

**PERANCANGAN *CONTROLLER CHARGING* BATERAI PADA
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN *FUZZY
LOGIC CONTROLLER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

(Skripsi)

Oleh

MARHADI

NPM 2115031016



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PERANCANGAN *CONTROLLER CHARGING* BATERAI PADA
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN *FUZZY
LOGIC CONTROLLER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Oleh

MARHADI

2115031016

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PERANCANGAN *CONTROLLER CHARGING* BATERAI PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh

MARHADI

Baterai merupakan komponen penting dalam penyediaan sistem peralatan listrik arus searah. Penggunaan baterai pada motor DC adalah sebagai penopang utama sebagai sumber energi yang digunakan. Seiring dengan penggunaan motor DC secara terus menerus dan perubahan beban pada motor, maka energi yang tersimpan pada baterai akan semakin berkurang. Penelitian ini akan mengembangkan sistem kendali pengisian baterai untuk pengendalian kecepatan motor DC menggunakan *fuzzy logic controller* berbasis IoT. *Fuzzy logic controller* merupakan sistem kendali yang baik yang menggunakan umpan balik dalam nilai yang tidak jelas. sehingga dalam pengambilan keputusan pengendalian kecepatan motor dan sistem pengisian dapat memperoleh hasil yang optimal. Teknologi *Internet Of Things* merupakan teknologi terkini yang dapat digunakan dalam monitoring dan pengendalian suatu sistem jarak jauh. Terakhir, sistem ini diharapkan dapat mendukung sistem otomasi industri dan sistem pengisian baterai pada kendaraan listrik dengan teknologi pintar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam pengendalian kecepatan motor DC, nilai yang diperoleh pada setpoint 1100 RPM, sistem kendali kecepatan menghasilkan *rise time* sebesar 1,43 detik, *settling time* sebesar 2 detik, dan *overshoot* sebesar 1,5%. Sementara itu, sistem kontrol tegangan pada kecepatan yang sama menghasilkan *rise time* 1,3 detik, *settling time* 3,4 detik, dan *overshoot* 0,7%. Selama pengujian 140 menit, tegangan baterai meningkat dari 25,9 V menjadi 26,57 V dengan arus pengisian rata-rata 3,4 A dan titik setel tegangan pengisian 27,5 V.

Kata kunci: Motor DC, *Fuzzy Logic Controller*, *Internet Of Things*, *Pengisian Daya Baterai*, Wemos Mega 2560.

ABSTRACT

DESIGN OF BATTERY CHARGING CONTROLLER FOR DC MOTOR SPEED CONTROL USING FUZZY LOGIC CONTROLLER BASED ON INTERNET OF THINGS

By

MARHADI

Battery is an important component in providing a direct current electrical equipment system. The use of batteries in DC motors is as the main support as a source of energy used. along with the continuous use of DC motors and changes in the load on the motor, the energy stored in the battery will decrease. This study will develop a battery charging control system for controlling DC motor speed using an IoT-based fuzzy logic controller. Fuzzy logic controller is a good control system that uses feedback in unclear values. so that in making decisions to control motor speed and charging systems can obtain optimal results. Internet Of Things technology is the latest technology that can be used in monitoring and controlling a remote system. Finally, this system is expected to support industrial automation systems and battery charging systems in electric vehicles with smart technology. The results of the study showed that in controlling the speed of a DC motor, the value obtained at the setpoint of 1100 RPM, the speed control system produced a rise time of 1.43 seconds, a settling time of 2 seconds, and an overshoot of 1.5%. Meanwhile, the voltage control system at the same speed produced a rise time of 1.3 seconds, a settling time of 3.4 seconds, and an overshoot of 0.7%. During the 140-minute test, the battery voltage increased from 25.9 V to 26.57 V with an average charging current of 3.4 A and a charging voltage set point of 27.5 V.

Keywords: DC Motor, Fuzzy Logic Controller, Internet Of Things, Battery Charging, Wemos Mega 2560.

Judul Skripsi : **PERANCANGAN *CONTROLLER CHARGING*
BATERAI PADA PENGENDALIAN
KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN
FUZZY LOGIC CONTROLLER BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

Nama Mahasiswa : **MARHADI**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2115031016**

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



Dr. Eng. Ir. Charles R Harahap, S.T., M.T. **Dr. Eng F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.**
NIP. 19691211199931001 NIP. 19691219199031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

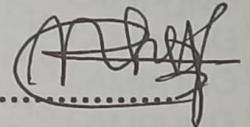
Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

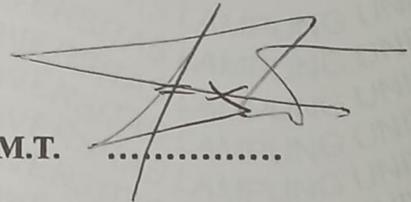
Ketua

: Dr. Eng. Ir. Charles R Harahap, S.T., M.T.



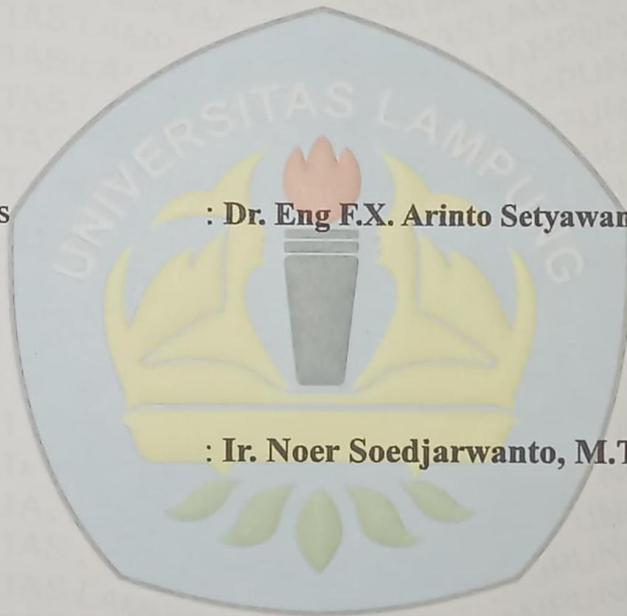
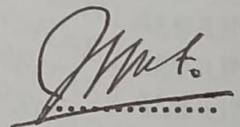
Sekretaris

: Dr. Eng F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.



Penguji

: Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. †
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 April 2025

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Perancangan *Controller Charging* Baterai pada Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* berbasis *Internet Of Things*”** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 April 2025



Marhadi

NPM. 2115031016

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Menggala pada tanggal 15 Maret 2003, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara pasangan bapak Apriwanto dan ibu Subaidah. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 1 Menggala Kota pada tahun 2015. Lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 4 Tulang Bawang Tengah dan lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2021, penulis menyelesaikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Tulang Bawang Tengah. Lalu pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Lampung pada Program Studi Teknik Elektro melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama masa perkuliahan dan menjadi mahasiswa aktif, penulis berperan aktif dalam berbagai organisasi dalam pengembangan diri penulis. Periode tahun 2022 dan 2023 penulis aktif sebagai anggota Departemen Keteknikan di Himatro (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) Unila dan menjadi anggota Kajian Syiar Islam Kemahasiswaan di Fossi-FT. Periode 2023 Penulis menjadi pengurus inti di UKM Catur sebagai kepala Departemen Kaderisasi dan anggota Kementerian Aksi Propaganda BEM Unila. Periode 2024 Penulis diamanahkan mejadi Wakil Ketua 1 di Dewan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknik (DPM-FT). Penulis melaksanakan Kerja Praktik di ULTG Tarahan PT. PLN (Persero) dan lolos MSIB (Magang Studi Independen Bersertifikat) batch 6 di PT. Industri Kereta Api (Persero). Penulis melaksanakan KKN (Kuliah Kerja Nyata) di desa Sumber Rejeki Mataram, Lampung Tengah.



PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT

Ku persembahkan Karya Tulis Ini

Untuk

Papah dan Mamah tercinta

Apriwanto & Subaidah

Kakak dan adik tersayang

Apriyansyah

Mulyadi

Teman-teman, kakak dan adik tingkat

Jurusan Teknik Elektro

Almamaterku

Universitas Lampung







Motto

*“Kesuksesan tidaklah datang ketika dirimu berdiam saja,
terkadang kau sudah berlari pun masih belum tentu didapati.
Akan tetapi, ketika dirimu melangkah pergi maka dirimu
sesungguhnya mendekati tujuan kesuksesan itu”*

*“Masih banyak cobaan yang harus di cobain, jadi lebih baik
tersandung karena berjalan daripada mengantuk karena diam.
Karena tidak ada kesimpulan tanpa adanya pendahuluan dan
hasil pembahasan”*

Marhadi



SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan *Controller Charging* Baterai Pada Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* Berbasis *Internet Of Things*”.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini dapat diselesaikan atas bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. Selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. Sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. Sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T. Sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi serta koreksi dalam penyusunan skripsi sehingga dapat selesai dengan baik.
6. Bapak Dr. Eng. F.X Arinto Setiawan, S.T., M.T. Sebagai Dosen Pembimbing Pendamping sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan solusi, saran, koreksi serta arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku Dosen Penguji Utama atas kesediannya dalam memberikan kritik dan saran sehingga dapat menjadikan skripsi ini menjadi lebih baik lagi.

8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan wawasannya sehingga penulis dapat selalu berkembang.
9. Para Mentor dan teman-teman MSIB batch 6 PT. Industri kereta Api (persero) yang telah berbagi ilmu dan membantu penulis dalam mendapatkan sumber pustaka yang terbatas.
10. Papah dan Mamah sebagai orang tua yang selalu mendukung dan memotivasi penulis dalam perkuliahan dan penulisan skripsi ini sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik dan lancar.
11. Teman-teman Organisasi Himatro.Fossi FT, DPM FT, BEM Unila, UKM Catur yang telah mengisi waktu luang dengan kegiatan yang memiliki manfaat yang didapatkan oleh penulis.
12. Teman-teman asisten Lab Konversi Energi Elektrik yang telah menjadi tempat berkeluh kesah dan membantu memotivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Sahabat berkeluh kesah penulis fadhila,dhea, dan siti rahmawati serta kezia sebagai teman seperjuangan dalam penyelesaian gelar sarjana ini.
14. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dari segi penyusunan maupun pemilihan kata. Oleh karena itu penulis memohon saran dan kritik membangun sebagai evaluasi pada skripsi ini. Terima kasih.

Bandar Lampung, 15 April 2025

Penulis,



Marhadi

2115031016

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO.....	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Rumusan Masalah	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Hipotesis Penelitian.....	5
1.7. Sistematika Penulisan.....	5

II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Motor DC	7
2.1.1. Konstruksi Motor DC	8
2.1.2. Prinsip Kerja Motor DC	9
2.1.3. Klasifikasi Motor DC	10
2.1.3.1. Motor DC Berpenguatan Bebas	11
2.1.3.2. Motor DC Berpenguatan Sendiri	11
2.2. Generator DC	13
2.2.1. Konstruksi Generator DC	14
2.2.2. Prinsip Kerja Generator DC	15
2.2.3. Klasifikasi Generator DC	16
2.2.3.1. Genarator DC Berpenguatan Bebas	16
2.2.3.2. Genarator DC Berpenguatan Sendiri	17
2.3. <i>Buck Converter</i>	18
2.4. <i>Boost Converter</i>	19
2.5. <i>Gate Driver</i>	20
2.6. Sensor	21
2.5.1. Sensor Tegangan	22
2.5.2. Sensor Arus	22
2.5.3. Sensor Kecepatan	23
2.7. Mikrokontroler	24
2.7.1. Wemos Mega 2560 <i>build in wifi</i> ESP8266	24
2.8. <i>Internet Of Things (IoT)</i>	26
2.9. <i>Blynk</i>	26
2.10. <i>Fuzzy Logic Controller</i>	27
2.9.1. Konfigurasi <i>Fuzzy Logic</i>	27

2.9.2. Metode <i>Inferensi Fuzzy Logic</i>	28
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	31
3.3. Diagram Blok Sistem.....	32
3.3.1. Diagram Blok Sistem Kendali Kecepatan Motor DC.....	32
3.3.2. Diagram Blok Sistem Kendali Tegangan <i>Output</i> Generator DC.....	32
3.3.3. Diagram Blok Sistem Peralatan Keseluruhan.....	33
3.4. Alat dan Bahan.....	33
3.4.1. Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	33
3.4.2. Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	34
3.5. Perancangan Sistem.....	34
3.5.1. Spesifikasi Motor DC dan Generator DC.....	34
3.5.2. Spesifikasi Baterai.....	35
3.5.3. Perancangan Rangkaian Sensor Arus.....	36
3.5.4. Perancangan Rangkaian Sensor Kecepatan.....	37
3.5.5. Perancangan Rangkaian <i>Boost Converter</i>	38
3.5.6. Perancangan Rangkaian <i>Buck Converter</i>	39
3.5.7. Perancangan <i>Fuzzy Logic Controller</i>	41
3.5.7.1. <i>Fuzzy Logic Controller</i> Kecepatan Motor DC.....	41
3.5.7.2. <i>Fuzzy Logic Controller</i> Tegangan Output Generator DC.....	44
3.6. Pengujian Alat.....	47
3.6.1. Pengujian Mikrokontroler.....	47
3.6.2. Pengujian <i>Boost Converter</i>	47
3.6.3. Pengujian <i>Buck Converter</i>	47
3.6.4. Pengujian Keseluruhan.....	47

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Hasil Rancangan	48
4.1.1 Hasil Rancangan Wemos Mega 2560	48
4.1.2 Hasil Rancangan <i>Controller Charging Battery</i>	49
4.1.3 Hasil Rancangan <i>Battery</i>	51
4.1.4 Hasil Rancangan <i>Boost Converter</i>	52
4.1.5 Hasil Rancangan <i>Buck Converter</i>	53
4.1.6 Hasil Rancangan Sensor Tegangan.....	54
4.1.7 Hasil Rancangan Sensor Arus.....	55
4.1.8 Hasil Rancangan Sensor Kecepatan.....	56
4.1.9 Hasil Rancangan Keseluruhan	56
4.2 Hasil Pengujian Rancangan	57
4.2.1 Hasil Pengujian Mikrokontroler	57
4.2.2 Hasil Pengujian <i>Fuzzy Logic Controller</i>	59
4.2.3 Hasil Pengujian <i>Boost Converter</i>	63
4.2.4 Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i>	64
4.2.5 Hasil Pengujian Sensor Kecepatan	66
4.2.6 Hasil Pengujian Sensor Tegangan	68
4.2.7 Hasil Pengujian Sensor Arus	70
4.2.8 Hasil Pengujian Kondisi Baterai.....	71
4.2.9 Hasil Pengujian aplikasi <i>blynk</i>	72
V. KESIMPULAN.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Konstruksi Motor DC.....	9
Gambar 2. 2 Sistem Kerja Motor DC.....	10
Gambar 2. 3 Motor DC Berpenguatan Bebas	11
Gambar 2. 4 Motor DC Seri.....	12
Gambar 2. 5 Motor DC Shunt.....	12
Gambar 2. 6 Motor DC Compound	13
Gambar 2. 7 Konstruksi Generator DC.....	15
Gambar 2. 8 Gambar Topologi Buck Converter	19
Gambar 2. 9 Boost Converter.....	20
Gambar 2. 10 TLP250.....	21
Gambar 2. 11 Sensor Tegangan.....	22
Gambar 2. 12 Sensor Arus	23
Gambar 2. 13 Sensor Kecepatan	23
Gambar 2. 14 Wemos Mega2560 + ESP8266.....	25
Gambar 2. 15 Blynk Application	27
Gambar 2. 16 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Kendali Kecepatan Motor DC	32
Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem Kendali Tegangan Output Generator DC	32
Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem Peralatan Keseluruhan	33
Gambar 3. 5 Motor Generator DC	35
Gambar 3. 6 Baterai LifePo4 3.2V 100 Ah.....	36
Gambar 3. 7 Sensor Arus	37
Gambar 3. 8 Sensor Optocoupler LM393	37
Gambar 3. 9 Rancangan Rangkaian Boost Converter.....	38
Gambar 3. 10 Rancangan Rangkaian Buck Converter.....	39

