

LAPORAN AKHIR
PERANCANGAN SISTEM PENGISIAN DAYA BATERAI CC-CV PADA
AKI DENGAN METODE *FUZZY*



Disusun Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Diploma III Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Sriwijaya

Oleh:

Rizky Hidayatullah
062030321090

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN
PERANCANGAN SISTEM PENGISIAN DAYA BATERAI CC-CV PADA
AKI DENGAN METODE FUZZY



LAPORAN AKHIR

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Diploma III
Pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika
Politeknik Negeri Sriwijaya

Menyetujui,

Pembimbing I

Selamat Mudimin, S.T., M.Kom.
NIP. 197907222008011007

Pembimbing II

Ekawati Prihatini, S.T., M.T.
NIP. 197903102002122005

Mengetahui,

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ir. Iskandar Lutfi, M.T.
NIP. 196501291991031002

Koordinator Program Studi
Teknik Elektronika

Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom.
NIP. 197612132000032001

MOTTO

“Selalu ada harapan bagi mereka yang sering berdoa. Selalu ada jalan bagi mereka yang sering berusaha.”

- Kupersembahkan laporan akhir ini kepada :
- Allah SWT atas ridho-Nya disetiap langkah dan nafas hidupku selalu diberi kelancaran dan kepada Nabi Muhammad SAW manusia yang paling mulia dan suri tauladan di muka bumi ini.
- Keluargaku tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan tanpa henti, salah satu alasan untuk terus bergerak dan bersemangat.
- Kedua Dosen Pembimbingku, Bapak Selamat Muslimin, S.T., M.Kom. dan Ibu Ekawati Prihaini, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan saran, arahan, dan solusi.
- Seluruh Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika yang telah mendidik dan banyak memberikan ilmu pengetahuan khususnya dibidang elektro.
- Teman-teman seperjuangan 6EN.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Akhir dengan baik dan tepat pada waktunya. Laporan Akhir ini ditulis untuk memenuhi syarat menyelesaikan Pendidikan Diploma III Politeknik Negeri Sriwijaya pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika, dengan judul ” **PERANCANGAN SISTEM PENGISIAN DAYA BATERAI CC-CV PADA AKI DENGAN METODE FUZZY**”

Kelancaran dalam proses penulisan Laporan Akhir ini tidak luput berkat bimbingan, arahan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik pada tahap persiapan, penyusunan, hingga terselesaikannya Laporan Akhir ini. Maka dari itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak **Selamat Muslimin, S.T., M.Kom.** selaku Dosen Pembimbing I.
2. Ibu **Ekawati Prihatini, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing II.

Kemudian penulis juga mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan moril dan materil yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Akhir dengan ketentuan yang telah ditetapkan Politeknik Negeri Sriwijaya, kepada:

1. Bapak Dr.Ing. Ahmad Taqwa, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Ir. Iskandar Lutfi, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Bapak Destra Andika Pratama, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Ibu Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom. selaku Koordinator Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Kedua Orang tua, serta keluarga yang telah memberikan segala doa dan dukungan baik moral maupun materil dalam menyelesaikan Laporan Akhir.
6. Teman-teman Program Studi D3-Teknik Elektronika'20

7. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Akhir.

Demikianlah, semoga bantuan dan dukungan yang telah diberikan dapat menjadi amal di hadapan Tuhan Yang Maha Esa. Penulis berharap agar Laporan Akhir ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa, khususnya bagi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Program Studi D3-Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.

Palembang, 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
1.5 Metode Penulisan.....	3
1.5.1 Metode Studi Kepustakaan	3
1.5.2 Metode Wawancara.....	3
1.5.3 Metode Observasi Lapangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mobil Listrik.....	5
2.2 Baterai.....	7
2.2.1 Baterai AKI.....	8

2.3 Charging	9
2.3.1 Metode Pengisian Baterai	10
2.3.1.1 Constant Current Charging (CC).....	10
2.3.1.2 Constant Voltage Charging (CV).....	11
2.3.1.3 Constant Current-Constant Voltage Charging (CC-CV).....	12
2.3.2 State of Charge (SOC)	14
2.3.3 Overcharging	14
2.3.4 Sistem Kontrol Charging	15
2.3.4.1 CC-CV Buck Converter.....	16
2.3.4.2 PZEM.....	17
2.3.4.3 Mikrokontroler.....	18
2.3.4.4 Monitoring	18
2.4 Fuzzy Logic.....	19
2.4.1 Tahapan Fuzzy Logic	20
2.4.1.1 Fuzzifikasi.....	20
2.4.1.2 Mekanisme Inferensi	21
2.4.1.3 Defuzzifikasi.....	22
2.5 State of the Art (SOTA)	22
BAB III RANCANG BANGUN	25
3.1 Metodologi Perancangan.....	25
3.2 Studi Literatur	26
3.3 Perancangan Alat	26
3.3.1 Perancangan Mekanik	26
3.3.2 Perancangan Elektronik	27

3.3.2.1 Rangkaian Skematik.....	28
3.3.2.2 Blok Diagram	28
3.3.2.3 <i>Flowchart</i> Sistem	29
3.4 Metode Pengolahan Data.....	30
3.4.1 Fuzzifikasi.....	31
3.4.2 Interfensi <i>Rules Fuzzy Logic</i>	34
3.4.3 Defuzzifikasi	35
BAB IV HASIL DAN ANALISA	37
4.1 Tujuan Pengujian Alat	37
4.1.1 Pengujian Sistem CC-CV.....	37
4.2 Analisa Data Pengisian Daya Aki Menggunakan <i>Fuzzy Logic</i>	47
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	x
LAMPIRAN.....	16
LAMPIRAN I.....	17
LAMPIRAN II.....	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-Jenis Mobil Listrik	5
Gambar 2.2 Struktur Baterai AKI	8
Gambar 2.3 Grafik Arus dan Tegangan <i>Charging</i> dengan Metode CC[21]	11
Gambar 2.4 Grafik Arus dan Tegangan <i>Charging</i> dengan Metode CV[21]	12
Gambar 2.5 Grafik Arus dan Tegangan CC-CV <i>Charging</i> [21]	13
Gambar 2. 6 Perbandingan Temperatur <i>Charging</i> Baterai Dengan Metode CC, CC-CV, <i>Pulse</i> , dan <i>Reflex</i> [20].....	13
Gambar 2.7 <i>Wiring</i> Modul PZEM 017	17
Gambar 2.8 ESP8266 <i>Circuit Design</i> [29]	18
Gambar 2.9 HMI <i>Display</i> [31]	19
Gambar 2. 10 Tahap Fuzzy Logic	20
Gambar 2.11 Kurva segitiga keanggotaan fuzzy	21
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Perancangan.....	25
Gambar 3. 2 Desain Mekanik Alat Tampak Atas.....	27
Gambar 3. 3 Desain Mekanik Alat Tampak Samping.....	27
Gambar 3. 4 Rangkaian Skematik Sistem <i>Charging</i>	28
Gambar 3. 5 Blok Diagram Sistem Pengisian Daya Aki	29
Gambar 3. 6 Diagram Alir Sistem Pengisian Daya Aki	30
Gambar 3.7 <i>Membership Function</i> Input Tegangan <i>Charging</i>	31
Gambar 3.8 <i>Membership Function</i> Input Arus <i>Charging</i>	32
Gambar 3.9 <i>Membership Function</i> SOC Baterai	33
Gambar 3.10 Grafik <i>Rule Base</i> Sistem Pengisian Daya Aki.....	35
Gambar 4.1 Grafik Tegangan <i>Charging</i> Pengisian Daya Aki.....	45
Gambar 4. 2 Grafik Arus <i>Charging</i> Pengisian Daya Aki	46
Gambar 4. 3 Grafik Data Pengisian Daya Aki CC-CV	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan BEV	6
Tabel 2.2 Karakteristik Baterai Aki[6]	9
Tabel 2. 3 Tabel <i>State of The Art</i> (SOTA)	22
Tabel 4. 1 Data Pengisian Daya Aki.....	38
Tabel 4. 2 Derajat Keanggotaan Input Tegangan	47
Tabel 4. 3 Derajat Keanggotaan Input Arus	48
Tabel 4. 4 Tabel <i>Inference Clipping</i> Sistem Pengisian CC-CV	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil listrik dianggap sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan mobil ICE (*Internal Combustion Engine*) karena tidak menghasilkan emisi langsung saat digunakan akibat dari penggunaan bahan bakar fosil[1]. Penggunaan mobil listrik dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan sehingga berpengaruh terhadap pengurangan polusi udara dan emisi gas rumah kaca di dunia.

Mobil listrik adalah salah satu kendaraan listrik yang menggunakan baterai sebagai *supply energy* untuk menggerakkan motor listrik BLDC dan jenis baterai yang paling umum digunakan adalah baterai aki (*accu*). Baterai Aki adalah jenis baterai timbal-asam (*lead acid*) yang menggunakan elektrolit berbasis asam sulfat encer dan memanfaatkan reaksi kimia antar timbal asam sulfat untuk menghasilkan energi listrik. Jenis baterai AKI ini relatif murah, dapat diisi ulang, dan mampu memberikan arus tinggi yang diperlukan untuk operasional mobil listrik. Baterai AKI termasuk dalam *secondary battery* atau baterai yang dapat diisi ulang. Oleh karena ini pengaplikasian jenis baterai ini memerlukan sistem *charging (charger)*.

Charging adalah proses pengisian ulang daya pada baterai AKI sehingga baterai dapat digunakan kembali. Sistem *charging* merupakan hal terpenting yang mempengaruhi durasi *charging* dan kondisi baterai akibat proses *charging*. *Charger* yang menggunakan tegangan dan arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *overcharging* sehingga mengurangi performa baterai. Namun, jika arus dan tegangan terlalu rendah, maka durasi pengisian daya baterai akan lama. Oleh karena itu diperlukan sistem *charging* yang dapat menghindari *overcharged* pada baterai dan menghasilkan durasi pengisian yang cepat.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan *charging* yang menerapkan sistem CC-CV (*Constant Current-Constant Voltage*). Sistem CC-CV merupakan kombinasi dari dua metode *charging* yakni CC (*Constant Current*) dan CV (*Constant Voltage*). CC merupakan metode pengisian yang mengalirkan arus konstan ke baterai, metode ini dapat menghasilkan durasi pengisian yang pendek. Namun, metode ini juga dapat menyebabkan *overheating* dan *overcharging* pada baterai. Sementara, CV adalah metode pengisian yang aman bagi baterai karena tidak menyebabkan *overheating* dan *overcharging*. Namun, metode ini dapat menghasilkan durasi pengisian yang panjang. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode pengisian CC-CV, yang mampu mengisi baterai dengan aman dan cepat [19][21][22].

Adapun data dari laporan akhir ini akan dianalisa dengan menggunakan metode *fuzzy logic*. metode *fuzzy logic* akan digunakan untuk menganalisa data tegangan dan arus selama proses pengisian

Dari penjelasan sebelumnya, penulis memilih judul “**PERANCANGAN SISTEM PENGISIAN DAYA BATERAI CC-CV PADA AKI DENGAN METODE FUZZY**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang dan judul yang telah disebutkan, diperlukan sistem *charging* baterai aki dengan metode konvensional yakni menggunakan sistem CC-CV untuk menghindari terjadinya *overcharge* pada saat proses pengisian daya baterai.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Laporan Akhir ini yaitu mengenai perancangan sistem pengisian daya baterai aki dengan sistem CC-CV untuk menghindari *overcharge* dan menganalisa data dengan metode *fuzzy logic*.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari Laporan Akhir ini yaitu menerapkan sistem CC-CV pada pengisian baterai aki mobil listrik sehingga baterai dapat terhindar dari *overcharge* serta mengimplementasikan *fuzzy logic* sebagai metode analisa.

1.4.2 Manfaat

Manfaat dari penulisan Laporan Akhir ini adalah untuk mengetahui sistem CC-CV pada pengisian baterai aki mobil listrik untuk menghindari terjadinya *overcharge* dan menganalisa data menggunakan metode *fuzzy logic*.

1.5 Metode Penulisan

Metode penulisan yang digunakan dalam pembuatan Laporan Akhir ini, yaitu:

1.5.1 Metode Studi Kepustakaan

Metode ini dilakukan dengan cara mengambil dan mengumpulkan teori-teori dasar serta teori pendukung dari berbagai sumber seperti buku atau jurnal referensi, serta situs-situs internet yang mendukung penulisan Laporan Akhir ini.

1.5.2 Metode Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi, konsultasi serta diskusi langsung dengan dosen pembimbing dan teman-teman di Jurusan Teknik Elektro Program Studi DIII Teknik Elektronika.

1.5.3 Metode Observasi Lapangan

Metode ini dilakukan dengan cara mengamati atau melihat secara langsung perancangan dan pengoperasian alat

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Akhir ini disusun perbab yang didalamnya terdapat subbab yang terdiri dari uraian pembahasan secara singkat dan jelas, susunan tersebut meliputi:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini terdapat latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat perancangan alat, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan dan menerangkan dasar teori yang mendukung penelitian yang dilakukan.

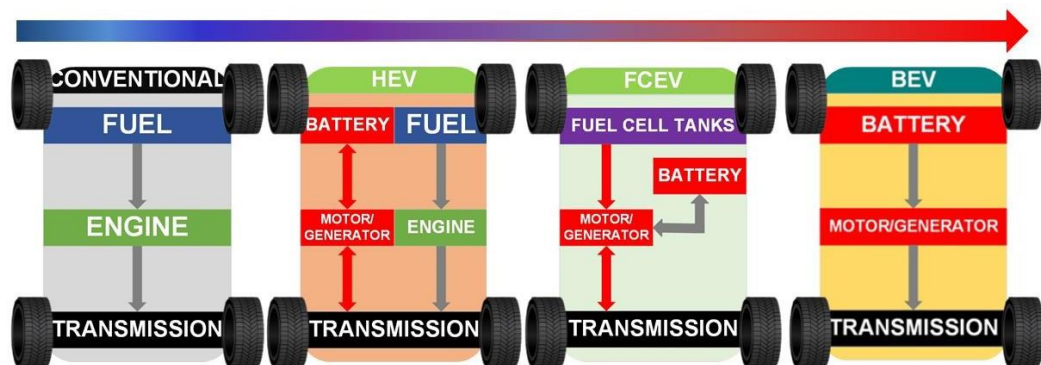
BAB III RANCANG BANGUN

Bab ini berisi langkah-langkah yang ditempuh dalam pembuatan sistem dan penjelasan mengenai langkah-langkah tersebut serta membahas jadwal pelaksanaan laporan akhir yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mobil Listrik

Electric Vehicle (EV) merupakan kendaraan listrik yang ditenagai oleh motor listrik dan memperoleh energi dari sumber listrik berupa baterai[2]. Mobil listrik merupakan salah satu contoh kendaraan listrik yang menggunakan motor listrik untuk traksi, serta menggunakan baterai sebagai sumber energi[3]. Mobil listrik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kendaraan mesin pembakaran internal, *Internal Combustion Engine* (ICE), di antaranya mobil listrik tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya sehingga dapat mengurangi efek rumah kaca. Selain itu, mobil listrik juga tidak mengeluarkan polusi udara berupa gas emisi yang dapat menyebabkan pemanasan global. Mobil listrik terdiri atas beberapa jenis, yaitu *Battery Electrical Vehicle* (BEV), *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), dan *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV)[4].



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Mobil Listrik

Jenis mobil BEV merupakan kendaraan listrik yang beroperasi dengan menggunakan 100% tenaga listrik yang tersimpan pada baterai, salah satunya adalah baterai aki. HEV merupakan jenis kendaraan *hybrid* yang memiliki dua sistem penggerak, yaitu kombinasi dari mesin pembakaran internal konvensional (ICE) dan mesin listrik atau motor. Jenis mobil PHEV merupakan jenis kendaraan

listrik hibrida yang memiliki mesin pembakaran internal (ICE) dan motor traksi listrik. Jenis mobil listrik ini dapat ditenagai oleh sumber energi fosil seperti bensin, sumber alternatif seperti biodiesel, serta baterai. Berbeda dengan HEV, baterai pada *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) ini dapat diisi ulang dengan menghubungkannya ke sumber listrik eksternal di sebuah stasiun pengisian mobil listrik (EVCS). Jenis mobil FCEV atau dikenal sebagai kendaraan Zero Emission, menggunakan teknologi *fuel-cell* untuk menghasilkan listrik. mesin listrik yang menggunakan campuran hidrogen dan oksigen terkompresi yang diperoleh dari udara, dengan air sebagai satu-satunya limbah yang dihasilkan dari proses ini. Listrik dipakai untuk mengaktifkan motor agar dapat menjalankan kendaraan. Prinsip kerja mobil listrik jenis FCEV hampir mirip dengan cara kerja mobil listrik jenis BEV. Hanya saja jenis ini memiliki sistem yang mengkonversi energi kimia pada *fuel-cell* menjadi listrik[4].

Pada penelitian ini, jenis mobil listrik yang digunakan dalam mobil listrik SECA adalah jenis *Battery Electric Vehicle* (BEV), kendaraan listrik yang beroperasi dengan menggunakan 100% tenaga listrik yang tersimpan pada baterai.

