

**PENERAPAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS
*INTERNET OF THINGS (IoT)***

(Skripsi)

Oleh

DESI BUDIATI

NPM 2015031032



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**PENERAPAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS
*INTERNET OF THINGS (IoT)***

Oleh

DESI BUDIATI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENERAPAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IoT)*

Oleh

Desi Budiati

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik yang banyak digunakan dalam industri karena keunggulannya baik dari segi teknis maupun ekonomis. Namun, motor ini memiliki kelemahan berupa kecepatan putaran yang cenderung konstan dan berubah seiring dengan perubahan beban. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengendalian kecepatan untuk mencapai kestabilan kecepatan dan respons sistem yang baik. Penelitian ini mengimplementasikan metode *fuzzy logic controller* untuk meningkatkan kinerja motor induksi tiga fasa. *fuzzy logic controller* dipilih karena didasarkan pada aturan yang menggunakan variabel linguistik, memiliki kesederhanaan, serta akurasi yang tinggi, sehingga lebih efisien dalam menentukan parameter dibandingkan dengan metode *trial-and-error* yang memakan waktu. Komponen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi inverter, *gate driver*, Arduino Mega 2560, dan NodeMCU ESP8266. *Pulse Width Modulation (PWM)* digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor melalui proses *switching* pada MOSFET di rangkaian Inverter. *Gate driver* berfungsi untuk memperkuat sinyal PWM dari Arduino Mega 2560 sehingga memungkinkan operasi MOSFET secara optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penerapan *fuzzy logic controller*, motor induksi tiga fasa dapat mencapai kecepatan yang stabil. Respon sistem mampu mengikuti referensi dengan nilai rata-rata *rise time* sebesar 1,53 detik, *settling time* 3,29 detik, dan *overshoot* sebesar 1,5%. Pada saat terdapat gangguan didapatkan nilai *rise time* 1,81s, *settling time* 3,81s dan *overshoot* sebesar 1%. Selain itu, dengan penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)*, sistem ini dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui smartphone menggunakan aplikasi Blynk.

Kata Kunci : Motor induksi, *Fuzzy logic controller*, *Internet of Things (IoT)*

ABSTRACT

APPLICATION OF FUZZY LOGIC CONTROLLER ON A 3-PHASE INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS (IoT)

By

Desi Budiati

The three-phase induction motor is an electric motor that is widely used in industry because of its advantages both in technical and economic terms. However, this motor has a weakness in the form of rotation speed that tends to be constant and changes with load changes. Therefore, a speed control system is needed to achieve speed stability and good system response. This research implements the fuzzy logic controller method to improve the performance of a three-phase induction motor. The fuzzy logic controller was chosen because it is based on rules that use linguistic variables, has simplicity, and high accuracy, making it more efficient in determining parameters compared to the time-consuming trial-and-error method. The components used in this research include inverter, gate driver, Arduino Mega 2560, and NodeMCU ESP8266. Pulse Width Modulation (PWM) is used to adjust the motor rotational speed through the switching process on the MOSFET in the Inverter circuit. The gate driver functions to amplify the PWM signal from the Arduino Mega 2560 so as to enable optimal MOSFET operation. The results show that with the application of fuzzy logic controller, the three-phase induction motor can achieve a stable speed. The system response is able to follow the reference with an average rise time of 1.53 seconds, settling time of 3.29 seconds, and overshoot of 1.5%. When there is a disturbance, the rise time value is 1.81s, settling time is 3.81s and overshoot is 1%. In addition, with the application of Internet of Things (IoT) technology, this system can be controlled remotely via smartphone using the Blynk application.

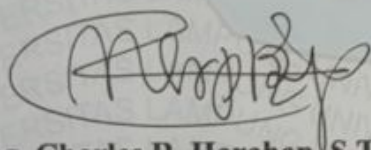
Keywords : Three-phase induction motors, Fuzzy logic controller, Internet of things (IoT)

Judul Skripsi : **:PENERAPAN FUZZY LOGIC
CONTROLLER PADA SISTEM
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR
INDUKSI 3 FASA BERBASIS INTERNET
OF THINGS (IoT)**

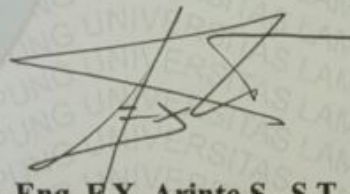
Nama Mahasiswa : **Desi Budiati**
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031032
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



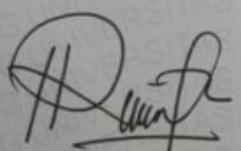
Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T.
NIP. 196912111999031001



Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.
NIP. 196912191999031002

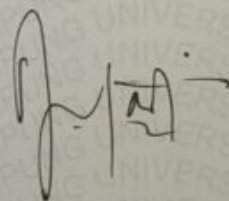
2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro



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

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

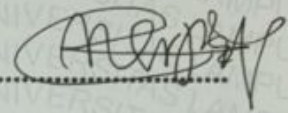


Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

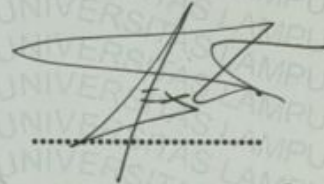
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

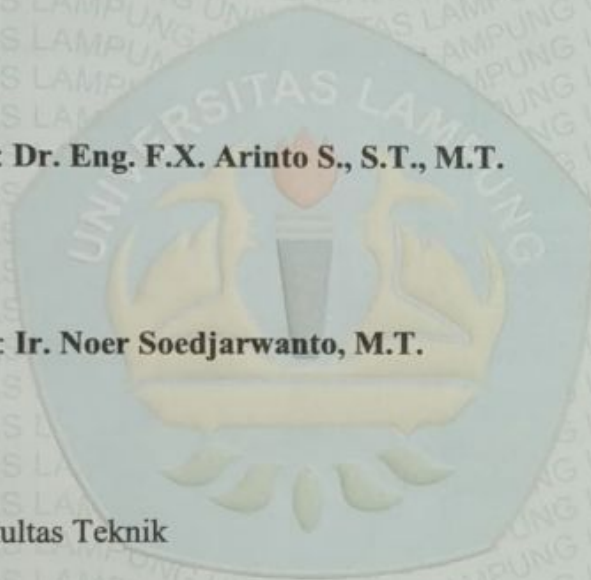
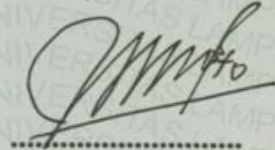
Ketua : Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T.



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



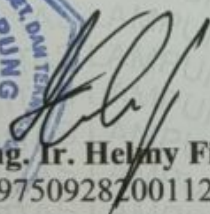
Penguji : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Agustus 2024

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali saran tertulis yang diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 25 September 2024



Desi Budiati
2015031032

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, 15 Desember 2002.

Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Sujono dan Ibu Onik Rubianti. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN 8 Gedong Air pada tahun 2008 hingga 2014, sekolah menengah pertama di

SMPN 10 Bandar Lampung pada tahun 2014 hingga 2017, sekolah menengah atas di SMA Perintis 1 Bandar Lampung pada tahun 2017 sampai tahun 2020.

Penulis menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur PMPAP. Selama menjadi mahasiswi, penulis menjadi bagian dari Asisten Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung sebagai sekretaris pelaksana program kerja Wireless selama 1 periode pada tahun 2021 dan menjadi sekretaris koordinator bidang konsumsi pada kegiatan *Electrical Engineering In Action* pada tahun 2022. Penulis juga aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik sebagai staff Humas selama 1 periode pada tahun 2021. Saat menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik. Beberapa kegiatan akademik pada lingkup tersebut yang diikuti penulis diantaranya kegiatan Program Kompetisi Kampus Merdeka bidang kewirausahaan dengan mengangkat topik “Alat Pengaman Motor Berbasis RFID

dan *Finger Print*”, penulis melakukan kerja praktik di PT. PLN (Persero) ULTG Tarahan dengan judul penelitian “Pengujian Tahanan Isolasi *Current Transformer* (CT) 20kV Berdasarkan Hasil Pemeliharaan Pada Penyulang NWT 16 Gardu Induk New Tarahan”

PERSEMBAHAN



Alhamdulillah rabbil'amin. Segala Puji bagi Allah Subhanahu wa ta'ala yang maha pengasih lagi maha penyayang. Shalawat serta salam kepada junjungan Nabi besar Muhammad Shalallaahu Alaihi Wassalaam.

Karya ini Kupersembahkan untuk
Ayahanda Tercinta dan Ibunda Tercinta

Sujono dan Onik Rubianti

Terima kasih atas kasih sayang dan segala hal yang telah tulus ikhlas kalian berikan dan lakukan untukku. Terima kasih sensatiasa bersabar dan berkorban dalam mendidikku, membesarkanku dengan penuh cinta dan kasih sayang, selalu berusaha memberikan yang terbaik untukku dan selalu mendoakan dalam setiap ucap Do'a untuk keberhasilan dan kebahagiaanku

Kakak Tersayang

Cici Destina

Yulianto Suprio Giri

Suryani Nur Arifah

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater

MOTTO

“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran yang kau jalani, yang membuatmu terpana, hingga lupa pedihnya rasa sakit”

-Ali Bin Abi Thalib-

“Bisa jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu dan bisa jadi kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui”

-QS. Al-Baqarah:216-

“Dan mereka merencanakan dan Allah juga merencanakan, dan Allah sebaik-baik perencana”

-QS. Ali-Imran:54-

“Life is journey not a destination”

SANWACANA

Alhamdulillahirrabil'alamin, puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi yang berjudul “Penerapan *Fuzzy Logic Controller* Pada Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Internet of Things* (IoT)” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, maka dari itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu serta kakak-kakak penulis yang selalu memberikan dukungan serta mendo'akan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dalam keadaan baik;
2. Bapak Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan yang terbaik, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir sehingga dapat selesai dalam keadaan baik;
3. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T., selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan selama penyusunan tugas akhir sehingga dapat diselesaikan dalam keadaan baik;
4. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku pembimbing akademik (PA)

yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang sarjana teknik;

6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung;
8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik yang sudah mengizinkan penulis menyusun tugas akhir di Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik dan memberikan dukungan selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini;
9. Pak Baiqodar, S.T. Selaku PLP Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik yang sudah meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini
10. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis;
11. Segenap staff Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal lainnya;
12. Kak Hari dan Kak Joseph yang sudah berbaik hati untuk meluangkan waktu, ilmu, dan memberikan dukungan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
13. Cahya Andika Salsabila dan Reyzal Effendy Nur Ardiansyah selaku teman seperjuangan dalam penyusunan tugas akhir ini, terima kasih atas waktu, ilmu, dukungan dan perjuangan yang telah dilakukan bersama-sama sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik, semoga kita mendapatkan cita-cita dan harapan yang kita perjuangkan.
14. Nadila Rahmawati selaku teman, sahabat, keluarga yang sudah meluangkan waktu untuk mendengar dan memberi masukan setiap keluh-kesah penulis.
15. Teman-teman Grup Rumah Vita yang selalu memberikan doa dan dukungan selama penulis menyusun tugas akhir ini;
16. Teman-teman pejuang S.T yang selalu memberi doa dan semangat dalam penyusunan tugas akhir ini;
17. Teman-Teman asisten PBL angkatan 2019, 2020, 2021 dan 2022 yang sudah

memberikan doa dan dukungan selama penulis mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai;

18. Segenap rekan-rekan Teknik Elektro angkatan 2020 dan TTL angkatan 2020 yang sudah membantu, bekerja sama dan saling memberikan dukungan dalam masa-masa perkuliahan;
19. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 25 September 2024

Desi Budiati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Manfaat Penelitian	5
1.4. Rumusan Masalah	5
1.5. Batasan Masalah.....	6
1.6. Hipotesis.....	6
1.7. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Motor Induksi 3 Fasa	8
2.1.1. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa	8
2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi	10
2.1.3. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi.....	11
2.2. Inverter 3 Fasa.....	12
2.3. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	13
2.4. <i>Gate Driver</i>	14

