dan perangkat keras yang dirancang untuk mengisi daya dengan tingkat yang lebih tinggi dari biasanya. Tujuannya adalah untuk mengisi baterai dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada pengisian daya standar. Namun, pengisian daya yang lebih cepat ini juga bisa menyebabkan peningkatan suhu baterai, yang perlu diatur agar tidak merusak baterai[13].
Smart Charging	Smart Charging adalah pengisian daya yang lebih cerdas. Ini melibatkan penggunaan teknologi dan algoritma yang dapat memantau kondisi baterai, suhu lingkungan, dan faktor-faktor lainnya untuk dapat mengoptimalkan proses pengisian. Tujuannya adalah untuk menjaga kesehatan baterai, meminimalkan risiko overcharging (pengisian berlebihan), mengurangi suhu berlebih, dan secara umum meningkatkan masa pakai baterai. Pengisian cerdas juga bisa menyesuaikan laju pengisian sesuai dengan kebutuhan saat itu[14].

2.4 Metode Pengisian Baterai

Pada *charging* baterai, ada beberapa metode yang dapat digunakan saat mengisi ulang baterai. Metode pengisian baterai mengacu pada bentuk dan besaran arus/tegangan yang akan digunakan selama pengisian[3], [15]. Dalam penelitian ini, metode pengisian/*charging* pada baterai yang digunakan adalah *constant current-constant voltage* (CC-CV) yang merupakan kombinasi dari metode *constant current* (CC) dan *constant voltage* (CV)

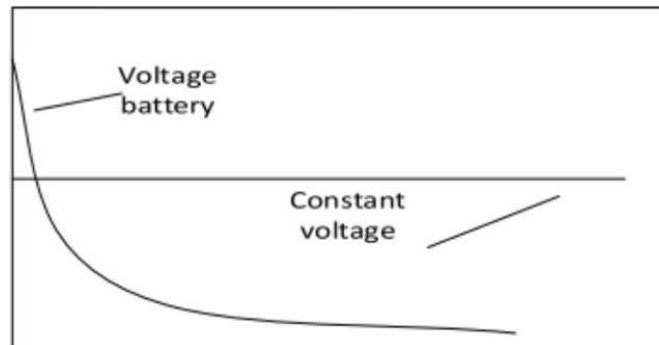
2.4.1 Constant Current (CC)



Gambar 2.1 Constant Current (CC)

Metode pengisian ini terdiri dari pengisian baterai dengan arus konstan atau *constant current* (CC). pada metode ini, arus dibatasi untuk mencegah arus lebih dari muatan awal dan nilai tegangan akan tergantung pada arus pengisian. Keuntungan dalam menggunakan metode ini adalah mudahnya menghitung waktu pengisian dan SOC. Selain itu, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan seperti dapat dengan mudah menyebabkan panas berlebih yang dapat mengurangi masa pakai (*lifetime*) baterai[2], [3], [15].

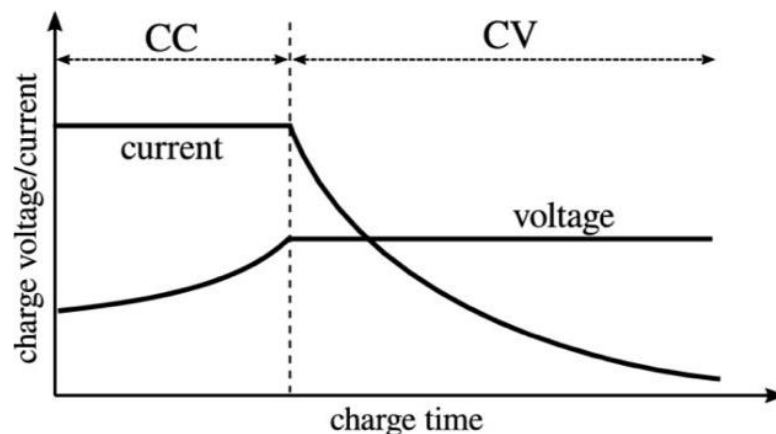
2.4.2 Constant Voltage (CV)



Gambar 2.2 *Constant Voltage (CV)*

Metode ini terdiri dari pengisian baterai dengan tegangan konstan atau *constant voltage* (CV). Dan biasanya digunakan untuk mengisi baterai dengan menerapkan tegangan konstan pada terminalnya. Dalam proses pengisian *constant voltage* (CV), nilai tegangan dipertahankan pada tegangan maksimum yang harus diterapkan pada jenis baterai tertentu sementara arus pengisian akan perlahan-lahan menurun saat pengisian baterai mendekati penuh. Proses pengisian ini tidak akan menyebabkan pengisian baterai yang berlebihan dan tidak menyebabkan kenaikan suhu karena tegangan dijaga konstan sesuai dengan tegangan maksimum, tetapi proses pengisian akan berlangsung lebih lama dari arus konstan atau *constant current* (CC)[2], [3], [15].

2.4.3 Constant Current – constant voltage (CC-CV)



Gambar 2.3 *Constant Current-Constant Voltage (CC-CV)*

Metode pengisian ini juga dikenal sebagai metode dua langkah, karena menggabungkan *constant current* (CC) dan *constant voltage* (CV). Pada gambar 2.3 dapat dilihat bahwa pada tahap pertama, metode pengisian yang digunakan yaitu *constant current* (CC) dengan menerapkan arus yang konstan pada tahap awal pengisian hingga tegangan baterai mencapai tegangan dan SOC baterai yang telah ditentukan. Pada tahap kedua, metode pengisian beralih ke *constant voltage* (CV) dimana pada tahap ini tegangan dijaga konstan hingga baterai penuh, pada tahap ini juga arus akan berkurang[2], [15]. Sistem kontrol pada metode *charging* CC-CV ini lebih aman karena tidak menyebabkan *overcharging*, karena saat berpindah dari CC ke CV arus akan berkurang[15]. Dengan menggunakan metode ini, pengisian baterai akan sesuai dengan kapasitas penuhnya. Metode ini juga dapat dimodifikasi lebih lanjut untuk memasukkan beberapa langkah arus konstan, sehingga lebih meningkatkan efisiensi laju pengisian pada baterai.