Gambar 3. 11 Fuzzy Logic Designer	41
Gambar 3. 12 Membership Function error kecepatan.....	42
Gambar 3. 13 Membership Function derror kecepatan.....	42
Gambar 3. 14 Membership Function duty cycle kecepatan.....	43
Gambar 3. 15 Membership Function error tegangan	44
Gambar 3. 16 Membership Function dError tegangan.....	45
Gambar 3. 17 Membership Function duty cycle tegangan	46
Gambar 4. 1 Tampilan Wemos Mega 2560.....	49
Gambar 4. 2 (a). Layout Controller Charging Battery (b). Hasil Rancangan Controller Charging Battery.....	50
Gambar 4. 3 Baterai LifePO4 24V 100Ah.....	51
Gambar 4. 4 (a). Layout Boost Converter (b). Rangkaian Boost Converter.....	52
Gambar 4. 5 (a) Layout Buck Converter (b). Rangkaian Buck Converter	53
Gambar 4. 6 Rangkaian Pembagi Tegangan	54
Gambar 4. 7 Sensor arus ACS712.....	55
Gambar 4. 8 Rangkaian Sensor Kecepatan LM393	56
Gambar 4. 9 Rancangan sistem penelitian keseluruhan.....	57
Gambar 4. 10 PWM yang dihasilkan pada saat (a) Setpoint 900RPM, (b) Setpoint 1100RPM, (c) Setpoint 1300RPM.	58
Gambar 4. 11 Grafik Pengujian boost converter.....	64
Gambar 4. 12 Grafik Pengujian buck converter.....	66
Gambar 4. 13 Grafik Kondisi tegangan baterai	71
Gambar 4. 14 Tampilan blynk dengan setpoint (a). 900RPM, (b). 1100RPM, (c). 1300RPM, (d). RPM dari 900 berubah menjadi 1300	72

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Spesifikasi Wemos Mega 2560 + ESP8266	25
Tabel 3. 1 Spesifikasi Shunt Wound Machine.....	35
Tabel 3. 2 Spesifikasi baterai LifePO4.....	36
Tabel 3. 3 Spesifikasi Sensor Arus	37
Tabel 3. 4 Spesifikasi <i>Boost Converter</i>	38
Tabel 3. 5 Spesifikasi Buck Converter	40
Tabel 3. 6 Rule Base Fuzzy Kecepatan Motor DC	43
Tabel 3. 7 Rule Base Fuzzy Tegangan Generator DC.....	46
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Fuzzy Logic Controller Kecepatan.....	59
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Fuzzy Logic Controller Tegangan Charging.....	61
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran boost converter.....	63
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran buck converter	65
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran sensor kecepatan dengan tachometer	67
Tabel 4. 6 Perbandingan sensor kecepatan dan Tachometer	68
Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Sensor Tegangan dengan Multimeter	68
Tabel 4. 8 Perbandingan Sensor tegangan dengan Multimeter	69
Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Sensor arus dan Multimeter	70
Tabel 4. 10 Perbandingan Sensor arus dengan Multimeter.....	71

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Datasheet</i> IRFP450.	82
Lampiran 2. <i>Datasheet</i> TLP250.	84
Lampiran 3. Hasil Pengujian kecepatan dan tegangan.....	85

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan motor DC dalam berbagai aplikasi industri dan kendaraan listrik semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Motor DC banyak digunakan karena kemampuannya dalam memberikan torsi dan kecepatan yang tinggi serta memiliki respons yang cepat terhadap perubahan beban. Namun, untuk memastikan kinerja yang optimal dari motor DC, diperlukan sistem pengendalian kecepatan yang efisien dan akurat. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pengendalian kecepatan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC), metode ini dapat menangani ketidakpastian dan non linearitas pada sistem dengan lebih baik jika dibandingkan dengan metode konvensional[1].

Penggunaan baterai sebagai sumber energi utama pada motor listrik DC secara terus-menerus akan membuat kapasitas baterai yang tersimpan akan menurun. Sehingga memerlukan sistem pengisian daya (*charging*) yang efisien untuk memastikan umur panjang dan kinerja yang optimal. Sistem pengisian daya baterai yang tidak optimal dapat menyebabkan penurunan kapasitas baterai, memperpendek umur baterai, dan meningkatkan risiko kerusakan. Oleh karena itu, perancangan *controller* yang efektif untuk proses charging baterai menjadi sangat penting dalam sistem yang melibatkan motor DC[2].

DC-DC Konverter merupakan komponen utama yang digunakan sebagai teknologi pengisian daya baterai, sehingga dapat digunakan kembali untuk menggerakkan motor listrik. *Charging controller* yang digunakan harus dapat memastikan bahwa daya yang dihasilkan dapat memberikan *supply* yang cukup sehingga baterai dapat menyimpan energi yang berasal dari sumber[3].

Pemantauan tegangan, arus dan pengendalian kecepatan putaran motor secara terus menerus dapat menggunakan teknologi IoT. Teknologi *Internet of Things* telah membuka peluang baru dalam pengembangan sistem kontrol yang lebih cerdas dan terintegrasi. Dengan adanya penerapan IoT pada sistem pengendalian kecepatan motor DC dan pengisian baterai dapat dioptimalkan melalui pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara *real time*. Integrasi IoT memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus, analisis kondisi sistem, dan penyesuaian kontrol yang lebih presisi berdasarkan data yang diperoleh[4].

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Adiansyah (2022) dengan judul “PERANCANGAN SISTEM *CHARGING* BATERAI DENGAN DC- DC CONVERTER BERBASIS PANEL SURYA”. Pada penelitian tersebut membuat sistem untuk kontroler *charging* baterai dengan menggunakan *buck boost converter* untuk mengontrol tegangan output dari panel surya yang digunakan sebagai sumber untuk *charging* baterai. Hasil dari penelitian bahwa untuk melakukan *charging* baterai 12V 7Ah membutuhkan waktu selama 80 menit dengan tegangan baterai dari 11,40 V sampai dengan 12,48[5].

Widhiawan (2021) melakukan penelitian dengan judul “PERANCANGAN SISTEM *CHARGING* BATERAI MENGGUNAKAN *BUCK-BOOST CONVERTER* DENGAN SUMBER PANEL SURYA BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO NANO”. Pada penelitian tersebut merancang sistem pengisian baterai menggunakan arduino nano untuk melakukan proses kontrol tegangan output pada rangkaian *buck boost converter* yang digunakan untuk pengisian baterai. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa *battery charging* mencapai efisiensi rata-rata 90,06 %. Secara keseluruhan tegangan *charging* rata-rata yang terbaca sekitar 13,58 Volt dan arus *charging* yang dihasilkan rata-rata 0,44 Ampere. Charging battery 12 Volt membutuhkan waktu kurang lebih 120 menit dari keadaan *battery* 11,35 Volt sampai 12,63 Volt[6].

Berdasarkan pemaparan diatas, pada penelitian ini penulis akan melakukan perancangan *Controller charging* untuk baterai dengan *System Charging* menggunakan motor listrik DC yang tercouple dengan generator DC. Dimana pada sistem ini baterai akan sebagai sumber energi yang menggerakkan motor listrik,

lalu generator listrik yang tercouple dengan motor listrik akan bergerak dan menghasilkan energi listrik yang akan digunakan sebagai sumber untuk *recharging* baterai. Dengan Judul penelitian “PERANCANGAN *CONTROLLER CHARGING* BATERAI PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS*”

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan kendali kecepatan Motor DC berbasis *Internet Of Things (IoT)*.
2. Merancang dan membuat *System Controller Charging* dari pengendalian kecepatan Motor DC.
3. Mengimplentasikan *Fuzzy Logic Controller* pada kendali kecepatan motor DC dan *System Controller Charging*.
4. Melakukan monitoring kecepatan, tegangan, dan arus secara *real time* dengan menggunakan sistem IoT pada aplikasi *Blynk*.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memonitoring dan mengatur kecepatan Motor DC dari jarak jauh menggunakan sistem *Internet Of things (IoT)*.
2. Memonitoring data pengukuran sensor kecepatan, tegangan, dan arus pada pengendalian Motor DC dengan sistem *Internet Of Things (IoT)*.
3. Memonitoring data pengukuran sensor tegangan dan arus pada *Controller Charging Battery* dengan sistem *Internet Of Things (IoT)*.
4. Digunakan sebagai referensi dalam pengembangan *Controller System Charging Battery* pada kendaraan listrik.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah untuk dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem yang dapat digunakan untuk melakukan kendali kecepatan motor DC dengan jarak jauh?
2. Bagaimana merancang *System Charging* yang dapat digunakan untuk mengisi baterai pada pengendalian kecepatan motor DC?
3. Bagaimana cara melakukan monitoring tegangan, arus, dan kecepatan pada kendali kecepatan motor DC secara *real time* dengan jarak jauh?
4. Bagaimana cara merancang sistem kontroler yang dapat digunakan untuk melakukan *charging battery* pada kendali kecepatan motor DC?

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan Motor DC dengan tipe kumparan jangkar dan kumparan medan.
2. Menggunakan Generator DC dengan tipe kumparan jangkar dan kumparan medan.
3. Menggunakan Mikrokontroler Wemos Mega 2560 *build in wifi* ESP8266 sebagai kontroler rangkaian elektronika untuk menghasilkan PWM dan pembaca sensor tegangan, arus, dan kecepatan serta untuk serial komunikasi ke server pada aplikasi Blynk.
4. Sensor tegangan menggunakan rangkaian elektronika pembagi tegangan dengan menggunakan resistor.
5. Sensor arus menggunakan rangkaian elektronika dengan IC ACS712 untuk membaca arus yang mengalir pada rangkaian.
6. Sensor kecepatan menggunakan modul sensor *Optocoupler* dengan IC LM393 dan *disk encoder* 20 lubang untuk membaca kecepatan putaran motor.
7. Rangkaian pengendalian kecepatan Motor DC dan *Controller Charging* menggunakan sistem *close Loop* dengan menerapkan *Fuzzy Logic Controller*.

8. Rangkaian kendali kecepatan dan *controller charging* menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM).
9. Implementasi *Internet Of Things (IoT)* dilakukan pada pengendalian kecepatan motor dan pengukuran tegangan, arus, dan kecepatan motor.

1.6. Hipotesis Penelitian

Perancangan *Controller Charging* baterai pada pengendalian kecepatan motor DC dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dapat dijadikan referensi dalam pengembangan *System Charging* di kendaraan listrik. Baterai yang digunakan sebagai sumber penggerak Motor DC yang di *couple* dengan Generator DC untuk menghasilkan energi listrik sebagai sumber *charging* kembali untuk mengisi baterai. Pengendalian kecepatan Motor DC dilakukan dengan mengubah tegangan input pada kumparan jangkar menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dalam menghasilkan tegangan yang lebih stabil. Generator DC menghasilkan energi listrik berdasarkan kecepatan putaran rotor yang digunakan sebagai sumber untuk melakukan *recharging* pada baterai yang digunakan pada pengendalian kecepatan Motor DC.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori penunjang yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang hal-hal yang dilakukan dalam penelitian, seperti; waktu dan tempat penelitian, serta metode dan proses perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) terkait penelitian yang dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil perancangan, pengujian, serta pembahasan terhadap hasil penelitian yang telah diperoleh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat simpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi listrik dan sebaliknya dengan menerapkan prinsip elektromagnetik. Motor DC atau motor arus searah salah satu jenis motor yang banyak digunakan untuk keperluan yang membutuhkan pengaturan kecepatan dibandingkan dengan motor arus bolak-balik. Kecepatan dari motor DC yang mudah diatur menjadikan motor ini sering diimplementasikan pada pemakaian yang memerlukan rentang kecepatan yang lebar atau pengaturan yang presisi pada keluaran yang diinginkan. Motor DC memiliki beberapa metode pengaturan yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatannya, sehingga banyak peralatan industri dan rumah tangga menggunakan motor jenis ini[7].

Motor DC membutuhkan suplai tegangan arus searah yang digunakan untuk menggerakkannya. Motor DC memiliki dua bagian utama yaitu, bagian yang bergerak disebut dengan rotor dan bagian yang tetap atau diam disebut dengan stator. Stator pada motor dc merupakan tempat menghasilkan medan magnet yang dihasilkan melalui kawat kumparan atau menggunakan magnet permanen. Sedangkan rotor adalah tempat untuk arus listrik mengalir melalui kumparan jangkar[8].

Kecepatan motor DC bisa diubah dengan mengatur besarnya gaya gerak listrik yang dihasilkan. Semakin besar gaya gerak listrik, maka kecepatan motor DC akan meningkat, dan sebaliknya, jika gaya gerak listrik berkurang, maka kecepatan motor juga akan menurun. Gaya gerak listrik ini dapat diubah dengan menyesuaikan tegangan masukan ke motor atau dengan mengubah arus dan

hambatan pada jangkar motor. Hubungan antara tegangan V_t dan E_a dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_a = V_t - I_a R_a \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

E_a = Gaya gerak listrik (Volt)

V_t = Tegangan masukan (Volt)

I_a = Arus jangkar (Ampere)

R_a = Tahanan jangkar (Ampere)

2.1.1. Konstruksi Motor DC

Terdapat beberapa bagian konstruksi penyusun pada Motor DC yang berperan sehingga dapat terjadinya perubahan energi listrik menjadi mekanik dengan menerapkan prinsip elektromagnetik[4] yaitu:

1. Stator

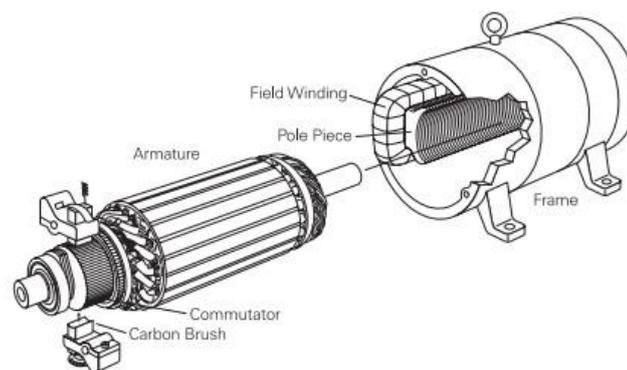
Stator merupakan komponen dari motor DC yang tetap atau tidak bergerak. Umumnya, stator terbuat dari lilitan kawat tembaga atau menggunakan magnet permanen. Stator ini terdiri dari beberapa kutub yang saling berlawanan arah. Kutub-kutub tersebut mengelilingi rotor dan menciptakan medan magnet. Jumlah kutub yang lebih banyak akan memudahkan rotor untuk berputar.