2.5.	Mikrokontroler	14
2.5.1.	Arduino Mega 2560	14
2.5.2.	NodeMCU ESP8266.....	15
2.6.	Sensor Kecepatan LM393	16
2.7.	Sensor Arus ACS712.....	17
2.8.	<i>Fuzzy Logic</i>	17
2.9.	Blynk	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2.	Diagram Penelitian.....	21
3.3.	Diagram Blok Sistem <i>Hardware</i>	22
3.4 .	Diagram Blok Sistem <i>Software</i>	23
3.5.	Alat dan Bahan.....	23
3.5.1.	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	23
3.5.2.	Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	24
3.6 .	Perancangan Sistem	24
3.6.1.	Studi Literatur	24
3.6.2.	Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa.....	24
3.6.3.	Perancangan Transformator <i>Step-Up</i>	25
3.6.4.	Perancangan Rangkaian DC <i>Power Supply</i>	26
3.6.5.	Perancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i>	27
3.6.6.	Perancangan Rangkaian Inverter	28
3.6.7.	Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560.....	28
3.6.8.	Perancangan <i>Wiring</i> NodeMCU	30
3.6.9.	Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan	31
3.6.10.	Perancangan IoT	32
3.6.11.	Perancangan <i>Fuzzy Logic Controller</i>	33
3.6.12.	Pemograman Mikrokontroler.....	39
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1.	Hasil Rancangan.....	40
4.1.1.	<i>Wiring DC Power Supply</i>	40
4.1.2.	<i>Wiring Gate Driver</i>	41

4.1.3.	<i>Wiring</i> Inverter	42
4.1.4.	Rangkaian Transformator <i>Step-Up</i>	42
4.1.5.	<i>Wiring</i> Sensor Arus ACS712	43
4.1.6.	<i>Wiring</i> Sensor Kecepatan LM393	43
4.1.7.	Hasil Rancangan Mikrokontroler	44
4.1.8.	Hasil Rancangan Rangkaian Beban	45
4.1.9.	Hasil Rancangan Keseluruhan Alat	46
4.2	Pengujian Hasil Rancangan.....	46
4.2.1	Pengujian Rangkaian Inverter	46
4.2.1.1	Pengujian Gelombang dan Frekuensi Inverter	47
4.2.1.2	Pengujian Tegangan Keluaran Inverter.....	53
4.2.2	Pengujian Nilai Arus	54
4.2.3	Pengujian Sensor Kecepatan LM393	56
4.2.4	Pengujian <i>Fuzzy Logic Controller</i>	58
4.2.4.1	Respon Kecepatan Motor Saat Kondisi Tanpa Beban	58
4.2.4.2	Respon Kecepatan Motor Saat Kondisi Berbeban	60
4.2.5	Pengujian <i>Software</i> Blynk	62
4.2.6	Pengujian <i>Delay</i> Blynk.....	63
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		66
5.1.	Kesimpulan	66
5.2.	Saran.....	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Rotor Sangkar.....	9
Gambar 2.2 Rotor belitan.....	9
Gambar 2.3 Stator.....	10
Gambar 2.4 Konstruksi Motor Listrik.....	10
Gambar 2.5 Inverter 3 Fasa.....	12
Gambar 2.6 <i>Pulse Width Modulation</i>	13
Gambar 2.7 HCPL 3120	14
Gambar 2.8 Arduino Mega 2560.....	15
Gambar 2.9 NodeMCU ESP8266.....	16
Gambar 2.10 Sensor Kecepatan LM393	16
Gambar 2.11 Sensor Arus ACS712.....	17
Gambar 2.12 Pengendalian <i>Fuzzy Logic</i>	18
Gambar 2.13 Sistem <i>Fuzzy Logic</i>	18
Gambar 2.14 Fungsi Keanggotaan Kurva Linear Naik dan Kurva Linear Turun	19
Gambar 2.15 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga.....	19
Gambar 2.16 Fungsi Keanggotaan Kurva Trapesium.....	20
Gambar 2. 17 Skema Antarmuka Blynk.....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram Perancangan Sistem Perangkat Keras	22
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem <i>Software</i>	23
Gambar 3.4. Motor Induksi 3 Fasa.....	25
Gambar 3.5 Rangkaian Transformator <i>Step-Up</i>	25
Gambar 3.6 Rangkaian DC <i>Power Supply</i>	26
Gambar 3.7 Rangkaian <i>Gate Driver</i>	27
Gambar 3.8 Rangkaian Inverter	28

Gambar 3.9	Rangkaian Arduino Mega 2560	30
Gambar 3.10.	<i>Wiring</i> NodeMCU ESP8266	31
Gambar 3.11.	<i>Wiring</i> Sensor Kecepatan	32
Gambar 3.12.	Tampilan IoT	33
Gambar 3.13	Tampilan Awal Matlab.....	33
Gambar 3.14	Tampilan Awal <i>Fuzzy Logic Designer</i>	34
Gambar 3.15	<i>Membership Function Setpoint</i>	34
Gambar 3.16	Tampilan <i>Membership Function Error</i>	35
Gambar 3.17	Tampilan <i>Membership Function Delay</i>	35
Gambar 3.18.	Tampilan Implementasi dan Simulasi <i>Rules</i> MATLAB	38
Gambar 3.19	Tampilan <i>Surface</i> Defuzzyfikasi pada MATLAB	39
Gambar 3.20	Tampilan Awal Arduino IDE.....	39
Gambar 4.1	Rangkaian DC <i>Power supply</i>	41
Gambar 4.2	Rangkaian <i>Gate Driver</i>	41
Gambar 4.3	Rangkaian Inverter	42
Gambar 4.4	Rangkaian <i>Transformator Step-Up</i>	43
Gambar 4.5	<i>Wiring</i> sensor Arus ACS712.....	43
Gambar 4.6	<i>Wiring</i> Sensor Kecepatan LM393	44
Gambar 4.7	<i>Wiring</i> Mikrokontroler	45
Gambar 4.8	Rangkaian Beban.....	45
Gambar 4.9	Rangkaian Keseluruhan Alat.....	46
Gambar 4.10	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 20 Hz Fasa R-S	47
Gambar 4.11	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 20 Hz Fasa R-T	48
Gambar 4.12	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 20 Hz Fasa T-S.....	48
Gambar 4.13	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 30 Hz Fasa R-S	49
Gambar 4.14	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 30 Hz Fasa R-T	50
Gambar 4.15	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 30 Hz Fasa T-S.....	50
Gambar 4.16	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 40 Hz Fasa R-S	51
Gambar 4.17	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 40 Hz Fasa R-T	52
Gambar 4.18	Pengujian Gelombang Pada Frekuensi 40 Hz Fasa T-S.....	52
Gambar 4.19	Tegangan Output Inverter Fasa R-S-T Pada Frekuensi 20Hz..	53
Gambar 4.20	Tegangan Ouput Inverter Fasa R-S-T Pada Frekuensi 30Hz...	53

Gambar 4.21	Tegangan Output Inverter Fasa R-S-T Pada Frekuensi 40Hz..	54
Gambar 4.22	Pengukuran Arus Menggunakan multimeter Digital	55
Gambar 4.23	Grafik Hubungan Frekuensi Dengan Arus.....	56
Gambar 4.24	Pengukuran Kecepatan Menggunakan Tachometer.....	56
Gambar 4.25.	Grafik Hubungan Frekuensi Dengan Kecepatan.....	58
Gambar 4.26	Grafik Respon Sistem <i>Setpoint</i> 600 RPM.....	59
Gambar 4.27	Grafik Respon Sistem <i>Setpoint</i> 900 RPM.....	59
Gambar 4.28	Grafik Respon Sistem <i>Setpoint</i> 1200 RPM.....	60
Gambar 4.29	Grafik Respon Sistem <i>Setpoint</i> 1200 RPM Saat Terjadi Gangguan.....	61
Gambar 4.30	Pengujian Perubahan <i>Setpoint</i>	62
Gambar 4.31	Pengujian Blynk pada IoT.....	63
Gambar 4.32	Pengujian <i>Delay</i> Blynk Pada Kecepatan 600 RPM	64
Gambar 4.33	Pengujian <i>Delay</i> Blynk Pada Kecepatan 900 RPM	65
Gambar 4.34	Pengujian <i>Delay</i> Blynk Pada Kecepatan 1200 RPM	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konduksi 180° Switching MOSFET.....	12
Tabel 2.2	Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	15
Tabel 3.1	Urutan <i>Switching</i> Inverter Konduksi 180°	28
Tabel 3.2	<i>Wiring</i> Arduino Mega 2560 dengan <i>Gate Driver</i>	29
Tabel 3.3	<i>Wiring</i> Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU.....	29
Tabel 3.4	<i>Wiring</i> NodeMCU dengan Sensor ACS712	30
Tabel 3.5	<i>Wiring</i> Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega 2560.....	31
Tabel 3.6	Keterangan <i>Membership Fuzzy Logic Controller</i>	36
Tabel 3.7	<i>Rules Membership Function Fuzzy Logic Controller</i>	38
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Sensor Arus ACS712.....	54
Tabel 4.2	Perbandingan Pembacaan Sensor Arus dan Multimeter	55
Tabel 4.3	Hasil Pembacaan Sensor LM393	57
Tabel 4.4	Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor Kecepatan dan Tachometer	57
Tabel 4.5	Respon Kecepatan Motor Induksi Tanpa Beban	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era modern saat ini mengharuskan setiap industri menggunakan peralatan-peralatan yang mampu menunjang produksi yang berkualitas, serta efisiensi terhadap waktu dan biaya, sehingga mampu meningkatkan kinerja produksi. Dunia industri saat ini banyak menggunakan motor induksi sebagai sistem kontrol gerak dengan skala besar, karena motor induksi memiliki kelebihan dari segi teknis dan ekonomis [1].

Diantara keunggulan motor induksi, terdapat kelemahan yaitu sulit dalam mengatur kecepatan karena motor induksi bersifat tidak linear. Pada prinsipnya motor induksi memiliki laju yang konstan, jika beban berubah maka kecepatan motor akan berubah mengikuti beban [2]. Maka dari itu, untuk tetap menghasilkan kinerja yang lebih baik, motor induksi harus dapat dikendalikan dengan menghasilkan putaran yang bervariasi dan tetap stabil. Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan mengubah jumlah kutub dan frekuensi [3].

Dalam pengendalian kecepatan motor induksi diperlukan sebuah alat yang dapat mengendalikan kecepatan motor tersebut. Inverter merupakan alat yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC [4]. Rangkaian inverter tiga fasa terdiri dari enam buah sakelar berupa IGBT/MOSFET. Inverter memerlukan teknik PWM untuk mengendalikan gelombang digital menjadi *on* dan *off* dalam satu periode secara bergantian, perbandingan waktu tersebut disebut sebagai *duty cycle*, *duty cycle* ini yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor sesuai dengan masukan yang diberikan Arduino Mega2560. Arduino Mega 2560

merupakan komponen yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal PWM, sinyal PWM ini akan dikirim menuju *Gate Driver*. *Gate Driver* merupakan rangkaian elektronika yang memiliki fungsi sebagai penguat tegangan keluaran Arduino Mega2560 yang akan memicu *gate* pada MOSFET di Inverter.

Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan sistem *close loop*, kecepatan motor nantinya akan diumpun balik dengan menggunakan sensor kecepatan. Selanjutnya monitoring dan pemantauan kecepatan motor induksi tiga fasa dilakukan dengan menggunakan *Internet of Things (IoT)*. *Internet of things* merupakan konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung terus menerus. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilakukan dari jarak jauh dengan jaringan internet.

Peningkatan efisiensi pengendalian motor induksi tiga fasa ini menggunakan metode *fuzzy logiz*. *Fuzzy logic* merupakan metode kontrol modern dikategorikan dalam kontrol cerdas yang memiliki kemampuan menyelesaikan masalah yang kompleks [2]. *Fuzzy Logic* memberikan respon yang baik dalam pengurangan *error* dibandingkan dengan sistem kontrol konvensional (PID) [5].

Penelitian terdahulu, penelitian pertama yaitu “Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Metode Logika Fuzzy Berbasis PLC”, oleh Maudya Nur Azrina, dkk. Penelitian ini berfokus pada perbandingan antara kontrol *fuzzy logic* dan kontrol konvensional. Terdapat dua tahap pengujian yaitu pada tahap pertama pengujian pengendalian motor induksi tiga fasa tanpa *fuzzy logic* dan pengujian kendali kecepatan motor dengan menggunakan *fuzzy logic* yang dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan MATLAB Simulink, dan kendali dengan *fuzzy logic* memiliki kinerja yang lebih baik. Pada penelitian ini tidak terdapat sistem yang mampu memantau kecepatan motor secara *real-time* [1].