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan BEV

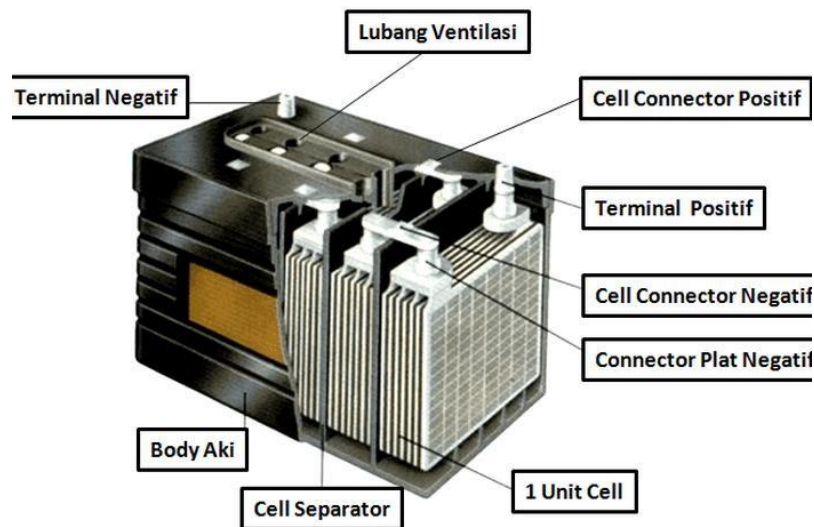
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> – Tidak menghasilkan emisi gas CO₂, dan tidak menyebabkan emisi gas rumah kaca (<i>zero toxic emissions</i> [31]) – Kemungkinan untuk mengisi daya baterai dengan teknologi seperti pengereman regeneratif [32] – Tidak menimbulkan suara mesin yang bising (<i>quite operation</i>) – Biaya perawatan lebih rendah dibandingkan kendaraan ICE – Memiliki keamanan berkendara 	<ul style="list-style-type: none"> – Harga kendaraan BEV relatif mahal – Penggantian baterai cukup sulit karena harganya mahal – Berat baterai cukup besar sehingga berdampak pada berat kendaraan dan kecepatan kendaraan – Dibutuhkan waktu pengisian daya – Stasiun <i>charging</i> baterai masih terbatas – Jarak tempuh yang pendek dan kecepatan rendah [31]

<p>lebih tinggi</p> <ul style="list-style-type: none"> – Efisiensi daya lebih tinggi – Lebih mudah diproduksi 	
---	--

2.2 Baterai

Baterai adalah sebuah perangkat yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia, dan biasanya dirancang dalam beberapa sel yang terhubung untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik dalam bentuk arus listrik[5]. Baterai terdiri dari beberapa komponen utama. Salah satunya adalah anoda, yang merupakan terminal positif baterai dan bertindak sebagai elektroda tempat reaksi kimia berlangsung. Komponen lainnya adalah katoda, yang merupakan terminal negatif baterai dan berpartisipasi dalam reaksi kimia yang berlawanan dengan anoda. Terdapat juga elektrolit, yaitu larutan atau bahan yang mengandung ion dan memungkinkan aliran arus listrik antara anoda dan katoda. Pada umumnya, terdapat dua jenis utama baterai antara lain *single use battery* yang tidak dapat diisi ulang sehingga hanya dipakai sekali dan *rechargeable battery* yang dapat diisi ulang. Pada *rechargeable battery*, terdapat dua kondisi baterai yakni pengisian atau *charging*, reaksi kimia terjadi di dalamnya dan energi listrik disimpan dalam bentuk kimia, dan ketika baterai digunakan (*discharging*), reaksi kimia tersebut diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk menggerakkan perangkat atau sistem elektronik. Jenis baterai yang digunakan pada mobil listrik adalah baterai sekunder, antara lain baterai AKI[6]. Hal ini terjadi ketika elektroda dihubungkan ke suatu beban dan sel akan melakukan pengosongan, elektron mengalir ke arah yang berlawanan dengan proses pengisian [7]–[9]

2.2.1 Baterai AKI



Gambar 2.2 Struktur Baterai AKI

Baterai aki (*accu*) termasuk dalam kategori baterai *lead acid*. Baterai *lead acid* adalah jenis baterai yang menggunakan elektrolit asam sulfat dan terdiri dari elektroda timbal (Pb) dan timbal dioksida (PbO₂) yang terendam dalam larutan asam sulfat. Baterai *lead acid* atau asam timbal terdiri dari sejumlah sel galvanic (sel volta) yang dihubungkan secara seri antara satu sel dengan sel lainnya. Ketika sel asam timbal menghasilkan energi listrik (*discharging*) maka baterai mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Proses pengosongan muatan baterai *lead acid* merupakan reaksi redoks spontan. Saat proses pengosongan akan menghasilkan tegangan sekitar 2 V. Sehingga untuk menghasilkan tegangan sebesar 12 V dibutuhkan 6 sel *lead acid* yang dihubungkan secara seri [7], [10].

Keuntungan dari baterai aki adalah harga yang relatif terjangkau, daya tahan yang baik, serta kemampuan untuk memberikan daya yang tinggi dalam waktu singkat (misalnya saat menghidupkan mesin kendaraan). Namun, baterai aki juga memiliki kelemahan, seperti bentuk yang relatif lebih berat dan kapasitas energi yang lebih rendah dibandingkan dengan beberapa jenis baterai lainnya. Perawatan yang baik diperlukan untuk mempertahankan kinerja baterai aki. Hal ini meliputi pemeriksaan dan pemeliharaan terhadap tingkat air elektrolit, membersihkan terminal baterai, dan memastikan pengisian ulang yang teratur (*charging*). Kesalahan perawatan atau *overcharging* dapat merusak baterai aki dan

mengurangi umur pakainya. Oleh karena itu, diperlukan sistem *charging* yang dapat menghindari terjadinya *overcharged* pada saat pengisian daya baterai aki.

Tabel 2.2 Karakteristik Baterai Aki[6]

Karakteristik	Baterai Aki
Suhu <i>charging</i> (°C)	0-25
Ukuran	Besar
Masa pakai (tahun)	2-3
Efisiensi (%)	70-80
Self discharged (%)	5
Berat (Kg)	10
<i>Specific Energy</i> (Wh/Kg)	40
<i>Initial Cost</i> (\$/kWh)	100
Efisiensi(%)	60
Ramah lingkungan	Mengandung Pb dan asam

2.3 Charging

Charging adalah proses mengisi ulang energi listrik ke dalam baterai, sehingga baterai dapat digunakan kembali seperti semula[11]. Pengisi daya baterai (*charger*) harus menghasilkan tegangan yang sesuai dengan spesifikasi *datasheet* baterai, tetapi tegangan *charging* tidak boleh terlalu tinggi atau terlalu rendah. Untuk baterai AKI yang berkapasitas 12 V, umumnya tegangan pengisian baterai ditetapkan antara 13,2 V hingga 14,7 V, atau setidaknya satu volt diatas kapasitas baterai. Jika tegangan terlalu tinggi, maka sel baterai aki akan mengalami elektrolisis[12]. Peristiwa elektrolisis ditandai dengan munculnya gelembung hidrogen dan oksigen pada baterai dan hal tersebut dapat merusak baterai[13]. Namun, jika tegangan *charging* terlalu rendah maka baterai tidak akan terisi daya[14]–[16].

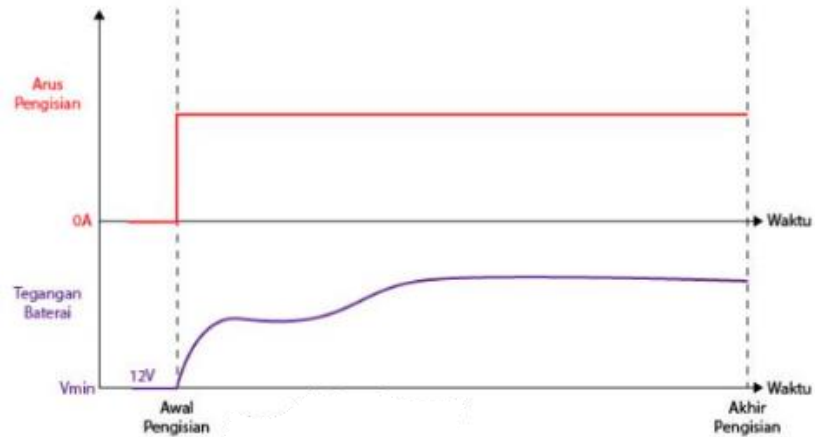
Selain tegangan, hal penting yang harus diperhatikan pada sistem pengisi daya adalah arus *charging*. Arus akan berpengaruh pada durasi pengisian baterai, jika arus terlalu rendah maka *charging* proses akan memerlukan durasi yang lama. Namun, jika arus terlalu tinggi maka akan berbahaya bagi baterai, baterai akan mengalami *overheat* dan *overcharge* [13].

2.3.1 Metode Pengisian Baterai

Metode pengisian daya baterai aki adalah teknik yang digunakan pada sistem pengisian daya baterai. Metode inilah yang akan berpengaruh kepada kecepatan pengisian dan pengontrolan kondisi baterai pada saat proses *charging* termasuk menghindari *overcharged*. Terdapat beberapa metode pada sistem charging baterai aki, diantaranya adalah *Constant Current Charging (CC)*, *Constant Voltage Charging (CV)*, *Constant Current-Constant Voltage Charging (CC-CV)*[17].

2.3.1.1 *Constant Current Charging (CC)*

Pengisian arus konstan atau *constant current* merupakan metode pengisian yang jarang diimplementasikan pada baterai aki. Metode pengisian ini terdiri dari pengisian baterai dengan arus konstan/*constant current (CC)* dengan menggunakan arus yang konstan hingga tegangan pada baterai mencapai maksimum. Untuk menghindari panas yang berlebihan atau *overheating*, proses pengisian dilakukan secara dua tahapan. Pada saat awal arus yang disalurkan lebih tinggi dan ketika mendekati pengisian akhir diturunkan. Pada metode ini arus pengisian yang ditetapkan sekitar seperdelapan atau 10% dari kapasitas arus pada baterai (AH). Keuntungan dalam menggunakan metode ini adalah menghasilkan durasi *charging* yang singkat. Namun, apabila arus yang digunakan terlalu tinggi atau tidak sesuai dengan kapasitas baterai, maka dapat berpotensi menyebabkan *overheating*, *overcharging*, dan mengakibatkan baterai cepat rusak[18]–[20]. Berdasarkan pada **Gambar 2.3**, proses *charging* berakhir apabila kapasitas baterai yang ditentukan telah terpenuhi.

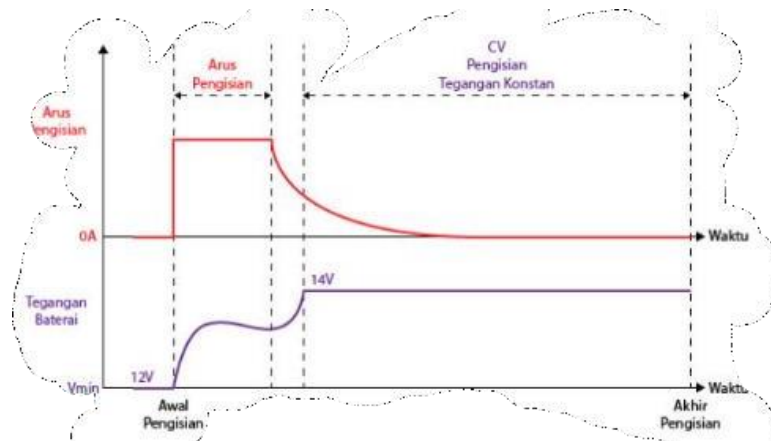


Gambar 2.3 Grafik Arus dan Tegangan *Charging* dengan Metode CC[21]

2.3.1.2 Constant Voltage Charging (CV)

Constant Voltage charging (CV) merupakan metode pengisian baterai aki yang paling umum. Pada metode ini, tegangan akan dijaga agar tetap konstan pada saat proses pengisian dan arus akan mengalami kenaikan pada saat proses pengisian awal atau saat kondisi baterai kosong dan secara bertahap akan menurun setelah terdapat muatan dari *charger*[19].

Metode pengisian *Constant Voltage* cenderung lebih aman karena tegangan pengisian diatur pada tingkat yang ditentukan dan arus menurun secara bertahap, sehingga membantu mencegah *overcharging* yang dapat merusak komponen internal dan berpengaruh pada umur pakai. Namun, Metode ini dapat mengurangi kapasitas baterai hingga 20% dan mengurangi efisiensi baterai sekitar 10%. Selain itu, metode pengisian tegangan konstan cenderung memerlukan waktu pengisian yang lebih lama dibandingkan metode pengisian lainnya[23]. Hal ini disebabkan karena arus pengisian berkurang secara bertahap dan sangat kecil saat baterai mendekati tingkat SOC penuh.

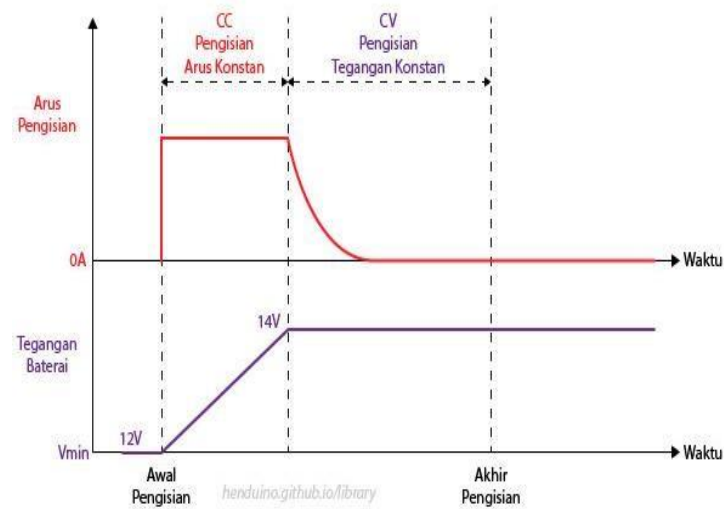


Gambar 2.4 Grafik Arus dan Tegangan *Charging* dengan Metode CV[21]

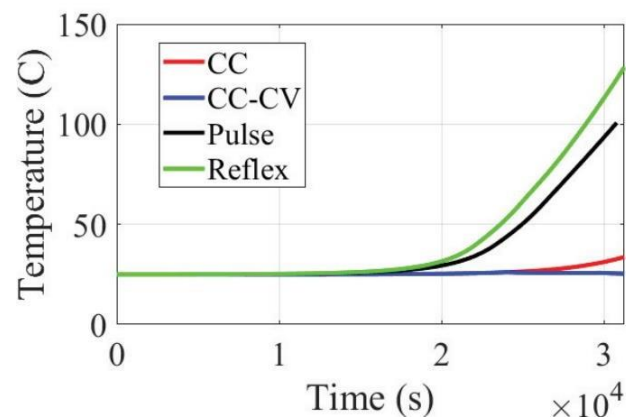
2.3.1.3 Constant Current-Constant Voltage Charging (CC-CV)

Metode CC-CV merupakan kombinasi dari teknik pengisian *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV)[21]. Prinsip kerja metode ini adalah pada periode awal pengisian baterai, digunakan metode CC. Periode awal tersebut dipilih untuk mengisi baterai dengan arus yang tinggi, karena periode awal merupakan waktu yang tidak memberikan dampak negatif pada baterai seperti *overheating* dan *overcharging*, sehingga baterai akan lebih aman dan awet untuk digunakan. Setelah itu, dilanjutkan ke mode CV hingga baterai penuh, pada tahapan ini arus *charging* akan menurun hingga mendekati nol. Pada proses pengisian CC-CV, fase CC dan fase CV dapat saling melengkapi dengan cara tertentu, rugi-rugi kapasitas yang disebabkan oleh besarnya polarisasi elektrokimia pada fase CC dapat dikompensasi secara efektif pada fase CV. Sehingga, pengisian CC-CV menjadi lebih baik dibandingkan pengisian CC ataupun pengisian CV saja. Sedangkan, untuk lama waktu untuk proses pengisian ditentukan dari besarnya arus yang dialirkan pada proses CC dan CV.

Metode CC-CV memungkinkan untuk pengisian cepat tanpa adanya resiko *overcharging* dan cocok untuk berbagai jenis baterai[21][24]. Dengan menggunakan metode ini, pengisian baterai akan sesuai dengan kapasitas penuhnya. Tegangan baterai akan meningkat sesuai tegangan dan arus *charging* yang diberikan. Dengan menerapkan strategi ini, baterai akan terisi penuh sesuai kapasitasnya dan terhindar dari *overcharge*.



Gambar 2.5 Grafik Arus dan Tegangan CC-CV Charging[21]



Gambar 2. 6 Perbandingan Temperatur Charging Baterai Dengan Metode CC, CC-CV, Pulse, dan Reflex[20]

Berdasarkan review beberapa metode *charging*, Pada **Gambar 2.6** diketahui bahwa metode CC-CV menghasilkan temperatur *charging* yang paling kecil diantara beberapa metode *charging* lainnya, hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *overheat* baterai pada saat *charging* dan baterai akan rusak. Perbandingan metode *fast charging* Ini membuktikan bahwa metode CC-CV adalah metode *fast charging* yang paling aman digunakan dan dapat meminimalisir resiko *overcharging*[20].

2.3.2 *State of Charge (SOC)*

State of Charge (SOC) merupakan besaran energi listrik yang tersisa di dalam baterai[25]. Hasil *State of Charge (SOC)* baterai sangat membantu dalam manajemen energi baterai mobil listrik, sebagai gambaran sisa energi yang dapat dipakai sebelum melakukan pengisian daya baterai kembali [26]. *State of Charge (SOC)* adalah perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai. Nilai SOC biasa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Penulis menentukan nilai SOC baterai AKI adalah 0% = 11 Volt dan SOC 100% = 14,05 Volt.

SOC sangat penting dalam pemantauan dan pengelolaan baterai karena membantu menentukan berapa lama baterai akan bertahan dan memastikan penggunaan energi yang efisien. Pemantauan SOC memungkinkan pengguna untuk mengetahui kapan baterai perlu diisi ulang atau diganti. Pada proses *charging*, perhitungan estimasi SOC baterai berperan untuk menghindari terjadinya *overcharge* pada baterai yang berakibat pada masa pakai baterai serta *rapid aging* atau kerusakan pada baterai[27]. Cara yang paling umum memperkirakan persentase SOC adalah dengan *voltage method*, dimana tegangan baterai menjadi parameter perhitungan estimasi SOC[25]. Metode ini melibatkan perkiraan SOC berdasarkan hubungan linier antara tegangan dan SOC. Tegangan initial pada baterai dibandingkan dengan tegangan saat baterai kondisi penuh. Estimasi SOC dengan metode ini dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$SOC = \frac{V_t - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100\% \quad (2.1)$$

2.3.3 *Overcharging*

Overcharge didefinisikan sebagai pengisian dengan arus dan tegangan yang terlalu besar atau berlebih pada baterai secara terus menerus meskipun baterai telah terisi penuh[13]. *Overcharging* merupakan kondisi di mana baterai menerima daya pengisian secara terus-menerus dan melebihi kapasitas maksimumnya. Ini terjadi ketika pengisian terus dilakukan setelah baterai mencapai tingkat pengisian penuh. Adapun akibat yang ditimbulkan karena *overcharging* adalah baterai menjadi rusak dan mengurangi masa pakai baterai.