2.5 Overcharge Pada baterai lithium-Ion

Pengisian berlebih atau *overcharge* terjadi ketika baterai diisi ke tegangan yang lebih tinggi dari yang ditentukan. Pengisian daya yang berlebihan atau *overcharge* tidak hanya mengurangi masa pakai baterai, tetapi juga dapat menyebabkan situasi yang berpotensi berbahaya. Ketika baterai *Lithium-Ion* mengalami *overcharge*, larutan elektrolit didalam baterai dapat menjadi terlalu panas, menyebabkan gas hidrogen dan oksigen terbentuk, meningkatkan tekanan didalam baterai. Untuk mencegah *overcharge*, diperlukan sistem kontrol pada *charging*[8], [16]. Pada penelitian ini, akan digunakan *fuzzy logic control* agar dapat mengontrol kerja *charging*.

Tabel.2.2 Overcharge Pada Baterai

Overcharge Pada Baterai	Penyebab
Lead Acid	Dikarenakan adanya kerusakan pada komponen regulator sehingga pengisian baterai lead acid dari

	sepul bisa berlebihan dan mengakibatkan baterai lead acid menjadi rusak[17].
Lithium-Ion	Dikarenakan pada fast charging (pengisian cepat) biasanya menggunakan arus yang lebih besar hingga mencapai 40% dari kapasitas baterai. Dengan demikian, waktu pengisian baterai menjadi lebih cepat dan dapat menyebabkan kerusakan pada baterai karena arus yang terlalu besar pada saat pengisian baterai berlangsung[18].
Lithium-Ion	Dikarenakan pengecasan atau pengisian pada baterai dibiarkan terlalu lama saat baterai sudah dalam keadaan full dan dalam kondisi suhu yang panas, sehingga menyebabkan terjadinya masalah overcharge pada baterai[19].

2.6 Pengertian Fuzzy

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar yang artinya suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1 (satu). Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Namun seberapa besar kebenaran dan kesalahan tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya[20],[21].

Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1 dan logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output dan mempunyai nilai kontiniu. *Fuzzy* dinyatakan dalam derajat keanggotaan dan derajat kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama.

Dalam kehidupan sehari-hari, dapat dijumpai banyak gejala kekaburan. Ambil suatu contoh, dalam suatu kelas seorang guru menyuruh muridnya yang memiliki sepeda untuk angkat tangan, maka dengan mudah murid yang memiliki sepeda akan mengangkat tangannya. Namun ketika guru tersebut menyuruh murid yang pandai untuk mengangkat tangannya, maka akan timbul keragu-raguan, apakah mereka termasuk kelompok yang pandai atau tidak. Batas antara “punya sepeda” dengan “tidak punya sepeda” adalah jelas dan tegas, tetapi tidak demikian halnya antara “pandai” dan “tidak pandai”. Dengan kata lain himpunan para murid yang pandai dan tidak pandai seakan-akan dibatasi secara tidak tegas atau kabur. Maka diperlukan suatu bahasa keilmuan baru yang mampu menangkap ketidaktegasan/kekaburan istilah bahasa sehari-hari yang memadai.

Bahasa seperti itulah yang diciptakan oleh Lotfi Asker Zadeh, seorang guru besar dari Universitas California, Amerika Serikat pada awal tahun 1965. Beliau memodifikasi teori himpunan yang lazim digunakan menjadi teori himpunan kabur (*fuzzy*). Teori ini dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, antara lain algoritma kontrol, diagnosa medis, system pendukung keputusan, ekonomi, teknik, psikologi, lingkungan, keamanan dan ilmu pengetahuan. Sebagai contoh adalah seorang manajer pergudangan mengatakan kepada manajer produksi seberapa banyak persediaan barang pada akhir minggu ini, kemudian manajer produksi akan menetapkan jumlah barang yang harus diproduksi esok hari. Contoh kedua adalah seorang pegawai melakukan tugasnya dengan kinerja yang sangat baik, kemudian atasan akan memberikan penghargaan yang sesuai dengan kinerja pegawai tersebut. Dengan menggunakan teori himpunan *fuzzy*, logika bahasa dapat diwakili oleh sebuah daerah yang mempunyai jangkauan yang menunjukkan derajat keanggotannya[20].

2.7 Himpunan Fuzzy

Himpunan tegas (*crisp*) merupakan himpunan yang terdefinisi secara tegas dalam arti bahwa untuk setiap elemen dalam semestanya selalu dapat ditentukan secara tegas apakah ia merupakan anggota dari himpunan atau tidak. Dengan perkataan lain, terdapat batas yang tegas antara unsur-unsur yang tidak merupakan

anggota dari suatu himpunan. Tetapi tidak semua himpunan terdefinisi demikian, misalnya himpunan siswa pandai, himpunan orang miskin, himpunan orang muda dan lain-lain. Pada himpunan orang muda, kita tidak dapat menentukan secara tegas apakah seseorang adalah muda atau tidak. Tetapi kita dapat memisalkan seseorang dikatakan muda memiliki umur 25 tahun, maka orang yang umurnya 26 tahun menurut defenisi termasuk tidak muda. Sulit bagi kita untuk menerima bahwa orang yang umurnya 26 tahun itu tidak termasuk orang muda. Hal ini menunjukkan bahwa memang batas antara kelompok orang muda dan kelompok orang yang tidak muda tidak dapat ditentukan secara tegas[20].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Lotfi Asker Zadeh mengaitkan himpunan semacam itu dengan suatu fungsi yang menyatakan derajat kesesuaian unsur-unsur dalam semestanya dengan konsep yang merupakan syarat keanggotaan himpunan tersebut. Fungsi ini disebut fungsi keanggotaan dan nilai fungsi itu disebut derajat keanggotaan suatu unsur dalam himpunan itu yang selanjutnya disebut himpunan kabur. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai, masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan antara 0 hingga 1. Suatu himpunan *fuzzy* \hat{A} dalam semesta pembicaraan X dinyatakan dengan fungsi keanggotaan μ dalam interval $[0,1]$, dapat dinyatakan dengan : $\mu_{\hat{A}} : X \rightarrow [0,1]$.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu :

a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh : umur, temperatur, permintaan, dsb.

b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

Himpunan *fuzzy* memiliki atribut, yaitu :

1. Linguistik

Yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti : MUDA, PAROBAYA, TUA.

2. Numeris

Yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti

: 50, 25, 45, dsb.