Penelitian kedua “Analisis Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Fuzzy Logic control*” oleh Akbar Kurniawan, dkk. Penelitian ini membahas

mengenai pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan *simulink* matlab, metode perubahan tegangan dan frekuensi pada inverter dan logika fuzzy, tujuan dari pengendalian ini yaitu untuk mengatasi permasalahan pada motor induksi yang memiliki sifat tidak linear, jika terdapat beban maka kecepatan akan berubah mengikuti beban. Hasil pada simulasi ini mendapatkan hasil *rise time* 1,2s dan *steady state* 0,3s. Pada penelitian ini tidak membahas mengenai *overshoot* pada pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa [2].

Penelitian ketiga membahas “Pengendalian dan Pemantauan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Panel Surya”, oleh Charles R. Harahap, F.X. Arinto Setyawan, Rina A. Nasution. Penelitian ini membahas mengenai perancangan sistem pengendalian motor induksi tiga fasa secara *open loop* dengan menggunakan *Internet of Things* sehingga bisa dilakukan pemantauan secara *real-time*. Namun penelitian ini menghasilkan kecepatan yang kurang stabil [6].

Penelitian keempat “Pengendalian kecepatan Motor DC Menggunakan Metode *Fuzzy Integral Controller*” oleh Kartono Wijayanto, dkk. Pada penelitian ini membuat sebuah prototype pengendalian kecepatan motor DC dengan menggunakan FIC, pengendalian ini mengintegrasikan logika fuzzy dengan pengendalian integral. Tujuannya yaitu mengeliminasi adanya *error steady state*. Inferensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe sugeno [7].

Penelitian kelima “Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor DC Dengan PWM Berbasis Arduino Nano” oleh Febi Fajar Kurniawan, dkk. Penelitian ini merancang sebuah alat yang dapat mengatur kecepatan motor DC dengan menggunakan teknik PWM (*pulse Width Modulation*). Pengujian pada penelitian ini dengan mengubah nilai *duty cycle* yang dapat mengubah nilai PWM dan RPM pada motor DC [8].

Penelitian keenam “Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan *Nine Switch Inverter* Menggunakan Metode PWM” oleh Charles R. Harahap, Endah Komalasari, Arnel Alberta Sinton. Penelitian ini membahas mengenai pengendalian kecepatan motor BLDC dengan menggunakan inverter

sembilan saklar. Penggunaan inverter pada penelitian ini berfungsi untuk mengkonversi sumber DC menjadi sumber AC, karena motor BLDC membutuhkan listrik AC untuk menggerakkan rotornya. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi perubahan frekuensi terhadap tegangan, frekuensi dengan kecepatan motor, dan frekuensi terhadap arus [9].

Penelitian ketujuh “Perbandingan Metode PI, PID, dan *Fuzzy Logic Controller* untuk Menjaga Stabilitas Kecepatan pada Motor Induksi Satu Fasa” oleh Dewinta Dwi Proboningtyas, dkk. Penelitian ini merancang simulasi pengendalian kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan 3 metode, yaitu metode PI, PID dan Fuzzy Logic. Berdasarkan ketiga metode tersebut, metode *fuzzy logic controller* menghasilkan error paling besar namun nilai *settling time* paling baik yaitu 0.25s dan kecepatan motor paling stabil diantara pengontrolan PI dan PID [5].

Penelitian kedelapan “Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* PCI 6221 dengan Matlab” oleh Anli Kumar Rajagiri, dkk. Pada penelitian ini terdiri dari dua bagian, yaitu implementasi perangkat keras dan perangkat lunak menggunakan Matlab Simulink yang bertujuan untuk merancang dan mengembangkan *Fuzzy Logic Controller*. Hasil dari penelitian ini, *fuzzy logic controller* menghasilkan respon yang baik dan mendapatkan settling time yang singkat [10].

Penelitian kesembilan “Simulasi Pengendalian Kecepatan Motor *Brushless* DC Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*” oleh Ichwan Yelfianhar, dkk. Penelitian ini membuat simulasi pengendalian motor BLDC menggunakan software Matlab, penelitian ini melakukan tiga pengujian. Pengujian tanpa Fuzzy Logic, pengujian dengan fuzzy logic dan pengujian dengan penambahan beban. Hasil dari penelitian ini menghasilkan respon sistem yang baik saat ditambahkan *fuzzy Logic* [11].

Penelitian Kesepuluh “Perbandingan Simulasi Kontrol Kecepatan Kereta Api dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Sugeno” oleh Zahra Cyrilla Huda, dkk. Penelitian ini membandingkan dua metode fuzzy logic, yaitu metode

mamdani dan sugeno. Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk melihat metode mana yang paling baik, berdasarkan penelitian ini metode sugeno memiliki hasil yang lebih baik karena lebih sensitif terhadap *output* dibandingkan dengan metode Mamdani [12].

Berdasarkan pemaparan diatas, menjadi dasar penelitian untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul “PENERAPAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)”

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* berbasis *Internet of Things* (IoT).
2. Menentukan nilai-nilai parameter respon sistem.
3. Melakukan pengendalian dan pemantauan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa melalui *smartphone* menggunakan aplikasi Blynk.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dihasilkan sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa menggunakan *Fuzzy Logic Controller*.
2. Mengetahui nilai-nilai parameter respon sistem.
3. Mengendalikan dan memantau kecepatan Motor Induksi 3 Fasa melalui *smartphone* menggunakan *internet of things* (IoT).

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian motor induksi 3 fasa berbasis *Internet of Things* (IoT)?
2. Bagaimana menentukan nilai-nilai respon sistem pengendalian

kecepatan motor induksi 3 fasa ?

3. Bagaimana melakukan pengendalian dan pemantauan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan menggunakan aplikasi Blynk?

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membahas mengenai pengendalian dan pemantauan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan menggunakan metode *fuzzy logic controller* variasi frekuensi pada inverter.

1.6. Hipotesis

Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dapat dikendalikan dengan menggunakan metode kontrol *fuzzy logic controller* berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengendalian kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dapat dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk dengan menggunakan *device smartphone*.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada lpaoran ini terbagi atas beberapa bab sebagai berikut:

- I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis penelitian dan sistematika penulisan laporan penelitian.
- II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan mengenai penjelasan secara umum teori dasar yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian.
- III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang tahapan penelitian yang meliputi waktu, tempat, alat, bahan, spesifikasi alat, dan metode penelitian.
- IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil dan pengolahan data serta analisa hasil penelitian.
- V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk

referensi dalam melanjutkan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC), dinamakan motor induksi karena motor ini arus rotornya berputar karena adanya induksi elektromagnetik. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan dalam bidang industri dengan kapasitas besar sedangkan motor induksi satu fasa biasanya dioperasikan untuk peralatan rumah tangga seperti pompa air, kipas angin dan mesin cuci [2].

Motor induksi juga disebut sebagai motor asinkron karena terdapat VSip yang mengakibatkan putaran poros motor dan putaran medan fluks magnet stator tidak sama [1]. Motor induksi dapat bekerja sebagai motor dan generator, pada saat mode motor kecepatan mesin induksi lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan sinkron sedangkan pada mode generator kecepatan sedikit lebih tinggi dibanding kecepatan sinkron. Namun pada saat motor induksi beroperasi sebagai generator tidak menghasilkan daya reaktif melainkan mengonsumsi daya reaktif, sehingga sumber daya reaktif eksternal harus terhubung dengan generator sepanjang waktu untuk menjaga medan magnet pada stator [2].

2.1.1. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

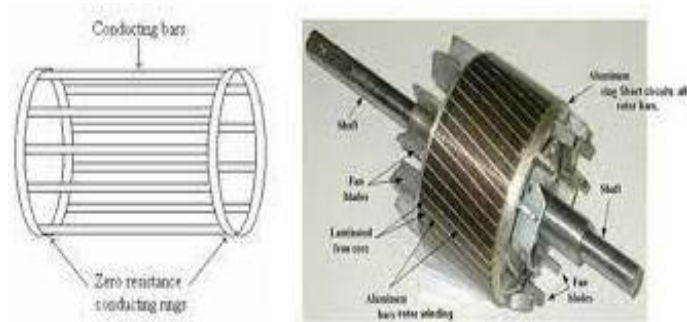
Motor induksi merupakan salah satu motor yang paling umum digunakan pada dunia industri, karena memiliki harga yang relatif murah, rancangannya sederhana dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi terdiri atas bagian rotor dan stator.

1. Rotor merupakan bagian yang berputar karena terdapat induksi elektromagnetik dari kumparan stator yang diinduksi kepada rotor. Terdapat

dua jenis rotor berdasarkan bentuknya.

a. Rotor sangkar

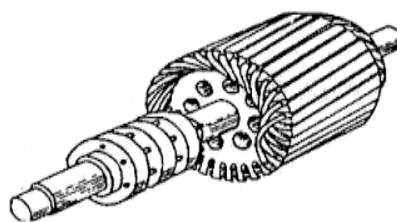
Rotor jenis ini memiliki konstruksi sederhana dan yang terbuat dari batang-batang konduktor dan slot paralel sebagai tempat masuknya batang konduktor, dimana setiap ujungnya dihubungkan dengan cincin-cincin.



Gambar 2.1. Rotor Sangkar

b. Rotor Belitan

Rotor belitan memiliki lilitan yang terisolasi dan biasanya terhubung wye, setiap ujung kawat belitan fasa rotor dihubungkan pada *slip ring* di poros rotor. Kumputan rotor memiliki jumlah kutub yang sama dengan kutub stator [2].



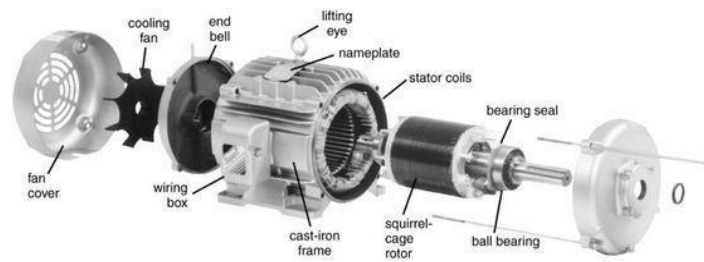
Gambar 2.2 Rotor Belitan

2. Stator merupakan bagian diam pada motor, yang terdiri dari kumparan stator dan terdapat kumparan medan di inti stator. Kumparan stator terbuat dari inti besi yang berlaminasi.



Gambar 2.3 Stator

3. Celah udara merupakan ruang antara stator dan rotor, pada celah ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Apabila celah udara terlalu besar maka akan menurunkan efisiensi motor dan apabila celah udara terlalu kecil maka akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin.



Gambar 2.4 Konstruksi Motor Listrik

2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotor. Pada saat kumparan stator motor induksi 3 fasa dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa maka kumparan pada stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul EMF (*Electromotive Force*) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan

mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Medan putar yang terdapat pada stator akan memotong konduktor pada rotor sehingga akan terinduksi arus dan mengakibatkan rotor akan berputar mengikuti medan putar stator. Kecepatan medan putar stator dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$n_s = \frac{120.f}{p} \quad (2.1)$$

Di mana:

- n_s = Kecepatan (RPM)
- f = Frekuensi stator (Hz)
- p = Jumlah kutub

Perbedaan putaran antara stator dan rotor disebut sebagai *slip*, bertambahnya beban maka akan memperbesar kopel motor dan mengakibatkan besarnya arus induksi pada rotor sehingga *slip* antara medan putar stator dan rotor akan bertambah besar dan mengakibatkan putaran rotor cenderung menurun [13].

2.1.3. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

a. Pengaturan frekuensi

Pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan frekuensi dapat dilihat berdasarkan persamaan 2.1, dimana menunjukkan kecepatan motor induksi sebanding dengan frekuensi. Semakin besar frekuensi maka semakin cepat putaran motor.

b. Pengaturan jumlah kutub

Pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan perubahan jumlah kutub dapat dilihat pada persamaan 2.1, berdasarkan persamaan tersebut diketahui bahwa semakin sedikit jumlah kutub maka putaran pada motor induksi akan semakin cepat. Perubahan jumlah kutub dapat dilakukan dengan merancang kumparan stator, namun pengaturan kecepatan motor ini cukup sulit karena

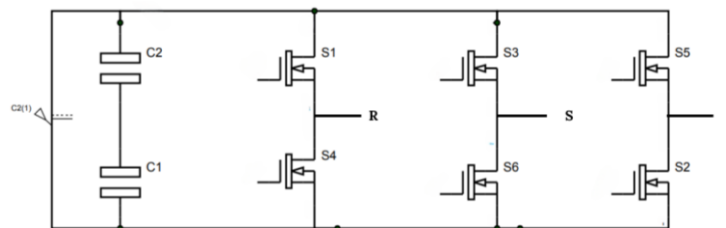
harus mengubah kosntruks motor.

c. Pengaturan tegangan sumber

Pengaturan kecepatan motor dengan mengatur tegangan sumber, semakin besar tegangan masukannya maka putaran motor induksi akan semakin cepat. Namun pengaturan dengan metode ini masih sulit karena area pengaturan yang sempit [3] [14].