Overcharging dapat menyebabkan kerusakan pada komponen internal baterai, seperti elektroda dan elektrolit, yang dapat mengurangi kapasitas penyimpanan. Pengisian berlebihan juga dapat menyebabkan peningkatan suhu dalam baterai, yang dapat mempengaruhi performa baterai dan bahkan menyebabkan kondisi yang berbahaya seperti risiko ledakan. Rusaknya baterai yang diakibatkan karena *overcharging* disebabkan karena pada setiap sel baterai pada bagian plat positif akan mendapatkan tekanan yang diakibatkan oleh suhu yang tinggi selama terjadinya proses *overcharging*. Karena tekanan ini, maka plat-plat positif akan berubah bentuk sehingga oksigen bebas dapat masuk ke dalam plat-plat positif sampai seluruh lead sulfat atau $PbSO_4$ berubah menjadi *lead-peroxide* atau PbO_2 . Ketika sel belum terisi penuh, energi listrik dari arus muatan diubah menjadi energi kimia di dalam sel melalui reaksi pengisian.

Overcharging dapat terjadi karena beberapa alasan, termasuk penggunaan charger yang tidak sesuai, adanya masalah pada sirkuit pengisian atau kontrol pengisian, atau kurangnya mekanisme pengaturan otomatis yang efektif pada perangkat. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengisian daya baterai yang dapat meminimalisir potensi *overcharging*.

2.3.4 Sistem Kontrol Charging

Sistem kontrol *charging* merupakan kumpulan perangkat yang berfungsi untuk mengendalikan dan mengatur keadaan pada proses pengisian daya baterai. Sistem kontrol terdiri dari masukan (input), kontroler, proses, dan keluaran (output). Masukan dari sistem kontrol *charging* ini adalah tegangan dan arus baterai yang dideteksi oleh sensor pzem, lalu masuk menuju kontroler berupa NodeMCU ESP8266, dan NodeMCU yang terhubung dengan relay akan mengendalikan nilai tegangan dan arus keluaran dari *charger*.

Tegangan baterai akan dibaca oleh sensor PZEM-017, sensor Pzem adalah sensor yang dapat mengukur tegangan, arus, daya, dan frekuensi. Sensor akan dihubungkan dengan konverter RS485, dan konverter akan menyalurkan sinyal digital ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler akan

mengendalikan sistem pemantauan tegangan *charging*, arus *charging*, dan persentase SOC baterai aki.

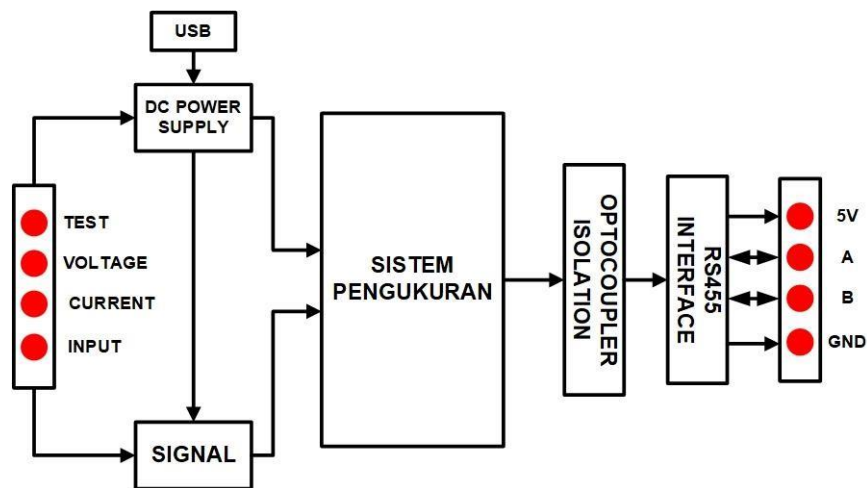
2.3.4.1 CC-CV Buck Converter

Konverter jenis *buck* merupakan *converter* penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. *buck converter* terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (*diode*), kapasitor, dan induktor sebagai tapis keluarannya. CC-CV *buck converter* merupakan 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).

Komponen utama pada board CC-CV *buck converter* adalah IC *buck converter* XL4015, yaitu IC 5pin yang dirancang dan dikembangkan oleh XLSEMI. Pada CC-CV *converter* ini terdapat konektor input DC, yang menghubungkan ke sumber daya yang tidak 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 (V-ADJ) diputar perlahan searah jarum jam, itu akan menaikkan 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.

2.3.4.2 PZEM

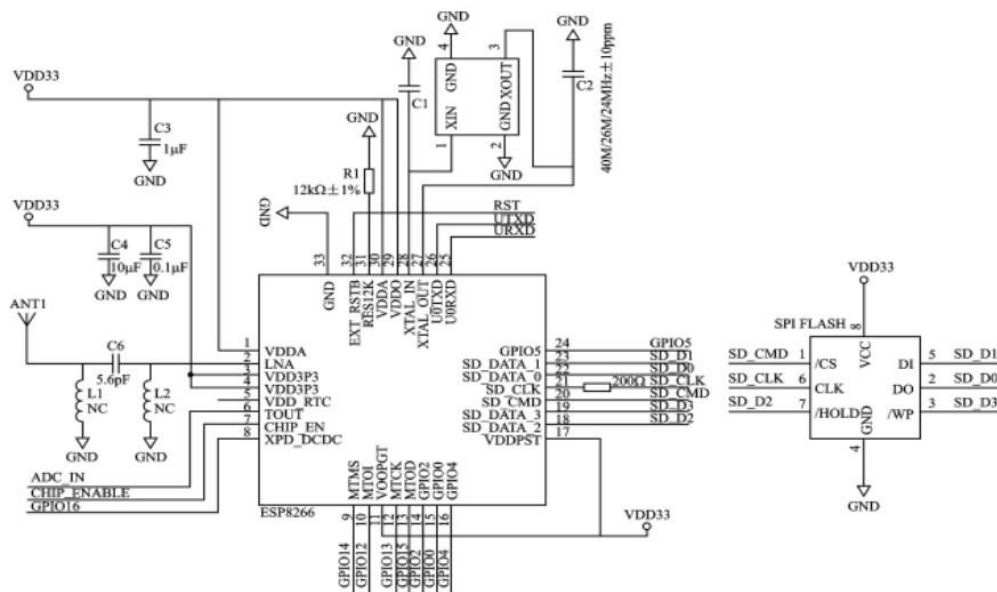
Sensor PZEM adalah sensor yang digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya pada sistem listrik[28]. Sensor ini digunakan untuk mengukur tegangan dan arus *charging*, sehingga proses *charging* serta SOC baterai dapat terpantau secara langsung. banyak jenis sensor PZEM, salah satunya adalah sensor PZEM-017.



Gambar 2.7 Wiring Modul PZEM 017

Sensor PZEM-017 adalah sebuah sensor komunikasi DC yang dapat mengukur daya DC hingga 300 WDC dan pengukuran arus pada range berdasarkan shunt eksternal terpasang yakni 50 A, 100 A, 200 A, dan 300 A. PZEM-017 dapat digunakan untuk mengukur daya, tegangan, arus dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik DC. Meskipun PZEM-017 tidak memiliki display, tetapi PZEM-017 ini memiliki komunikasi serial menggunakan protokol Modbus-RTU RS485. komunikasi serial ini, membuat sensor dapat terhubung dengan Modul UART TTL *Converter* atau konverter RS-485 dan konverter ini dapat terhubung langsung dengan mikrokontroler, sehingga nilai yang terukur oleh modul ini dapat ditampilkan pada HMI dan PC/Laptop.

2.3.4.3 Mikrokontroler



Gambar 2.8 ESP8266 *Circuit Design*[29]

Dalam penelitian ini, mikrokontroler digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem kontrol charging CC-CV pada baterai aki. Mikrokontroler adalah sebuah sirkuit terpadu (IC) tunggal yang biasanya digunakan untuk aplikasi tertentu dan dirancang untuk mengimplementasikan tugas-tugas tertentu. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah NodeMCU ESP8266. ESP8266 dipilih karena harga yang relatif murah dan ukuran fisik yang relatif kecil. Selain itu, mikrokontroler ini juga terintegrasi dengan modul Wi-Fi, yang memungkinkan sistem terhubung ke jaringan Wi-Fi dan berkomunikasi dengan perangkat lain melalui jaringan internet[30]. *Pinout* yang dimiliki oleh ESP8266 ditampilkan pada **Gambar 2.7**, pin tersebut antara lain termasuk VCC (3,3 V) dan GND (*Ground*), TX/RX (*Transmit/Receive*) untuk komunikasi serial, dan empat pin kontrol RST (*Reset*), CH_PD (*Chip Power Down*), GPIO0 dan GPIO2 (*General Purpose Input/Output*).

2.3.4.4 Monitoring

Sistem *monitoring* adalah perangkat yang bertujuan untuk memberikan *feedback* ketika alat sedang menjalankan fungsi. Sistem ini akan membantu melindungi baterai dari berbagai kondisi dan faktor pengoperasian dengan terus

memantau dan mengukur informasi penting tentang baterai selama pengoperasiannya. Oleh karena itu, *monitoring* baterai merupakan fungsi utama dari *Battery Management System* (BMS) yang bertujuan untuk memeriksa dan mengontrol status *real time* baterai saat proses *charging* agar tetap dalam kondisi operasi yang aman[27].

Parameter yang diperlihatkan pada monitoring baterai adalah data tegangan, arus, dan suhu. Parameter tersebut didapatkan dengan menggunakan sensor Pzem. Pzem merupakan sensor untuk mengukur tegangan DC, arus, daya aktif, frekuensi, dan konsumsi energi[28]. Pzem akan menyalurkan sinyal ke rangkaian kontrol yakni mikrokontroler berupa NodeMCU ESP8266, selain untuk monitoring NodeMCU juga digunakan untuk mengatur keseluruhan sistem *charging*. Pada sistem *monitoring*, mikrokontroler akan mengubah data fisik menjadi data digital yang dapat dihitung dengan mudah. Proses ini akan menghitung SOC baterai dengan informasi yang diberikan berdasarkan algoritma yang akan diunggah ke pengontrol melalui kode tertentu. Data – data yang telah didapat tersebut kemudian akan ditampilkan melalui layar HMI yang terhubung ke mikrokontroler sebagai tampilan *monitoring*-nya.



Gambar 2.9 HMI Display[31]

2.4 *Fuzzy Logic*

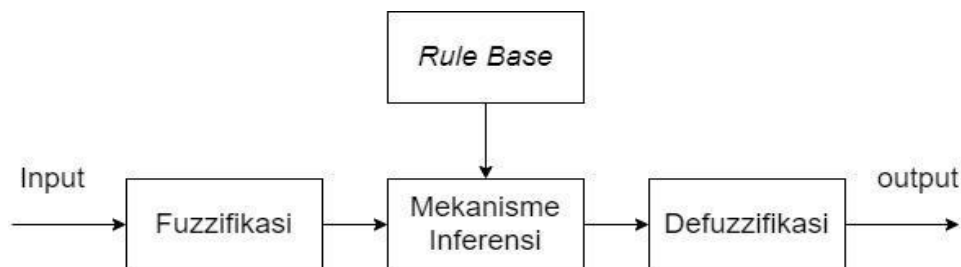
Logika *fuzzy* merupakan sistem Kendali dengan ketidakpastian yang menggunakan konsep himpunan *fuzzy* dalam perancangannya[32]. Ide logika *fuzzy* ini pertama kali ditemukan oleh Profesor L.A. Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Kelebihan dari *fuzzy logic* salah satunya adalah tidak diperlukannya model matematis dari plant yang akan dikendalikan dan

mekanisme pengambilan keputusan ditanamkan pada pengendali sebagai aturan dasar ketika pengendalian berlangsung. 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 linguistik dengan logika fuzzy[33]

Fuzzy Logic Controller (FLC) merupakan salah satu aplikasi dari logika *fuzzy* di bidang sistem kendali. FLC telah digunakan di beberapa sistem dinamik dari mulai yang sederhana sampai yang kompleks. 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[34]. FLC lebih tepat digunakan pada sistem yang sulit didefinisikan, yang dapat dikendalikan oleh operator tanpa mengetahui karakteristik dinamis dalam sistem[35].

2.4.1 Tahapan *Fuzzy Logic*

Dalam *Fuzzy Logic* terdapat 3 tahap yakni fuzzifikasi, mekanisme inferensi dan defuzzifikasi seperti pada gambar dibawah ini:

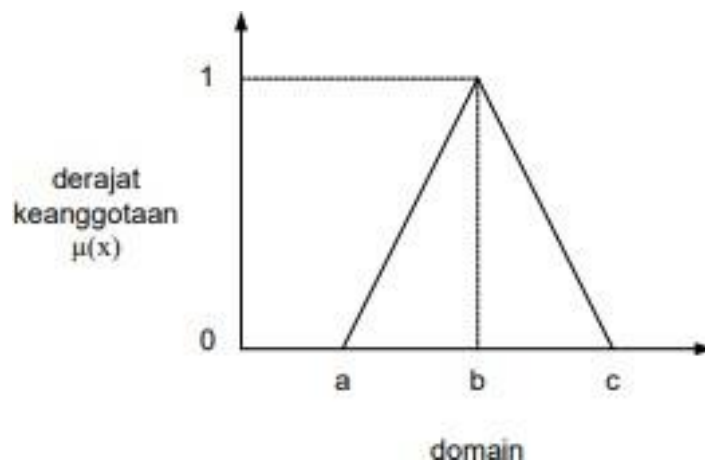


Gambar 2. 10 Tahap *Fuzzy Logic*

2.4.1.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (*crisp*) dari suatu variabel menjadi nilai *fuzzy* yang biasanya disajikan berupa himpunan- himpunan *fuzzy* yang memiliki fungsi keanggotaannya masing-masing. Tingkat keanggotaan ini dapat berada di mana saja dalam interval $[0,1]$. Fungsi keanggotaan dapat berupa tipe segitiga, eksponensial, atau Gaussian. Selain itu, untuk sistem yang lebih rumit, lebih dari satu fungsi keanggotaan dalam kombinasi dapat digunakan. 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[34]. Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan yang sering digunakan yakni kurva linear, kurva linear turun, kurva s, segitiga, trapesium, dan kurva lonceng. Pada penelitian ini fungsi keanggotaan yang dipakai yakni fungsi keanggotaan kurva segitiga seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Kurva segitiga keanggotaan fuzzy

$$\text{Fungsi Keanggotaan} = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \end{cases}$$

2.4.1.2 Mekanisme Inferensi

Mekanisme inferensi adalah proses mengubah input *fuzzy* dengan mengikuti aturan (*IF-THEN*) yang ditentukan berdasarkan pengetahuan *fuzzy*. Dengan kata lain, dilakukan agregasi yang menggabungkan keluaran *fuzzy IF-THEN* menjadi satu himpunan[35]. Pengambilan keputusan untuk input dan *rule base* yang diberikan berisi dua macam informasi utama [36], yaitu :

1. Basis data, yang berisi tentang definisi-definisi yang perlu dari parameter *fuzzy* yang digunakan untuk masing-masing variabel sistem. Membangun basis data *fuzzy* termasuk di dalamnya menentukan semesta wacana masing-masing variabel masukan, menentukan jumlah himpunan *fuzzy* dan merancang fungsi keanggotaan;

2. Pemrosesan aturan *fuzzy*, merupakan kumpulan aturan kendali *fuzzy*. Pemrosesan aturan *fuzzy* disusun berdasarkan pengetahuan pakar dan kawasan aplikasi dan tujuan pengendalian yang dilakukan. Berdasarkan pemrosesan aturan *fuzzy* ini, mesin inferensi akan memetakan himpunan *fuzzy* ke dalam himpunan *fuzzy* lain yang ditentukan oleh sekumpulan kaidah deskripsi linguistik yang disusun berdasarkan pengetahuan pakar tersebut.

2.4.1.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah keluaran yang diperoleh dari inferensi *fuzzy* menjadi suatu nilai tegas (*crisp*)[35]. Dimana hasil akhir ini akan dikirimkan ke peralatan pengendalian. Pada tahap defuzzifikasi, terdapat beberapa metode yang seringkali digunakan yaitu metode rerata maksimum (*mean of maximum*) dan metode titik berat (*center of area*). metode rerata maksimum (*mean of maximum*) yaitu mengambil nilai rata-rata kawasan yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Defuzzifikasi rerata maksimum kadang-kadang disebut juga defuzzifikasi tinggi. Strategi MOM membangkitkan aksi kendali yang mewakili nilai rerata semua aksi kendali lokal dengan fungsi keanggotaan mencapai maksimum. metode titik berat (*center of area*) yaitu membangkitkan pusat gravitasi dari distribusi peluang aksi kendali[36].