2. Rotor

Rotor adalah komponen berbentuk silinder dalam motor listrik yang berputar pada porosnya atau bantalan. Ketika arus mengalir melalui rotor, rotor tersebut menjadi elektromagnetik. Rotor berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub stator sampai kutub utara dan selatan magnet bertukar posisi. Ketika ini terjadi, arah arus akan berbalik untuk mengubah posisi kutub-kutub utara dan selatan motor.

3. Komutator

Komutator adalah komponen penting dalam motor, yang berfungsi untuk mengalihkan arus listrik antara rotor dan rangkaian eksternal. Komutator ini biasanya berbentuk silinder dan terbuat dari beberapa segmen tembaga atau logam lainnya yang diisolasi satu sama lain[9]. Segmen-segmen tersebut dipasang di sekitar poros rotor dan terhubung ke lilitan kawat di dalam rotor. Sikat (*brushes*) yang biasanya terbuat dari karbon atau logam bersentuhan dengan permukaan komutator. Saat rotor berputar, komutator mengubah arah arus listrik yang mengalir melalui gulungan rotor[10]. Ini memungkinkan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor untuk selalu berinteraksi secara efektif dengan medan magnet yang dihasilkan oleh stator, sehingga menghasilkan putaran yang terus menerus. Konstruksi motor DC dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini



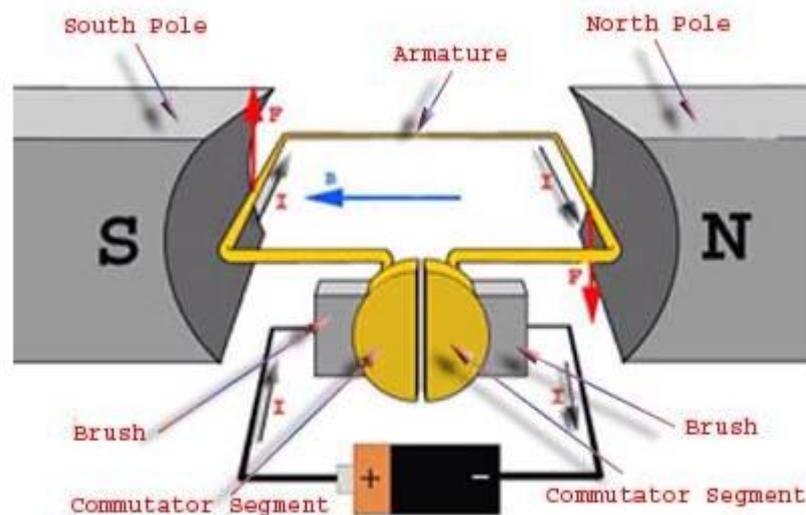
Gambar 2. 1 Konstruksi Motor DC
(Sumber: <https://automation.or.id/>)

2.1.2. Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC beroperasi berdasarkan prinsip medan elektromagnetik yang dihasilkan ketika arus listrik mengalir melalui gulungan kawat. Komponen utama motor DC meliputi stator, yang menciptakan medan magnet statis, dan rotor yang berputar di dalam medan magnet tersebut. Ketika arus listrik dari sumber daya eksternal mengalir melalui komutator ke gulungan rotor, ini menghasilkan medan magnet di sekitar rotor. Medan magnet ini berinteraksi dengan medan magnet yang ada pada stator, menciptakan gaya yang memutar rotor. Kombinasi dari medan magnet statis

dan medan magnet yang berubah-ubah ini menyebabkan rotor berputar terus menerus.

Salah satu kunci utama dalam kerja motor DC adalah komutator, yang berfungsi mengalihkan arus listrik sehingga polaritas medan magnet pada rotor terus berubah secara periodik. Saat rotor berputar, komutator mengubah arah arus listrik melalui gulungan rotor, yang mengakibatkan medan magnet yang berlawanan arah dihasilkan pada setiap setengah putaran[10]. Motor DC memiliki keunggulan dalam hal kontrol kecepatan dan torsi yang lebih baik dibandingkan dengan motor lainnya. Dengan mengatur tegangan atau arus yang masuk ke motor, kita dapat mengontrol kecepatan putaran rotor.



Gambar 2. 2 Sistem Kerja Motor DC
(Sumber: <https://www.electrical4u.com/>)

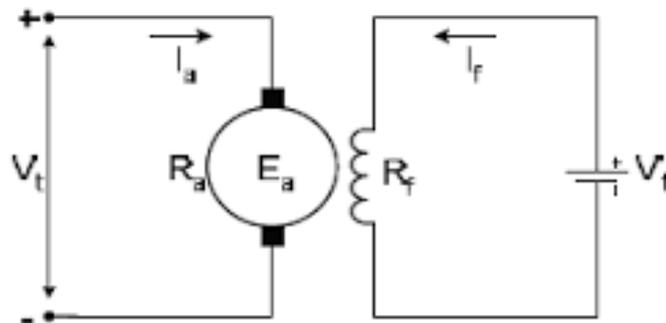
Jika arus mengalir pada suatu konduktor, akan timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Aturan tangan kanan bisa digunakan untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor.

2.1.3. Klasifikasi Motor DC

Dalam aplikasi penggunaan Motor DC terdapat beberapa klasifikasi yang digunakan untuk menggerakkan antara lain:

2.1.3.1. Motor DC Berpenguatan Bebas

Jenis ini memiliki karakteristik di mana penguatan medan magnet dan arus jangkar diatur secara independen. Dalam jenis motor ini, medan magnet dihasilkan oleh kumparan medan yang mendapat arus dari sumber daya terpisah, bukan dari tegangan jangkar[11]. Ini memungkinkan kontrol yang lebih fleksibel dan presisi terhadap kecepatan dan torsi motor. Dengan pengaturan arus medan secara terpisah, kita dapat meningkatkan atau menurunkan medan magnet tanpa mempengaruhi arus jangkar, sehingga menghasilkan kinerja yang lebih stabil dan responsif terhadap perubahan beban.



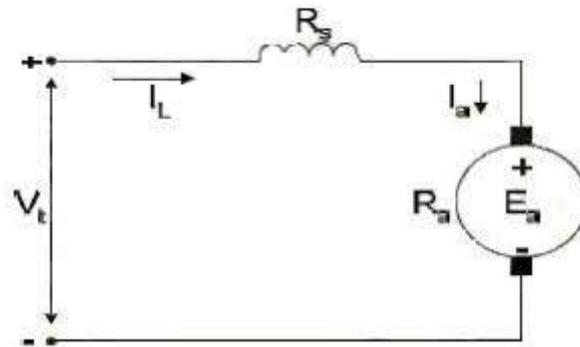
Gambar 2. 3 Motor DC Berpenguatan Bebas
(Sumber: <https://www.electrical4u.com/>)

2.1.3.2. Motor DC Berpenguatan Sendiri

Pada jenis klasifikasi motor ini terdapat tiga jenis yang digunakan sebagai berikut:

1. Motor DC Seri

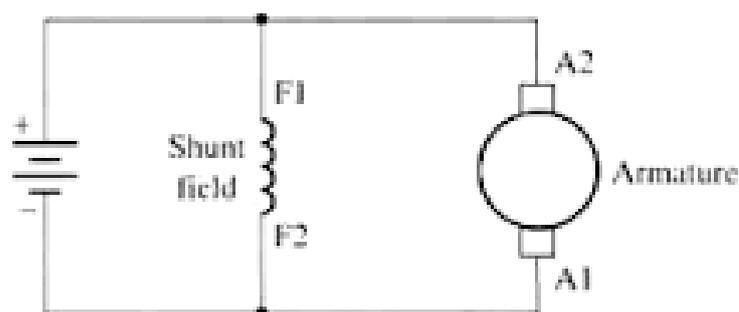
Motor dc seri adalah jenis motor di mana kumparan medan dan kumparan jangkar disusun secara seri dalam satu rangkaian. Pada motor ini, arus yang sama mengalir melalui kumparan medan dan jangkar. Hal ini berarti bahwa saat arus meningkat, medan magnet yang dihasilkan juga semakin kuat, sehingga menghasilkan torsi yang besar[12]. Karakteristik utama dari motor DC seri adalah kemampuannya untuk menghasilkan torsi awal yang sangat tinggi, yang sangat berguna dalam aplikasi yang membutuhkan dorongan awal yang kuat, seperti dalam kendaraan listrik dan alat berat.



Gambar 2. 4 Motor DC Seri
(Sumber: <https://www.electrical4u.com/>)

2. Motor DC Shunt

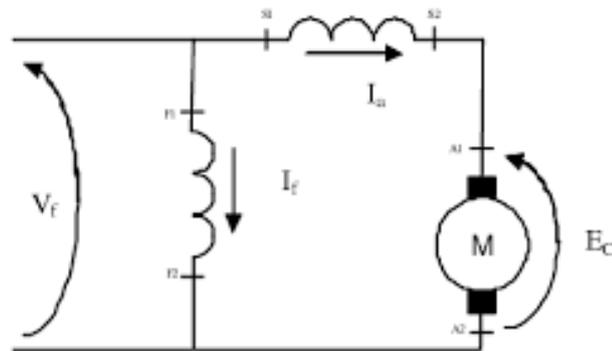
Motor DC Shunt adalah tipe motor di mana kumparan medan dan kumparan jangkar dihubungkan secara paralel atau shunt. Pada motor ini, kumparan medan terhubung secara paralel dengan jangkar, sehingga medan magnet dihasilkan oleh arus yang terpisah dari arus jangkar. Ini memungkinkan motor untuk mempertahankan kecepatan yang hampir konstan di bawah berbagai kondisi beban, karena medan magnet tetap stabil meskipun ada perubahan beban[13]. Kecepatan motor DC shunt dapat dikontrol dengan mengatur tegangan suplai atau dengan menambah tahanan di sirkuit medan, membuatnya ideal untuk aplikasi yang memerlukan kontrol kecepatan yang presisi dan stabil.



Gambar 2. 5 Motor DC Shunt
(Sumber: <https://www.electrical4u.com/>)

3. Motor DC *compound*

Motor DC *compound* adalah jenis motor listrik yang menggabungkan karakteristik dari motor DC series dan motor DC shunt. Dalam motor ini, terdapat dua jenis kumparan medan yaitu kumparan medan seri yang terhubung secara seri dengan jangkar, dan kumparan medan shunt yang terhubung secara paralel dengan jangkar. Kombinasi ini memungkinkan motor DC compound untuk mendapatkan keunggulan dari kedua jenis motor, yakni kemampuan menghasilkan torsi awal yang tinggi seperti motor DC seri serta kemampuan mempertahankan kecepatan yang hampir konstan di bawah berbagai kondisi beban seperti motor DC shunt. Ini membuat motor DC compound sangat serbaguna dan ideal untuk aplikasi yang memerlukan torsi awal yang kuat sekaligus kecepatan yang stabil.



Gambar 2. 6 Motor DC *Compound*
(Sumber: <https://www.electrical4u.com/>)

2.2. Generator DC

Pada prinsipnya mesin listrik dapat berlaku sebagai motor maupun sebagai generator. Perbedaannya terletak dalam konversi energinya dimana generator mengubah energi masuk mekanik menjadi energi keluar listrik, sedangkan motor mengubah energi masuk listrik menjadi energi keluar mekanik[4]. Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu generator berpenguatan bebas dan generator berpenguatan sendiri.

2.2.1. Konstruksi Generator DC

Konstruksi Generator DC memiliki kesamaan dengan Motor DC yaitu terdapat beberapa bagian utama yang ada di generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik adalah sebagai berikut:

1. Stator

Stator pada generator searah adalah komponen statis yang berperan penting dalam menghasilkan medan magnet yang diperlukan untuk konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Stator terdiri dari beberapa kutub magnetik yang ditempatkan di sekitar rotor dan tidak bergerak. Kutub-kutub pada stator bisa berupa magnet permanen atau elektromagnet yang mendapatkan arus dari sumber eksternal. Ketika rotor yang berputar memotong garis-garis medan magnet yang diciptakan oleh stator, terjadi induksi elektromagnetik yang menghasilkan gaya gerak listrik (EMF). Proses ini sesuai dengan hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik, di mana perubahan medan magnetik yang melintasi suatu penghantar akan menghasilkan arus listrik.

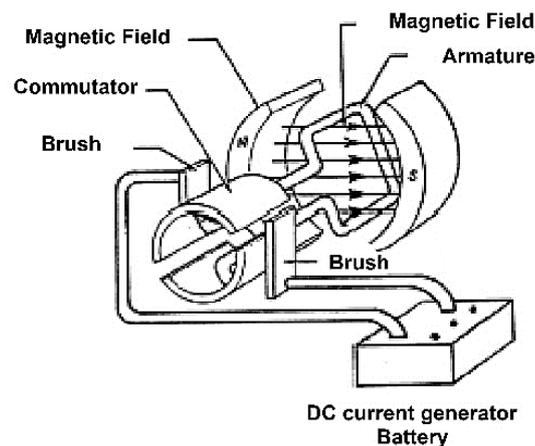
2. Rotor

Rotor pada generator searah adalah komponen bergerak yang berfungsi sebagai pembangkit arus listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Rotor berbentuk silinder, rotor ini terletak di dalam stator dan berputar pada porosnya. Ketika rotor berputar, akan terjadi proses pemotongan garis-garis medan magnet yang dihasilkan oleh stator, yang menyebabkan terjadinya induksi elektromagnetik sesuai dengan hukum Faraday. Induksi ini menghasilkan gaya gerak listrik (EMF) di dalam gulungan rotor, yang kemudian diubah menjadi arus listrik searah (DC) melalui penggunaan komutator.

3. Komutator

Komutator pada generator searah adalah komponen yang memiliki peran penting dalam konversi energi mekanik menjadi listrik searah (DC). Komutator berbentuk silinder yang terdiri dari beberapa segmen tembaga yang dipasang di sekitar poros

rotor. Setiap segmen terhubung ke lilitan jangkar pada rotor. Saat rotor berputar, segmen-segmen komutator ini bergantian bersentuhan dengan sikat-sikat (*brushes*) yang terbuat dari karbon atau logam. Sikat-sikat ini terhubung ke rangkaian eksternal, sehingga memungkinkan arus listrik mengalir dari generator. Fungsi utama komutator adalah untuk membalik arah arus listrik yang diinduksi pada lilitan jangkar, sehingga menghasilkan arus listrik searah yang kontinu.