2.2. Inverter 3 Fasa

Inverter merupakan peralatan elektronika daya yang memiliki fungsi untuk mengubah tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Prinsip kerja dari inverter yaitu mengkonverter frekuensi, dengan frekuensi yang telah dirubah tersebut motor dapat dikontrol sesuai kecepatan yang diinginkan menggunakan PWM. Rangkaian inverter terdiri atas komponen sakelar seperti SCR, MOSFET dan transistor [9] [15] .



Gambar 2.5 Inverter 3 Fasa

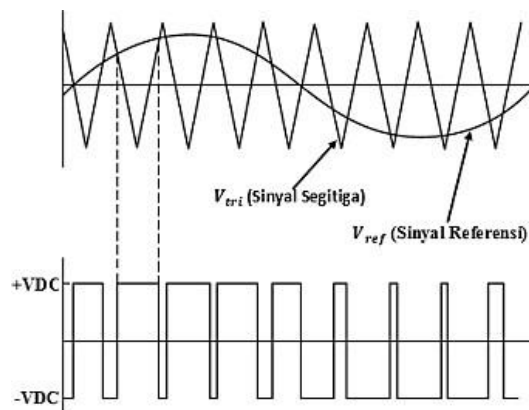
Switching MOSFET pada rangkaian inverter tiga fasa ini menggunakan konduksi 180° karena memiliki bentuk keluaran yang mendekati bentuk gelombang sinus.

Tabel 2.1 Konduksi 180° *Switching* MOSFET

Interval	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0° - 60°	1	0	0	0	1	1
60° - 120°	1	1	0	0	0	1
120° - 180°	1	1	1	0	0	0
180° - 240°	0	1	1	1	0	0
240° - 300°	0	0	1	1	1	0
300° - 360°	0	0	0	1	1	1

2.3. Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah teknik membandingkan antara sinyal referensi (V_r) dengan sinyal *carrier* (V_c). Bentuk dari sinyal referensi adalah gelombang sinus dan bentuk sinyal *carrier* adalah gelombang segitiga. Prinsip kerja dari PWM yaitu saat sinyal referensi (V_r) lebih besar dibandingkan sinyal *Carrier* (V_c) maka akan menghasilkan sinyal *high* dan apabila sinyal referensi lebih kecil dari sinyal *carrier* maka akan menghasilkan sinyal *low*. Pengaturan PWM merupakan salah satu cara ampuh untuk sistem kendali kecepatan, kendali sistem tenaga dan pengukuran. Proses membandingkan kedua sinyal tersebut akan menghasilkan nilai *duty cycle* [15].



Gambar 2. 6 *Pulse Width Modulation*

Pada gambar 2.7 menunjukkan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *high* atau *on* disebut T_{on} dan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *low* atau *off* disebut T_{off} . Penjumlahan T_{on} dan T_{off} disebut sebagai T_{total} , dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.2)$$

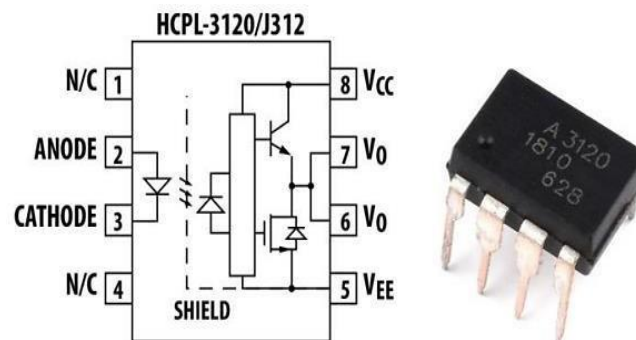
Nilai *duty cycle* dapat ditentukan berdasarkan T_{on} dan T_{off} , yaitu dengan menggunakan persamaan berikut,

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{off}} \times 100\% \quad (2.3)$$

2.4. Gate Driver

Gate driver merupakan perangkat elektronika yang digunakan untuk memperkuat sinyal output PWM yang berasal dari mikrokontroler sehingga mampu menggerakkan IGBT/MOSFET [16]. *Gate driver* menggunakan IC dalam rangkaianannya, salah satunya adalah IC HCPL 3120 yang merupakan salah satu jenis IC yang dirancang khusus untuk penggerak sakelar semikonduktor jenis IGBT/MOSFET.

HCPL 3120 merupakan salah satu jenis *optocoupler* yang terdiri atas dua bagian yaitu *transmitter* yang terhubung dengan rangkaian kontrol atau rangkaian input yang terdapat inframerah yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal berupa cahaya inframerah. Bagian kedua adalah *receiver*, bagian ini terhubung dengan rangkaian beban atau *output* yang terdiri atas komponen yang dapat menerima cahaya yang dikirim oleh transmitter.



Gambar 2.7 HCPL 3120

2.5. Mikrokontroler

2.5.1. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan sirkuit dengan chip mikrokontroler Atmega 2560 dan memiliki jumlah pin yang paling banyak diantara jenis arduino lainnya yaitu berjumlah 54 pin. Arduino Mega 2560 ini memiliki kapasitas ruang yang besar sehingga cocok untuk digunakan pada rangkaian yang besar.



Gambar 2.8 Arduino Mega 2560

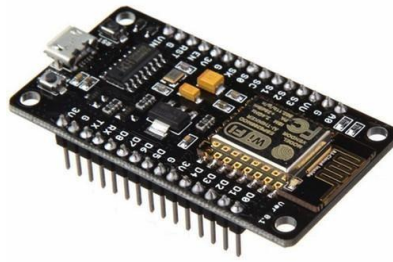
Spesifikasi Arduino Mega 2560 diatmpilkan dalam tabel berikut:

Tabel 2.2. Spesifikasi Arduino Mega 2560

Jenis Mikrokontroler	Arduino Mega 2560
Tegangan Operasional	7-12 V
Pin input/Output Digital	54 (15 PWM)
Jumlah Pin <i>Input</i> Analog	16 Pin
Arus DC per Pin I/O	20mA
Arus DC pin 3,3 V	50mA
<i>Flash Memory</i>	256KB

2.5.2. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 merupakan platform IoT *open source*. Istilah NodeMCU secara *default* mengacu pada *firmware* DevKit. NodeMCU telah *me-package* ESP8266 ke dalam sebuah *board* yang kompak dengan berbagai fitur layaknya mikrokontroler kapabilitas akses terhadap WI-Fi juga chip komunikasi USB serial, sehingga untuk programnya hanya memerlukan eksitasi kabel USB persis seperti *charge smartphone*.



Gambar 2.9 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 memiliki pin I/O yang memadai dan dapat mengakses jaringan internet untuk mengirim atau mengambil data melalui koneksi Wi-Fi selain itu NodeMCU ESP8266 mudah diprogram.

2.6. Sensor Kecepatan LM393

Sensor kecepatan LM393 biasa disebut sebagai optocoupler merupakan komponen elektronika yang memiliki fungsi penghubung berdasarkan cahaya optik. Sensor ini terdapat dua bagian yaitu, *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* bentuknya berupa LED dan *Receiver* bentuknya berupa fototransistor. Komponen ini terbuat dari bahan semikonduktor yang terdiri atas kombinasi LED (*Light Emitting Diode*) inframerah dan Phototransistor. Cara kerja dari sensor ini yaitu apabila terdapat arus listrik yang mengalir melalui LED maka menyebabkan LED memancarkan sinyal cahaya dan cahaya itu akan ditangkap oleh phototransistor [13].



Gambar 2.10 Sensor Kecepatan LM393

2.7. Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC, dalam pembacaan arus dalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Sensor ini digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik dan proteksi beban berlebih. Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi karena didalamnya terdapat rangkaian *low-offset* linier hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga.

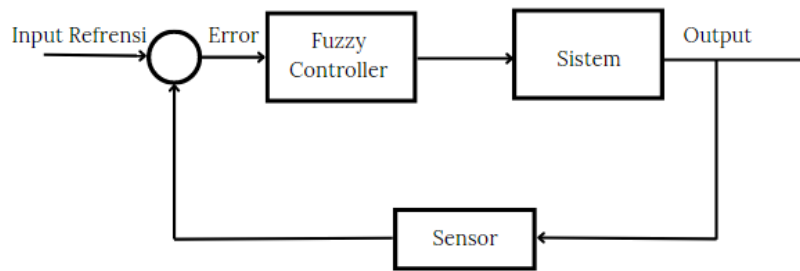


Gambar 2.11 Sensor Arus ACS712

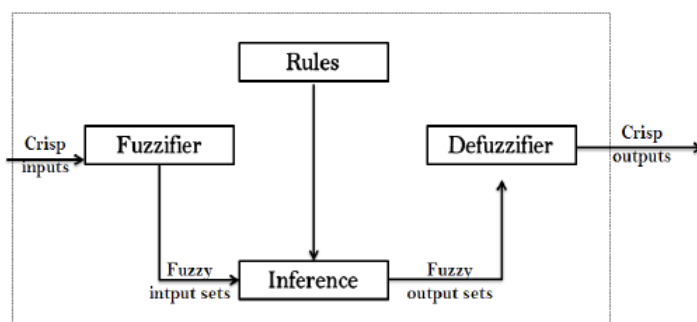
Cara kerja sensor ini yaitu, arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional.

2.8. Fuzzy Logic

Fuzzy logic ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 [11]. Beliau merupakan ilmuwan yang berasal dari Iran. *Fuzzy Logic* merupakan logika atau penalaran yang memiliki nilai samar, secara umum *fuzzy logic* merupakan metode berhitung dengan variabel linguistik. Pada prinsipnya algoritma fuzzy dapat menutupi kekurangan yang dimiliki oleh logika biner Boolean, pada logika tersebut hanya menjawab dua kondisi yaitu benar atau salah. Dengan *fuzzy logic* tidak hanya menjawab benar salah tetapi dapat menjawab kondisi-kondisi pertengahan diantara benar dan salah [1] [17].



Gambar 2.12 Pengendalian *fuzzy logic*.



Gambar 2.13 Sistem *fuzzy logic*

Secara umum *fuzzy logic* terdiri dari tiga bagian yaitu :

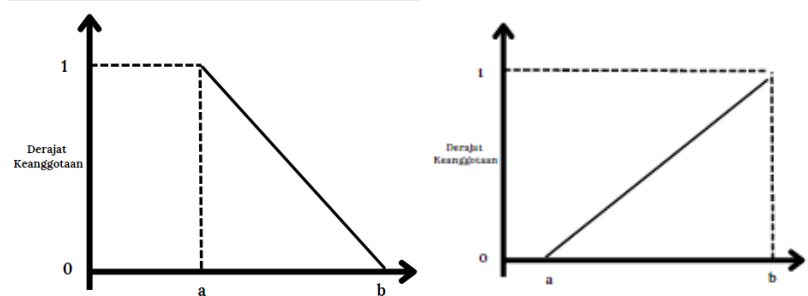
- a. *Fuzzifikasi* merupakan proses perubahan himpunan *crisp* menjadi himpunan fuzzy berupa variabel linguistik.
- b. *Fuzzy Inference System* (FIS) merupakan proses untuk mengubah masukan fuzzy menjadi keluaran fuzzy. Pada bagian ini terdiri dari *Rule Base* yang mengandung aturan fuzzy *IF-THEN* dan *Database* yang mendefinisikan keanggotaan untuk digunakan dalam aturan fuzzy. Terdapat beberapa model sistem Inferensi Fuzzy salah satunya yaitu model Mamdani. Model ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975.
- c. *Defuzzification* merupakan proses untuk mengubah keluaran fuzzy yang didapatkan dari *Inference system* menjadi nilai tegas.