2.5 State of the Art (SOTA)

Dalam penulisan laporan akhir ini penulis menggunakan beberapa jurnal sebagai acuan dalam penelitian, yang dimuat pada **Tabel 2.2**

Tabel 2. 3 Tabel *State of The Art* (SOTA)

Judul	Metode	Hasil Penelitian
<i>Advanced electric vehicle fast-charging technologies</i> [37]	Pengisian daya baterai dengan metode Metode CC-CV	Menekankan bahwa sistem pengisian cepat dan aman yang tidak merusak baterai, dan tidak berdampak negatif pada jaringan listrik harus dikembangkan. Menjelaskan masalah yang terkait dengan pengisian cepat,

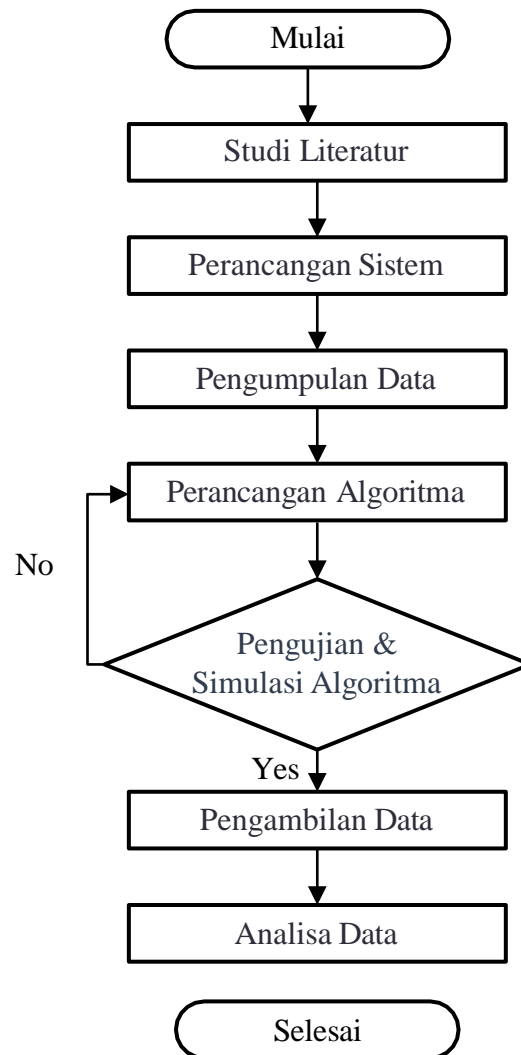
		termasuk dampak pada sistem baterai terkait manajemen dan batasan panas, mepersentasikan solusi.
<i>Design and Development of Fast Charging Battery Using Fuzzy Logic Control Technique</i> [38]	Pengisian daya baterai dengan metode CC-CV dan algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	Pada Penelitian ini Sistem kontrol pada charging CC-CV dengan menggunakan <i>fuzzy logic controller</i> (FLC) dapat mempercepat waktu pengisian hingga 37,8% pada laju 2C dengan efisiensi yang lebih baik dan meningkatkan kapasitas pengisian lebih besar, yakni 82%.
<i>Fuzzy Controlled Fast Charging System for Lithium-Ion Batteries</i> [39]	Sistem pengisian cepat pada beterei dengan metode <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	Metode yang diusulkan mengurangi waktu pengisian dan ruang sirkuit. Kontrol penyeimbangan sel sangat penting dalam memperpanjang masa pakai baterai dan keamanan pengisian tumpukan baterai serta meningkatkan efisiensi pengisian baterai. Dibandingkan dengan pengisian daya 1C, dimungkinkan untuk mempersingkat waktu pengisian hingga 15 menit. Sistem pengisian yang diusulkan dapat mempersingkat waktu pengisian dan memastikan bahwa setiap sel dalam rangkaian baterai akan dioperasikan dalam rentang tegangan yang aman.
<i>A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems</i> [40]	Metode pegisian dan pengosongan dengan (CC-CV) dan Metode manajemen baterai dengan <i>Fuzzy Logic Control</i> (FLC) dan kontrol prediktif model (MPC)	Penelitian ini menunjukkan bahwa CC-CV merupakan metode kontrol yang paling banyak digunakan untuk pengisian dan pengosongan baterai, metode lain seperti FLC atau MPC telah menunjukkan kinerja yang lebih baik. Manfaat utamanya adalah pengurangan waktu pengisian, peningkatan efisiensi pengisian, mitigasi kenaikan suhu, dan menjaga SOC baterai dalam batas aman.

<p><i>A Novel Supercapacitor/Lithium-Ion Hybrid Energy System with a Fuzzy Logic-Controlled Fast Charging and Intelligent Energy Management System</i>[41]</p>	<p>Sistem pengisian cepat pada baterai dan sistem manajemen energi cerdas dengan metode <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)</p>	<p>Sistem pengisian Li-ion diisi menggunakan FLC. Metode pengisian kontrol FLC mempersingkat waktu pengisian. Penyeimbangan tegangan sel <i>Bypass Equalization</i> (BPE) berbasis FLC telah digunakan untuk mengurangi perbedaan tegangan, menghindari pengisian yang berlebihan, dan meningkatkan efisiensi pengisian baterai.</p>
<p><i>Effect of the different charging techniques on battery life-time: Review</i> [8]</p>	<p><i>Constant Current</i> (CC), <i>Constant Voltage</i> (CV), dan <i>Constant Current-Constant Voltage</i> (CC-CV) using Matlab</p>	<p>Penelitian ini diujikan pada baterai <i>lead acid</i> 50Ah dengan metode pengisian konvensional. Dalam penelitian ini, metode CC menyebabkan kenaikan suhu selama pengisian, namun disisi lain metode CV tidak menyebabkan kenaikan suhu tapi menyebabkan arus besar pada awal pengisian yang membahayakan <i>lifetime</i> baterai. CC-CV konvensional mampu mengendalikan arus awal, namun menyebabkan kenaikan suhu pada tahap awal dan menyebabkan pengisian yang berlebihan.</p>
<p><i>Comparison of voltage charging techniques to increase the life of lead acid batteries</i>[42]</p>	<p>Mereview tentang pengisian daya baterai <i>lead acid</i> menggunakan metode <i>constant voltage</i></p>	<p><i>constant voltage</i> dengan tegangan 16V menghasilkan waktu pengisian yang lambat, tetapi metode ini disukai karena dapat menghindari kerusakan baterai akibat <i>overcharge</i> karena arus yang terus berkurang secara bertahap.</p>

BAB III RANCANG BANGUN

3.1 Metodologi Perancangan

Metodologi perancangan akan menjelaskan tentang tahapan pembuatan laporan akhir yang dilakukan. Tahapan mengikuti kerangka kerja yang telah dirancang agar laporan ini dapat dilakukan dengan terstruktur dan didapat hasil yang maksimal. Pada diagram tahapan penelitian dibawah ini merupakan kerangka kerja dari laporan akhir ini:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Perancangan

3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan awal pada penelitian ini, yakni penulis melakukan identifikasi permasalahan mengenai sistem *charging* baterai aki dengan metode CC-CV (*Constant Current-Constant Voltage*) dan metode pengolahan data menggunakan logika *fuzzy*. Setelah mengidentifikasi permasalahan, maka tujuan, manfaat, dan batasan masalah pada laporan akhir ini dapat ditentukan. Selanjutnya, penulis melakukan pemahaman mengenai teknik prediksi dari berbagai sumber seperti jurnal, *ebook*, dan *website*, agar penulis dapat menentukan metode yang tepat dalam mengerjakan laporan akhir ini.

3.3 Perancangan Alat

Perancangan sistem merupakan suatu tahap yang penting pada penelitian, sebab dengan perancangan dapat diketahui hal apa saja yang akan digunakan pada pembuatannya serta petunjuk mengenai komponen yang digunakan, spesifikasi, dan karakteristik dapat dilihat pada *datasheet* masing-masing komponen. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, terlebih dahulu harus dibuat rancangan yang baik dengan memperhatikan sifat dan karakteristik komponen, serta menyesuaikan dengan alat yang ingin dibuat.

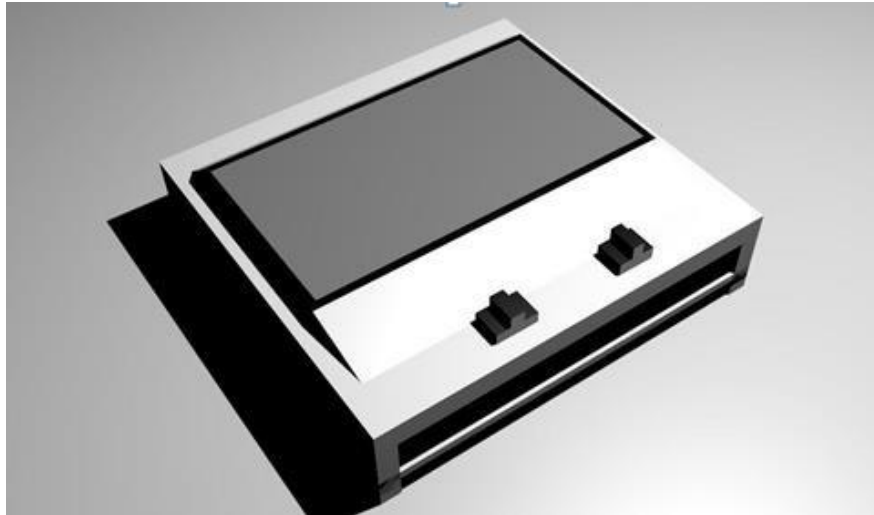
Perancangan sistem diawali dengan merancang atau mendesain suatu sistem, lalu menentukan komponen pendukung agar sistem dapat bekerja dengan baik. Dalam perancangan sistem CC-CV pada *charging* baterai, terlebih dahulu menentukan komponen masukan (input), pengendali (*controller*), dan keluaran (output). Komponen yang digunakan harus sesuai dengan *datasheet* atau buku panduan, agar tidak terjadi kesalahan dan kerusakan komponen pada saat perancangan.

Tahap-tahap dalam perancangan sistem ini dimulai dengan membuat perancangan elektronik dan mekanik.

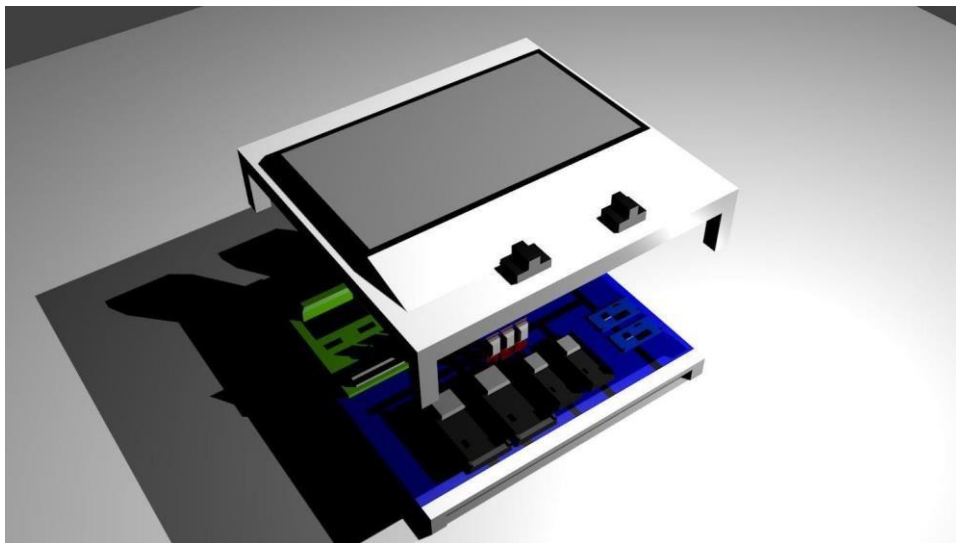
3.3.1 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik meliputi perancangan sistem *charging* baterai aki serta komponen pendukung lainnya. Berikut desain proyek *charging* baterai aki keseluruhan yang meliputi desain 3D mekanik yang dirancang. Penulis telah

merancang desain *charging* baterai mobil listrik 3 dimensi menggunakan *Animation Blender 3D*.



Gambar 3. 2 Desain Mekanik Alat Tampak Atas



Gambar 3. 3 Desain Mekanik Alat Tampak Samping

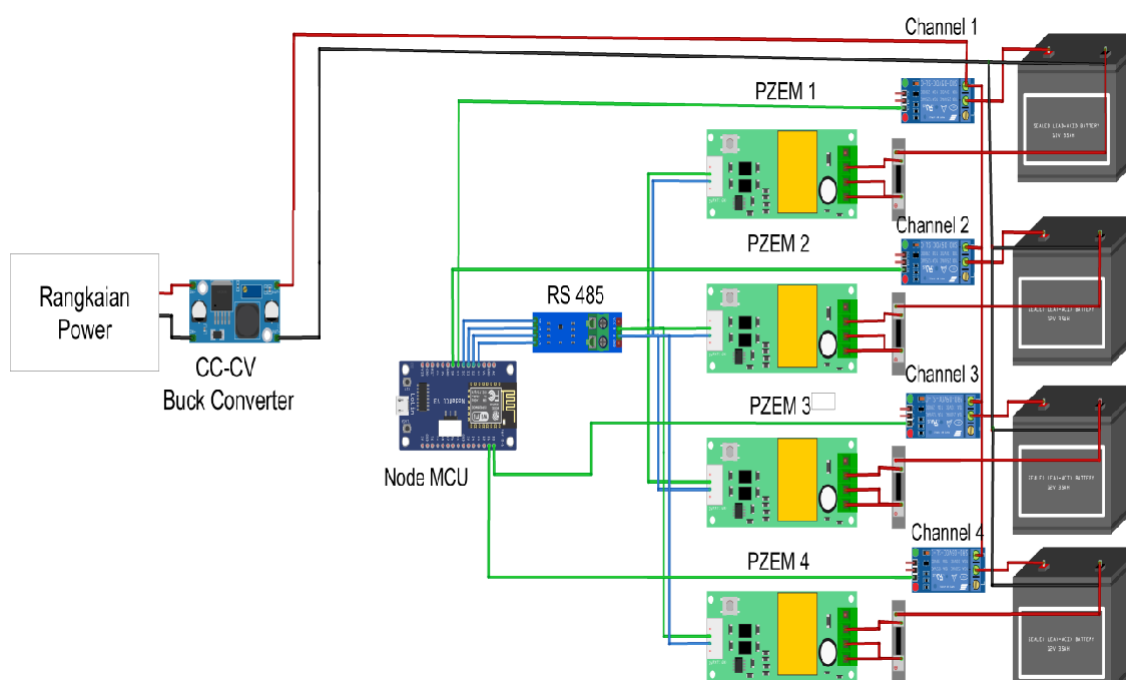
3.3.2 Perancangan Elektronik

Perancangan elektronik merupakan perancangan sistem yang berhubungan dengan perangkat elektronik seperti pembuatan rangkaian skematik, blok diagram, dan *flowchart*. Tujuan pembuatan blok diagram dan *flowchart* adalah untuk

pemahaman yang jelas dari fungsi dan hubungan dalam perancangan sistem alat dengan sederhana, rapi, dan jelas.

3.3.2.1 Rangkaian Skematik

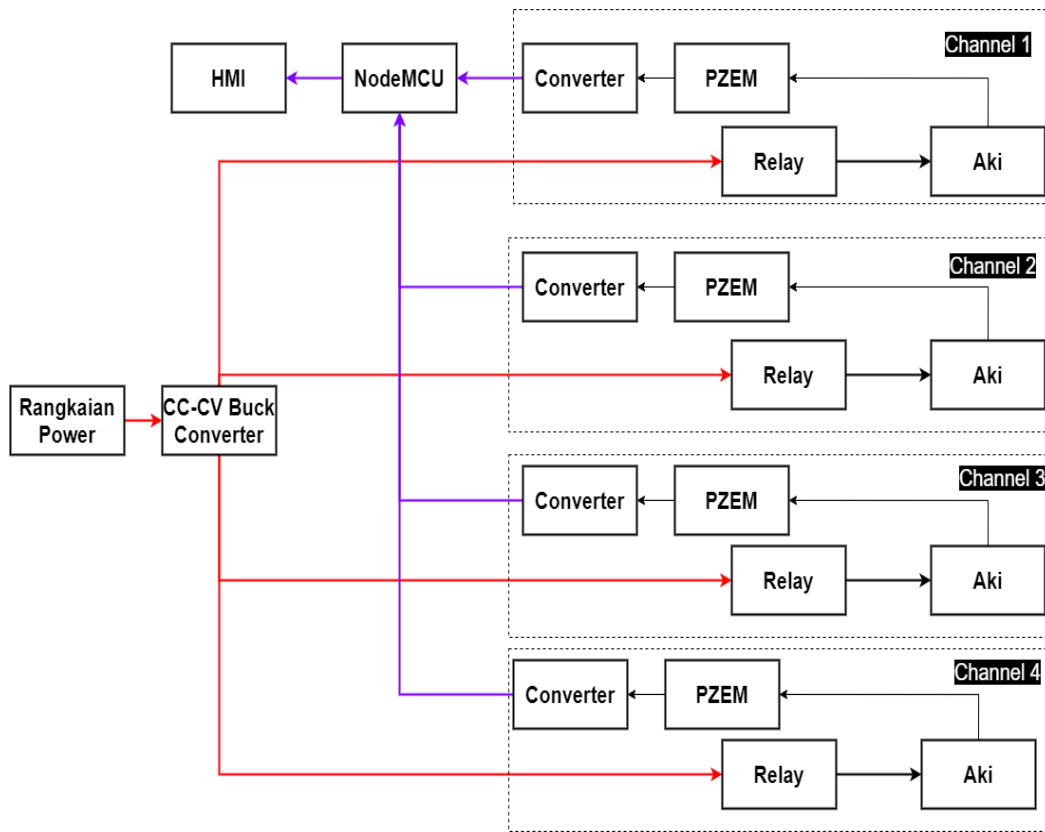
Pembuatan rangkaian skematik merupakan panduan dalam pembuatan rangkaian elektronika, sehingga dapat membantu mengetahui komponen apa saja yang digunakan dalam sistem *charging* baterai aki. Rangkaian skematik dari sistem *charging* baterai aki dengan metode CC-CV ini dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3. 4 Rangkaian Skematik Sistem *Charging*

3.3.2.2 Blok Diagram

Blok diagram merupakan salah satu elemen penting dalam perancangan dan pembuatan alat, sebab blok diagram dapat merepresentasikan prinsip kerja keseluruhan alat. Selain itu, prosedur perancangan dan pembuatan pada masing-masing rangkaian akan membentuk suatu sistem yang sesuai dengan perancangan.