Gambar 2. 7 Konstruksi Generator DC

2.2.2. Prinsip Kerja Generator DC

Generator DC berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik searah (DC) melalui proses induksi elektromagnetik. Prinsip kerja generator didasarkan pada hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik[13], yang menyatakan bahwa perubahan medan magnet yang melintasi suatu penghantar akan menghasilkan gaya gerak listrik (EMF). Dalam generator DC, medan magnet dihasilkan oleh stator, yang terdiri dari beberapa kutub magnet permanen atau elektromagnet. Ketika rotor yang berisi lilitan jangkar berputar di dalam medan magnet ini, perubahan posisi relatif antara lilitan dan medan magnet menciptakan arus listrik yang mengalir melalui lilitan jangkar.

2.2.3. Klasifikasi Generator DC

2.2.3.1. Genarator DC Berpenguatan Bebas

Generator DC berpenguatan bebas adalah jenis generator di mana medan magnetnya dihasilkan oleh kumparan medan yang diberi arus dari sumber eksternal yang terpisah dari rangkaian jangkar. Tegangan searah yang diberikan pada kumparan medan yang mempunyai tahanan R_f akan menghasilkan arus I_f dan menimbulkan fluks pada kedua kutub. Jika generator dihubungkan dengan beban, dan R_a adalah tahanan dalam generator, maka hubungan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V_f = I_f R_f \dots\dots\dots (2.2)$$

$$E_a = V_t + I_a R_a \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

E_a = Gaya gerak listrik (Volt)

V_t = Tegangan masukan (Volt)

I_a = Arus jangkar (Ampere)

R_a = Tahanan jangkar (Ohm)

V_f = Tegangan medan (Volt)

I_f = Arus medan (Ampere)

R_f = Tahanan medan (Ohm)

Dalam konfigurasi ini, medan magnet yang stabil dan kuat dapat dihasilkan tanpa bergantung pada arus yang diinduksi dalam lilitan jangkar. Hal ini memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap medan magnet, yang pada gilirannya memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap tegangan dan output listrik dari generator. Karena medan magnet tidak bergantung pada arus beban, generator ini mampu mempertahankan tegangan keluaran yang hampir konstan, bahkan dengan perubahan beban yang signifikan, membuatnya ideal untuk aplikasi yang memerlukan pasokan daya yang stabil dan andal.

2.2.3.2. Genarator DC Berpenguatan Sendiri

Pada generator berpenguatan sendiri terdiri atas dua jenis konfigurasi rangkain yang digunakan untuk kumparan medan dan kumparan jangkarnya yaitu konfigurasi dengan Genrator DC Seri dan Konfigurasi Generator Shunt. Pada masing-masing konfigurasi terdapat beberapa hubungan yaitu:

1. Generator DC Seri

Generator DC seri adalah jenis generator di mana kumparan medan dan kumparan jangkar disusun secara seri dalam satu rangkaian. Dalam konfigurasi ini, arus yang sama mengalir melalui kedua kumparan tersebut. Hubungan pada generator seri yaitu

$$V_t = I_a R_a \dots\dots\dots (2.4)$$

$$E_a = I_a (R_a + R_f) + V_t \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

E_a = Gaya gerak listrik (Volt)

V_t = Tegangan masukan (Volt)

I_a = Arus jangkar (Ampere)

R_a = Tahanan jangkar (Ohm)

V_f = Tegangan medan (Volt)

I_f = Arus medan (Ampere)

R_f = Tahanan medan (Ohm)

2. Generator DC Shunt

Generator DC shunt adalah jenis generator listrik yang menggunakan konfigurasi shunt pada medan magnetnya. Pada generator ini, kumparan medan (medan *shunt*)

terhubung secara paralel dengan jangkar di dalam satu sirkuit. Hubungan pada generator shunt yaitu

$$V_t = I_f R_f \dots\dots\dots (2.6)$$

$$E_a = I_a R_a + V_t \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

E_a = Gaya gerak listrik (Volt)

V_t = Tegangan masukan (Volt)

I_a = Arus jangkar (Ampere)

R_a = Tahanan jangkar (Ohm)

V_f = Tegangan medan (Volt)

I_f = Arus medan (Ampere)

R_f = Tahanan medan (Ohm)

2.3. Buck Converter

Buck Converter merupakan DC-DC converter yang berfungsi untuk menurunkan tegangan output dari tegangan input yang lebih tinggi. Rangkaian ini terdiri dari komponen *switching*, induktor, kapasitor dan dioda. Pada prinsipnya tegangan output yang dihasilkan pada rangkaian *buck converter* berdasarkan nilai *duty cycle* yang diterapkan pada kaki *gate* di komponen *switching*.

Induktor dalam *buck converter* mengikuti hukum faraday, di mana perubahan tegangan pada induktor (V_L) terkait laju perubahan arus dimana persamaan yang diterapkan yaitu:

$$V_L = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (2.8)$$

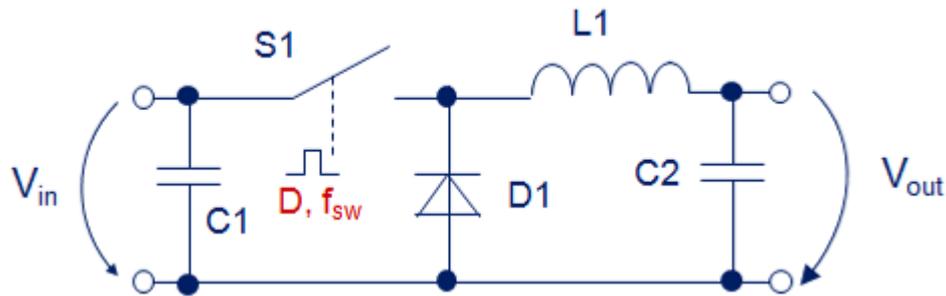
Dimana:

V_L = Tegangan Induktor (V)

L = Induktansi (H)

$\frac{di}{dt}$ = Laju perubahan arus

Adapun topologi rangkaian *buck converter* konvensional dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 Gambar Topologi *Buck Converter*

Dalam mode operasi *buck converter* berdasarkan kondisi saklar pada kaki *gate* komponen *switching*. Terdapat kondisi saat on dan off, yang berpengaruh terhadap tegangan output yang dihasilkan. Adapun persamaan dalam menghitung tegangan output *buck converter* adalah sebagai berikut.

$$V_{out} = V_{in} \times D \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

V_{out} = Tegangan Output (V)

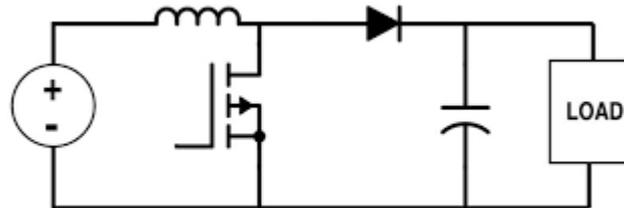
V_{in} = Tegangan Input (V)

D = *Duty Cycle*

2.4. *Boost Converter*

Boost converter adalah sebuah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) dari satu tingkat ke tingkat yang lain, menjadi lebih tinggi (*boost*) daripada tegangan masukan[14][15]. Rangkaian ini terdiri atas komponen-komponen seperti induktor, kapasitor, komponen *switching*, dan dioda. Prinsip kerja dari *boost converter* melibatkan pengaturan siklus kerja *duty cycle* dari

sakelar untuk menyimpan energi dalam induktor selama periode aktif (*on*) dan melepaskannya pada periode non-aktif (*off*). Energi yang disimpan tersebut kemudian dilepaskan ke beban melalui dioda dan kapasitor, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang dapat lebih tinggi dari tegangan masukan, bergantung pada rasio siklus kerja yang diatur.



Gambar 2. 9 *Boost Converter*

Pada *boost converter* untuk menghitung tegangan output yang dihasilkan pada rangkaian dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

V_{out} = Tegangan Output (V)

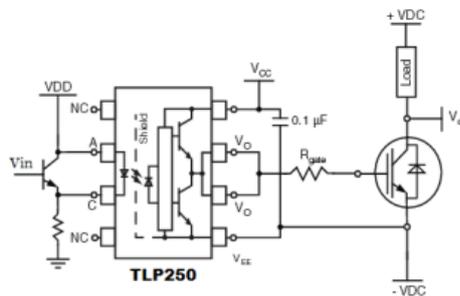
V_{in} = Tegangan Input (V)

D = *Duty Cycle*

2.5. *Gate Driver*

Rangkaian *gate driver* merupakan rangkaian yang menghubungkan rangkaian catu daya dan rangkaian kendali. Rangkaian driver mentransmisikan dan memperkuat sinyal pemicu pulsa kontrol dari rangkaian kontrol untuk mengoperasikan sakelar semikonduktor pada rangkaian catu daya[16][17]. Salah satu jenis IC driver gerbang adalah TLP250. IC ini merupakan driver saklar daya yang dirancang khusus untuk menggunakan saklar daya tipe IGBT (*Insulated Gate Bipolar*

Transistor) dan ideal untuk driver gerbang saklar daya MOSFET. Di bawah ini adalah diagram fungsional TLP250.



Gambar 2. 10 TLP250

Konfigurasi TLP250 meliputi dioda LED sebagai *encoder* informasi sinyal masukan dari rangkaian kontrol, dan rangkaian yang menggabungkan transistor NPN sebagai masukan arus catu daya dihubungkan ke bagian keluaran. Penentuan desain driver gerbang ditentukan oleh frekuensi peralihan maksimum dan persyaratan input gerbang transistor daya. Frekuensi switching yang lebih tinggi dan kapasitansi gerbang yang lebih besar memerlukan arus penggerak yang lebih tinggi.

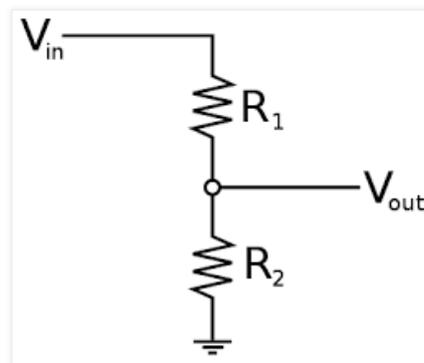
2.6. Sensor

Sensor adalah suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisis seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, pergerakan, kelembaban, suhu, kecepatan, dan fenomena lingkungan lainnya. Setelah mengamati suatu perubahan, masukan yang terdeteksi diubah menjadi keluaran yang dapat dipahami manusia melalui perangkat penginderaan itu sendiri atau ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan dan diproses menjadi informasi yang ditampilkan atau berguna bagi pengguna. Sensor pada dasarnya dapat diklasifikasikan sebagai transduser masukan karena dapat mengubah energi fisis seperti cahaya, tekanan, gerakan, atau suhu menjadi sinyal listrik atau hambatan yang kemudian diubah menjadi tegangan atau sinyal listrik[18].

Adapun beberapa jenis sensor yang digunakan pada rangkaian elektronika daya ataupun peralatan teknologi untuk mendukung proses pengumpulan data dan sebagai proteksi rangkaian saat ini sebagai berikut:

2.5.1. Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan DC dari 0 hingga 25V[12]. Prinsip kerja sensor tegangan didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, yang memungkinkan tegangan masukan diturunkan hingga 5 kali tegangan aslinya.



Gambar 2. 11 Sensor Tegangan

Sensor tegangan memiliki resistor yang digunakan sebagai pembanding tegangan yaitu R1 dengan R2. Perhitungan dari sensor tegangan adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \dots \dots \dots (2.11)$$

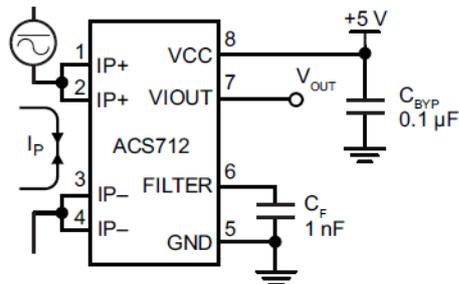
Tegangan V_{out} kemudian dibaca oleh pin analog mikrokontroler yang memiliki ADC (Analog to Digital Converter). ADC mengubah nilai tegangan analog menjadi nilai digital dengan resolusi tertentu, misalnya 10 bit pada Arduino, sehingga menghasilkan nilai dari 0 hingga 1023.

2.5.2. Sensor Arus

Sensor arus ACS712 merupakan sensor penginderaan arus[19]. ACS712 memiliki tipe yang berbeda-beda tergantung arus maksimumnya: 5A, 20A, 30A. Sensor ACS712 menggunakan VCC 5V. Cara kerja sensor ini adalah arus pembacaan

mengalir melalui kabel tembaga internal, menciptakan medan magnet yang dirasakan oleh IC Hall internal dan diubah menjadi tegangan proporsional.

Typical Application



Gambar 2. 12 Sensor Arus

Keakuratan pembacaan sensor dioptimalkan dengan menempatkan komponen berdekatan antara konduktor yang menghasilkan medan magnet dan *Hall Transducer*. Tegangan proporsional rendah menstabilkan IC Bi-CMOS Hall internal, yang diproduksi dengan presisi oleh produsen.

2.5.3. Sensor Kecepatan

Modul FC-03 merupakan sensor *optocoupler* yang terintegrasi dalam satu modul dengan komparator LM393[20]. Modul ini dapat digunakan untuk menghitung pulsa dan mengukur kecepatan motor. Ini digunakan untuk menghitung lubang pada poros *encoder* dengan menempatkan poros encoder di antara optokopler.



Gambar 2. 13 Sensor Kecepatan

Misalnya untuk encoder dengan 20 lubang, sensor FC-03 akan mendeteksi satu putaran setelah sensor mendeteksi bahwa encoder memiliki 20 lubang. Setelah lubang ke-20 terbaca, sensor akan mulai menghitung lagi untuk putaran berikutnya.

2.7. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah perangkat komputasi kecil yang dirancang untuk melakukan tugas tertentu dalam sistem tertanam[21][22][9][10]. Komponen-komponen ini biasanya terdiri dari unit pemrosesan pusat (CPU), memori, dan berbagai jenis input/output (I/O), semuanya terintegrasi dalam satu chip. Mikrokontroler banyak digunakan pada perangkat elektronik seperti mesin cuci, oven microwave, dan perangkat *Internet of Things* (IoT) karena dapat menjalankan instruksi secara efisien dan dengan konsumsi daya yang rendah. Mikrokontroler bekerja bersama dengan *firmware*, yaitu perangkat lunak yang disimpan dalam memori non volatil yang memberikan instruksi tentang cara pengoperasian perangkat. Mikrokontroler dengan kemampuan merespon sinyal secara *real time* memungkinkan perangkat beroperasi secara otomatis dan efisien tanpa campur tangan manusia terus menerus. Beberapa mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini sebagai berikut:

2.7.1. Wemos Mega 2560 build in wifi ESP8266

WeMos Mega 2560 merupakan mikrokontroler yang merupakan gabungan dari papan Arduino Mega 2560 dan modul WiFi ESP8266. Papan ini memiliki dua chip utama, yaitu ATmega2560 yang digunakan untuk persiapan dasar seperti Arduino Mega, dan ESP8266 yang menyediakan jaringan WiFi untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Dengan kombinasi ini, WeMos Mega 2560 memungkinkan klien untuk membuat proyek yang memerlukan banyak pin input/output (I/O) dari ATmega2560 serta jaringan web melalui ESP8266, sehingga sangat cocok untuk proyek yang memerlukan kontrol atau pemantauan lebih jauh atas suatu jaringan.