Fungsi keanggotaan atau *membership function* merupakan sebuah kurva yang menunjukkan pemetaan input data menjadi nilai keanggotaan yang memiliki interval 0-1. Untuk mendapatkan nilai keanggotaan yaitu menggunakan kurva untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan. terdapat beberapa jenis kurva pada

model Mamdani antara lain.

a. Kurva Linear

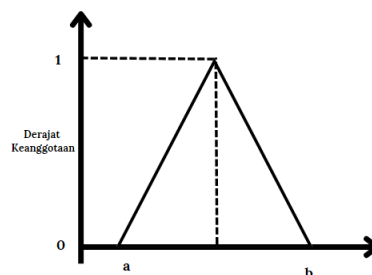
Kurva ini menggambarkan sebuah garis lurus, terdapat dua fungsi linear yaitu linear naik dan linear turun. Linear naik merupakan himpunan yang dimulai dari derajat keanggotaan nol bergerak menuju derajat keanggotaan yang lebih tinggi. Linear turun merupakan himpunan yang dimulai dari derajat keanggotaan tinggi bergerak menuju derajat keanggotaan rendah.



Gambar 2.14 Fungsi Keanggotaan Kurva Linear Naik dan Kurva Linear Turun.

b. Kurva Segitiga

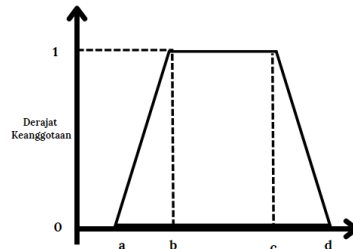
Fungsi keanggotaan segitiga memiliki tiga parameter yaitu $[a, b, c]$ atau menggunakan min dan max. Kurva ini merupakan gabungan antara kurva linear naik dan kurva linear turun.



Gambar 2.15 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga

c. Kurva Trapesium

Kurva trapesium ditentukan oleh empat parameter $[a, b, c, d]$, kurva ini merupakan gabungan antara kurva linear naik dan kurva linear turun serta garis horizontal yang memiliki nilai keanggotaan naik.[15]



Gambar 2.16 Fungsi Keanggotaan Kurva Trapesium

2.9. Blynk

Blynk merupakan *platform* aplikasi gratis yang dapat diunduh oleh pengguna IOS dan android, fungsi dari Blynk adalah untuk mengontrol arduino, raspberry Pi dan sejenisnya melalui internet Blynk dirancang untuk *Internet of Things* dengan tujuan dapat mengontrol hardware dari jarak jauh, dapat menampilkan data sensor, dapat menyimpan data, visual dan melakukan banyak hal canggih lainnya. Ada tiga komponen utama dalam *platform* yaitu Blynk App, Blynk Server, dan Blynk *Library* [6] [19].



Gambar 2. 17 Skema Antarmuka Blynk

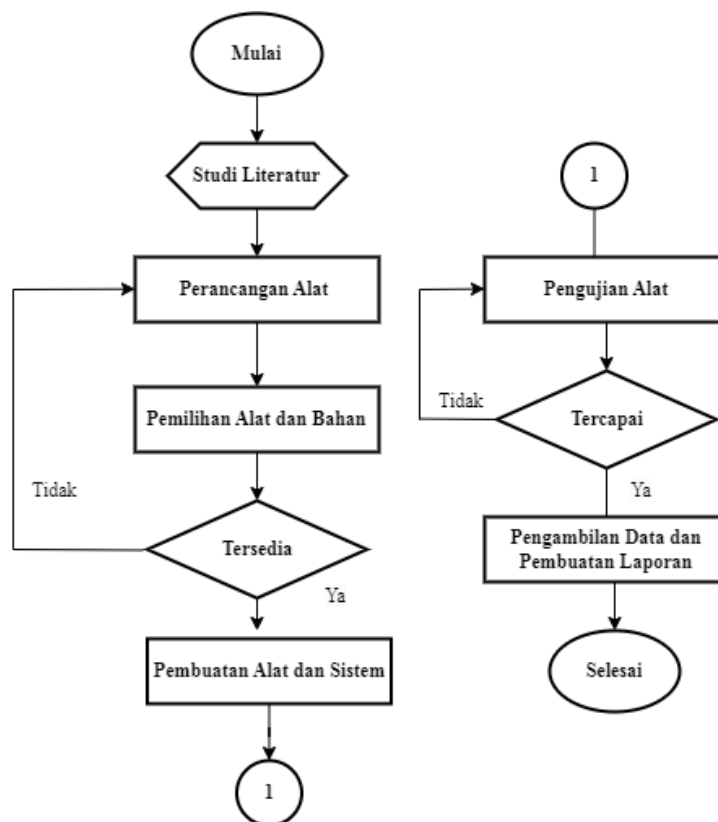
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, di mulai sejak Desember 2023 hingga Mei 2024.

3.2. Diagram Penelitian

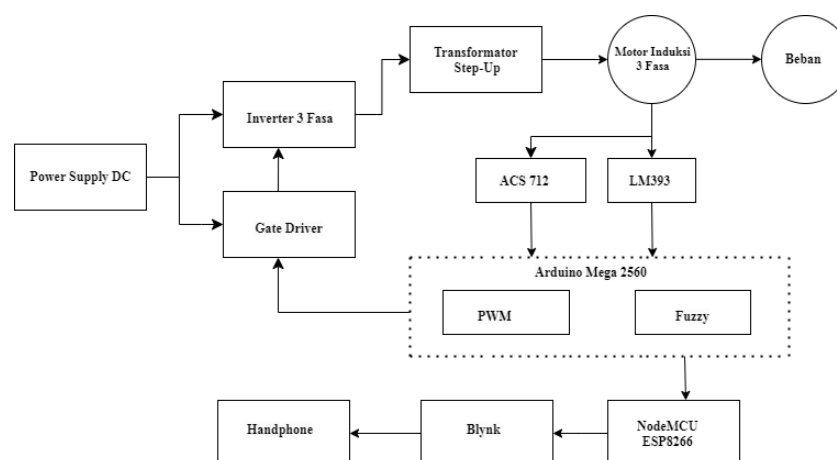
Diagram alir pada penelitian ini ditampilkan pada gambar 3.1. Diagram alir tersebut terdiri dari studi literatur, perancangan alat, penentuan alat dan bahan, pembuatan alat, pengujian alat, pengambilan data serta pembuatan laporan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3. Diagram Blok Sistem *Hardware*

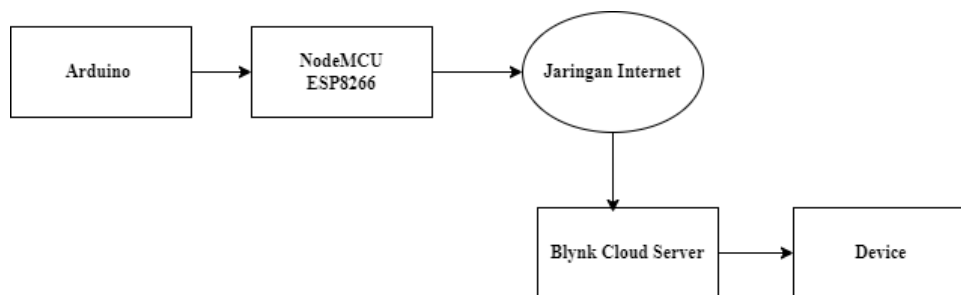
Diagram Perancangan *hardware* ditampilkan pada gambar 3.2, diagram perancangan ini terdiri dari sumber tegangan berupa DC *power supply* yang berfungsi memberikan *supply* pada rangkaian *gate driver* dan inverter. Tegangan DC tersebut nantinya akan dikonversi oleh Inverter menjadi tegangan AC sehingga dapat memberikan tegangan pada motor. Inverter bekerja berdasarkan pensaklaran MOSFET dengan teknik PWM, PWM tersebut dihasilkan oleh Arduino Mega 2560 yang nantinya akan diteruskan menuju *gate driver*. *Gate Driver* menaikkan tegangan keluaran dari Arduino Mega 2560 sehingga MOSFET dapat bekerja. Kemudian motor induksi 3 fasa akan bekerja setelah mendapatkan suplai tegangan AC yang berasal dari Inverter. Saat motor berputar, sensor arus dan kecepatan akan mendeteksi nilai-nilai tersebut pada rangkaian. Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa ini menggunakan sistem *close loop*, kecepatan motor diumpun balik dengan sensor kecepatan yang terbaca pada *mikrokontroler*. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perancangan ini menggunakan metode kontrol *fuzzy Logic*, fungsi *fuzzy Logic* yang sudah tertanam di arduino Mega 2560 akan mengatur sinyal PWM, sehingga mendapatkan respon yang baik sehingga nilai *error* pada saat pengendalian dapat diminimalisir. Nilai Arus dan kecepatan yang terbaca pada Arduino Mega 2560 lalu dikirimkan menuju *cloud server* Blynk melalui Modul Wi-Fi NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan jaringan internet, sehingga kecepatan putaran motor dapat dikendalikan melalui aplikasi Blynk.



Gambar 3.2 Diagram Perancangan Sistem Perangkat Keras

3.4. Diagram Blok Sistem *Software*

Perancangan perangkat lunak menggunakan aplikasi Blynk pada *smartphone* yang terhubung dengan *Blynk cloud server*, pembacaan nilai sensor pada arduino dikirimkan menuju *Blynk cloud server* melalui ESP8266 sehingga pengendalian kecepatan motor dapat dilakukan. Diagram perancangan sistem perangkat lunak pada penelitian ini ditampilkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem *Software*.

3.5. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat dua jenis perangkat yang digunakan, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

3.5.1. Perangkat Keras (*Hardware*)

1. Motor induksi 3 fasa
2. Rangkaian *power supply*
3. Transformator *Step-Up*
4. Transformator *Step-Down*
5. Sensor kecepatan LM393
6. Sensor arus ACS712
7. NodeMCU ESP8266
8. Rangkaian *gate driver*
9. Inverter DC-AC (3 fasa)
10. Arduino Mega2560
11. Laptop
12. Handphone
13. Osiloskop Digital

14. Multimeter Digital

15. Tachometer

3.5.2. Perangkat Lunak (*Software*)

1. Arduino IDE 1.8.19
2. EasyEDA
3. Microsoft Office
4. Fritzing
5. Matlab R2017A
6. Blynk

3.6. Perancangan Sistem

Tahapan dalam perancangan sistem terdiri dari studi literatur, spesifikasi motor induksi, perancangan transformator *step-down* dan *step-up*, perancangan rangkaian *gate driver*, perancangan rangkaian inverter 3 fasa, perancangan *wiring* Arduino Mega, perancangan *wiring* sensor kecepatan dan arus, perancangan *wiring* NodeMCU, perancangan kontrol fuzzy, perancangan rangkaian beban dan perancangan aplikasi IoT.

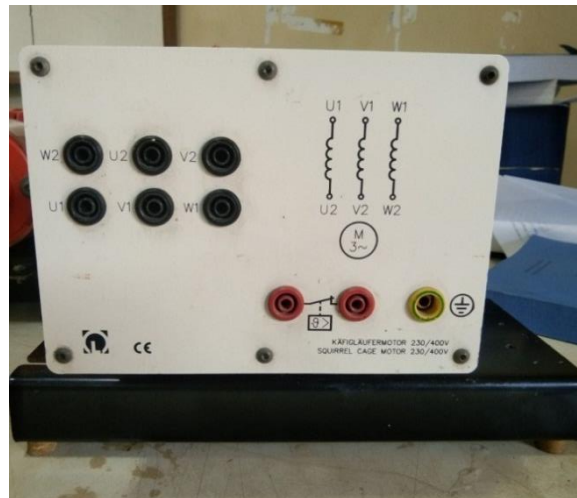
3.6.1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, penulis mengumpulkan referensi berupa buku dan jurnal yang berkaitan sebagai pedoman dalam perancangan alat. Tujuan studi literatur agar penulis dapat memahami penelitian yang akan dilakukan.