3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Adakalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya. Contoh : semesta pembicaraan untuk variabel umur : $[0,100]$

4. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

Contoh :

- a. MUDA = $[0,40]$ artinya seseorang dikatakan muda dengan umur 0 hingga 40
- b. PAROBAYA = $[30,50]$ artinya seseorang dikatakan parobaya dengan umur 30 hingga 50
- c. TUA = $[40,+]$ artinya seseorang dikatakan tua dengan umur 40 hingga +

2.8 Operasi Pada Himpunan Fuzzy

Ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* *a-predikat*. Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu : AND, OR dan NOT.

a. Operator AND (DAN)

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan *a-predikat* sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. $\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$

b. Operator OR (ATAU)

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan *predikat* sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan yang bersangkutan. $\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y))$

c. Operator NOT (KOMPLEMEN)

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan *a-predikat* sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1. $\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x)$

2.9 Fungsi Keanggotaan

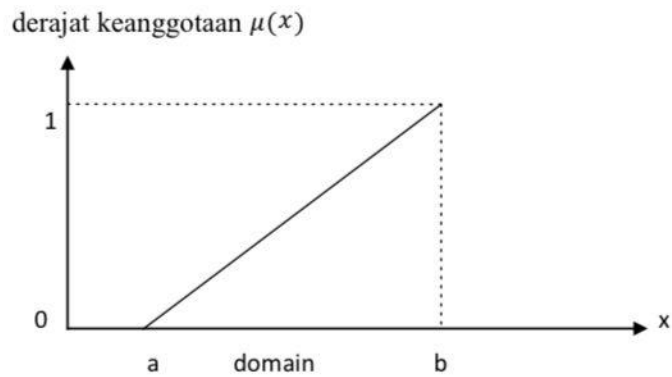
Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan :

a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai garis lurus.

Ada 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang linear, yaitu :

- Kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.



Gambar 2.4 Representasi Linear naik

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 1; & \geq b \end{cases}$$

Keterangan : x = Nilai keanggotaan yang dibahas

a = Nilai anggota terendah

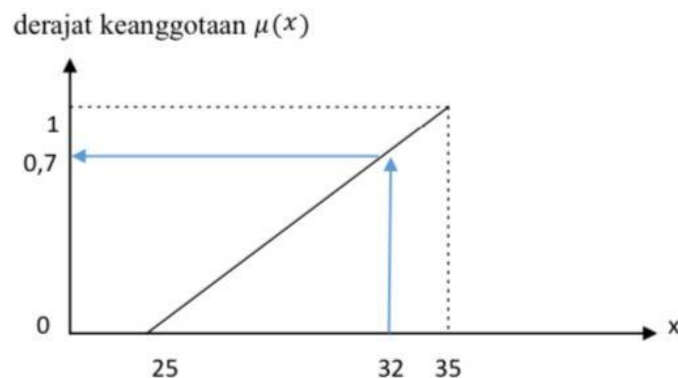
b = Nilai anggota tertinggi

Contoh :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan PANAS pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2.4

$$\mu_{\text{PANAS}}[32] = (32-25)/(35-25)$$

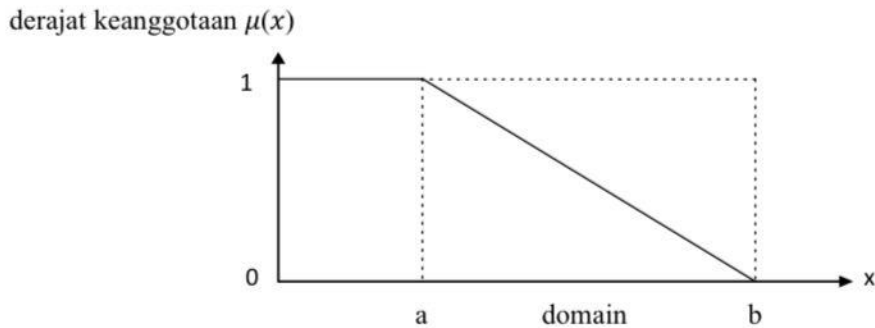
$$= 7/10 = 0,7$$



Gambar 2.5 Himpunan Fuzzy panas

Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat

keanggotaan lebih rendah.



Gambar 2.6 Representasi Linear Turun

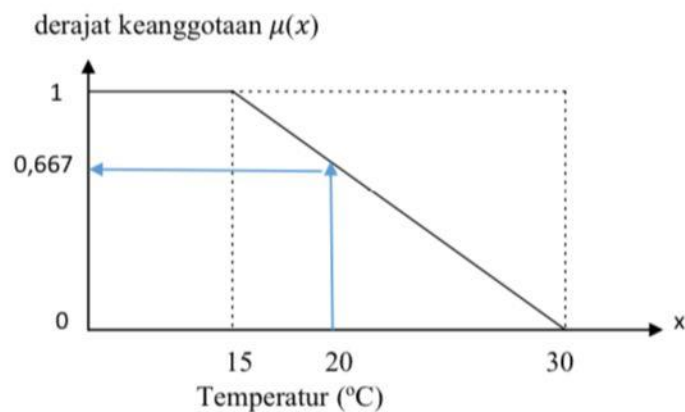
Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

Contoh :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan DINGIN pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2.6

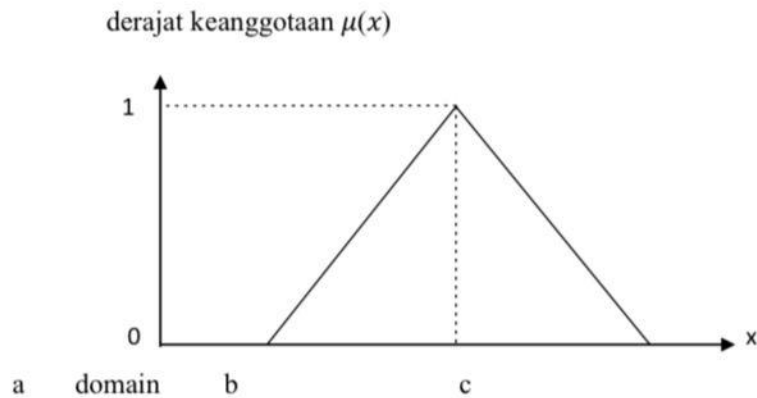
$$\begin{aligned} \mu_{\text{DINGIN}}[20] &= (30-20)/(30-15) \\ &= 10/15 = 0,667 \end{aligned}$$



Gambar 2.7 Himpunan Fuzzy Dingin

b. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear).