Gambar 2. 14 Wemos Mega2560 + ESP8266

Tabel 2. 1 Spesifikasi Wemos Mega 2560 + ESP8266

Microcontroller	ATmega2560
IC Wi-Fi	ESP8266
USB-TTL converter	CH340G
Power Out	5V-800mA
Power IN. USB	5V (500mA max.)
Power IN. VIN/DC Jack	9-24V
Power Consumption	5V 800mA
Logic Level	5V
Wifi	Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4 GHz
USB	Micro USB
Clock Frequency	16MHz
Operating Supply Voltage	5V
Digital I/O	54
Analog I/O	16
Memory Size	256kb
Data RAM Type/Size	8Kb
Data ROM Type/Size	4Kb
Interface Type	serial\OTA
Operating temperature	-40C°/+125C°
Length×Width	53.361×101.86mm
antenna	Buil-in\external antenna

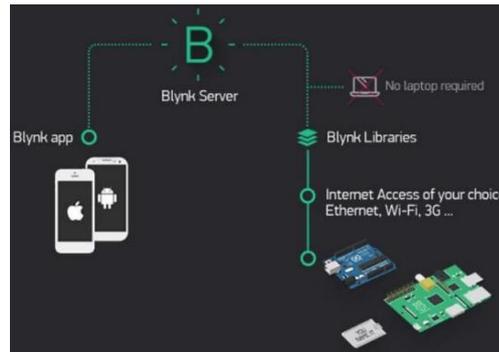
2.8. *Internet Of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat fisik yang terhubung ke Internet yang berkomunikasi satu sama lain untuk mengumpulkan dan bertukar data. Perangkat ini meliputi sensor, aktuator, dan berbagai objek dengan teknologi komputer yang memungkinkannya berinteraksi dengan lingkungannya dan satu sama lain[23]. IoT memungkinkan integrasi dan pertukaran data yang efisien melalui Internet, memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbagai proses dan sistem secara *real-time*. Teknologi ini mencakup berbagai sektor seperti *Smart Home*, transportasi, industri, dan layanan kesehatan, serta memberikan manfaat berupa peningkatan efisiensi, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan kualitas layanan.

Cara kerja IoT mencakup beberapa komponen utama seperti, sensor yang mengumpulkan data dari objek, perangkat pemrosesan data yang menganalisis dan memproses informasi, dan perangkat komunikasi yang mengirimkan data ke *cloud* atau server pusat. Data yang dikumpulkan dari berbagai perangkat IoT dianalisis untuk menghasilkan wawasan dan tindakan yang dapat meningkatkan kinerja sistem atau mengotomatiskan tugas-tugas tertentu.

2.9. *Blynk*

Blynk adalah *platform* yang memungkinkan Anda mengembangkan aplikasi *Internet of Things* (IoT) dengan mudah dan cepat di perangkat seluler atau melalui *Internet*[13]. *Blynk* memungkinkan pengguna membuat antarmuka *grafis* untuk mengontrol dan memantau perangkat IoT tanpa pengetahuan pemrograman yang luas. Platform ini menawarkan berbagai widget *drag and drop* untuk membuat dasbor yang memungkinkan untuk mengakses dan mengontrol perangkat keras seperti mikrokontroler dan sensor melalui *internet*. *Blynk* mendukung berbagai jenis perangkat keras, termasuk Arduino, Raspberry Pi, dan ESP8266, dan menawarkan integrasi yang mudah melalui jaringan Wi-Fi, Bluetooth, atau konektivitas seluler. Selain itu, *Blynk* juga menawarkan notifikasi *real-time*, penyimpanan data *cloud*, dan kemampuan akses jarak jauh.



Gambar 2. 15 *Blynk Application*

Pada gambar 2.16 merupakan *blynk application* yang dapat digunakan sebagai serial komunikasi perantara antara mikrokontroler dengan pengguna melalui server, sehingga dapat mengirim dan menerima informasi secara *real time*.

2.10. *Fuzzy Logic Controller*

Logika *fuzzy* adalah suatu proses penarikan kesimpulan berdasarkan keputusan, yang ditujukan untuk memecahkan masalah pada sistem yang sulit untuk disimulasikan atau dimana terdapat banyak ambiguitas dan ketidakpastian[14][7][22]. Dalam logika *fuzzy*, suatu nilai bisa menjadi “*true*” dan “*false*” pada saat yang bersamaan. Nilai “*true*” dan “*false*” bergantung pada variabel keanggotaan yang terkait. Nilai keanggotaan logika fuzzy berkisar antara 0 sampai 1.

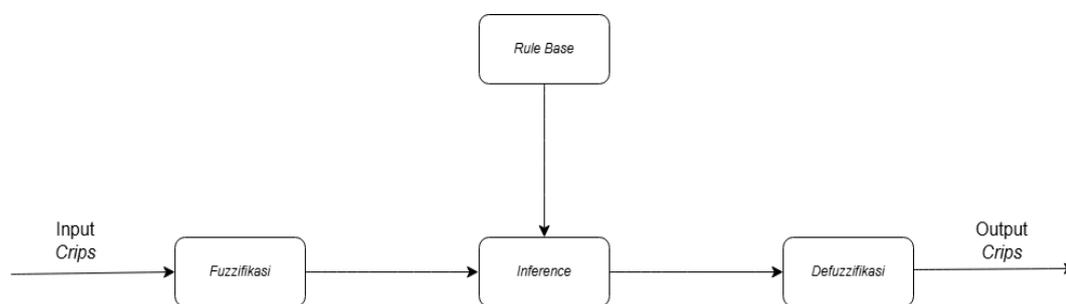
Logika *fuzzy* digunakan untuk menyatakan besaran nilai yang diungkapkan dalam bahasa. Logika *fuzzy* mempunyai kelebihan yaitu mampu mengendalikan logika secara linguistik, dan tidak memerlukan rumus matematika yang rumit untuk mengontrol objek pada saat perancangan.

2.9.1. *Konfigurasi Fuzzy Logic*

Terdapat beberapa konfigurasi tahapan yang ada pada *Fuzzy Logic* sebagai berikut:

1. *Fuzifikasi* adalah proses modifikasi nilai *crisp input* sehingga dapat diinterpretasikan dan di bandingkan dengan aturan dalam basis aturan.

2. *Rule Base* atau basis aturan merupakan logika pengetahuan dalam bentuk himpunan untuk mengatur sistem.
3. Mekanisme pengambilan keputusan atau “*inference mechanism*” adalah evaluasi aturan pengendalian yang diterapkan sesuai dengan kondisi saat itu. Selanjutnya, menentukan *input* mana yang harus diberikan ke sistem sebagai sarana pengendalian[24][25].
4. *Defuzzifikasi* adalah proses mengubah kesimpulan yang dicapai oleh mekanisme pengambilan keputusan menjadi masukan operasional dalam bentuk tindakan pengendalian.



Gambar 2. 16 *Fuzzy Logic Controller*

2.9.2. Metode *Inferensi Fuzzy Logic*

Terdapat beberapa metode hingga saat ini yang sering digunakan dalam penerapan *Fuzzy Logic* sebagai berikut:

1. Metode *Fuzzy Mamdani* adalah teknik inferensi yang menggunakan sistem berbasis aturan *fuzzy* untuk mengubah masukan menjadi keluaran dengan nilai *fuzzy*[8][15]. Prosesnya dimulai dengan *fuzzifikasi*, atau mengubah input numerik menjadi himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Selanjutnya digunakan aturan fuzzy berupa IF-THEN untuk menghubungkan *input* dan *output* dalam bentuk himpunan *fuzzy*.

Proses *inferensi* menghasilkan beberapa himpunan *fuzzy* yang mewakili keluaran potensial. Keluaran *fuzzy* diubah menjadi nilai konkrit melalui proses *defuzzifikasi*. Metode *centroid* sering digunakan untuk menentukan *mean* suatu himpunan *fuzzy*. Metode Mamdani dikenal karena fleksibilitasnya dalam

menangani sistem yang kompleks dan kemampuannya memanfaatkan pengetahuan berbasis aturan yang mudah dipahami.

2. Metode *Fuzzy* Sugeno merupakan pendekatan inferensi yang menghasilkan keluaran berupa fungsi matematika *linier* atau konstan dari masukannya. Metode ini menggunakan aturan fuzzy IF-THEN, namun bagian THEN diwakili oleh fungsi matematika yang berhubungan langsung dengan variabel masukan[11][18].

Prosesnya dimulai dengan *fuzzifikasi* masukan, yang diubah menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Aturan *fuzzy* kemudian diterapkan, dan setiap aturan menghasilkan keluaran berupa fungsi *linier* atau konstan. Hasil dari setiap aturan kemudian diagregasi dengan bobot tertentu untuk mendapatkan keluaran akhir. Metode Sugeno dikenal presisi dalam menghasilkan hasil yang akurat dan cepat serta banyak digunakan pada sistem kendali otomatis dan dinamis yang memerlukan respon yang sangat akurat.

3. Metode *Fuzzy* Tsukamoto merupakan teknik inferensi yang menghasilkan keluaran *fuzzy* berupa nilai-nilai berbeda yang diperoleh dari fungsi keanggotaan monotonik[26]. Proses ini dimulai dengan *fuzzifikasi*. Ini untuk mengubah masukan numerik menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Setiap aturan *fuzzy* menghasilkan keluaran berupa nilai *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang meningkat secara monoton atau menurun secara monoton.

Proses inferensi menerapkan aturan fuzzy dan menghitung, untuk setiap aturan, keluaran sebagai nilai berbeda yang sesuai dengan derajat keanggotaan masukan. Keluaran dari seluruh aturan dikumpulkan untuk menghasilkan keluaran akhir yang konkrit melalui *defuzzifikasi*. Metode Tsukamoto sering digunakan dalam sistem kendali yang memerlukan respons linier sederhana dan interpretasi yang lebih langsung terhadap keluaran yang ambigu ke nilai yang terdefinisi dengan baik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat penelitian yang akan dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Pembuatan alat dan pengujian untuk pengambilan data pada penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Teknik Elektro, Universitas Lampung.

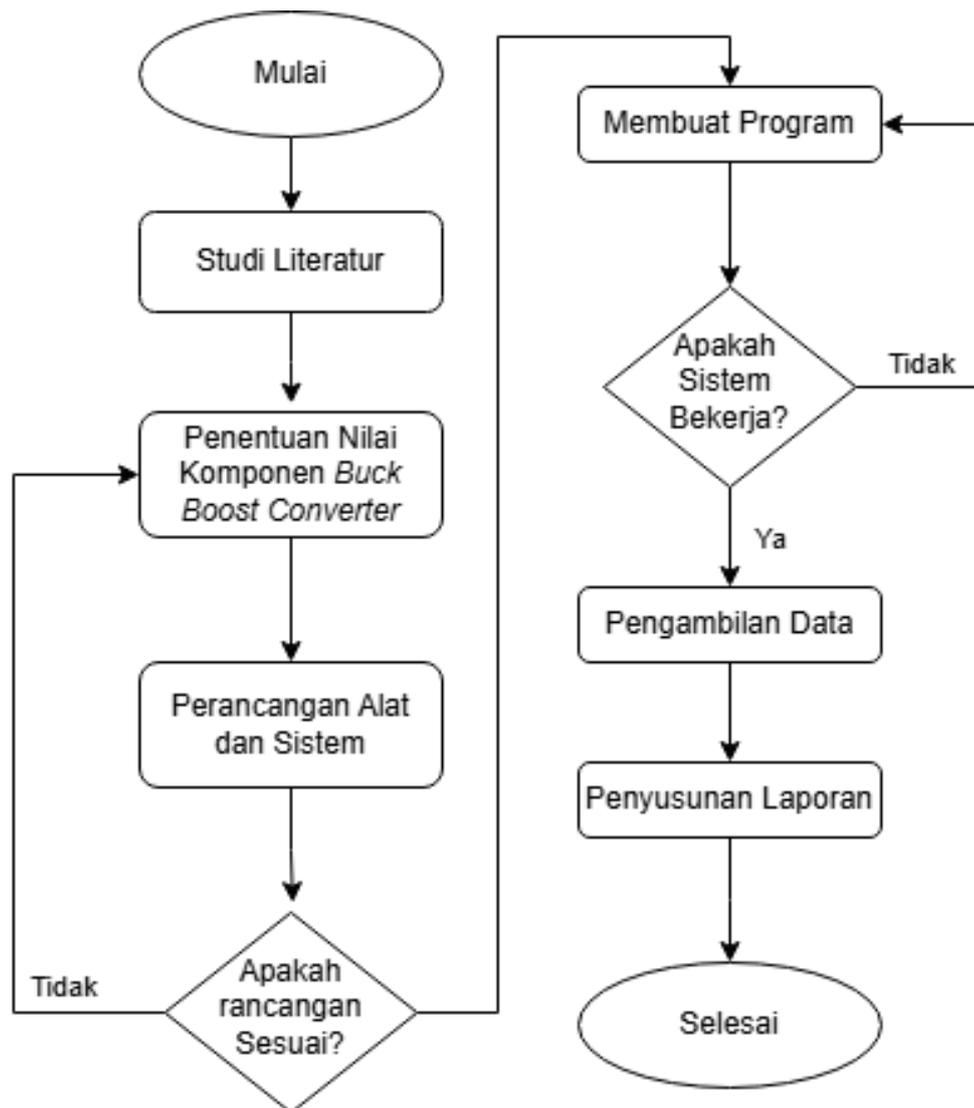
2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dijadwalkan dilakukan pada bulan Juni 2024 hingga bulan November 2024 dengan jadwal rincian penelitian yang tersusun sebagai berikut:

1. Penyusunan draft proposal
2. Perancangan komponen penelitian
3. Pembelian komponen dan perakitan alat
4. Perancangan program
5. Pengambilan data pengujian
6. Analisa hasil pengujian
7. Penyusunan draft hasil penelitian
8. Ujian akhir

3.2. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang akan dilaksanakan mulai dari studi literatur hingga pengambilan data dan analisa hasil pengujian dapat direpresentasikan dengan membuat sebuah diagram alir penelitian. Adapun di diagram alir yang akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut



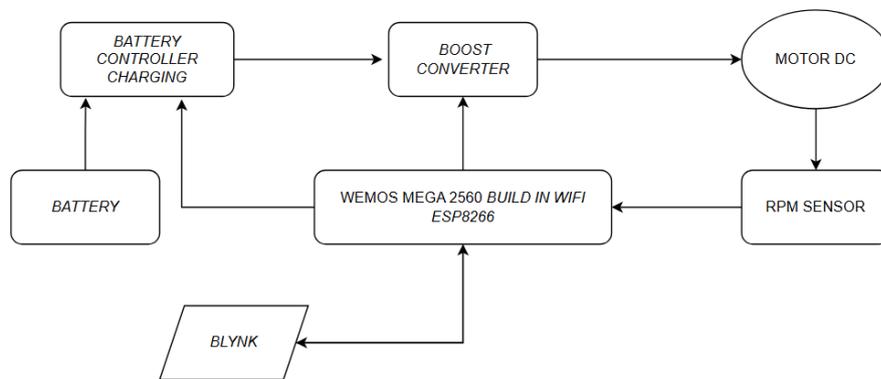
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.3. Diagram Blok Sistem