3.6.2. Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

Penelitian ini menggunakan motor induksi 3 fasa sebagai objek yang di kontrol, motor induksi 3 fasa ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

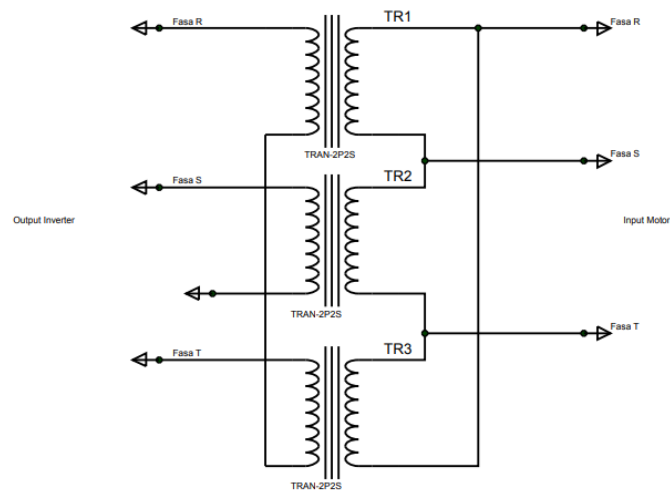
1. Rating Tegangan : 400 V(Y)/ 230 (Δ)
2. Rating Arus : 0.45A(Y)/ 0.78A(Δ)
3. Rating Daya : 0.12kW
4. Rating Frekuensi : 50Hz
5. Rating Kecepatan : 1380 U/min
6. Cos ϕ : 0.67



Gambar 3.4 Motor Induksi 3 Fasa

3.6.3. Perancangan Transformator *Step-Up*

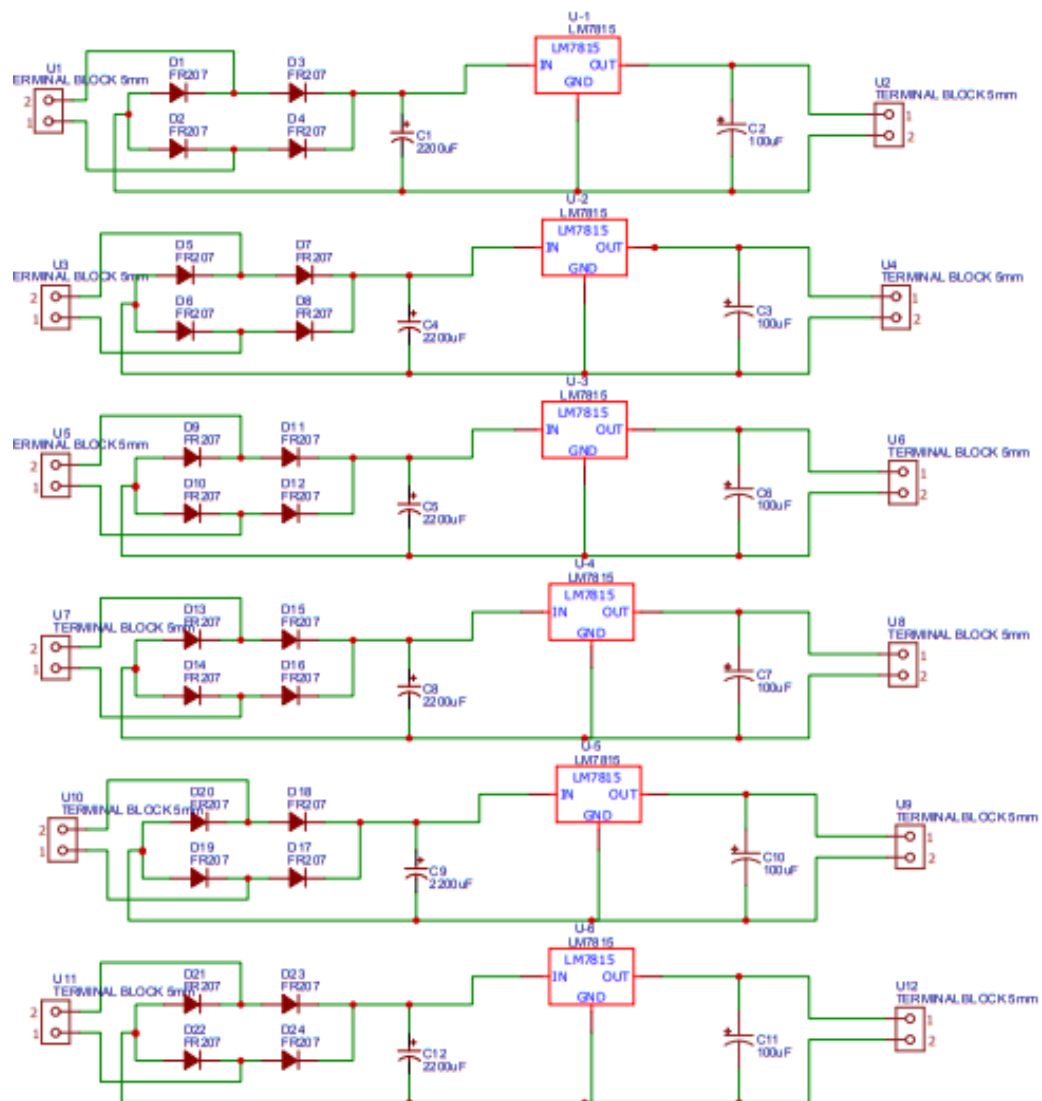
Pada penelitian ini membutuhkan komponen transformator *step-up*, fungsi dari komponen ini yaitu untuk menaikkan tegangan keluaran inverter sebesar 12 V menjadi 220V agar dapat mensupply motor. Transformator *step-up* 3 fasa ini dirangkai dengan hubung ($Y - \Delta$). Rangkaian perancangan transformator *step-up* ditampilkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Transformator *Step-Up*

3.6.4. Perancangan Rangkaian DC Power Supply

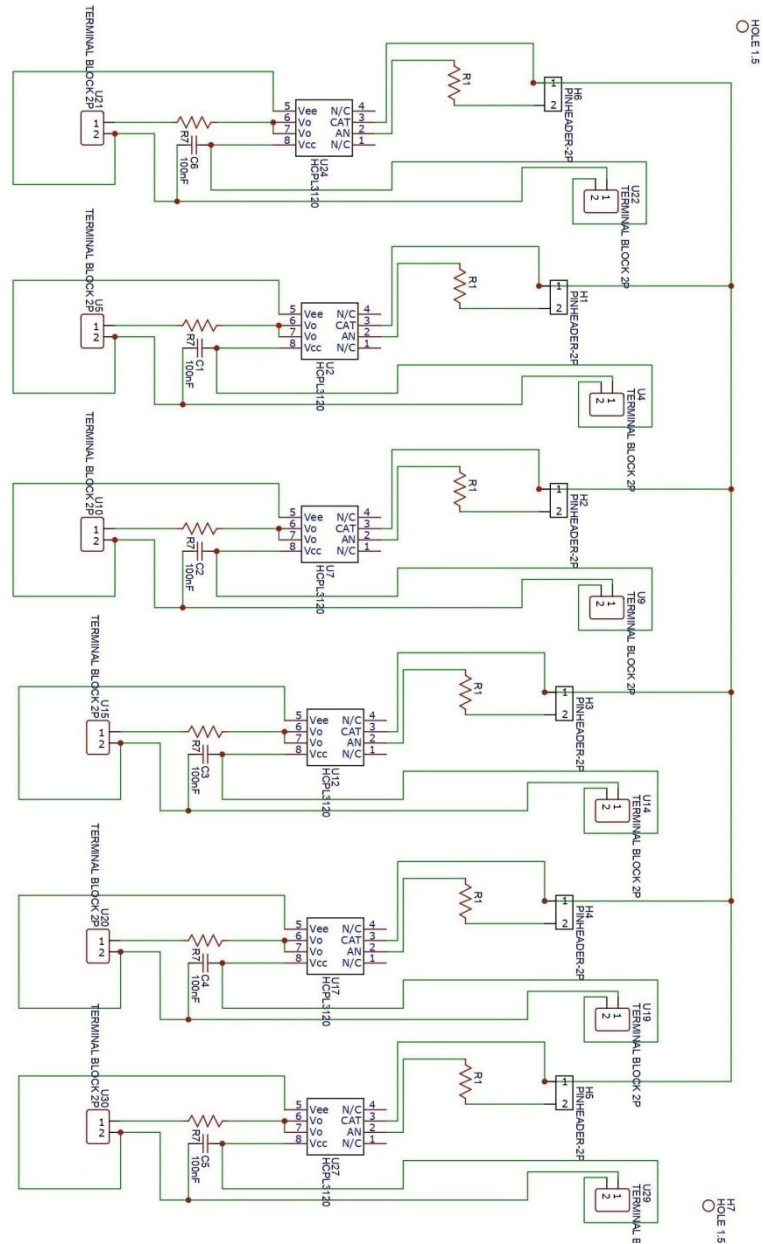
Rangkaian *power supply* 3 fasa dirancang sebagai *supply* tegangan pada *gate driver*, masukan tegangan pada *power supply* sebesar 220V. Komponen penyusun rangkaian ini antara lain transformator CT 220/15V, dioda FR207, IC Regulator LM7815, Kapasitor 4600 μ F. Adapun rancangan DC *power supply* ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian DC Power Supply

3.6.5. Perancangan Rangkaian *Gate Driver*

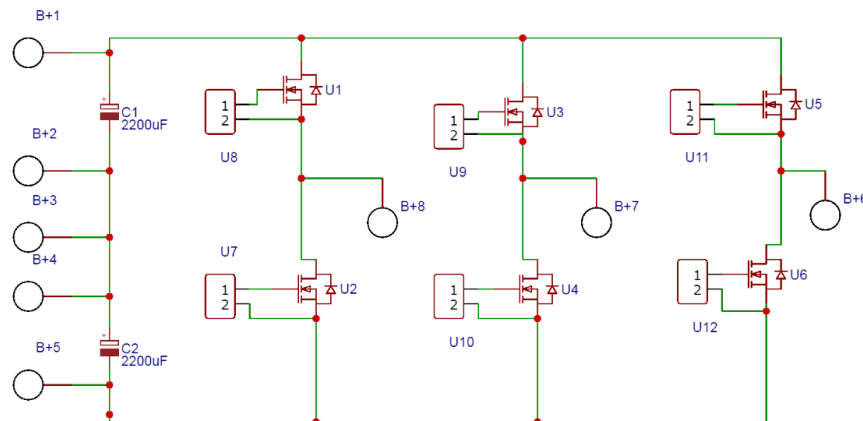
Rangkaian *gate driver* merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai penguat sinyal PWM yang berasal dari Arduino Mega 2560 sehingga MOSFET pada Inverter dapat bekerja. Komponen penyusun pada rangkaian *gate driver* yaitu IC HCPL 3120, kapasitor Mylar 0.1 μF , resistor 47 Ω , dan resistor 220 Ω . Adapun rancangan *gate driver* ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian *Gate Driver*

3.6.6. Perancangan Rangkaian Inverter

Pada penelitian ini menggunakan inverter 3 fasa, fungsi dari inverter yaitu mengubah sumber DC menjadi sumber AC. Inverter 3 fasa ini menggunakan mode konduksi 180° . Komponen penyusun rangkaian inverter ini antara lain, MOSFET IRF460 sebanyak enam buah dan kapasitor ELCO $2200\mu F$. Rangkaian inverter 3 fasa ditampilkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian Inverter

Adapun urutan *switching* pada inverter dengan konduksi 180° , sebagai berikut.

Tabel 3.1 Urutan *switching* Inverter Konduksi 180°

Interval	Sudut	Sakelar ON	Tegangan Per Fasa (Vdc)			Tegangan Antarfasa		
			R	S	T	V_{RS}	V_{ST}	V_{TR}
1	$0^\circ-60^\circ$	1,6,5	1/3	-2/3	1/3	Vdc	-Vdc	0
2	$60^\circ-120^\circ$	1,6,2	2/3	-1/3	-1/3	Vdc	0	-Vdc
3	$120^\circ-180^\circ$	1,3,2	1/3	1/3	-2/3	0	Vdc	-Vdc
4	$180^\circ-240^\circ$	4,3,2	-1/3	2/3	1/3	-Vdc	Vdc	0
5	$240^\circ-300^\circ$	4,3,5	-2/3	1/3	1/3	-Vdc	0	Vdc
6	$300^\circ-360^\circ$	4,6,5	-1/3	-1/3	2/3	0	-Vdc	Vdc

3.6.7. Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560

Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560, mikrokontroler ini terhubung dengan modul NodeMCU ESP8266, sensor LM393 dan rangkaian *gate driver*. Pada setiap modul memiliki tugas masing-masing,

NodeMCU sebagai penghubung antara Arduino Mega 2560 dengan *smartphone* agar mampu saling berkomunikasi dalam pengiriman data, modul NodeMCU ESP8266 menggunakan pin 11 digital Arduino Mega 2560 dihubungkan pada D5 pada NodeMCU ESP8266 sebagai TX dan pin 12 digital Arduino Mega 2560 dihubungkan pada D6 pada NodeMCU ESP8266 sebagai RX.