Gambar 2.8 Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan:

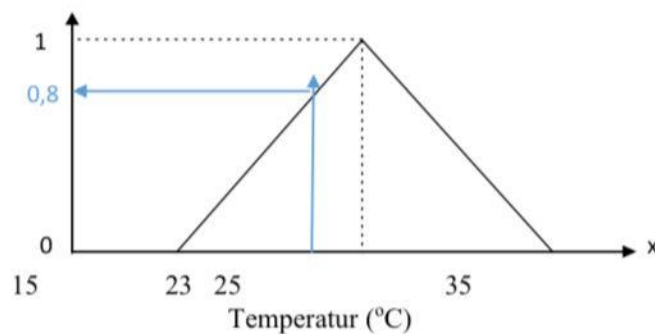
$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(b-x)}{(c-b)}; & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Contoh :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan NORMAL pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2.8.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{NORMAL}}[23] &= (23-15)/(25-15) \\ &= 8/10 = 0,8 \end{aligned}$$

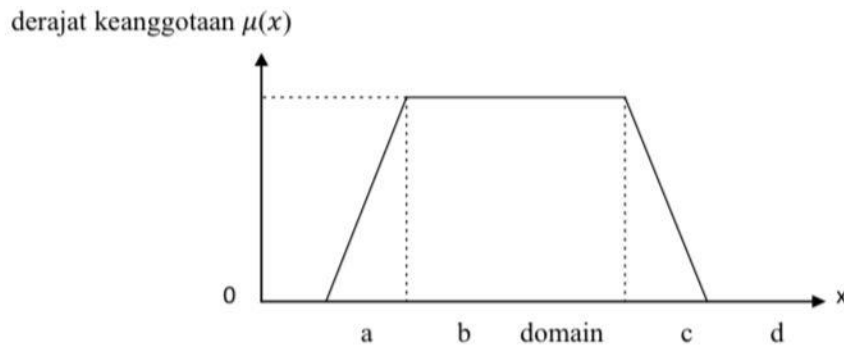
derajat keanggotaan $\mu(x)$



Gambar 2.9 Himpunan Fuzzy Normal (Kurva Segitiga)

c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva segitiga pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.10 Representasi Kurva Trapesium

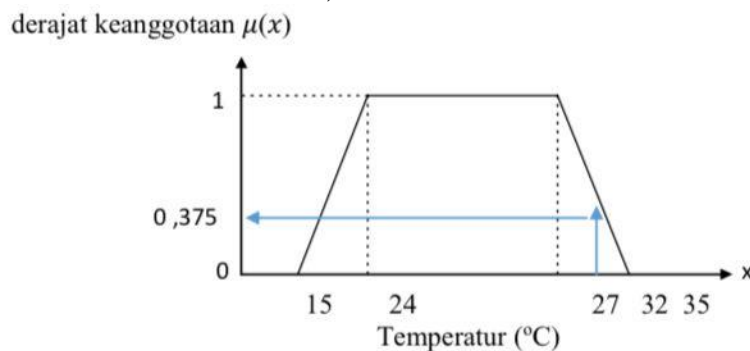
Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; & x \geq d \end{cases}$$

Contoh :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan NORMAL pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 2.10.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{NORMAL}}[23] &= (35-32)/(35-27) \\ &= 3/8 = 0,375 \end{aligned}$$

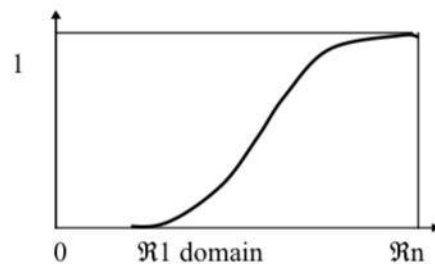


Gambar 2.11 Himpunan Fuzzy Normal (Kurva Trapesium)

d. Representasi Kurva Bentuk S

Kurva Pertumbuhan dan Penyusutan merupakan kurva-S atau sigmoid yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear. Kurva-S untuk Pertumbuhan akan bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1). Fungsi keanggotaannya akan tertumpu pada 50% nilai keanggotaannya yang sering disebut dengan titik infleksi.

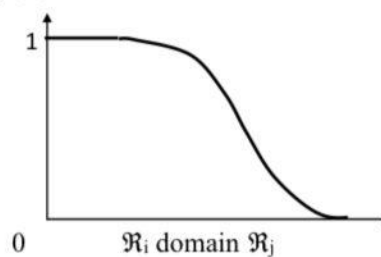
derajat keanggotaan $\mu(x)$



Gambar 2.12 Himpunan Fuzzy dengan Kurva-S Pertumbuhan

Kurva-S untuk Penyusutan akan bergerak dari sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) ke sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) seperti terlihat pada Gambar 2.12

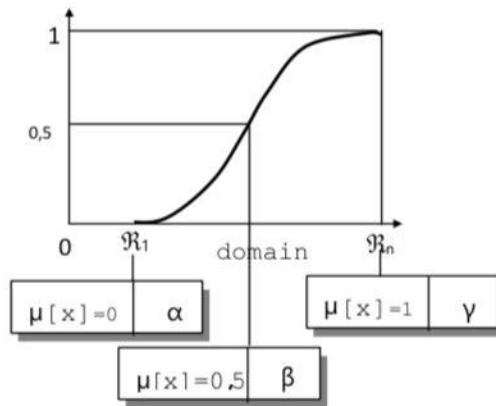
derajat keanggotaan $\mu(x)$



Gambar 2.13 Himpunan Fuzzy dengan Kurva-S Penyusutan

Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau crossover (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar. Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik kurva-S dalam bentuk skema.

derajat keanggotaan $\mu(x)$



Gambar 2.14 Karakteristik Fungsi Kurva-S

Fungsi keanggotaan pada kurva Pertumbuhan adalah:

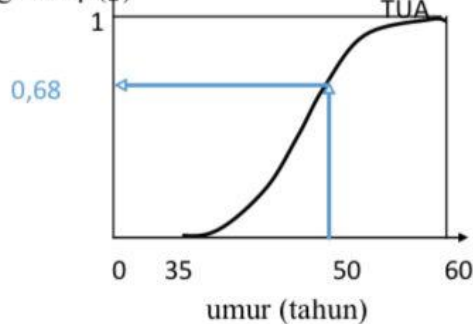
$$s(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \rightarrow x \leq \alpha \\ 2((x - \alpha)/(\gamma - \alpha))^2 & \rightarrow \alpha \leq x \leq \beta \\ 1 - 2((\gamma - x)/(\gamma - \alpha))^2 & \rightarrow \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & \rightarrow x \geq \gamma \end{cases}$$

Contoh :

Fungsi keanggotaan untuk himpunan TUA pada variabel umur seperti terlihat pada gambar 2.14

$$\begin{aligned} \mu_{\text{TUA}}[50] &= 1 - 2((60-50)/(60-35))^2 \\ &= 1 - 2(10/25)^2 \\ &= 0,68 \end{aligned}$$

derajat keanggotaan $\mu(x)$

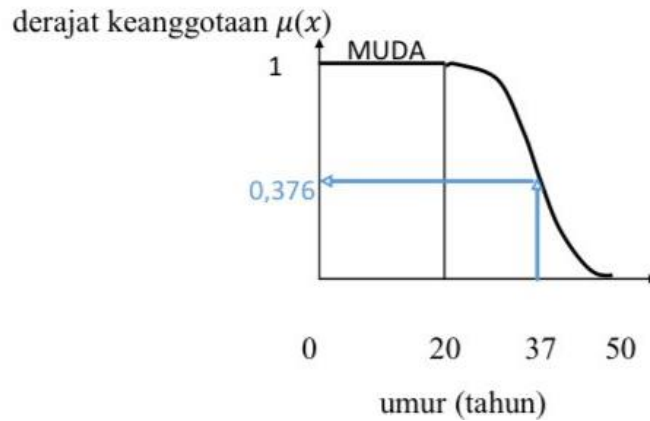


Gambar 2.15 Himpunan Fuzzy TUA.