Adapun diagram blok sistem perancangan *controller charging* baterai yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1. Diagram Blok Sistem Kendali Kecepatan Motor DC

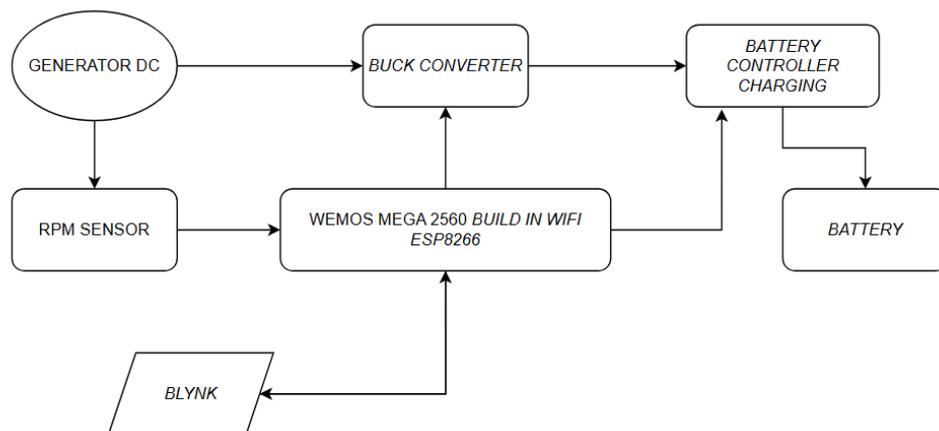
Adapun diagram blok sistem kendali kecepatan Motor DC pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Kendali Kecepatan Motor DC

3.3.2. Diagram Blok Sistem Kendali Tegangan *Output* Generator DC

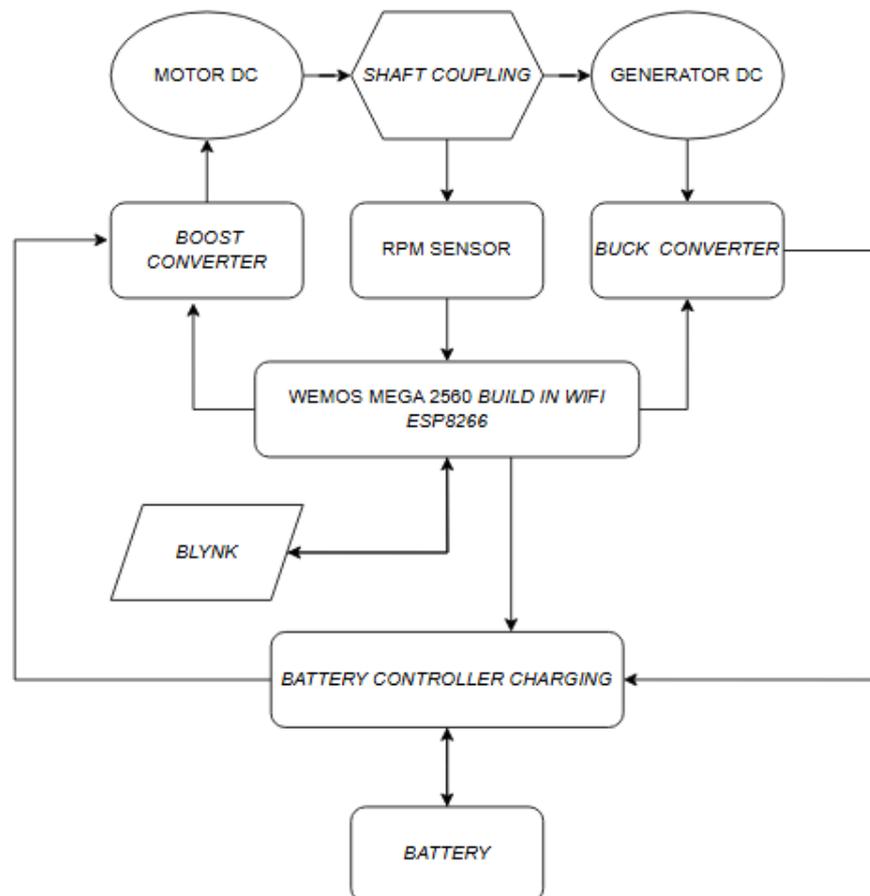
Adapun diagram blok sistem kendali Tegangan *Output* Generator DC pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem Kendali Tegangan Output Generator DC

3.3.3. Diagram Blok Sistem Peralatan Keseluruhan

Adapun diagram blok sistem peralatan keseluruhan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem Peralatan Keseluruhan

3.4. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Adapun perangkat keras (*Hardware*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor DC
2. Generator DC
3. *Battery* LifePO4 24V 100 Ah
4. Wemos Mega 2560 *build in wifi* ESP8266
5. Rangkaian *Buck Converter*
6. Rangkaian *Boost Converter*
7. Rangkaian *Controller Charging*
8. Rangkaian Sensor Arus
9. Rangkaian Sensor Tegangan
10. Rangkaian Sensor Kecepatan
11. Laptop Asus Vivobook

3.4.2. Perangkat Lunak (*Software*)

Adapun perangkat lunak (*Software*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

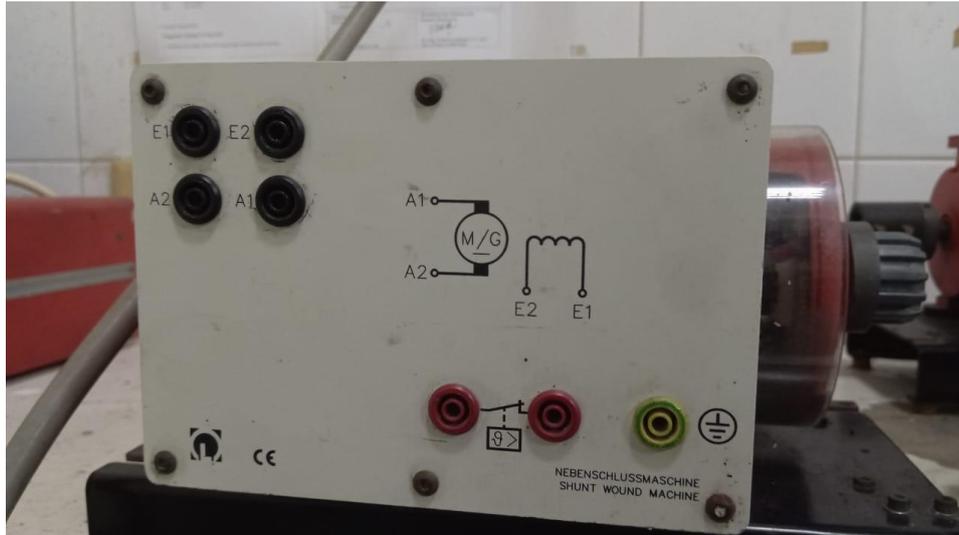
1. *Blynk*
2. Arduino IDE
3. Microsoft Word

3.5. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem akan menjelaskan terkait perancangan rangkaian sistem yang akan dilakukan pada penelitian ini. Adapun perancangan sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.5.1. Spesifikasi Motor DC dan Generator DC

Adapun Motor dan Generator DC yang digunakan pada penelitian ini adalah Shunt Wound Machine dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Motor Generator DC

Motor dan Generator DC yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis motor shunt wound machine yang dapat digunakan sebagai komponen untuk menghasilkan energi gerak dan energi listrik.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Shunt Wound Machine

Keterangan	Nilai
Tegangan	220 V
Arus	0.7A
Daya	0.3 kW
RPM	2000

3.5.2. Spesifikasi Baterai

Adapun spesifikasi baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis baterai *Lithium Iron Phosphate* (LifePo4) yang menggunakan besi fosfat sebagai bahan katoda nya. Spesifikasi dari baterai LifePo4 adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 6 Baterai LifePo4 3.2V 100 Ah

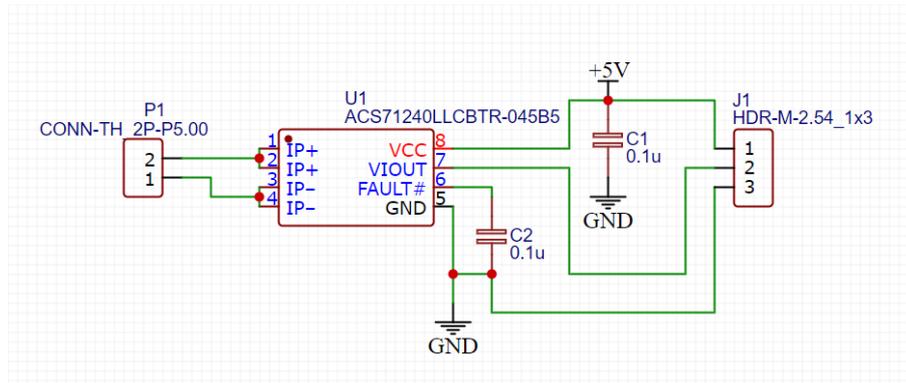
Tabel 3. 2 Spesifikasi baterai LifePO4

Keterangan	Nilai
Tegangan	3.2 V
Daya	100 Ah
Siklus	2000-5000
Ketahanan Suhu	-20°C sampai 60°C

Pada penelitian ini baterai yang digunakan yaitu dengan susunan 8S, sehingga tegangan nominal yang dihasilkan yaitu $3,2 \text{ V} \times 8 = 25,6 \text{ V}$.

3.5.3. Perancangan Rangkaian Sensor Arus

Pada penelitian ini sensor arus yang digunakan untuk mengukur besaran arus yang mengalir pada rangkaian pengendalian kecepatan motor dc dan *controller charging* menggunakan IC ACS712 dengan rangkaian sebagai berikut:



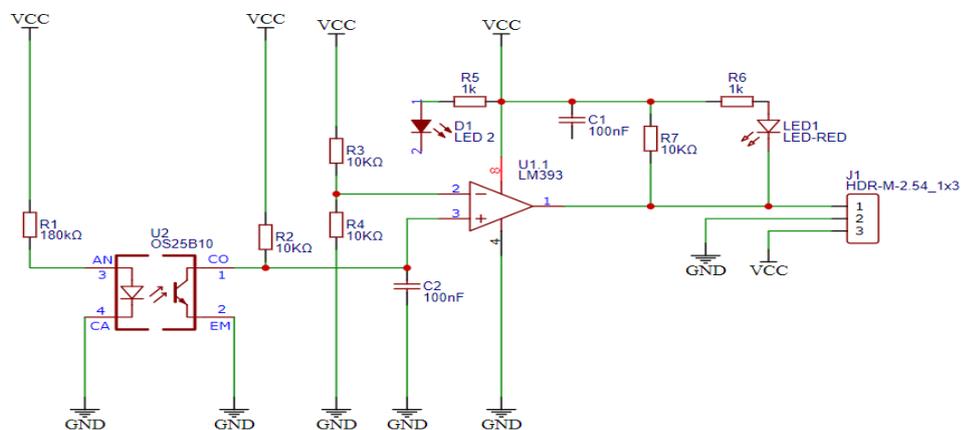
Gambar 3. 7 Sensor Arus

Tabel 3. 3 Spesifikasi Sensor Arus

Keterangan	Nilai
ACS712	-
Capacitor	1nF 0.1µF
Arus	20 A

3.5.4. Perancangan Rangkaian Sensor Kecepatan

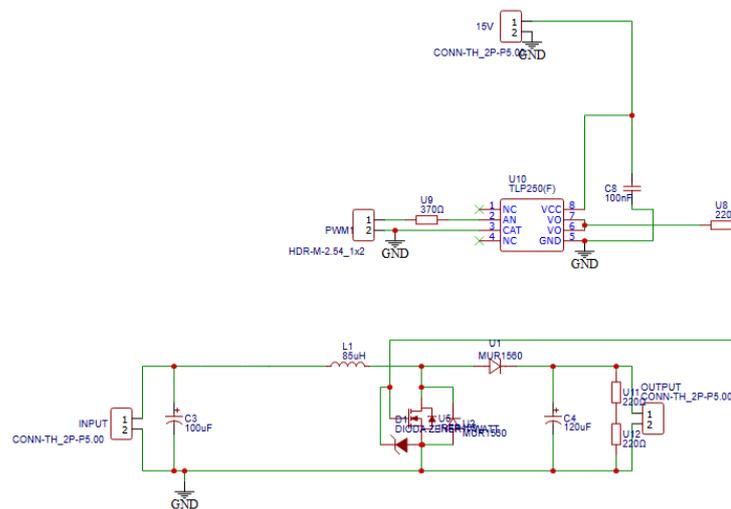
Pada penelitian ini rancangan untuk mengukur kecepatan putaran dari Motor DC dan Generator DC menggunakan sensor *optocoupler* dengan IC LM393 yang bekerja dengan sistem *infra RED*. Adapun spesifikasi modul adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 8 Sensor Optocoupler LM393

3.5.5. Perancangan Rangkaian *Boost Converter*

Pada penelitian ini akan menggunakan rangkaian *boost converter* sebagai rangkaian daya yang menghasilkan tegangan konstan untuk kendali kecepatan Motor DC dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3. 9 Rancangan Rangkaian *Boost Converter*

Tabel 3. 4 Spesifikasi *Boost Converter*

Keterangan	Nilai
Tegangan Input maksimum	30 V
Tegangan Output maksimum	220 V
Arus Input	100 A
Arus Output	3 A
<i>Gate Driver</i>	TLP250
Mosfet	IRFP450
<i>Frekuensi Switching</i>	62.5 kHz
ΔV_{out}	0.12 V
ΔI_L	2 A
Duty Cycle minimum	0.1
Duty Cycle Maksimum	0.9

- Perhitungan nilai induktansi dan kapasitansi *Boost Converter* Untuk Motor DC

Induktansi

$$L = \frac{V_{in} \cdot D}{F_s \cdot \Delta I_L}$$

$$L = \frac{24 \cdot 0.1}{62500 \cdot 2}$$

$$L = 19,28 \mu H$$

Nilai induktansi (L) yang digunakan pada rangkaian sebesar $1.2 \times L \approx 23,73 \mu H$.

Kapasitansi

$$C = \frac{I_{out} \cdot D \cdot (1 - D)}{F_s \cdot \Delta V_{out}}$$

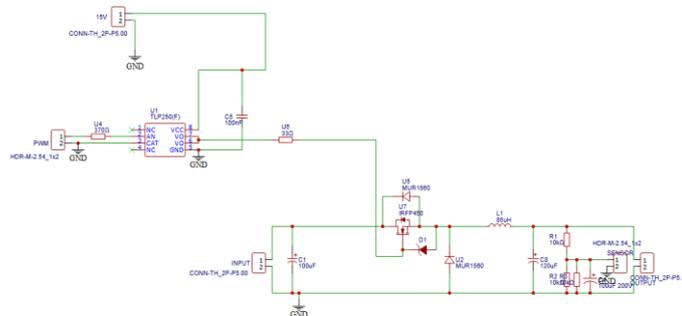
$$C = \frac{10 \cdot 0.9 \cdot (1 - 0.9)}{62500 \cdot 0.12}$$

$$C = 120 \mu F$$

Nilai kapasitansi (C) yang digunakan pada rangkaian sebesar 120 μF 400V.