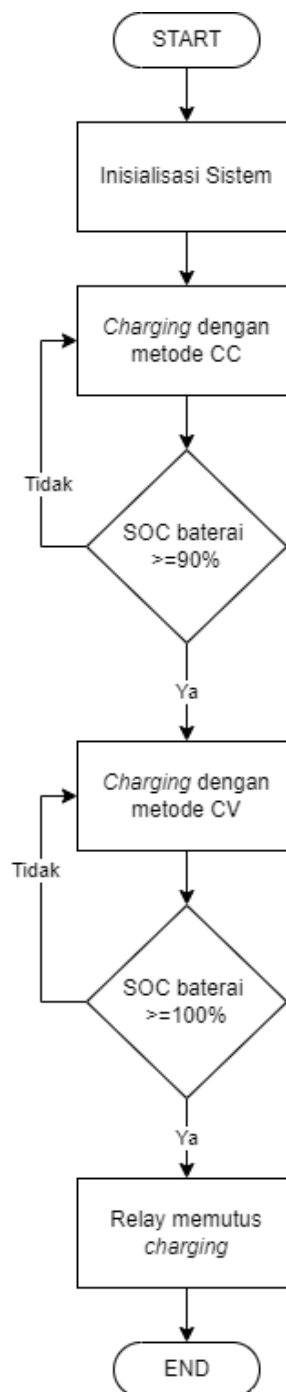


Gambar 3.5 Blok Diagram Sistem Pengisian Daya Aki

Pada **Gambar 3.5** merupakan blok diagram sistem pengisian baterai aki, pada sistem ini memiliki 4 *channel* dimana masing-masing *channel* dapat mengisi daya baterai aki 12V 30AH dan memantau kondisi masing-masing baterai. Oleh karena ini, pada blok diagram sistem terdapat 4 PZEM yang berfungsi untuk memantau kondisi arus dan tegangan pada masing-masing baterai, dan 4 relay berfungsi sebagai pemutus *charging* ketika salah satu baterai telah terisi penuh, relay ini juga berfungsi untuk meminimalisir *overcharging* pada baterai aki

3.3.2.3 Flowchart Sistem

Gambar dibawah ini merupakan diagram alir dari sistem *charging* baterai aki dengan metode CC-CV.



Gambar 3. 6 Diagram Alir Sistem Pengisian Daya Aki

3.4 Metode Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan melalui pengukuran pada sistem menggunakan instrumen yang telah ditetapkan, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pengolahan data. Pengolahan data difungsikan untuk mempermudah dalam

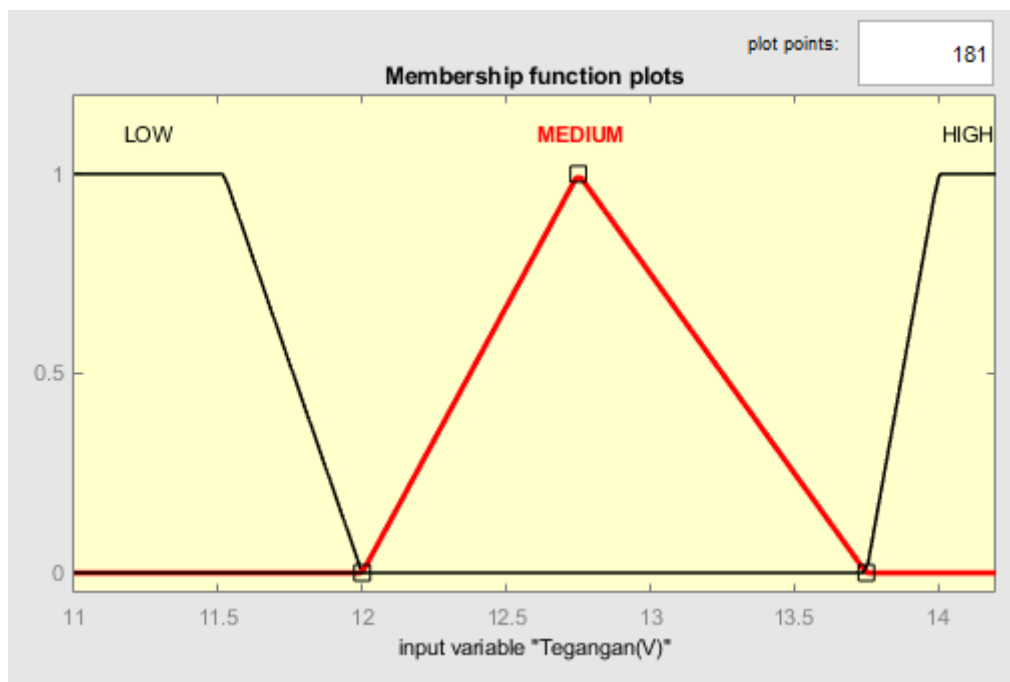
pembuatan analisa. Adapun metode pengolahan data yang di gunakan dalam penelitian ini adalah metode *fuzzy logic* dengan bantuan fungsi *fuzzy* yang terdapat pada aplikasi Matlab.

3.4.1 Fuzzifikasi

Fuzzyfikasi adalah proses mentransformasikan data tegas (*crisp data*) masukan menjadi variabel linguistik (himpunan *fuzzy*), dengan derajat keanggotaan tertentu atau bisa disebut nilai masukan *fuzzy*. Dalam penelitian ini, fungsi keanggotaan input yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.7** sampai **Gambar 3.9**

Sistem CC-CV pada *charging* ini memiliki 2 input yang berasal dari sensor PZEM-017t. Dari input tersebut dibuat *membership function* dengan nilai *variablelinguistic* yang berbeda-beda. Kedua Input memiliki 3 nilai linguistik, yaitu *Low* (L), *Medium* (M), dan *High* (H). Persamaan fungsi keanggotaan logika *fuzzy* berdasarkan parameter tegangan dan arus pada sensor PZEM-017t yaitu sebagai:

- *Membership Function* Input Tegangan



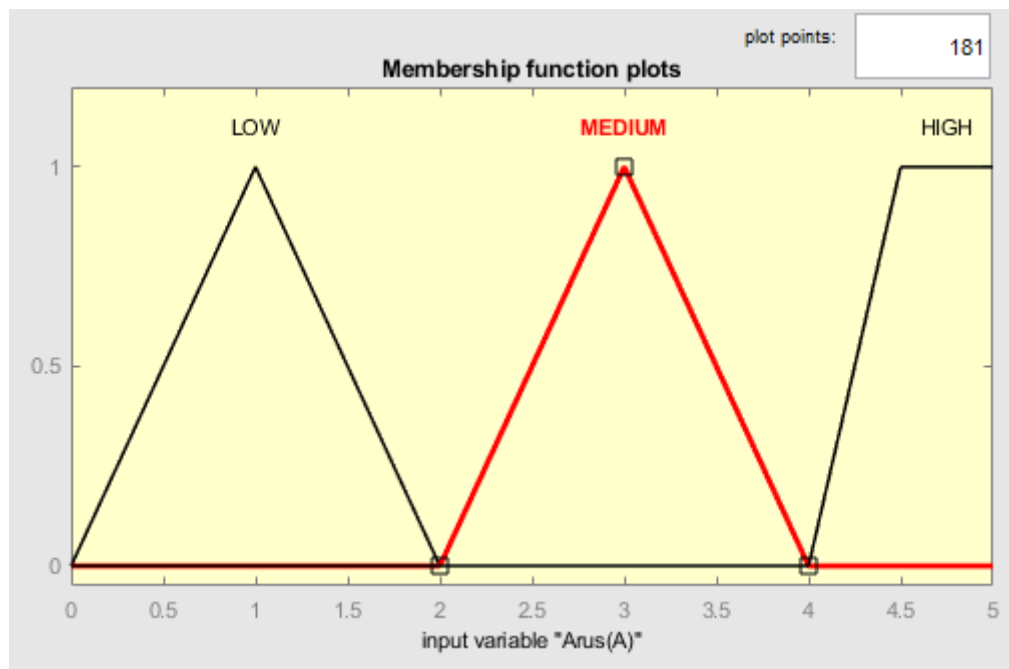
Gambar 3.7 *Membership Function* Input Tegangan *Charging*

$$\mu_{Low} = \begin{cases} 1, & x \leq 11.5 \\ \frac{12-x}{12-11.5}, & 11.5 < x \leq 12 \\ 0, & x \geq 12.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Medium} = \begin{cases} 0, & x \leq 12 \text{ atau } x \geq 13.75 \\ \frac{x-12}{12.75-12}, & 12 < x \leq 12.75 \\ \frac{13.75-x}{13.75-12.75}, & 12.75 < x < 13.75 \end{cases}$$

$$\mu_{High} = \begin{cases} 0, & x \leq 13.75 \\ \frac{x-13.75}{14-13.75}, & 13.75 \leq x < 14 \\ 1, & x \geq 14 \end{cases}$$

- Membership Function Input Arus



Gambar 3.8 Membership Function Input Arus Charging

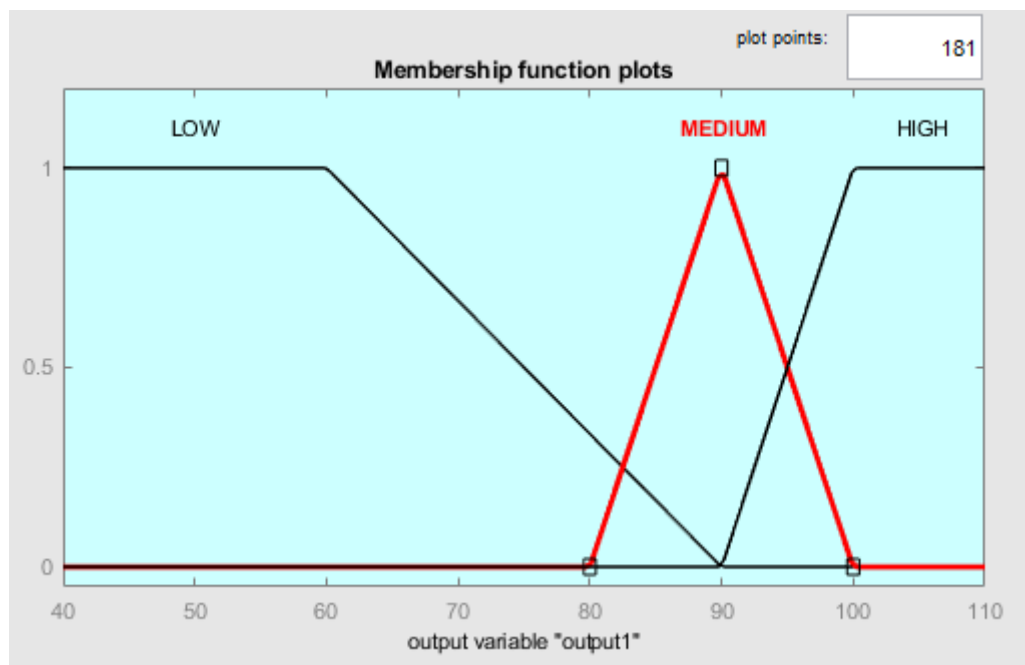
$$\mu_{Low} = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 2 \\ \frac{x-0}{1-0}, & 0 < x \leq 1 \\ \frac{2-x}{2-1}, & 1 < x < 2 \end{cases}$$

$$\mu_{Medium} = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{3-2}, & 2 < x \leq 3 \\ \frac{4-x}{4-3}, & 3 < x < 4 \end{cases}$$

$$\mu_{High} = \begin{cases} 0, & x \leq 4 \\ \frac{x-4}{4.5-4}, & 4 < x < 4.5 \\ \{ 1, & x \geq 4,5 \end{cases}$$

- *Membership Function Output SOC*

Terdapat tiga variabel linguistik pada output *fuzzy* yakni kondisi baterai, antara lain *Low* yang artinya proses pengisian daya dengan fase *Constant Current (CC)*, *Medium* yang artinya proses pengisian daya dengan fase *Constant Voltage (CV)*, dan *High* yang artinya baterai telah terisi penuh atau terjadi *overcharging* sehingga relay harus diaktifkan.



Gambar 3.9 *Membership Function SOC Baterai*

$$\mu_{Low} = \begin{cases} 1, & x \leq 60 \\ \frac{90 - x}{90 - 60}, & 60 < x \leq 90 \\ 0, & x \geq 90 \end{cases}$$

$$\mu_{Medium} = \begin{cases} 0, & x \leq 80 \text{ atau } x \geq 100 \\ \frac{x - 80}{90 - 80}, & 80 < x \leq 90 \\ \frac{100 - x}{100 - 90}, & 90 < x < 100 \end{cases}$$

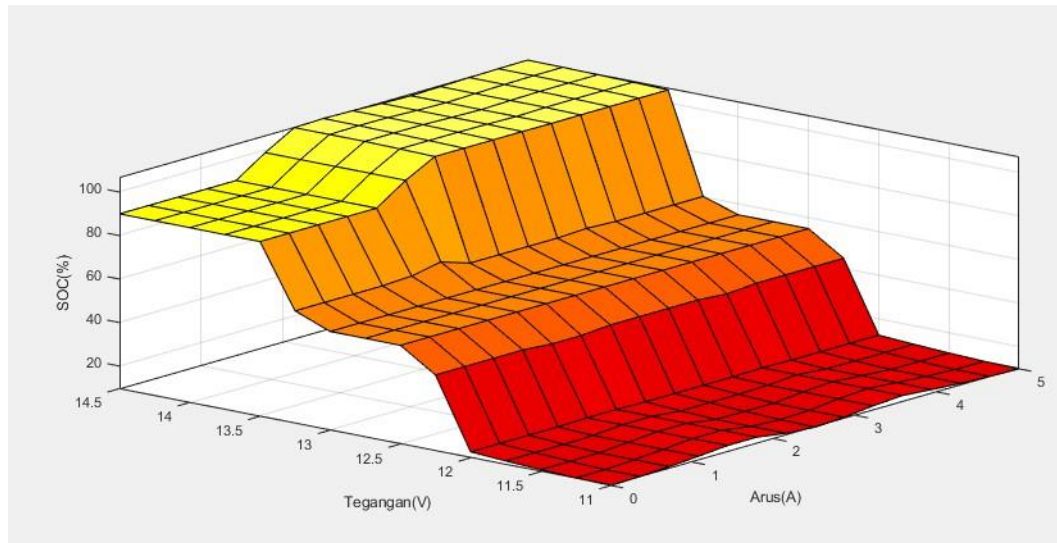
$$\mu_{High} = \begin{cases} 0, & x \leq 90 \\ \frac{x - 90}{100 - 90}, & 90 \leq x < 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases}$$

3.4.1 Interfensi Rules Fuzzy Logic

Evaluasi *rules* merupakan proses pengambilan keputusan (*inference*) yang berdasarkan *rule-rule* yang ditetapkan pada *basis rules* untuk menghubungkan antara masukan *fuzzy* dengan keluaran *fuzzy*. *Rules* ini berbentuk jika ... maka (IF... Then). Tabel 3.1 menunjukkan aturan *rule base* dalam sistem CC-CV charging aki.

Tabel 3. 1 Rule Base Sistem CC-CV pada Charging Baterai

NO	INPUT		OUTPUT
	Arus Charging (A)	Tegangan Charging (V)	SOC (%)
R1	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>
R2	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>
R3	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
R4	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>
R5	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>
R6	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
R7	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>
R8	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>
R9	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>High</i>



Gambar 3.10 Grafik *Rule Base* Sistem Pengisian Daya Aki

Pada Gambar 3.10 merupakan grafik *surface rule based fuzzy* dengan input berupa tegangan dan arus, serta output berupa SOC. Pada grafik tersebut direpresentasikan kesembilan aturan *fuzzy* sistem pengisian daya CC-CV pada sebuah grafik. Nilai linguistik output terbagi kedalam 3 bagian yakni *low*, *medium*, dan *high*. *Low* adalah proses dimana pengisian daya aki dengan metode *Constant Current (CC)*, *Medium* adalah proses dimana pengisian daya aki dengan metode *Constant Voltage (CV)*, dan *High* adalah kondisi dimana aki telah terisi penuh atau terjadi *overcharging* pada aki, sehingga diperlukan pengaktifan relay.

3.4.2 Defuzzifikasi

Terakhir, dilakukan proses defuzzifikasi dengan mengambil sampel berupa nilai tegangan dan arus dengan besar masing-masing 12.5 V dan 4.2 A berdasarkan rumus keanggotaan fuzzifikasi. Untuk besar tegangan 12.5 V didapat nilai *degree of membership* sebesar:

$$\mu_{Medium} [12.5] = \frac{12.5-12}{12.75-12} \rightarrow \text{Penyederhanaan fuzzifikasi}$$

$$= 0.66$$

$$\mu_{Medium}[12.5] = 0.66$$

sedangkan untuk besar arus 4.2 A, di dapat nilai *degree of membership* sebesar:

$$\mu_{High} [4.2] = \frac{x-4}{4.5-4} \rightarrow \text{Penyederhanaan fuzzifikasi}$$

$$= 0.4$$

$$\mu_{High}[4.2] = 0.4$$

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Tujuan Pengujian Alat

Pengujian merupakan tahap terpenting dalam pembuatan suatu alat yang bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat dapat bekerja dengan baik atau tidak, serta sesuai atau tidak dengan *datasheet* komponen yang dipakai. Pada bab ini akan membahas hasil pengujian sistem CC-CV pada charging baterai aki, dimana parameter yang diukur adalah tegangan *charging* dan arus *charging* dan SOC baterai selama pengisian baterai.