Fungsi keanggotaan untuk himpunan MUDA pada variabel umur seperti

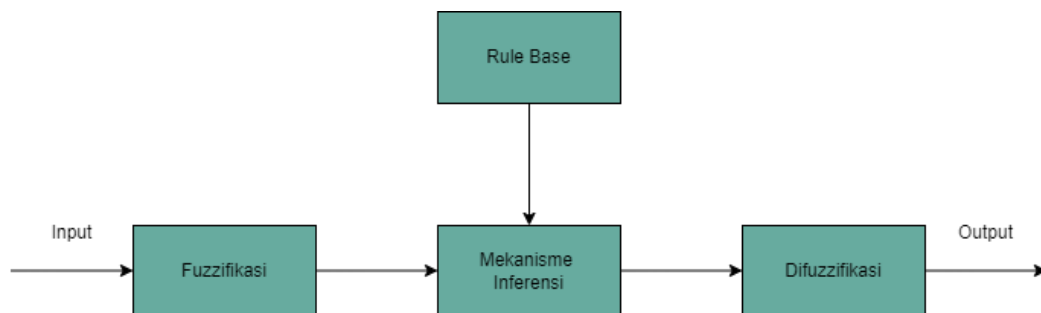
terlihat pada Gambar 2.15

$$\begin{aligned}\mu_{\text{MUDA}}[50] &= 2((50-37)/(50-20))^2 \\ &= 2(13/30)^2 \\ &= 0,376\end{aligned}$$



Gambar 2.16 Himpunan Fuzzy MUDA

2.10 Fuzzy Logic Control (FLC) pada Sistem Kontrol Charging CC-CV



Gambar 2.17 Proses *Fuzzy Logic Control*

Fuzzy logic mirip dengan perasaan inferensi manusia. Logika *fuzzy* merupakan sistem kendali dengan ketidakpastian dengan menggunakan konsep

himpunan *fuzzy* dalam perancangannya[10], [20]. Semua mesin atau perangkat dapat memproses data yang tajam (*crisp*) atau klasik seperti '0' atau '1'. Agar mesin atau perangkat dapat menangani input bahasa yang tidak jelas, input dan output yang tajam (*crisp*) harus dikonversi ke variabel linguistic dengan logika *fuzzy*. Kelebihan dari FLC salah satunya adalah tidak diperlukannya model matematis dari plant yang akan dikendalikan. Mekanisme pengambilan keputusan ditanamkan pada pengendali sebagai aturan dasar ketika pengendalian berlangsung[14], [20]. FLC lebih tepat digunakan pada sistem yang sulit didefinisikan, yang dapat dikendalikan oleh operator tanpa mengetahui karakteristik dimanis dalam sistem[21]. Terdapat beberapa tahap dalam *Fuzzy Logic Control* (FLC) yaitu:

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (*crisp*) dari suatu variabel *fuzzy*. Nilai yang telah berbentuk *fuzzy* ini selanjutnya digunakan sebagai masukan dari mekanisme inferensi. Pada tahap ini. Akan dilakukan pengambilan keputusan dari masukan yang ada berdasarkan basis aturan logika yang dirancang[14], [22].

2. Basis Pengetahuan (*Rule Base*)

Basis Pengetahuan berisi dua macam informasi utama, yaitu:

- a) Basis data, yang berisi tentang definisi-definisi yang perlu dari parameter *fuzzy* yang digunakan untuk masing-masing variabel sistem. Membangun basis data *fuzzy* termasuk didalamnya menentukan semesta wacana masing-masing variabel masukan, menentukan jumlah himpunan *fuzzy* dan merancang fungsi keanggotaan.
- b) Pemrosesan aturan *fuzzy*, merupakan kumpulan aturan kendali *fuzzy*. Pemrosesan aturan *fuzzy* disusun berdasarkan pengetahuan pakar dan kawasan aplikasi dan tujuan pengendalian yang dilakukan.

3. Mekanisme Penalaran Fuzzy

Mekanisme penalaran *fuzzy* atau mekanisme inferensi adalah proses mengubah input *fuzzy* dengan mengikuti aturan (IF-THEN) yang ditentukan berdasarkan pengetahuan *fuzzy* IF-THEN menjadi satu himpunan[20],[22].

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah keluaran yang diperoleh dari inferensi *fuzzy* menjadi suatu nilai tegas (*crisp*)[23]. Dimana hasil akhir ini akan dikirimkan ke peralatan pengendalian.

Dalam penelitian ini, *fuzzy Logic Control* (FLC) pada sistem kontrol *charging* CC-CV di baterai *lithium-ion* digunakan untuk mengatur arus dan tegangan agar dapat konstan sesuai dengan yang diinginkan, mengatur peralihan dari CC ke CV serta mematikan *charging* saat SOC baterai penuh. Sistem kontrol dengan *fuzzy Logic* ini digunakan agar dapat mempersingkat waktu pengisian (*Real-Time*), serta menjaga agar baterai tidak mengalami *overcharge* supaya dapat menjaga masa pakai (*life time*) baterai. Adapun variabel input yang digunakan dalam FLC antara lain adalah arus dan tegangan serta temperatur untuk memonitoring kerja *charging* baterai.