3.5.6. Perancangan Rangkaian *Buck Converter*

Pada Penelitian ini digunakan rangkaian *buck converter* yang berfungsi untuk mengatur tegangan output pada generator dc agar menghasilkan tegangan yang konstan dengan kecepatan yang berubah-ubah. Adapun spesifikasi dari rangkaian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Rancangan Rangkaian *Buck Converter*

Tabel 3. 5 Spesifikasi *Buck Converter*

Keterangan	Nilai
Tegangan Input maksimum	200 V
Tegangan Output maksimum	50 V
Arus Input	5 A
Arus Output	10 A
<i>Gate Driver</i>	TLP250
Mosfet	IRFP450
<i>Frekuensi Switching</i>	62.5 kHz
ΔV_{out}	0.12 V
ΔI_L	2 A
Duty Cycle minimum	0.1
Duty Cycle Maksimum	0.9

- Perhitungan nilai induktansi dan kapasitansi *Buck Converter* Untuk Generator DC

Induktansi

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) \cdot D}{F_s \cdot \Delta I_L}$$

$$L = \frac{(200 - 50) \cdot 0.1}{62500 \cdot 2}$$

$$L = 1,2 \mu H$$

Nilai induktansi (L) yang digunakan pada rangkaian sebesar $1.2 \times L \approx 1,44 \mu H$.

Kapasitansi

$$C = \frac{I_{out} \cdot D \cdot (1 - D)}{F_s \cdot \Delta V_{out}}$$

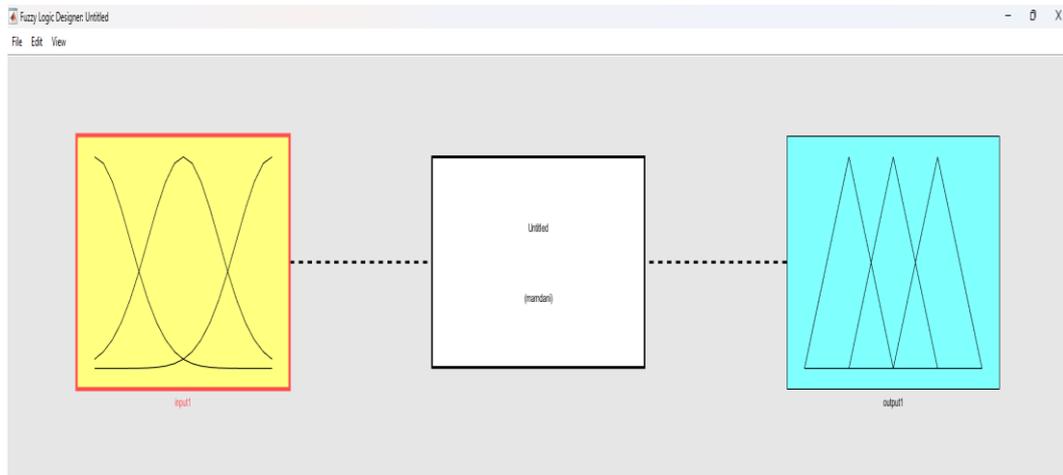
$$C = \frac{10 \cdot 0.9 \cdot (1 - 0.9)}{62500 \cdot 0.12}$$

$$C = 120 \mu F$$

Nilai kapasitansi (C) yang digunakan pada rangkaian sebesar 120 μF 400V.

3.5.7. Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Adapun sistem *Fuzzy Logic Controller* yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan aplikasi MATLAB untuk membuat desain dan melakukan simulasi. Berikut ini merupakan tampilan awal untuk *Fuzzy Logic Designer* :

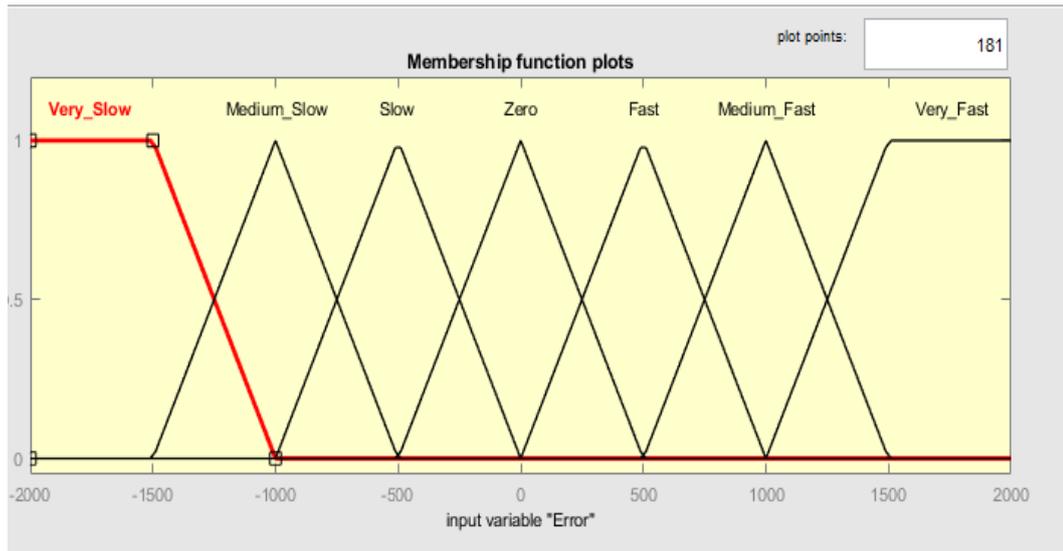


Gambar 3. 11 *Fuzzy Logic Designer*

3.5.7.1. *Fuzzy Logic Controller* Kecepatan Motor DC

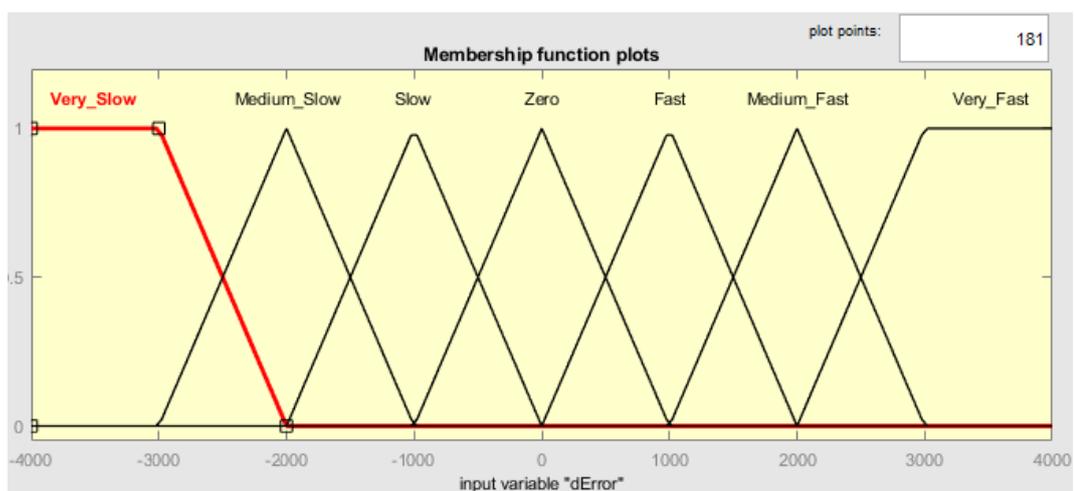
Pada pengendalian kecepatan motor dc menggunakan *Fuzzy Logic* untuk menghasilkan PWM yang digunakan untuk mengatur tegangan output *boost converter* yang digunakan sehingga kecepatan motor dapat stabil dan sesuai dengan nilai kecepatan yang diinginkan. Adapun tahap *Fuzzyfikasi*, *input* fuzzy yang digunakan yaitu nilai *Error* dan *dError*.

Pada *input error* menggunakan *Trapesium Membership Function* dan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 *membership function* yaitu *Very Slow* [-2000 -2000 -1500 -1000], *Medium Slow* [-1500 -1000 -500], *Slow* [-1000 -500 0], *Zero* [-500 0 500], *Fast* [0 500 1000], *Medium Fast* [500 1000 1500], *Very Fast* [1000 1500 2000 2000]. Berikut adalah tampilan *input error* pada *Software* MATLAB.



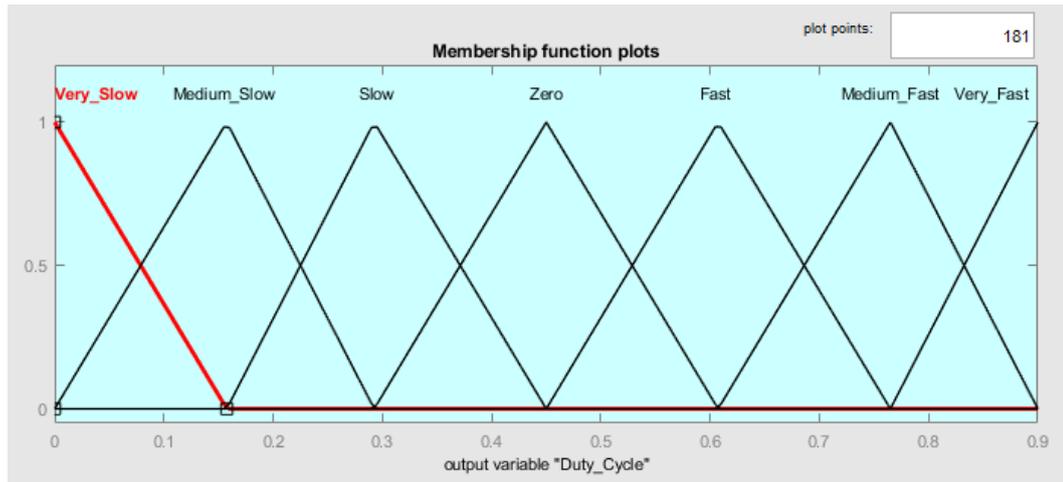
Gambar 3. 12 *Membership Function error* kecepatan

Lalu *input* selanjutnya yaitu berupa *dError* yang merupakan hasil perhitungan antara nilai ($Error - previous\ error$). Pada *input derror* menggunakan *Trapezium Membership Function* dan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 *membership function* yaitu *Very Slow* [-4000 -4000 -3000 -2000], *Medium Slow* [-3000 -2000 -1000], *Slow* [-2000 -1000 0], *Zero* [-1000 0 1000], *Fast* [0 1000 2000], *Medium Fast* [1000 2000 3000], *Very Fast* [2000 3000 4000 4000]. Berikut adalah tampilan *input dError* pada *Software MATLAB*.



Gambar 3. 13 *Membership Function derror* kecepatan

Lalu untuk *output* fuzzy terdiri dari satu *membership function* yaitu nilai PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. *Output* PWM menggunakan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 *membership function* yaitu *Very Slow* [0 0 0.15], *Medium Slow* [0 0.15 0.29], *Slow* [0.15 0.29 0.45], *Zero* [0.29 0.45 0.60], *Fast* [0.45 0.60 0.76], *Medium Fast* [0.60 0.76 0.9], *Very Fast* [0.76 0.9 0.9]. Berikut adalah tampilan *output duty cycle* pada *Software* MATLAB.



Gambar 3. 14 *Membership Function duty cycle* kecepatan

Pada rancangan pengendalian fuzzy dilakukan dengan merancang *inference* fuzzy atau *fuzzy rule base system*. Prosedur *inferensi* digunakan untuk menarik kesimpulan dari himpunan aturan fuzzy. Pada penelitian ini menggunakan metode *Inferensi* mamdani dengan fungsi keanggotaan keluaran berupa nilai tegas (*Crips*) yaitu PWM. Aturan-aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk logika *IF-AND-THEN*. Selanjutnya pada tahap *defuzzyfikasi* menggunakan metode *Center Of Area* dimana hasil dari *defuzzyfikasi* akan mengatur nilai tegangan output pada *boost converter*. Adapun rule base yang dirancang dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3. 6 *Rule Base Fuzzy* Kecepatan Motor DC

E\dE	VS	MS	S	Z	F	MF	VF
VS	VS	VS	VS	VS	MS	S	Z
MS	VS	VS	VS	MS	S	Z	F
S	VS	VS	MS	S	Z	F	MF

Z	VS	MS	S	Z	F	MF	VF
F	MS	S	Z	F	MF	VF	VF
MF	S	Z	F	MF	VF	VF	VF
VF	Z	F	MF	VF	VF	VF	VF

Keterangan:

VS = *Very Slow*

F = *Fast*

MS = *Medium Slow*

MF = *Medium Fast*

S = *Slow*

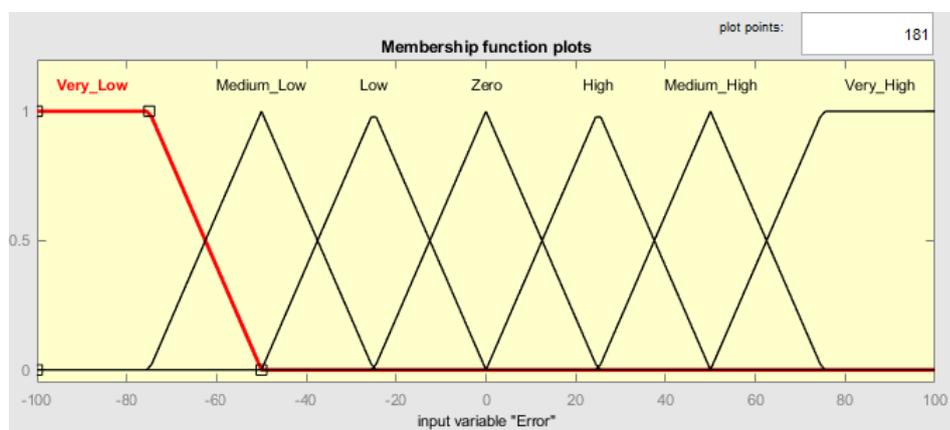
VF = *Very Fast*

Z = *Zero*

3.5.7.2. *Fuzzy Logic Controller Tegangan Output Generator DC*

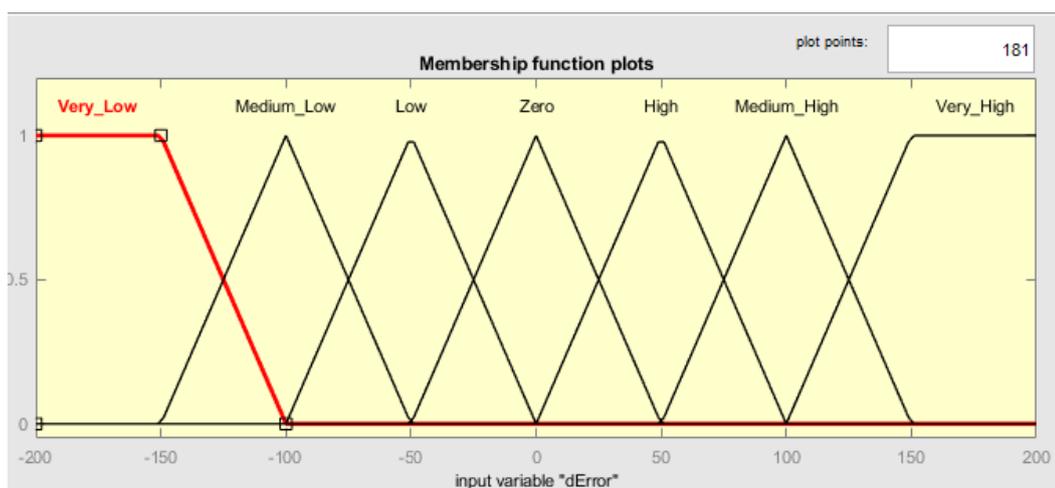
Pada pengendalian tegangan *output* generator dc menggunakan *Fuzzy Logic* untuk menghasilkan PWM yang digunakan untuk mengatur tegangan output *buck boost converter* yang digunakan sehingga tegangan yang dihasilkan dapat stabil dan sesuai dengan nilai tegangan yang diinginkan. Adapun tahap *Fuzzyfikasi*, input fuzzy yang digunakan yaitu nilai *error* dan *dError*.