4.1.1 Pengujian Sistem CC-CV

Pada laporan akhir ini dilakukan proses pengambilan data, agar data dapat dianalisa dengan metode *fuzzy*. Proses pengambilan data dilakukan pada saat kondisi pengisian baterai. Pada proses pengambilan data, baterai dihubungkan dengan sistem *charging*. Sistem juga dihubungkan ke komputer agar data dapat terpantau dan diambil melalui serial monitor. Selanjutnya, data tersebut disimpan ke personal komputer dan dilakukan proses analisa data. Baterai yang digunakan dalam proses pengisian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut;

- Jenis Baterai : Aki
- Kapasitas Baterai : 30 Ah
- Tegangan Maksimum (Vmax) : 14,05 Volt
- Tegangan Minimum (Vmin) : 11 Volt

Pada proses pengisian dilakukan dengan ketentuan pengambilan data sebagai berikut;

- Tegangan baterai awal : 13,60 V
- Tegangan baterai penuh : 14,05 V
- SOC baterai awal : 78%
- SOC baterai penuh : 100%
- Total waktu pengisian : 201 detik
- Interval pengambilan data : 1 detik

Data pengisian berupa nilai tegangan, arus, dan SOC selama proses pengisian baterai selanjutnya akan diolah pada Microsoft Excel dan akan dilakukan analisa data dengan metode *fuzzy*. Data yang diperoleh dari proses pengisian baterai sebagai berikut;

Dalam proses pengambilan data, penulis menguji tegangan dan arus yang bekerja pada saat pengisian baterai aki untuk mengetahui kerja konsep CC-CV pada sistem *charging*. Dalam pengisian baterai, jika tegangan dan arus yang mengalir pada saat pengisian melebihi kapasitas baterai maka baterai dapat mengalami *overcharge* yang mengakibatkan kerusakan pada baterai. Selanjutnya proses pengisian dilakukan dengan data pengisian daya sebagai berikut;

Tabel 4. 1 Data Pengisian Daya Aki

Time(s)	Arus (A)	Tegangan (V)	SOC (%)
0	5,00	13,60	78
1	5,00	13,79	87
2	5,00	13,82	89
3	5,00	13,82	89
4	5,00	13,84	90
5	4,99	13,86	91
6	4,99	13,89	92
7	4,99	13,87	91
8	5,00	13,92	94
9	5,00	13,93	94
10	5,00	13,93	94
11	5,00	13,97	96
12	5,00	13,97	96
13	5,00	13,98	97
14	5,00	13,97	96
15	5,00	13,98	97
16	4,99	13,98	97
17	4,99	13,98	97

18	4,99	13,98	97
19	5,00	14,00	98
20	5,00	14,00	98
21	5,00	14,00	98
22	5,00	14,00	98
23	4,89	14,01	98
24	4,89	14,00	98
25	4,89	14,01	98
26	4,89	14,01	98
27	4,89	14,00	98
28	4,76	14,01	98
29	4,76	14,01	98
30	4,76	14,01	98
31	4,76	14,01	98
32	4,76	14,01	98
33	4,76	14,00	98
34	4,76	14,00	98
35	4,73	14,01	98
36	4,73	14,01	98
37	4,73	14,00	98
38	4,73	14,00	98
39	4,73	14,00	98
40	4,73	14,01	98
41	4,69	14,00	98
42	4,69	14,00	98
43	4,67	14,00	98
44	4,67	14,01	98
45	4,67	14,00	98
46	4,67	14,01	98
47	4,67	14,01	98

48	4,58	14,01	98
49	4,58	14,01	98
50	4,58	14,01	98
51	4,58	14,01	98
52	4,58	14,01	98
53	4,53	14,01	98
54	4,53	14,01	98
55	4,53	14,01	98
56	4,43	14,01	98
57	4,43	14,01	98
58	4,43	14,01	98
59	4,43	14,01	98
60	4,23	14,00	98
61	4,23	14,01	98
62	4,23	14,01	98
63	4,23	14,01	98
64	4,09	14,01	98
65	3,89	14,00	98
66	3,89	14,01	98
67	3,85	14,01	98
68	3,79	14,00	98
69	3,79	14,01	98
70	3,76	14,01	98
71	3,76	14,01	98
72	3,75	14,01	98
73	3,79	14,01	98
74	3,66	14,01	98
75	3,66	14,00	98
76	3,46	14,01	98
77	3,46	14,01	98

78	3,46	14,01	98
79	3,46	14,01	98
80	3,46	14,01	98
81	3,46	14,01	98
82	3,46	14,01	98
83	3,42	14,01	98
84	3,40	14,01	98
85	3,40	14,01	98
86	3,43	14,01	98
87	3,40	14,01	98
88	3,40	14,01	98
89	3,37	14,01	98
90	3,37	14,01	98
91	3,35	14,01	98
92	3,35	14,01	98
93	3,35	14,01	98
94	3,33	14,02	99
95	3,33	14,02	99
96	3,33	14,02	99
97	3,33	14,02	99
98	3,37	14,02	99
99	3,37	14,02	99
100	3,39	14,02	99
101	3,39	14,02	99
102	3,26	14,02	99
103	3,26	14,02	99
104	3,26	14,02	99
105	3,26	14,02	99
106	3,24	14,02	99
107	3,24	14,02	99

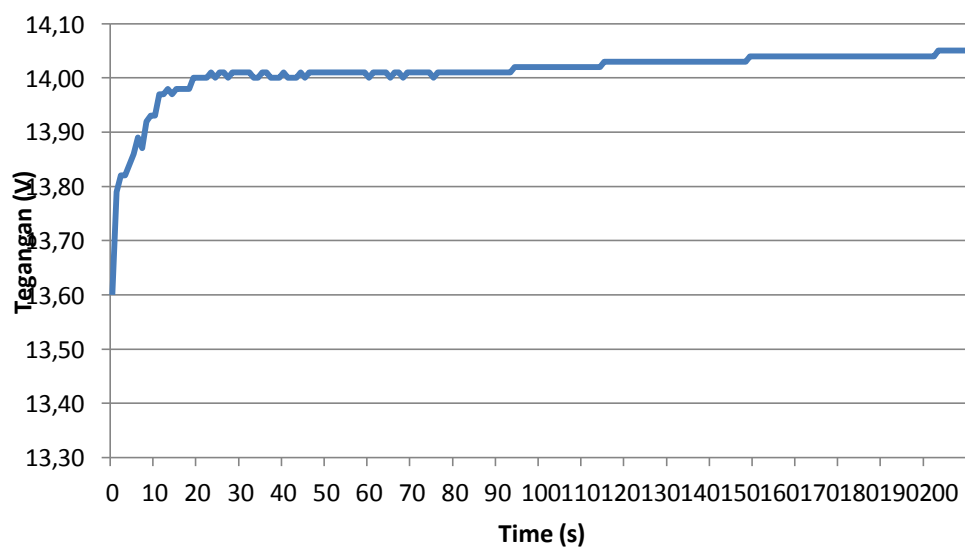
108	3,24	14,02	99
109	3,24	14,02	99
110	3,22	14,02	99
111	3,22	14,02	99
112	3,22	14,02	99
113	3,22	14,02	99
114	3,19	14,02	99
115	3,19	14,03	99
116	2,96	14,03	99
117	2,96	14,03	99
118	2,99	14,03	99
119	2,99	14,03	99
120	2,95	14,03	99
121	2,95	14,03	99
122	2,90	14,03	99
123	2,87	14,03	99
124	2,87	14,03	99
125	2,87	14,03	99
126	2,87	14,03	99
127	2,84	14,03	99
128	2,84	14,03	99
129	2,84	14,03	99
130	2,85	14,03	99
131	2,84	14,03	99
132	2,84	14,03	99
133	2,79	14,03	99
134	2,79	14,03	99
135	2,79	14,03	99
136	2,79	14,03	99
137	2,79	14,03	99

138	2,76	14,03	99
139	2,76	14,03	99
140	2,76	14,03	99
141	2,75	14,03	99
142	2,75	14,03	99
143	2,75	14,03	99
144	2,75	14,03	99
145	2,75	14,03	99
146	2,73	14,03	99
147	2,73	14,03	99
148	2,73	14,03	99
149	2,73	14,04	99
150	2,73	14,04	99
151	2,73	14,04	99
152	2,72	14,04	99
153	2,72	14,04	99
154	2,72	14,04	99
155	2,67	14,04	99
156	2,67	14,04	99
157	2,60	14,04	99
158	2,60	14,04	99
159	2,57	14,04	99
160	2,57	14,04	99
161	2,46	14,04	99
162	2,46	14,04	99
163	2,41	14,04	99
164	2,41	14,04	99
165	2,41	14,04	99
166	2,33	14,04	99
167	2,33	14,04	99

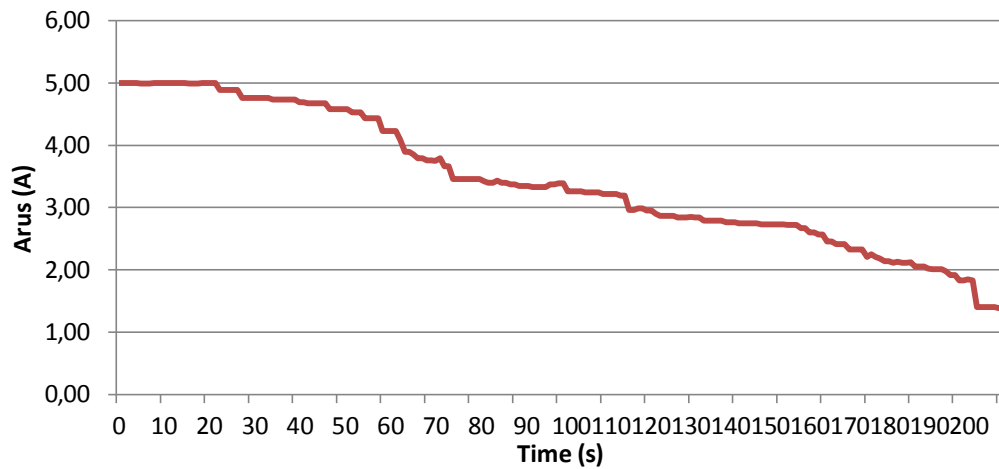
168	2,33	14,04	99
169	2,33	14,04	99
170	2,21	14,04	99
171	2,25	14,04	99
172	2,21	14,04	99
173	2,18	14,04	99
174	2,14	14,04	99
175	2,14	14,04	99
176	2,11	14,04	99
177	2,13	14,04	99
178	2,11	14,04	99
179	2,11	14,04	99
180	2,12	14,04	99
181	2,05	14,04	99
182	2,05	14,04	99
183	2,05	14,04	99
184	2,02	14,04	99
185	2,01	14,04	99
186	2,01	14,04	99
187	2,01	14,04	99
188	1,98	14,04	99
189	1,92	14,04	99
190	1,92	14,04	99
191	1,83	14,04	99
192	1,83	14,04	99
193	1,85	14,05	100
194	1,83	14,05	100
195	1,40	14,05	100
196	1,40	14,05	100
197	1,40	14,05	100

198	1,40	14,05	100
199	1,40	14,05	100
200	1,39	14,05	100
201	1,40	14,05	100

Berdasarkan **Tabel 4.1** diatas dapat diamati perubahan pembacaan nilai tegangan dan arus pada pengisian baterai aki. Pada detik ke-0 hingga ke-22 terjadi pengisian *Constant Current* (CC) sebesar 5-4,98 A dan pada detik ke-23 hingga ke-200 terjadi pengisian *Constant Voltage* (CV) sebesar 14-14,05 V. Saat tegangan baterai sudah mencapai 14,05 V mikrokontroler akan mengaktifkan *relay* yang terhubung dengan *charger*. Sehingga, proses pengisian akan otomatis berhenti agar dapat mencegah terjadinya *overcharge* pada pengisian baterai. Selain itu, karena penggunaan modul CC-CV maka arus *charging* yang digunakan kecil ketika baterai hampir penuh hal ini juga dapat mengurangi potensi *overcharging* pada proses pengisian baterai aki. Dari hasil pengukuran diatas dapat diamati waktu yang diperlukan untuk mengisi daya baterai dari tegangan 13,60 V dengan SOC sekitar 78% hingga baterai penuh 14,05V dengan SOC 100% hanya memerlukan waktu 200 detik atau 3,33 menit.

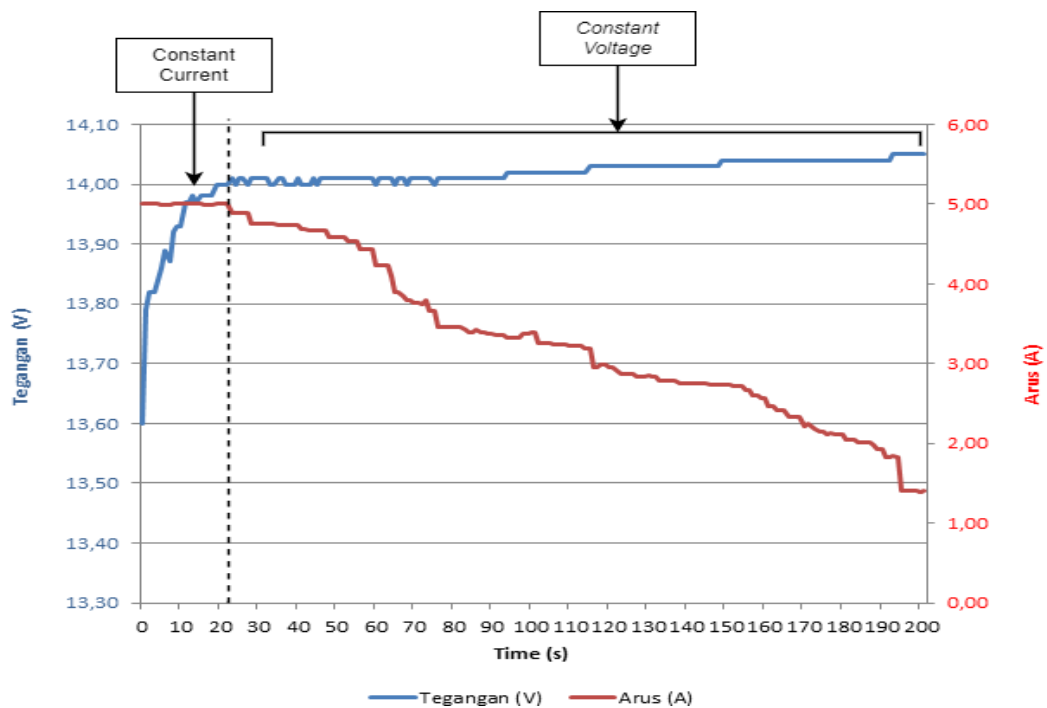


Gambar 4.1 Grafik Tegangan *Charging* Pengisian Daya Aki



Gambar 4. 2 Grafik Arus *Charging* Pengisian Daya Aki

Pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** merupakan grafik tegangan dan arus *charging* pada proses pengisian baterai aki menggunakan metode CC-CV. Dari kedua gambar tersebut didapatkan bahwa *charging* dapat mengisi daya baterai hingga 14,05 V dengan waktu 201 detik dan karena digunakan metode CC-CV, sehingga arus *charging* akan menurun seiring dengan meningkatnya tegangan dan SOC baterai.



Gambar 4. 3 Grafik Data Pengisian Daya Aki CC-CV

Pada **Gambar 4.3** yakni grafik data pengisian arus dan tegangan, dapat dilihat bagian pertama yang dipisahkan oleh garis putus-putus merupakan proses pengisian daya baterai aki dengan metode *Constant Current* (CC) dan pada bagian kedua merupakan proses pengisian baterai dengan metode *Constant Voltage* (CV). Pada grafik CC dapat dilihat bahwa arus *charging* relatif konstan dengan tegangan *charging* yang terus meningkat. Sedangkan pada grafik CV tegangan *charging* relatif konstan hingga tegangan maksimum yakni 14,05 V dan arus *charging* menurun perlahan sampai pada arus minimum yakni 1,34 A.