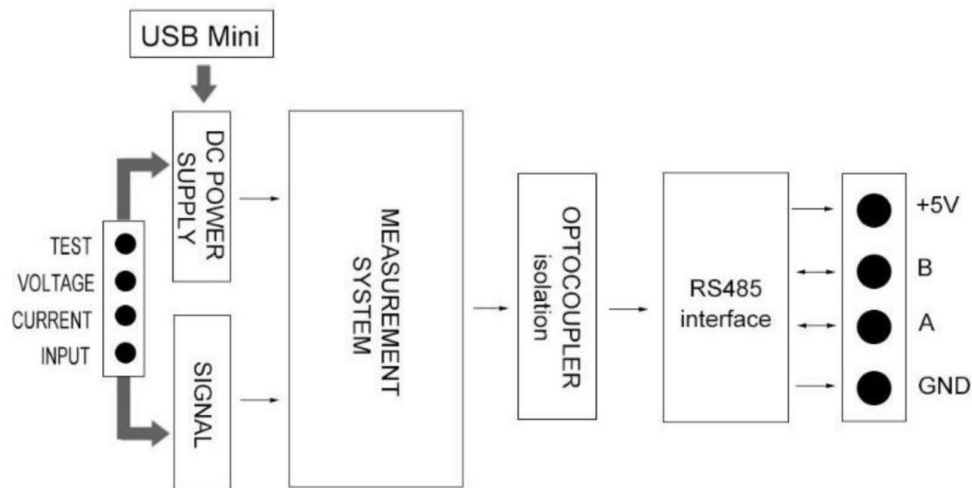
2.11 Sensor

Sensor yang digunakan pada sistem kontrol Charging CC-CV ini yaitu sensor PZEM-017T (Arus dan Tegangan) dan sensor DS18B20 (Temperatur/Suhu).

2.11.1 Sensor PZEM-017T

Sensor PZEM-017T adalah sebuah modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur daya, tegangan, arus dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik DC[25]. Modul PZEM-017T dibundel dengan shunt resistor yang berfungsi membuat jalur resistansi atau hambatan lebih rendah pada suatu aliran arus tinggi pada sirkuit elektronika, penggunaan shunt resistor ada beberapa jenis antaranya 50A, 100A, 200A, 300A dan pada penelitian[26]. Ini menggunakan

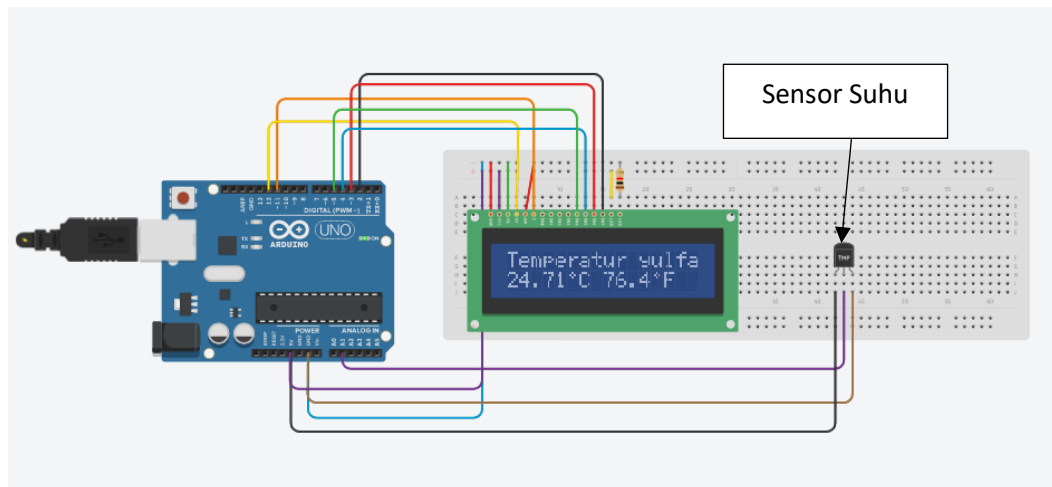
shunt resistor 100A. selain itu modul PZEM-017T tidak dilengkapi dengan fungsi tampilan pada alat tersebut, sehingga pengguna harus menyediakan *platform* tampilan seperti tampilan pada HMI[27].



Gambar 2.18 Diagram Blok Fungsional PZEM-017T.

2.11.2 Sensor Suhu DS18B20

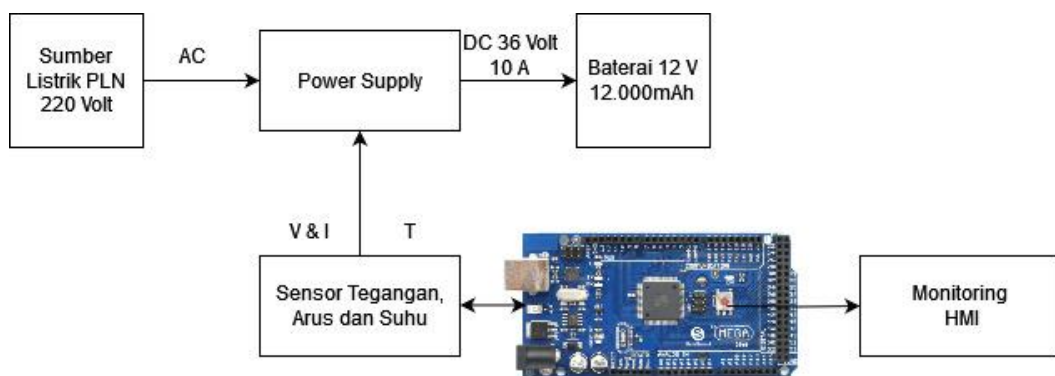
Sensor suhu DS18B20 adalah suatu komponen yang dapat mengkonversi perubahan *temperature* lingkungan menjadi besaran listrik. Sensor suhu DS18B20 juga merupakan sensor suhu digital 1-wire yang hanya membutuhkan satu pin jalur data komunikasi. Setiap sensor DS18B20 memiliki nomor seri 64-bit yang unik yang berarti dapat menggunakan banyak sensor pada bus daya yang sama. Dengan demikian, mudah menggunakan satu mikroprosesor untuk mengontrol banyak DS18B20 yang didistribusikan di area yang luas[28].



Gambar 2.19 Rangkaian Sensor Suhu

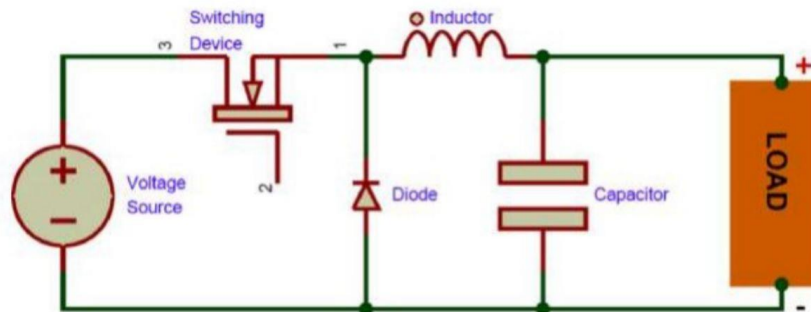
2.12 Mikrokontroler

Dalam penelitian ini, mikrokontroler digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem kontrol *charging* CC-CV pada baterai *Lithium-Ion*. Mikrokontroler adalah sebuah sirkuit terpadu (IC) tunggal yang biasanya digunakan untuk aplikasi tertentu dan dirancang untuk mengimplementasikan tugas-tugas tertentu [18], [28]. Mikrokontroler yang digunakan dalam sistem kontrol *charging* CC-CV pada baterai *Lithium-Ion* ini adalah Arduino Mega 2560.