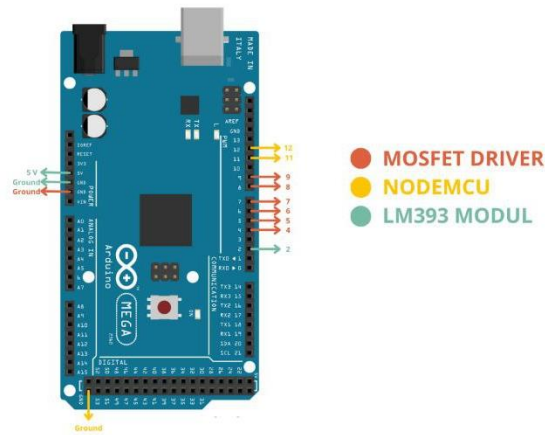
Rangkaian *gate driver* digunakan untuk meningkatkan sinyal PWM sehingga Inverter dapat melakukan proses penyaklaran yang membutuhkan tegangan kerja 10-15V. Pada rangkaian *gate driver* dibutuhkan pin PWM, adapun pin yang digunakan yaitu, pin 4, pin 5, pin 6, pin 7, pin 8, pin 9 dan *Ground*.

Tabel 3.2 *Wiring* Arduino Mega 2560 dengan *Gate Driver*

Arduino Mega 2560	Saklar Inverter
4	MOSFET 1
5	MOSFET 4
6	MOSFET 3
7	MOSFET 6
8	MOSFET 5
9	MOSFET 2

Tabel 3.3 *Wiring* Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU

Arduino Mega2560	NodeMCU
11	D5
12	D6
GND	GND



Gambar 3.9 Rangkaian Arduino Mega 2560

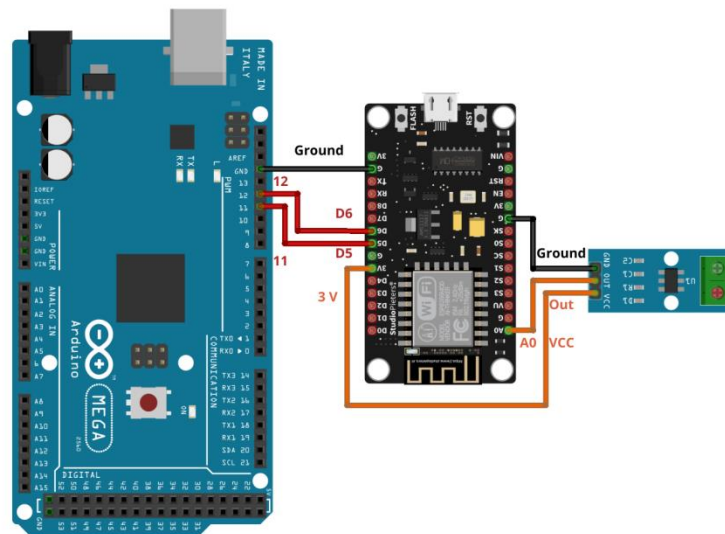
3.6.8. Perancangan *Wiring* NodeMCU

Pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266 terhubung dengan sensor ACS712 yang berfungsi sebagai pembacaan nilai arus pada rangkaian, kemudian hasil pembacaan tersebut akan dikirimkan pada *smartphone* sehingga nilai arus dapat di monitoring menggunakan Blynk. Sensor ACS712 ini memiliki kemampuan pembacaan sampai 20A.

Wiring nodeMCU ESP8266 dengan ACS712 ini menggunakan Pin 3V pada NodeMCU ESP8266 yang dihubungkan pada Pin VCC pada ACS712, pin GND dihubungkan pada GND dan pin A0 dihubungkan pada pin OUT. Rangkaian NodeMCU ditampilkan pada gambar 3.10.

Tabel 3.4 *Wiring* NodeMCU dengan Sensor ACS712

Modul ACS712	NodeMCU
VCC	3 V
GND	GND
OUT	A0



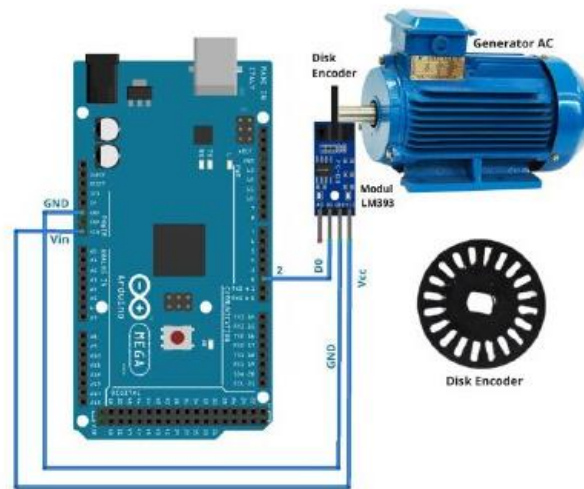
Gambar 3.10. *Wiring* NodeMCU ESP8266

3.6.9. Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan

Pada penelitian ini menggunakan sensor LM393 sebagai pembaca kecepatan motor, modul ini terhubung dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560, hasil pembacaan sensor dapat di tampilkan melalui serial monitor dan diproses menggunakan NodeMCU ESP8266 sehingga dapat ditampilkan dan dikontrol melalui *smartphone*. Sensor LM393 memiliki tiga pin utama yaitu VCC, GND dan D0. Pin VCC dihubungkan pada pin 3.3 V, pin GND dihubungkan pada pin GND dan pin D0 dihubungkan pada pin digital 2. *Wiring* sensor kecepatan ditampilkan pada gambar 3.11.

Tabel 3.5 *Wiring* Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega 2560

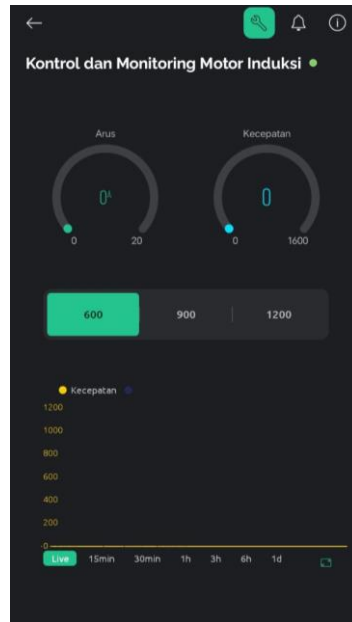
Modul LM393	Arduino Mega 2560
VCC	3.3 V
GND	GND
D0	2



Gambar 3.11. *Wiring* Sensor Kecepatan

3.6.10. Perancangan IoT

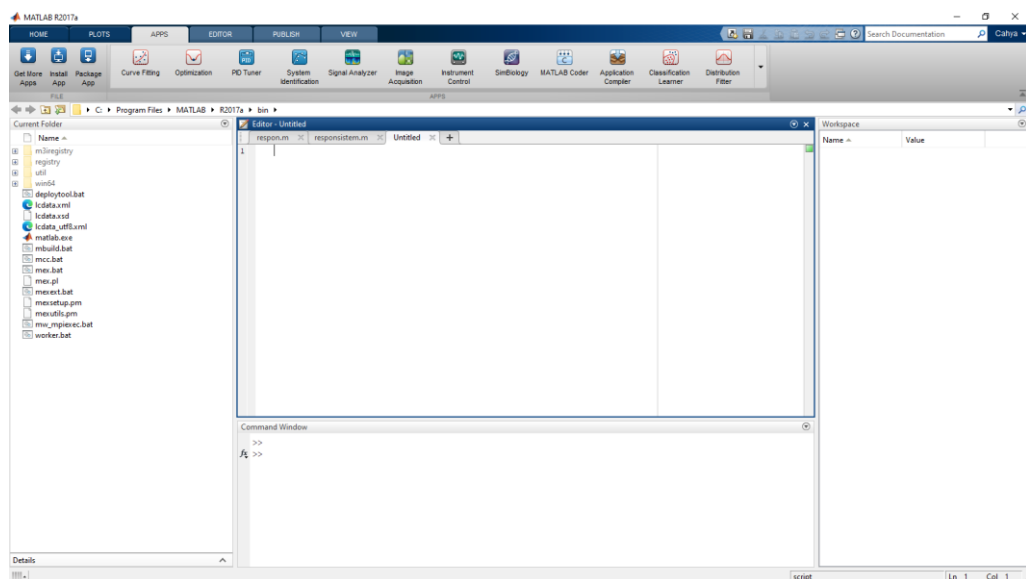
Pengendalian dan pemantauan motor induksi 3 fasa pada penelitian ini menggunakan platform blynk yang diakses menggunakan *smartphone*, data pembacaan sensor dikirim melalui serial komunikasi antara arduino mega 2560 dan NodeMCU ESP8266. Pada aplikasi Blynk diperlukan pengaturan *widget* agar data pengendalian dan monitoring dapat ditampilkan, adapun *widget* yang digunakan yaitu *Gauge*, *Segmented Switch* dan *superchart*. Pada Blynk dilakukan penambahan datastream untuk setiap *widget*, pada *widget gauge* arus diletakan pada pin virtual V1, dan Gauge kecepatan diletakan pada pin Virtual V0, *Segmentd Switch* sebagai tombol setpoint diletakan pada pin V2 dan *Superchart* sebagai tampilan grafik kecepatan motor diletakan pada pin virtual V3. Perancangan tampilan blynk ditampilkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Tampilan IoT

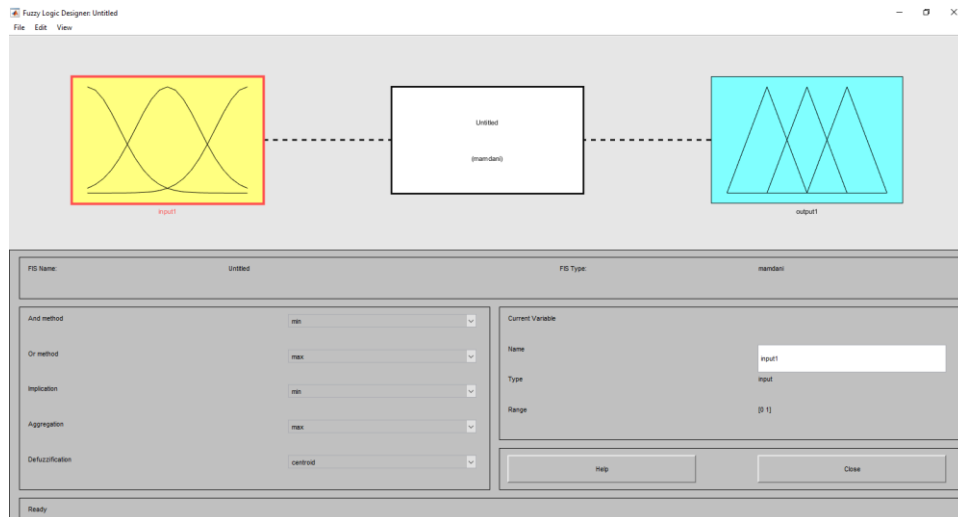
3.6.11. Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Penelitian ini menggunakan pengendali fuzzy, langkah awal dalam perancangan pengendali fuzzy ini yaitu pengambilan data *delay* dan kecepatan motor. Selanjutnya yaitu membuat desain *fuzzy logic controller* dengan menggunakan *software* Matlab.



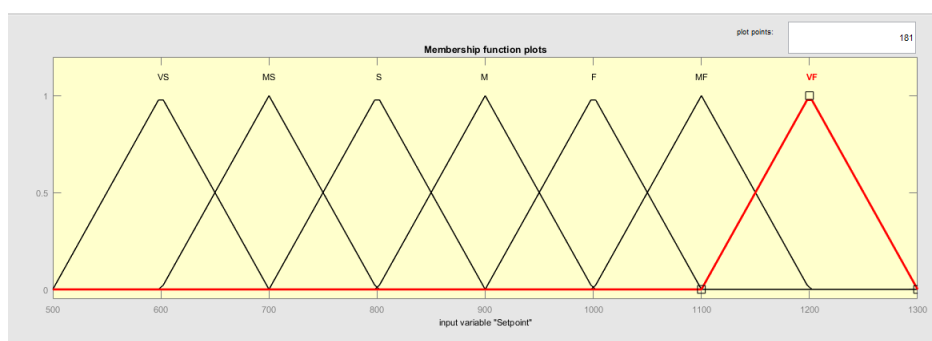
Gambar 3.13 Tampilan Awal Matlab

Desain *fuzzy logic controller* dilakukan pada menu APPS, kemudian memilih bagian *Control System Design And Analysis*, pilih opsi *Fuzzy Logic Designer*.