Pada *input error* menggunakan *Trapezium Membership Function* dan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 *membership function* yaitu *Very Low* [-100 -100 -75 -50], *Medium Low* [-75 -50 -25], *Low* [-50 -25 0], *Zero* [-25 -0 25], *High* [0 25 50], *Medium High* [25 50 75], *Very High* [50 75 100 100]. Berikut adalah tampilan *input error* pada *Software MATLAB*.



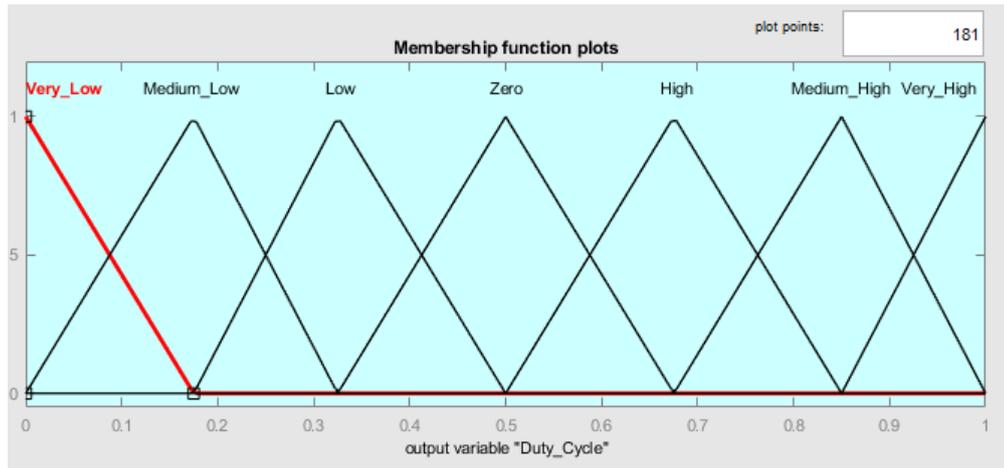
Gambar 3. 15 *Membership Function error tegangan*

Lalu *input* selanjutnya yaitu berupa *dError* yang merupakan hasil perhitungan antara nilai (*Error* – *previous error*). Pada *dError* menggunakan *Trapezium Membership Function* dan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 *membership function* yaitu *Very Low* [-200 -200 -150 -100], *Medium Low* [-150 -100 -50], *Low* [-100 -50 0], *Zero* [-50 0 50], *High* [0 50 100], *Medium High* [50 100 150], *Very High* [100 150 200 200]. Berikut adalah tampilan *input dError* pada *Software MATLAB*.



Gambar 3. 16 *Membership Function dError* tegangan

Lalu untuk *output* fuzzy terdiri dari satu *membership function* yaitu nilai PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. *Output* duty cycle menggunakan *Trapezium Membership Function* dan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 *membership function* yaitu *Very Low* [0 0 0.175], *Medium Low* [0 0.175 0.325], *Low* [0.175 0.325 0.5], *Zero* [0.325 0.5 0.6753], *High* [0.5 0.6753 0.85], *Medium High* [0.6753 0.85 1], *Very High* [0.85 1 1]. Berikut adalah tampilan *output duty cycle* pada *Software MATLAB*.



Gambar 3. 17 Membership Function duty cycle tegangan

Adapun rule base yang dirancang dapat dilihat pada tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Rule Base Fuzzy Tegangan Generator DC

E\SP	VL	ML	L	Z	H	MH	VH
VL	VL	VL	VL	VL	ML	L	Z
ML	VL	VL	VL	ML	L	Z	H
L	VL	VL	ML	L	Z	H	MH
Z	VL	ML	L	Z	H	MH	VH
H	ML	L	Z	H	MH	VH	VH
MH	L	Z	H	MH	VH	VH	VH
VH	Z	H	MH	VH	VH	VH	VH

Keterangan:

VL = *Very Low*

ML = *Medium Low*

L = *Low*

Z = *Zero*

H = *High*

MH = *Medium High*

VH = *Very High*

3.6. Pengujian Alat

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah dirancang telah berhasil untuk berfungsi dengan baik dalam menghasilkan data yang sesuai dengan referensi dan desain yang dibuat. Adapun pengujian alat adalah sebagai berikut:

3.6.1. Pengujian Mikrokontroler

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah mikrokontroler dapat menghasilkan sinyal PWM yang sesuai dengan referensi dan aturan kontrol yang diterapkan serta untuk mengetahui apakah mikrokontroler dapat membaca sensor yang digunakan.

3.6.2. Pengujian *Boost Converter*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan output yang dihasilkan agar sesuai dengan nilai referensi yang diinginkan dan dengan nilai *error* sekecil mungkin.

3.6.3. Pengujian *Buck Converter*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan output yang dihasilkan agar sesuai dengan nilai referensi yang diinginkan dan dengan nilai *error* sekecil mungkin.

3.6.4. Pengujian Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon dari keseluruhan sistem pengendalian kecepatan motor, output tegangan generator dan *controller charging* yang telah di rancang untuk melakukan *charging* pada baterai.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian Perancangan *Controller Charging* Baterai Pada Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* Berbasis *Internet Of Things* ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem pengendalian kecepatan motor dc telah berhasil dilakukan dengan menggunakan *Internet Of Things* (IoT), sehingga dapat mengatur kecepatan secara *realtime* dan dapat dilakukan dari jarak dekat ataupun jarak jauh selama terhubung ke internet.
2. *System Controller Charging* pada baterai yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor dc telah dirancang dan bekerja dengan menghasilkan tegangan charging yang mendekati dengan *setpoint* yang diinginkan yaitu 27,5V dan arus charging rata-rata sebesar 3,4A.
3. Penggunaan metode *Fuzzy Logic Controller* dapat berfungsi dengan baik, dimana FLC berfungsi untuk menghasilkan *duty cycle* berdasarkan input nilai kecepatan untuk mengatur kecepatan motor dc dengan nilai *Rise Time 1,3s* , *Settling Time 3,4s* , *Overshoot 0,7%* pada kecepatan 1100RPM.
4. Penggunaan *Internet Of Things* berfungsi sebagai sistem untuk melakukan pengendalian dan pemantauan terhadap kecepatan, arus, dan tegangan sehingga dapat dimonitoring secara langsung.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Dapat menggunakan motor dan generator yang lebih efisien yang memiliki *magnet permanent*. Sehingga tidak diperlukannya lagi sumber eksitasi eksternal untuk membangkitkan medan magnet.
2. Perancangan sistem kontrol dapat dilakukan dengan mengkombinasikan beberapa metode control ataupun dengan control lainnya agar dapat menghasilkan output yang sesuai dengan yang diinginkan.
3. Diperlukan penggunaan sensor pengukuran yang lebih presisi agar nilai *error* kesalahan tidak terlalu jauh dari nilai yang diinginkan sehingga dapat menghasilkan sistem kontrol yang baik.
4. Menggunakan DC-DC Converter yang memiliki efisiensi yang baik agar tidak terjadinya rugi-rugi daya yang besar, dan dapat mengakibatkan sistem tidak bekerja secara maksimal..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kitaronka *et al.*, “Pedal Power Generation: An Implementation of Stationary Bike Generator,” *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 1, pp. 63–67, 2020.
- [2] S. Thangavel, D. Mohanraj, T. Girijaprasanna, S. Raju, C. Dhanamjayulu, and S. M. Muyeen, “A Comprehensive Review on Electric Vehicle: Battery Management System, Charging Station, Traction Motors,” *IEEE Access*, vol. 11, no. March, pp. 20994–21019, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3250221.
- [3] A. J. H. Al Gizi, “Fuzzy Logic Control Design and Implementation with DC-DC Boost Converter,” *EAI Endorsed Trans. Context. Syst. Appl.*, vol. 8, p. e6, 2022, doi: 10.4108/eetcasa.v8i24.1920.
- [4] N. SULISTYAWATI, F. FAHMIZAL, and I. NATHASYA, “Kendali Kecepatan Motor DC dengan Buck Converter menggunakan Full State Feedback-Pole Placement,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 415, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.415.
- [5] I. Adiansyah, I. Made Andik Setiawan, and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan Perancangan Sistem Charging Baterai Dengan Dc-Dc Converter Berbasis Panel Surya,” 2022.
- [6] B. A. W. Widhiawan, S. Handoko, and D. Darjat, “Perancangan Sistem Charging Baterai Menggunakan Buck-Boost Converter Dengan Sumber Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 17–25, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i1.17-25.

- [7] F. A. Pamuji *et al.*, “Design and Implementation of Buck Boost Converter for fuzzy Logic Controller Based DC Motor Speed Control,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 2024, no. 4, pp. 60–66, 2024, doi: 10.15199/48.2024.04.12.
- [8] A. Rafi Al Tahtawi Jurusan Teknik Elektro, P. Negeri Bandung Jl Gegerkalong Hilir, K. Bandung Barat, and J. Barat, “Kendali Posisi Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy Interval Tipe 2 The Position Controlling of DC Motor Using Interval Type-2 Fuzzy Logic,” *Telka*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [9] D. Pramanda and A. Aswardi, “Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Arduino dengan Metode Open Loop,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 1, p. 187, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.107852.
- [10] D. T. Arif and A. Aswardi, “Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 33, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108395.
- [11] Masjudin, Alimuddin, S. N. Aisah, and R. Wiryadinata, “DC Motor Speed Control Based on Fuzzy Adaptive with Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC) Algorithm,” *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, pp. 79–83, 2020, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9276771.
- [12] M. R. Pratama, “Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode PWM,” vol. 2, no. 7, pp. 1–19, 2022.
- [13] M. A. Ulum and S. I. Haryudo, “Perancangan Sistem Monitoring Kecepatan Putar Motor DC Berbasis Internet Of Things Menggunakan Aplikasi BLYNK,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 855–862, 2020.
- [14] S. Krithiga, N. Sujitha, G. J. S. M. Sandeep, R. Gokulnath, and P. S. Subudhi, “FLC-based, PV-fed interleaved dual buck-boost converter for EV battery charging applications,” *Heliyon*, vol. 8, no. 4, p. e09238, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09238.
- [15] A. I. Yustikasari, E. Sunarno, and P. A. Mahadi Putra, “Desain dan Simulasi Buck Konverter Dengan Kontrol Logika Fuzzy untuk Pengisian Baterai,” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 8,

- no. 2, pp. 59–64, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i2.2389.
- [16] N. D. Bhat, D. B. Kanse, S. D. Patil, and S. D. Pawar, “DC/DC Buck Converter Using Fuzzy Logic Controller,” no. Icces, pp. 182–187, 2020, doi: 10.1109/icces48766.2020.9138084.
- [17] D. S. Abraham *et al.*, “Electric vehicles charging stations’ architectures, criteria, power converters, and control strategies in microgrids,” *Electron.*, vol. 10, no. 16, 2021, doi: 10.3390/electronics10161895.
- [18] J. D. Gotz *et al.*, “Design of a Takagi–Sugeno Fuzzy Exact Modeling of a Buck–Boost Converter,” *Designs*, vol. 7, no. 3, pp. 1–15, 2023, doi: 10.3390/designs7030063.
- [19] wayan arsa suteja and adi surya antara, “Analisis Sensor Arus Invasive ACS712 dan Sensor Arus Non Invasive SCT013 Berbasis Arduino,” *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, 2021, doi: 10.33387/protk.v8i1.2116.
- [20] A. Clinton, D. Syauqy, and F. Utamingrum, “Sistem Monitoring RPM Roda Smart Wheelchair Pada Halaman Web Berbasis Ajax Menggunakan Sensor Optocoupler,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 9, pp. 3065–3073, 2018.
- [21] T. Pangaribowo, W. M. Utomo, A. A. Bakar, and D. S. Khaerudini, “Battery charging and discharging control of a hybrid energy system using microcontroller,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 17, no. 2, pp. 575–582, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v17.i2.pp575-582.
- [22] U. Alset, A. Apte, and H. Mehta, “Implementation of Fuzzy Logic based High Performance Speed Control System for PMDC motor using ATMEGA-328P-PU Micro-controller,” *Proc. CONECCT 2020 - 6th IEEE Int. Conf. Electron. Comput. Commun. Technol.*, pp. 0–4, 2020, doi: 10.1109/CONECCT50063.2020.9198569.
- [23] A. Musyafa, I. Abadi, R. D. Noriyati, R. I. Mukromin, T. A. Rafi, and M. K. Asy’ari, “Design and Implementation Monitoring System Based Internet Of Things (IoT) on Battery Charging-Photovoltaic Power Plant Using FLC,” *Int. J. Mech. Mechatronics Eng. IJMME-IJENS*, vol. 20, no. 4, pp. 22–30, 2020

- [24] R. Kumar, M. Verma, and A. Kulkarni, "Optimizing Bidirectional EV Charger with Rapid Charging Architecture using Fuzzy Logic Control," *2024 3rd Int. Conf. Innov. Technol. INOCON 2024*, pp. 1–6, 2024, doi: 10.1109/INOCON60754.2024.10511811.
- [25] M. N. Mansor, A. A. A. Samat, A. I. Tajudin, N. A. Salim, K. Daud, and S. F. A. Shukor, "Self Tuning of PI Controller for Speed Control of DC Motor by Using Fuzzy Logic Controller," *2021 6th IEEE Int. Conf. Recent Adv. Innov. Eng. ICRAIE 2021*, vol. 2021, pp. 6–11, 2022, doi: 10.1109/ICRAIE52900.2021.9703980.
- [26] C. H. B. Apribowo, M. Ahmad, and H. Maghfiroh, "Fuzzy Logic Controller and Its Application in Brushless DC Motor (BLDC) in Electric Vehicle - A Review," *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 3, no. 1, p. 35, 2021, doi: 10.20961/jeeict.3.1.50651.