Gambar 2.20 Blok Diagram Mikrokontroler Arduino Mega

2.13 Buck converter

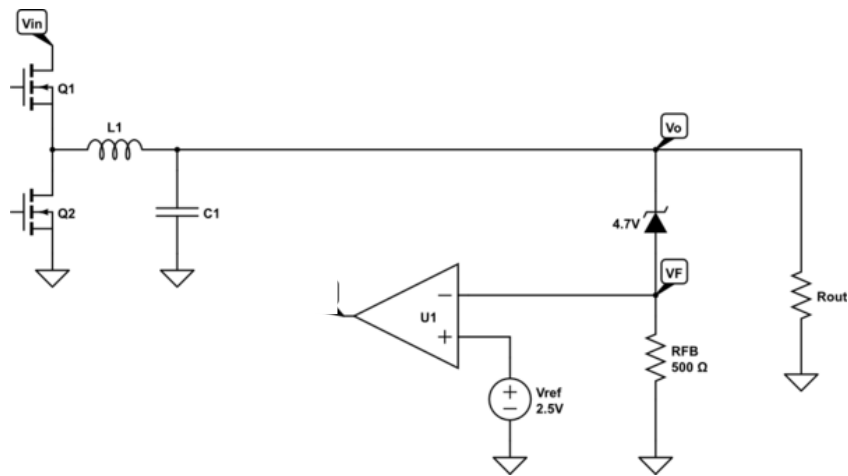


Gambar 2.21 Rangkaian buck converter

Buck converter merupakan *converter* penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah dengan metode *switching*. Secara garis besar rangkaian *buck converter* ini memakai komponen *switching* seperti MOSFET (*Metal oxide semiconductor field Effect Transistor*), thyristor, IGBT untuk mengatur tegangan dan arus keluaran. Secara umum komponen penyusun *buck converter* antara lain sumber masukan DC, rangkaian kontrol (*Drive Circuit*), diode *freewheeling*, induktor, kapasitor, MOSPET, dan beban (R)[22], [29].

Prinsip kerja *buck converter* yaitu MOSPET yang dipakai pada rangkaian *buck converter* bertindak sebagai saklar yang sanggup membuka dan menutup rangkaian. Sehingga keluaran tegangan dapat dikontrol sesuai dengan tegangan dan arus keluaran yang di setting pada beban. Ketika MOSPET on (tertutup) dan diode off, arus mengalir dari sumber menuju ke induktor (pengisian induktor), disafilter oleh kapasitor, kemudian ke beban, Kembali lagi ke sumber. Ketika MOSPET off (terbuka) dan dioda on, arus yang disimpan induktor dikeluarkan menuju ke beban kemudian ke dioda *freewheeling* dan kembali lagi ke induktor.

2.14 CC-CV Buck Converter



Gambar 2.22 Rangkaian CC-CV Buck Converter

Modul CC-CV XL4015 adalah modul konverter DC to DC dengan frekuensi tetap 180 KHz, yang mampu menggerakkan beban 5A dengan efisiensi tinggi, riak rendah, dan regulasi saluran dan beban yang sangat baik. Modul ini dilengkapi dengan kontrol penyesuaian tegangan konstan (CV) dan arus konstan (CC)[22].

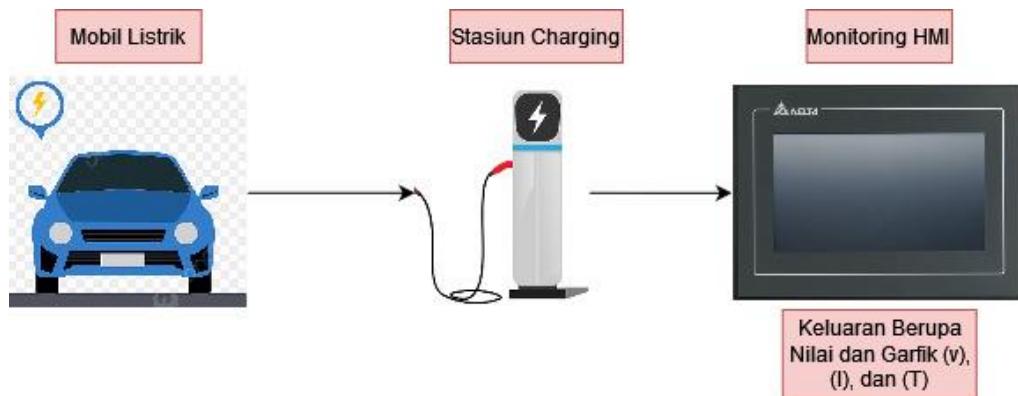
Cara kerja *buck converter* ini yaitu jika menginginkan arus dan tegangan pengisian yang diinginkan, maka *output buck converter* dapat dihubungkan dengan multimeter dan disesuaikan besarnya sesuai beban resistor trimpot yang diputar. Komponen utama pada board ini adalah IC *buck converter* XL4015, yaitu IC 5 pin yang dirancang dan dikembangkan oleh XLSEMI. Pada CC-CV *converter* ini terdapat konektor input DC, yang menghubungkan ke sumber daya yang diatur. Modul ini memiliki trimpot untuk mengatur tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dua trimpot 10K yang digunakan untuk mengatur tingkat arus dan tegangan konstan. Ketika trimpot penyesuaian tegangan output secara bertahap, dan rotasi berlawanan arah jarum jam, akan menurunkannya. Demikian juga, putaran searah jarum jam dari trimpot penyetelan arus (I-ADJ) meningkatkan batas arus, sementara tindakan berlawanan arah jarum jam mengurangi batas arus. Selanjutnya, ada tiga indikator LED di papan: yang pertama di dekat konektor input menunjukkan saat modul dalam mode arus konstan, sedangkan dua lainnya di dekat output terutama untuk aplikasi pengisian baterai (pengisian baterai dan indikator

baterai penuh). Selain itu IC ini memiliki rentang tegangan input 8V hingga 36V, dan tegangan output perangkat adalah 1,25v hingga 32V dan dapat mencapai efisiensi hingga 96% saat bekerja.