4.2 Analisa Data Pengisian Daya Aki Menggunakan *Fuzzy Logic*

Setelah dilakukan pengujian dari hasil pembacaan sensor terhadap tegangan dan arus sistem CC-CV pada *charging*, maka penulis mengolah data tersebut menggunakan metode *fuzzy logic* dengan memasukkan keanggotaan sesuai data *sample* hasil pengujian. Untuk mendapatkan analisa dari metode logika *fuzzy* yang digunakan, dicari *membership degree* dari *sample* nilai input seperti yang dimuat pada Tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4. 2 Derajat Keanggotaan Input Tegangan

Tegangan (V)	μ_{Low}	μ_{Medium}	μ_{High}
13,60	0	0,15	0
13,79	0	0,00	0,16
13,82	0	0,00	0,28
13,84	0	0,00	0,36
13,86	0	0,00	0,44
13,89	0	0,00	0,56
13,87	0	0,00	0,48
13,92	0	0,00	0,68
13,93	0	0,00	0,72
13,97	0	0,00	0,88
13,98	0	0,00	0,92
13,97	0	0,00	0,88
13,98	0	0,00	0,92
14,00	0	0,00	1
14,01	0	0,00	1
14,02	0	0,00	1
14,03	0	0,00	1

14,04	0	0,00	1
14,05	0	0,00	1

Tabel 4. 3 Derajat Keanggotaan Input Arus

Arus (A)	μ_{Low}	μ_{Medium}	μ_{High}
5,00	0	0	1,00
4,99	0	0	1,00
4,89	0	0	1,00
4,76	0	0	1,00
4,69	0	0	1,00
4,67	0	0	1,00
4,58	0	0	1,00
4,53	0	0	1,00
4,43	0	0	0,86
4,23	0	0	0,46
3,89	0	0,11	0
3,79	0	0,21	0
3,76	0	0,24	0
3,75	0	0,25	0
3,79	0	0,21	0
3,66	0	0,34	0
3,46	0	0,54	0
3,40	0	0,60	0
3,43	0	0,57	0
3,37	0	0,63	0
3,35	0	0,65	0
3,33	0	0,67	0
3,37	0	0,63	0
3,26	0	0,74	0
3,24	0	0,76	0
3,22	0	0,78	0
3,19	0	0,81	0
2,99	0	0,99	0
2,95	0	0,95	0
2,90	0	0,90	0
2,87	0	0,87	0
2,84	0	0,84	0
2,79	0	0,79	0

2,76	0	0,76	0
2,75	0	0,75	0
2,73	0	0,73	0
2,72	0	0,72	0
2,60	0	0,60	0
2,57	0	0,57	0
2,46	0	0,46	0
2,41	0	0,41	0
2,33	0	0,33	0
2,21	0	0,21	0
2,14	0	0,14	0
2,11	0	0,11	0
2,12	0	0,12	0
2,05	0	0,05	0
2,01	0	0,01	0
1,98	0,02	0	0
1,92	0,08	0	0
1,83	0,17	0	0
1,40	0,60	0	0
1,39	0,61	0	0

Pada **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3** terdapat derajat keanggotaan *sample* input, derajat keanggotaan tersebut berguna untuk menentukan dan mengelompokan output pada sistem pengisian daya baterai aki, untuk menganalisa kondisi SOC baterai dengan besar variabel input arus dan tegangan tertentu, hal ini juga dilakukan untuk menganalisa adakah data yang mengindikasi terjadi *overcharging* pada proses pengisian daya baterai. *Overcharging* terjadi ketika input tegangan *high* dan input arus *high*, hal ini dapat menyebabkan baterai cepat panas dan *overcharged*. Oleh karena itu dilakukan *inference clipping* dengan sampel derajat keanggotaan tertentu, sehingga didapat besaran output sebagai berikut;

Tabel 4. 4 Tabel *Inference Clipping* Sistem Pengisian CC-CV

NO	INPUT		OUTPUT
	Arus <i>Charging</i> (A)	Tegangan <i>Charging</i> (V)	SOC (%)
R3	<i>Low</i> (0,61)	<i>High</i> (1)	<i>High</i>
R6	<i>Medium</i> (0,11)	<i>High</i> (1)	<i>High</i>
R8	<i>High</i> (1)	<i>Medium</i> (0,15)	<i>Medium</i>
R9	<i>High</i> (1)	<i>High</i> (1)	<i>High</i>

Dari Tabel 4.4 dapat di amati:

1. Jika Arus *Low* dengan derajat keanggotaan nilai (0,61) dan Tegangan *High* dengan derajat keanggotaan (1), maka SOC memiliki nilai derajat keanggotaan *High* (0,61). Maka kesimpulannya adalah SOC baterai dalam kondisi *High* dan relay akan dihidupkan ketika baterai penuh.
2. Jika Arus *Medium* dengan derajat keanggotaan (0,11) dan Tegangan *High* dengan derajat keanggotaan (1), maka SOC memiliki nilai derajat keanggotaan *High* (0,11). Maka kesimpulannya adalah baterai dalam kondisi *High* dan relay akan dihidupkan ketika baterai penuh.
3. Jika Arus *High* dengan derajat keanggotaan (1) dan Tegangan *Medium* dengan derajat keanggotaan (0,15), maka SOC memiliki nilai derajat keanggotaan *Medium* (0,15) . Maka kesimpulannya adalah baterai dalam kondisi *Medium* atau berada di fase CV (*Constant Voltage*).
4. Jika Arus *High* dengan derajat keanggotaan (1) dan Tegangan *High* dengan derajat keanggotaan (1), maka SOC memiliki nilai derajat keanggotaan *High* (1) . Maka kesimpulannya adalah baterai dalam kondisi penuh dan relay aktif, untuk menghindari *overcharged*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian untuk sistem CC-CV pada sistem pengisian daya aki menggunakan metode *fuzzy logic*, penulis dapat menarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Besarnya tegangan dan arus pada saat pengisian baterai dipengaruhi oleh adanya rangkaian CC-CV pada CC-CV *Buck Converter* yang menghasilkan arus konstan 4,99 – 5A pada awal pengisian dan tegangan konstan 14 V. Pada saat baterai mendekati SOC 100% arus *charging* yang digunakan kecil, sehingga tidak akan menyebabkan *overcharge* pada baterai aki. Selain itu, relay pada alat akan memutuskan *charging* secara otomatis ketika baterai telah terisi penuh, sehingga dapat memaksimalkan tegangan baterai yang diisi dan dapat menghindari baterai mengalami *overcharge* akibat tegangan yang berlebih. Oleh karena itu, sistem pengisian daya aki dengan metode CC-CV ini mampu menghindari *overcharging* saat proses pengisian daya aki.
2. Metode *fuzzy* cukup akurat untuk sistem kontrol pengisian daya baterai CC-CV yang bertujuan untuk menghindari *overcharged*. Ketika output SOC baterai *fuzzy* bernilai *High* maka keputusan yang diambil adalah mengaktifkan relay untuk memutus proses pengisian daya, sehingga meminimalisir potensi *overcharging*.

5.2 Saran

Berdasarkan pengerjaan laporan tugas ini masih terdapat hal-hal yang harus diperbaiki. Maka dari itu, terdapat beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut :

1. Untuk penulis selanjutnya, dapat mengkombinasi metode *fuzzy logic* dengan metode-metode lainnya untuk penganalisaan data. Sehingga didapatkan sistem pengisian daya baterai yang lebih optimal.
2. Untuk selanjutnya, selain mempertimbangkan besar arus, tegangan, dan SOC baterai secara *real-time* alangka lebih baik jika mengikut sertakan parameter suhu. Sehingga dapat dihasil pengisian daya yang semakin optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. A. Asfani *et al.*, “Electric Vehicle Research in Indonesia: A Road map, Road tests, and Research Challenges,” *IEEE Electrif. Mag.*, vol. 8, no. 2, pp. 44–51, 2020, doi: 10.1109/MELE.2020.2985485.
- [2] T. Y. Chian *et al.*, “A Review on Recent Progress of Batteries for Electric Vehicles,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 14, no. 24, pp. 4441–4461, 2019, [Online]. Available: <http://www.ripublication.com>
- [3] G. National and H. Pillars, *Modern electric, hybrid electric, and Fuel cell vehicles.*
- [4] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, “A review on electric vehicles: Technologies and challenges,” *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021, doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [5] V. Agarwal, K. Uthaichana, R. A. Decarlo, and L. H. Tsoukalas, “Development and validation of a battery model useful for discharging and charging power control and lifetime estimation,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 3, pp. 821–835, 2010, doi: 10.1109/TEC.2010.2043106.
- [6] M. T. Afif and I. A. P. Pratiwi, “Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid Dan Nickel-Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik-Review,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015.
- [7] R. Carter, A. Cruden, P. J. Hall, and A. S. Zaher, “An improved lead-acid battery pack model for use in power simulations of electric vehicles,” *IEEE*

- Trans. Energy Convers.*, vol. 27, no. 1, pp. 21–28, 2012, doi: 10.1109/TEC.2011.2170574.
- [8] H. A. Serhan and E. M. Ahmed, “Effect of the different charging techniques on battery life-time: Review,” *Proc. 2018 Int. Conf. Innov. Trends Comput. Eng. ITCE 2018*, vol. 2018-March, pp. 421–426, 2018, doi: 10.1109/ITCE.2018.8316661.
- [9] Dede Hendriono, “Baterai Asam-Timbal,” *henduino.github.io*, 2020.
- [10] J. Marchildon, M. L. Doumbia, and K. Agbossou, “SOC and SOH characterisation of lead acid batteries,” *IECON 2015 - 41st Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, pp. 1442–1446, 2015, doi: 10.1109/IECON.2015.7392303.
- [11] D. Widjanarko, “Studi Tingkat Penguasaan Rangkaian Sistem Pengisian (Charging System) Oleh Mahasiswa Pasca Proses Pembelajaran Mata Kuliah Teori Kelistrikan Otomotif,” *Lembaran Ilmu Kependidikan*, vol. 37, no. 1, pp. 1–6, 2008.
- [12] G. B. Alteri, M. Bonomo, F. Decker, and D. Dini, “Contact glow discharge electrolysis: Effect of electrolyte conductivity on discharge voltage,” *Catalysts*, vol. 10, no. 10, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/catal10101104.
- [13] Z. Huang, J. Liu, H. Zhai, and Q. Wang, “Experimental investigation on the characteristics of thermal runaway and its propagation of large-format lithium ion batteries under overcharging and overheating conditions,” *Energy*, vol. 233, p. 121103, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121103.
- [14] I. Susanti, R. Rumiasih, C. RS, and A. Firmansyah, “Pengisiannya Pada Mobil Listrik,” *Elektra*, vol. 4, no. 2, pp. 29–37, 2019.
- [15] M. Udin, B. S. Kaloko, and T. Hardianto, “Peramalan Kapasitas Baterai Lead Acid pada Mobil Listrik Berbasis Levenberg Marquardt Neural Network,” *Berk. Sainstek*, vol. 5, no. 2, p. 112, 2017, doi:

10.19184/bst.v5i2.5703.

- [16] F. Sutra Kamajaya and M. Muzmi Ulya, "Analisis Teknologi Charger Untuk Kendaraan Listrik - Review," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 3, pp. 163–166, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.03.4.
- [17] F. Rahmatullah, "Desain dan Simulasi Battery Charger Metode CC-CV (Constant Current-Constant Voltage) dengan Kontrol Logika Fuzzy Menggunakan MATLAB," *Cyclotron*, vol. 4, no. 2, pp. 18–22, 2021, doi: 10.30651/cl.v4i2.8621.
- [18] H. Bizhani, S. K. H. Sani, H. Rezazadeh, and S. M. Muyeen, "A Comprehensive Comparison of a Lead-Acid Battery Electro-Thermal Performance Considering Different Charging Profiles," *2021 IEEE 4th Int. Conf. Comput. Power Commun. Technol. GUCON 2021*, vol. Vi, no. September, pp. 1–6, 2021, doi: 10.1109/GUCON50781.2021.9573724.
- [19] X. Qu, H. Han, S. C. Wong, C. K. Tse, and W. Chen, "Hybrid IPT Topologies with Constant Current or Constant Voltage Output for Battery Charging Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 11, pp. 6329–6337, 2015, doi: 10.1109/TPEL.2015.2396471.
- [20] M. U. Ali, S. H. Nengroo, M. A. Khan, K. Zeb, M. A. Kamran, and H. J. Kim, "A real-time simulink interfaced fast-charging methodology of lithium-ion batteries under temperature feedback with fuzzy logic control," *Energies*, vol. 11, no. 5, 2018, doi: 10.3390/en11051122.
- [21] P. G. Horkos, E. Yammine, and N. Karami, "Review on different charging techniques of lead-acid batteries," *2015 3rd Int. Conf. Technol. Adv. Electr. Electron. Comput. Eng. TAECE 2015*, no. January, pp. 27–32, 2015, doi: 10.1109/TAECE.2015.7113595.
- [22] H. A. Catherine, J. F. Burgel, A. Rusek, and F. Feres, "Modelling and simulation of lead-acid battery charging," *J. Power Sources*, vol. 80, no. 1, pp. 17–20, 1999, doi: 10.1016/S0378-7753(98)00248-1.

- [23] A. Hadi, I. Said, M. Mansor, and H. Hussain, "Fast charger for Li-ion batteries based on battery temperature," *IET Semin. Dig.*, vol. 2014, no. CP659, 2014, doi: 10.1049/cp.2014.1504.
- [24] L. R. Dung, C. E. Chen, and H. F. Yuan, "A robust, intelligent CC-CV fast charger for aging lithium batteries," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2016-Novem, pp. 268–273, 2016, doi: 10.1109/ISIE.2016.7744901.
- [25] C. H. Cai, D. Du, and Z. Y. Liu, "Battery state-of-charge (SOC) estimation using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)," *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, vol. 2, pp. 1068–1073, 2003, doi: 10.1109/fuzz.2003.1206580.
- [26] I. Carlucho, R. De La Vega, M. Spina, and G. G. Acosta, "A Modular Battery Management System for Electric Vehicles," *2018 IEEE Bienn. Congr. Argentina, ARGENCON 2018*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ARGENCON.2018.8646227.
- [27] K. W. E. Cheng, B. P. Divakar, H. Wu, K. Ding, and H. F. Ho, "Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 1, pp. 76–88, 2011, doi: 10.1109/TVT.2010.2089647.
- [28] "PZEM-003 / 017 DC communication module," Solar - Thailand.
- [29] T. Qiang, G. Guangling, L. Hai, C. Lina, and W. Han, "Nodemcu-based Low-cost Smart Home Node Design," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 435, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/435/1/012013.
- [30] M. Gaudenzi Asinelli, M. Serra Serra, J. Molera Marimòn, and J. Serra Espauella, "The smARTS_Museum_V1: An open hardware device for remote monitoring of Cultural Heritage indoor environments," *HardwareX*, vol. 4, 2018, doi: 10.1016/j.ohx.2018.e00028.
- [31] A. C. Bento, "An Experiment with Arduino Uno and Tft Nextion for Internet of Things," *2018 Int. Conf. Recent Innov. Electr. Electron.*

- Commun. Eng. ICRIEECE 2018*, no. July 2018, pp. 1238–1242, 2018, doi: 10.1109/ICRIEECE44171.2018.9008416.
- [32] A. I. Ramadhani, S. D. Nugraha, P. Studi, T. Elektro, P. Elektronika, and N. Surabaya, “DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATTERY CHARGER VALVE REGULATED LEAD ACID DENGAN MONITORING STATE OF CHARGE MENGGUNAKAN METODE COULOMB COUNTING,” vol. 11, no. 1, pp. 63–68, 2022.
- [33] Y. Bai and D. Wang, “Fundamentals of Fuzzy Logic Control — Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications BT - Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications,” pp. 17–36, 2006.
- [34] F. Wahab, A. Sumardiono, A. R. Al Tahtawi, and A. F. A. Mulayari, “Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan,” *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8.
- [35] Z. Jamal *et al.*, “Development of Fuzzy Logic Controller For Trainer Kit Based on Microcontroller,” no. 93, pp. 36–41, 2016.
- [36] B. Mikrokontroller, *Sistem Robotika*.
- [37] R. Collin, Y. Miao, A. Yokochi, P. Enjeti, and A. Von Jouanne, “Advanced electric vehicle fast-charging technologies,” *Energies*, vol. 12, no. 10, 2019, doi: 10.3390/en12101839.
- [38] M. Nizam and N. A. Ali, “Design and Development of Fast Charging Battery Using Fuzzy Logic Control Technique,” *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 1, no. 1, p. 19, 2019, doi: 10.20961/jeeict.v1i1.34770.
- [39] M. W. Cheng, S. M. Wang, Y. S. Lee, and S. H. Hsiao, “Fuzzy controlled fast charging system for lithiumion batteries,” *Proc. Int. Conf. Power Electron. Drive Syst.*, no. June, pp. 1498–1503, 2009, doi:

10.1109/PEDS.2009.5385724.

- [40] E. Banguero, A. Correcher, Á. Pérez-Navarro, F. Morant, and A. Aristizabal, “A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems,” *Energies*, vol. 11, no. 4, pp. 1–15, 2018, doi: 10.3390/en11041021.
- [41] M. A. Khan *et al.*, “A novel supercapacitor/lithium-ion hybrid energy system with a fuzzy logic-controlled fast charging and intelligent energy management system,” *Electron.*, vol. 7, no. 5, pp. 1–19, 2018, doi: 10.3390/electronics7050063.
- [42] M. Bayya, U. M. Rao, B. V. V. S. N. Prabhakara Rao, and N. Moorthy Muthukrishnan, “Comparison of voltage charging techniques to increase the life of lead acid batteries,” *Proc. - 2018 IEEE 4th Int. Symp. Smart Electron. Syst. iSES 2018*, pp. 279–284, 2018, doi: 10.1109/iSES.2018.00067.

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

LAMPIRAN II

NODEMCU ESP8266

The NodeMCU (*Node MicroController Unit*) is an open-source software and hardware development environment built around an inexpensive System-on-a-Chip (SoC) called the ESP8266. The ESP8266, designed and manufactured by Espressif Systems, contains the crucial elements of a computer: CPU, RAM, networking (WiFi), and even a modern operating system and SDK. That makes it an excellent choice for Internet of Things (IoT) projects of all kinds.

However, as a chip, the ESP8266 is also hard to access and use. You must solder wires, with the appropriate analog voltage, to its pins for the simplest tasks such as powering it on or sending a keystroke to the “computer” on the chip. You also have to program it in low-level machine instructions that can be interpreted by the chip hardware. This level of integration is not a problem using the ESP8266 as an embedded controller chip in mass-produced electronics. It is a huge burden for hobbyists, hackers, or students who want to experiment with it in their own IoT projects.

But, what about Arduino? The Arduino project created an open-source hardware design and software SDK for their versatile IoT controller. Similar to NodeMCU, the Arduino hardware is a microcontroller board with a USB connector, LED lights, and standard data pins. It also defines standard interfaces to interact with sensors or other boards. But unlike NodeMCU, the Arduino board can have different types of CPU chips (typically an ARM or Intel x86 chip) with memory chips, and a variety of programming environments. There is an Arduino reference design for the ESP8266 chip as well. However, the flexibility of Arduino also means significant variations across different vendors. For example, most Arduino boards do not have WiFi capabilities, and some even have a serial data port instead of a USB port.

NodeMCU Specifications

The NodeMCU is available in various package styles. Common to all the designs is the base ESP8266 core. Designs based on the architecture have maintained the standard 30-pin layout. Some designs use the more common narrow (0.9”) footprint, while others



use a wide (1.1") footprint – an important consideration to be aware of.

The most common models of the NodeMCU are the Amica (based on the standard narrow pin-spacing) and the LoLin which has the wider pin spacing and large

board. The open-source design of the base ESP8266 enables the market to design new variants of the NodeMCU continually.

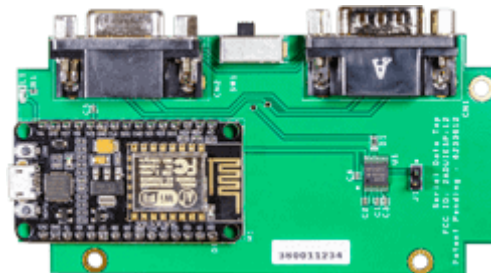
Official Amica NodeMCU



Amica NodeMCU measures 49mm x 26mm with a standard pin space of 0.1" between pins and 0.9" between rows.