2.15 Monitoring

Monitoring diperlukan untuk memungkinkan pemantauan sistem kontrol *charging* secara *real-time*, serta sinyal dari berbagai sensor yang terhubung ke mikrikontroler diperlukan. Monitoring yang ditampilkan pada penelitian ini menggunakan perangkat keras berupa *Human Machine Interface* (HMI). *Human Machine Interface* (HMI) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. Sistem HMI biasanya bekerja secara *online* dan *real-time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O port yang digunakan oleh sistem *controller*-nya. Tugas dari *Human Machine Interface* (HMI) yaitu membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dengan desain HMI dapat disesuaikan sehingga memudahkan pekerjaan pekerjaan fisik. HMI terdapat berbagai macam visualisasi untuk monitoring dan data mesin yang terhubung secara *online* dan *real-time*[30]. Pada penelitian ini, HMI menampilkan tegangan, arus dan temperatur pada saat proses *charging* baterai berlangsung.

2.15.1 Human Machine Interface (HMI)



Gambar 2.23 HMI Display

Human Machine Interface (HMI) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan Visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi computer yang bersifat *real time*. Sistem HMI biasanya bekerja secara online dan *real time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O port yang digunakan oleh sistem *controller*-nya. Port yang biasanya digunakan untuk *controller* dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah port com, port USB, port RS232 dan ada pula yang menggunakan port serial.

Tugas dari *Human Machine Interface* (HMI) yaitu membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dengan desain HMI dapat disesuaikan sehingga memudahkan pekerjaan fisik. Tujuan dari HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan layar komputer dan memenuhi kebutuhan pengguna terhadap informasi sistem. HMI dalam industri manufacture berupa suatu tampilan GUI (*Graphic User Interface*) pada suatu tampilan layar komputer yang akan dihadapi oleh operator mesin maupun pengguna yang membutuhkan data kerja mesin.

HMI terdapat berbagai macam visualisasi untuk monitoring dan data mesin yang terhubung secara online dan real time. HMI akan memberikan suatu gambar kondisi mesin yang berupa peta mesin produksi dapat dilihat bagian mesin mana yang sedang bekerja. Pada HMI juga terdapat visualisasi pengendali mesin berupa tombol, slider, dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. Selain itu dalam HMI juga

ditampilkan alarm jika terjadi kondisi bahaya dalam sistem. Sebagai tambahan, HMI juga menampilkan data rangkuman kerja mesin termasuk secara grafik.

2.16 State of the Art (SOTA)

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa jurnal/artikel sebagai acuan dalam penelitian yang dimuat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 State of the Art (SOTA)

AUTOR	TAHUN	METODE	HASIL/KETERANGAN
A Real-Time Simulink Interfaced Fast-Charging methodology of Lithium-Ion Battereis under Temperature Feedback With Fuzzy Logic Control[8].	2018	Fast-Charging dengan Fuzzy Logic Control	Pada penelitian ini logika fuzzy dapat menunjukkan hasil bahwa Strategi pengisian yang diusulkan mendukung pengisian baterai penuh dalam waktu 9,76% lebih sedikit dari pada metode arus konstan-tegangan (CC-CV) konvensional.Pada kondisi pengisian daya (SOC) 99,26% tanpa penurunan yang signifikan. Seluruh skema diimplementasikan secara real-time, menggunakan arduino yang dihubungkan dengan MATLAB Simulink.
Desain and Development of Fast Charging Battery Using Fuzzy Logic			Pada penelitian ini Sistem Kontrol pada <i>charging</i> CC-CV dengan menggunakan <i>Fuzzy Logic Control</i> (FLC) dapat mempercepat waktu pengisian

Control Technique[7].	2019	CC-CV Using Fuzzy Logic Control	hingga 37,8% pada laju 2C dengan efisiensi yang lebih baik yang meningkatkan kapasitas pengisian lebih besar, yakni 82%.
A FLC based Automated CC-CV Charging through SEPIC for EV using Fuel Cell[11].	2020	CC-CV Using Fuzzy Logic Control	Pada penelitian ini, Fuzzy Logic digunakan untuk mengatur arus yang tinggi yang dapat menyebabkan suhu naik ke nilai yang tidak diinginkan. Arus pada CC yakni 0,5A dan tegangan pada CV 3,2V. peralihan CC ke CV telah ditentukan yaitu pada SOC 70% dengan dikontrol otomatis menggunakan FLC.
An Accurate Battery Charge SEPIC-Coupled Inductor Using Fuzzy Type 2[9].	2021	CC-CV SEPIC-Coupled Inductor Using Fuzzy Type 2	Pada Penelitian ini, menggunakan converter inductor berpasangan SEPIC yang dilengkapi dengan kontrol logika fuzzy tipe 2 untuk mengatur tegangan dan arus dimana tegangan dan arus dibebankan pada 12.6V dan 7A. Peralihan dari metode arus konstan ke tegangan konstan ketika baterai SOC adalah 60% nilai tegangan mencapai 12.6V dan

			menunjukkan baterai terisi penuh.
CC-CV Controlled Fast Charging Using Type-2 Fuzzy for Lithium-Ion Battery[4].	2021	CC-CV Using Fuzzy Logic Control	Pada penelitian ini, arus 10A diterapkan pada saat CC dan tegangan 14,4 diterapkan pada saat CV. Peralihan dari CC ke CV terjadi pada SOC 99,25% dengan proses pengisian diawali dari SOC 99% menggunakan baterai 12V dengan kapasitas 10Ah. Pengisian dimulai pada SOC 99% untuk melihat pergantian dari CC ke CV.
Design and Implementation of Buck			Metode pengisian baterai yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan prinsip fast charging dengan mengatur nilai arus dan tegangan keluaran dari buck converter. Prinsip pengisian cepat pada penelitian ini menggunakan metode arus konstan/tegangan konstan (CC-CV). Untuk memastikan keluaran converter sesuai dengan set point, nilai duty cycle disesuaikan

Converter for fast Charging with Fuzzy Logic[12].	2021	Fast Charging Using Fuzzy Logic Control	menggunakan kendali fuzzy. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi, control penelitian ini memperoleh arus keluaran 12 Ampere dengan arus riak kesalahan sekitar 8,3%. SOC pada baterai ini meningkat 75,74% dalam waktu 45 menit.
---	------	---	---