The Amica NodeMCU is approximately 25% smaller in size than a closely compatible LoLin style NodeMCU

Official Amica NodeMCU on Carrier Board



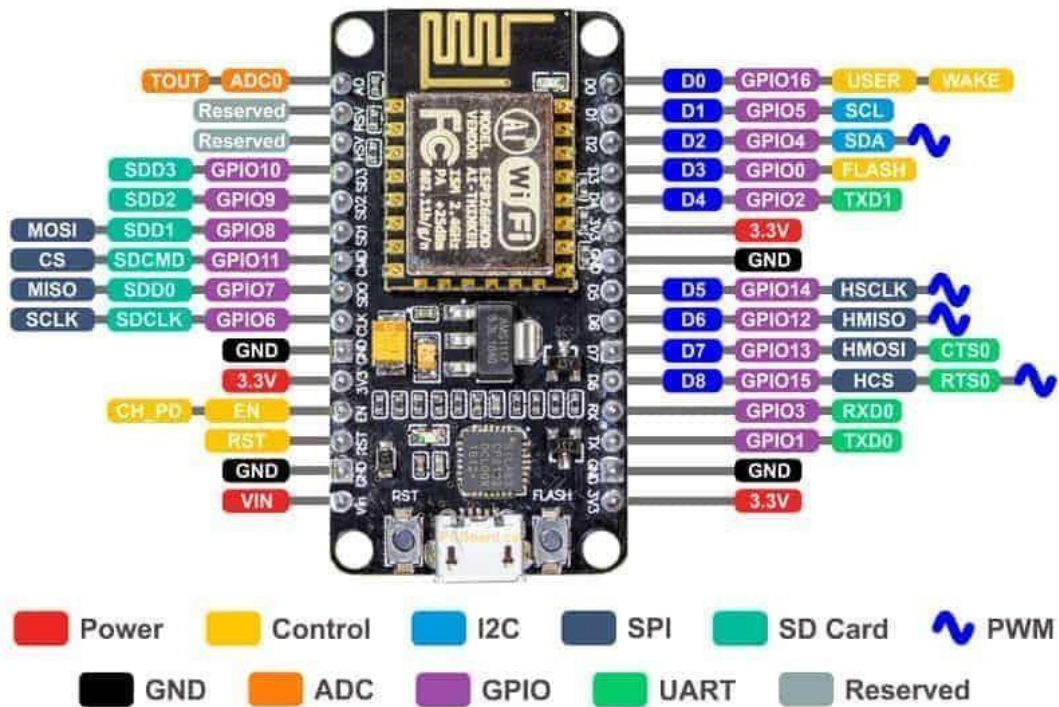
Amico NodeMCU mounted to a 102mm x 51mm carrier board with dual DB-09 male/female connectors

Lolin NodeMCU



LoLin style NodeMCU measures 58mm x 32mm with a pin spacing of 0.1" between pins and 1.1" between rows

NodeMCU Pinout and Functions Explained



- **Power Pins** There are four power pins. **VIN** pin and three **3.3V** pins.
- **VIN** can be used to directly supply the NodeMCU/ESP8266 and its peripherals. Power delivered on **VIN** is regulated through the onboard regulator on the NodeMCU module – you can also supply 5V regulated to the **VIN** pin
- **3.3V** pins are the output of the onboard voltage regulator and can be used to supply power to external components.
- **GND** are the ground pins of NodeMCU/ESP8266
- **I2C Pins** are used to connect I2C sensors and peripherals. Both I2C Master and I2C Slave are supported. I2C interface functionality can be realized programmatically, and the clock frequency is 100 kHz at a maximum. It should be noted that I2C clock frequency should be higher than the slowest clock frequency of the slave device.
- **GPIO Pins** NodeMCU/ESP8266 has 17 GPIO pins which can be assigned to functions such as I2C, I2S, UART, PWM, IR Remote Control, LED Light and Button programmatically. Each digital enabled GPIO can be configured to

internal pull-up or pull-down, or set to high impedance. When configured as an input, it can also be set to edge-trigger or level-trigger to generate CPU interrupts.

- **ADC Channel** The NodeMCU is embedded with a 10-bit precision SAR ADC. The two functions can be implemented using ADC. Testing power supply voltage of VDD3P3 pin and testing input voltage of TOUT pin. However, they cannot be implemented at the same time.

- **UART Pins** NodeMCU/ESP8266 has 2 UART interfaces (UART0 and UART1) which provide asynchronous communication (RS232 and RS485), and can communicate at up to 4.5 Mbps. UART0 (TXD0, RXD0, RST0 & CTS0 pins) can be used for communication. However, UART1 (TXD1 pin) features only data transmit signal so, it is usually used for printing log.

- **SPI Pins** NodeMCU/ESP8266 features two SPIs (SPI and HSPI) in slave and master modes. These SPIs also support the following general-purpose SPI features:

- 4 timing modes of the SPI format transfer
- Up to 80 MHz and the divided clocks of 80 MHz
- Up to 64-Byte FIFO

- **SDIO Pins** NodeMCU/ESP8266 features Secure Digital Input/Output Interface (SDIO) which is used to directly interface SD cards. 4-bit 25 MHz SDIO v1.1 and 4-bit 50 MHz SDIO v2.0 are supported.

- **PWM Pins** The board has 4 channels of Pulse Width Modulation (PWM). The PWM output can be implemented programmatically and used for driving digital motors and LEDs. PWM frequency range is adjustable from 1000 μ s to 10000 μ s (100 Hz and 1 kHz).

- **Control Pins** are used to control the NodeMCU/ESP8266. These pins include Chip Enable pin (EN), Reset pin (RST) and WAKE pin.

- **EN:** The ESP8266 chip is enabled when EN pin is pulled HIGH.

- When pulled LOW the chip works at minimum power.

- **RST:** RST pin is used to reset the ESP8266 chip.

- **WAKE:** Wake pin is used to wake the chip from deep-sleep.



- **Control Pins** are used to control the NodeMCU/ESP8266. These pins include Chip Enable pin (EN), Reset pin (RST) and WAKE pin.

- **EN:** The ESP8266 chip is enabled when EN pin is pulled HIGH.

When pulled LOW the chip works at minimum power.

- **RST:** RST pin is used to reset the ESP8266 chip.
- **WAKE:** Wake pin is used to wake the chip from deep-sleep.

PZEM-003/017 DC communication module

Overview

This document describes the specification of the PZEM-003/017 DC communication module, the module is mainly used for measuring DC voltage, current, active power, frequency and energy consumption, the module is without display function, the data is read through the RS485 interface.

PZEM-003: Measuring Range 10A (Built-in Shunt)

PZEM-017: Measuring Range 50A、100A、200A、300A (the current range is depend on the external shunt specification)

1. Function description

1.1 Voltage

1.1.1 Measuring range:0.05–300V. (when the test voltage is $< 7V$, please use the independent power supply mode)

1.1.2 Resolution:0.01V.

1.1.3 Measurement accuracy:1%.

1.2 Current

1.2.1 Measuring range:0.01–10A (PZEM-003) ;0.02–300A (PZEM-017; can be matched with 50、100、200、300A four kinds of shunt).

1.2.2 Resolution:0.01A

1.2.3 Measurement accuracy:1%

1.3 Power

1.3.1 Measuring range:0.1–3kW (PZEM-003) ;0.2–90kW (PZEM-017)

1.3.2 Resolution: 0.1W

1.3.3 Measurement accuracy:1%

1.4 Energy Consumption

1.4.1 Measuring range: 0–9999kWh

1.4.2 Resolution: 1Wh

1.4.3 Measurement accuracy:1%

1.4.4 Reset energy: use software to reset.

1.5 Over Voltage alarm

Voltage threshold can be set, divide into high voltage and low voltage threshold, when the measured voltage exceeds the threshold, it can alarm

The default high voltage threshold is 300V, the default low voltage threshold is 7V.

1.6 Communication interface

RS485 interface.

2. Communication protocol

2.1 Physical layer protocol

Physical layer use UART to RS485 communication interface. Baud rate is 9600, 8 data bits, 2 stop bit, no parity.

2.2 Application layer protocol

The application layer use the Modbus-RTU protocol to communicate. At present, it only supports function codes such as 0x03 (Read Holding Register), 0x04 (Read Input Register), 0x06 (Write Single Register), 0x41 (Calibration), 0x42 (Reset energy).etc.

0x41 function code is only for internal use (address can be only 0xF8), used for factory calibration and return to factory maintenance occasions, after the function code to increase 16-bit password, the default password is 0x3721.

The address range of the slave is 0x01 ~ 0xF7. The address 0x00 is used as the broadcast address, the slave does not need to reply the master. The address 0xF8 is used as the general address, this address can be only used in single-slave environment and can be used for calibration etc.operation.

2.3 Read the measurement result

The command format of the master reads the measurement result is(total of 8 bytes):

Slave Address + 0x04 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Number of Registers High Byte + Number of Registers Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Reply: Slave Address + 0x04 + Number of Bytes + Register 1 Data High Byte + Register 1 Data Low Byte + ... + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte

Error Reply: Slave address + 0x84 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

Abnormal code analyzed as following (the same below)

- 0x01, Illegal function;
- 0x02, Illegal address;
- 0x03, Illegal data;
- 0x04, Slave error.

The register of the measurement results is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB correspond to 0.01V
0x0001	Current value	1LSB correspond to 0.01A
0x0002	Power value low 16 bits	1LSB correspond to 0.1W
0x0003	Power value high 16 bits	
0x0004	Energy value low 16 bits	1LSB correspond to 1Wh
0x0005	Energy value high 16 bits	
0x0006	High voltage alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000 is not alarm
0x0007	Low voltage alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000 is not alarm

For example, the master sends the following command (CRC check code is replaced by 0xHH and 0xLL, the same below):

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to read 8 registers with slave address 0x01 and the start address of the register is 0x0000.

The correct reply from the slave is as following:

0x01 + 0x04 + 0x10 + 0x27 + 0x10 + 0x00 + 0x64 + 0x03 + 0xE8 + 0x00 + 0x00 + 0x00 +
0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

The above data shows

- Voltage is 0x2710, converted to decimal is 10000, display 100.00V;
- Current is 0x0064, converted to decimal is 100, display 1.00A;
- Power is 0x000003E8, converted to decimal is 1000, display 100.0W;
- Energy is 0x00000000, converted to decimal is 0, display 0Wh;
- High voltage alarm status 0x0000, indicates the current voltage is lower than the high voltage threshold.
- Low voltage alarm status 0x0000, indicates the current voltage is higher than the low voltage threshold.

2.4 Read and modify the slave parameters

At present, it only supports reading and modifying slave address and power

alarm threshold. The register is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0000	High voltage alarm threshold(5~350V), default is 300V	1LSB correspond to 0.01V

0x0001	Low voltage alarm threshold (1~350V) , default is 7V	1LSB correspond to 0.01V
0x0002	Modbus-RTU address	The range is 0x0001~0x00F7
0x0003	The current range (only for PZEM-017)	0x0000: 100A 0x0001: 50A 0x0002: 200A 0x0003: 300A

The command format of the master to read the slave parameters and read the measurement results are same (described in details in Section 2.3), only need to change the function code from 0x04 to 0x03.

The command format of the master to modify the slave parameters is (total of 8 bytes):

Slave Address + 0x06 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Response: Slave Address + 0x06 + Number of Bytes + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

Error Reply: Slave address + 0x86 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

For example, the master sets the slave's high voltage

alarm threshold: 0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x00 + 0x4E +

0x20 + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to set the 0x0000 register (high voltage alarm threshold) to 0x4E20 (200.00V) .

Set up correctly, the slave returns to the data which is sent

from the master. For example, the master sets the low

voltage alarm threshold of the slave 0x01 + 0x06 + 0x00 +

0x01 + 0x03 + 0xE8 + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to set the **0x0001** register (low voltage alarm threshold) to 0x03E8(10.00V).

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master. For example, the master sets the address of the slave

$0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x02 + 0x00 + 0x05 + 0xHH + 0xLL$

Indicates that the master needs to set the **0x0002** register (Modbus-RTU address) to 0x0005. Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

The command format of the master to reset the slave's energy is (total 4 bytes): Slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: Slave address + 0xC2 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

2.5 Calibration

The command format of the master to calibrate the slave is (total 6 bytes): 0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: 0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: 0xF8 + 0xC1 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

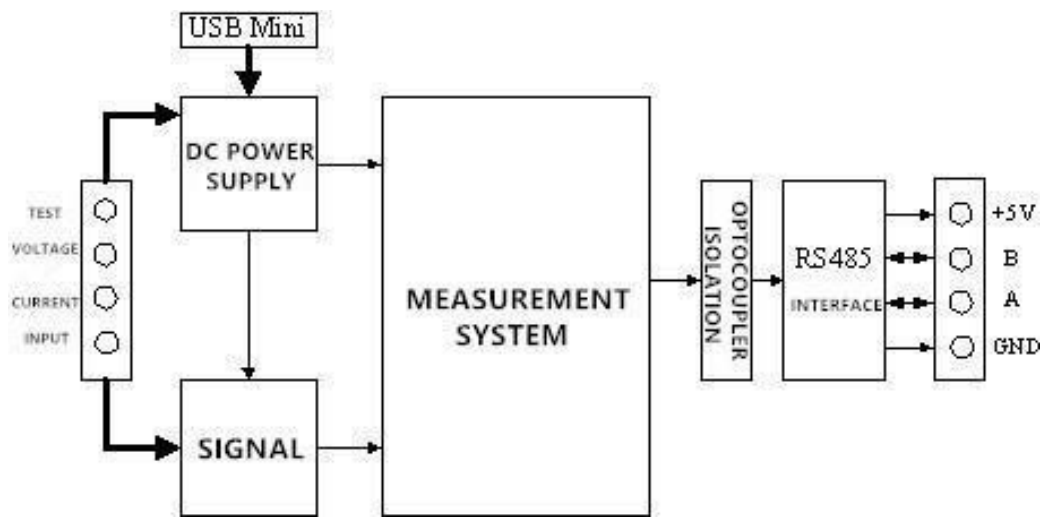
It should be noted that the calibration takes 3 to 4 seconds, after the master sends the command, if the calibration is successful, it will take 3 ~ 4 seconds to receive the response from the slave.

2.6 CRC check

CRC check use 16bits format, occupy two bytes, the generator polynomial is $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$, the polynomial value used for calculation is 0xA001.

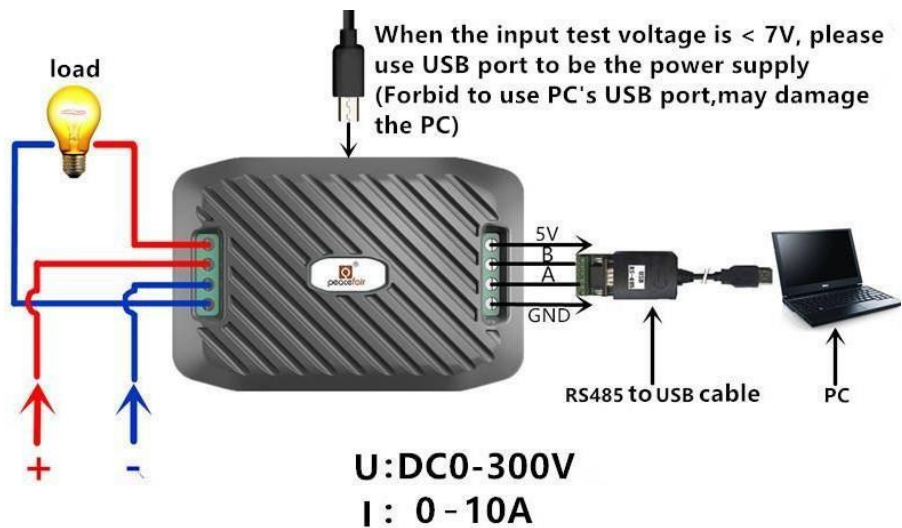
The value of the CRC check is all results of a frame data checking divide CRC

3. Functional block diagram

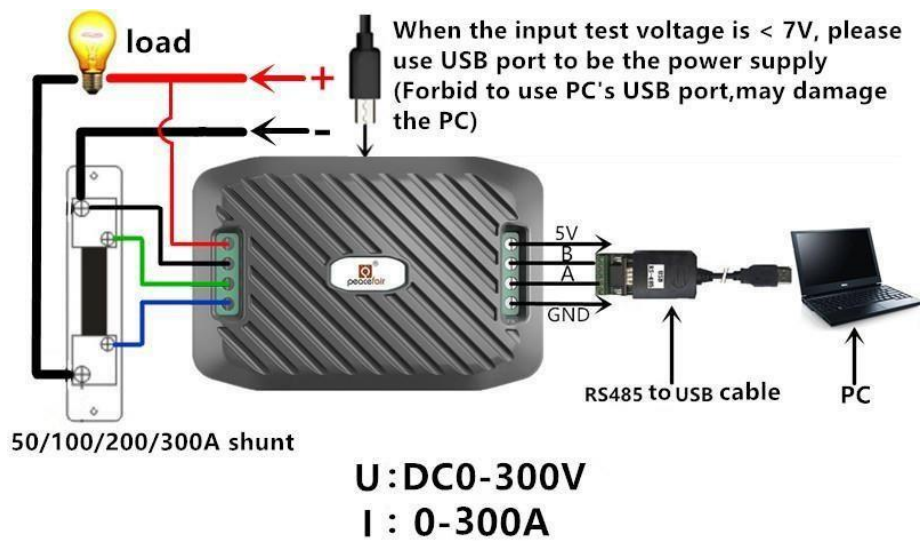


Picture 3 Functional block diagram

4. Wiring diagram



Picture 4.1 PZEM-003Wiring diagram



Picture 4.2 PZEM-017 Wiring diagram

5. Other instructions

5.1 RS485 interface is passive output, need external connect 5V power supply and the theexternal power supply should >100mA.

5.2 When the input test voltage is less than 7V, it must supply 5V independent work voltagethrough MICRO USB port;