Gambar 3.14 Tampilan Awal *Fuzzy Logic Designer*

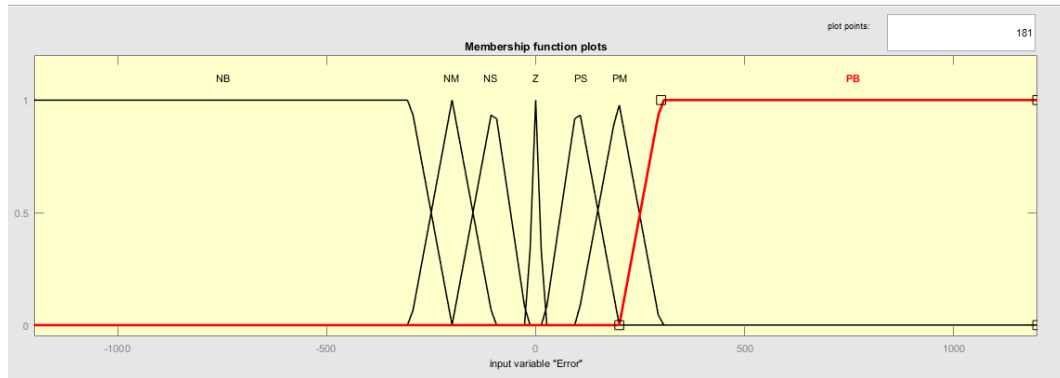
Tahapan fuzzyfikasi yaitu dengan memasukan input berupa *setpoint* dan *error*. Input *setpoint* menggunakan *Triangular Membership Function* yang terdiri 7 *membership function* yaitu *Very Slow* [500 600 700], *Medium Slow* [600 700 800], *Slow* [700 800 900], *Medium* [800 900 1000], *Fast* [900 1000 1100], *Medium Fast* [1000 1100 1200], *Very Fast* [1100 1200 1300]. Tampilan input *membership function setpoint* tertera pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 *Membership Function Setpoint*

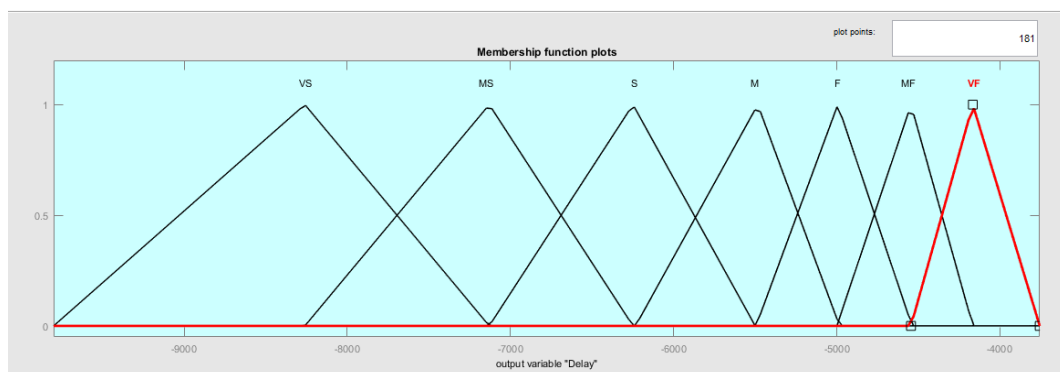
Input kedua yaitu *error*, pada input *error* menggunakan *Triangular* dan *Trapezium*. *Membership function error* terdiri dari 7 *membership function* yaitu,

Negatif Big [-1200 -1200 -300 -200], *Negatif Medium* [-300 -200 -100], *Negatif Small* [-200 -100 -20], *Zero* [-20 0 20], *Positif Small* [20 100 200], *Positif Medium* [100 200 300], *Positif Big* [200 300 1200 1200]. Tampilan input *membership function error* tertera pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Tampilan *Membership Function Error*

Output fuzzy pada penelitian ini yaitu delay, pada ouput menggunakan *Triangular Membership Function* yang terdiri dari 7 membership yaitu *Very Slow* [-9800 -8300 -7130], *Medium Slow* [-8300 -7130 -7008], *Slow* [-7130 -7008 -5500], *Medium* [-7008 -5500 -4898], *Fast* [-5500 -4898 -4446], *Medium Fast* [-4898 -4446 -4125] dan *Very Fast* [-4446 -4125 -3756]. *Membership function delay* ditampilkan pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Tampilan *Membership Function Delay*.

Tabel 3.6. Keterangan Membership *Fuzzy Logic Controller*.

<i>Setpoint</i>		<i>Error</i>		<i>Delay</i>	
Membership	Keterangan	Membership	Keterangan	Membership	Keterangan
VS	<i>Very Slow</i>	Z	<i>Zero</i>	VF	<i>Very Fast</i>
MS	<i>Medium Slow</i>	NS	<i>Negatif Small</i>	MF	<i>Medium Fast</i>
S	<i>Slow</i>	NM	<i>Negatif Medium</i>	F	<i>Fast</i>
M	<i>Medium</i>	NB	<i>Negatif Big</i>	M	<i>Medium</i>
F	<i>Fast</i>	PS	<i>Positif Small</i>	S	<i>Slow</i>
MF	<i>Medium Fast</i>	PM	<i>Positif Medium</i>	MS	<i>Medium Slow</i>
VF	<i>Very Fast</i>	PB	<i>Positif Big</i>	VS	<i>Very Slow</i>

Berikut adalah *knowledge base* fuzzy pada penelitian ini

- 1 *If (Setpoint is VS) and (Error is NB) then (Delay is VS)*
- 2 *If (Setpoint is VS) and (Error is NM) then (Delay is VS)*
- 3 *If (Setpoint is VS) and (Error is NS) then (Delay is VS)*
- 4 *If (Setpoint is VS) and (Error is Z) then (Delay is VS)*
- 5 *If (Setpoint is VS) and (Error is PS) then (Delay is MS)*
- 6 *If (Setpoint is VS) and (Error is PM) then (Delay is S)*
- 7 *If (Setpoint is VS) and (Error is PB) then (Delay is M)*
- 8 *If (Setpoint is S) and (Error is NB) then (Delay is VS)*
- 9 *If (Setpoint is S) and (Error is NM) then (Delay is VS)*
- 10 *If (Setpoint is S) and (Error is NS) then (Delay is VS)*
- 11 *If (Setpoint is S) and (Error is Z) then (Delay is MS)*
- 12 *If (Setpoint is S) and (Error is PS) then (Delay is S)*
- 13 *If (Setpoint is S) and (Error is PM) then (Delay is M)*
- 14 *If (Setpoint is S) and (Error is PB) then (Delay is F)*
- 15 *If (Setpoint is MS) and (Error is NB) then (Delay is VS)*
- 16 *If (Setpoint is MS) and (Error is NM) then (Delay is VS)*
- 17 *If (Setpoint is MS) and (Error is NS) then (Delay is MS)*
- 18 *If (Setpoint is MS) and (Error is Z) then (Delay is S)*
- 19 *If (Setpoint is MS) and (Error is PS) then (Delay is M)*
- 20 *If (Setpoint is MS) and (Error is PM) then (Delay is F)*
- 21 *If (Setpoint is MS) and (Error is PB) then (Delay is MF)*
- 22 *If (Setpoint is M) and (Error is NB) then (Delay is VS)*

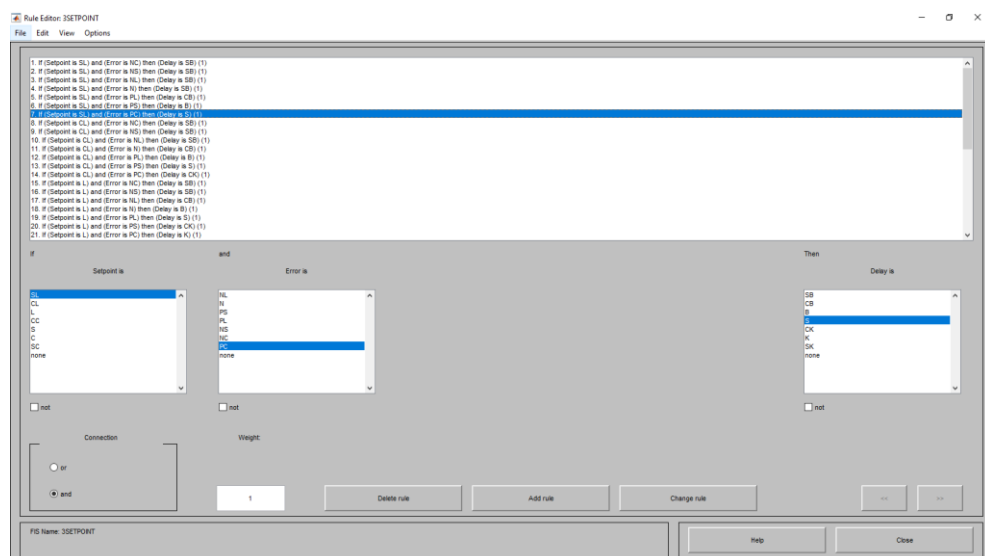
- 23 *If (Setpoint is M) and (Error is NM) then (Delay is MS)*
- 24 *If (Setpoint is M) and (Error is NS) then (Delay is S)*
- 25 *If (Setpoint is M) and (Error is Z) then (Delay is M)*
- 26 *If (Setpoint is M) and (Error is PS) then (Delay is F)*
- 27 *If (Setpoint is M) and (Error is PM) then (Delay is MF)*
- 28 *If (Setpoint is M) and (Error is PB) then (Delay is VF)*
- 29 *If (Setpoint is F) and (Error is NB) then (Delay is MS)*
- 30 *If (Setpoint is F) and (Error is NM) then (Delay is S)*
- 31 *If (Setpoint is F) and (Error is NS) then (Delay is M)*
- 32 *If (Setpoint is F) and (Error is Z) then (Delay is F)*
- 33 *If (Setpoint is F) and (Error is PS) then (Delay is MF)*
- 34 *If (Setpoint is F) and (Error is PM) then (Delay is VF)*
- 35 *If (Setpoint is F) and (Error is PB) then (Delay is VF)*
- 36 *If (Setpoint is MF) and (Error is NB) then (Delay is S)*
- 37 *If (Setpoint is MF) and (Error is NM) then (Delay is M)*
- 38 *If (Setpoint is MF) and (Error is NS) then (Delay is F)*
- 39 *If (Setpoint is MF) and (Error is Z) then (Delay is MF)*
- 40 *If (Setpoint is MF) and (Error is PS) then (Delay is VF)*
- 41 *If (Setpoint is MF) and (Error is PM) then (Delay is VF)*
- 42 *If (Setpoint is MF) and (Error is PB) then (Delay is M)*
- 43 *If (Setpoint is VF) and (Error is NB) then (Delay is F)*
- 44 *If (Setpoint is VF) and (Error is NM) then (Delay is MF)*
- 45 *If (Setpoint is VF) and (Error is NS) then (Delay is VF)*
- 46 *If (Setpoint is VF) and (Error is Z) then (Delay is VF)*
- 47 *If (Setpoint is VF) and (Error is PS) then (Delay is VF)*
- 48 *If (Setpoint is VF) and (Error is PM) then (Delay is VF)*
- 49 *If (Setpoint is VF) and (Error is PB) then (Delay is VF)*

Tabel 3.7. *Rules Membership Function Fuzzy Logic Controller.*

E/SP	VS	MS	S	M	F	MF	VF
NS	VS	VS	VS	VS	MS	S	M
NM	VS	VS	VS	MS	S	M	F
NB	VS	VS	MS	S	M	F	MF
Z	VS	MS	S	M	F	MF	VF
PS	MS	S	M	F	MF	VF	VF
PM	S	M	F	MF	VF	VF	VF
PB	M	F	MF	VF	VF	VF	VF

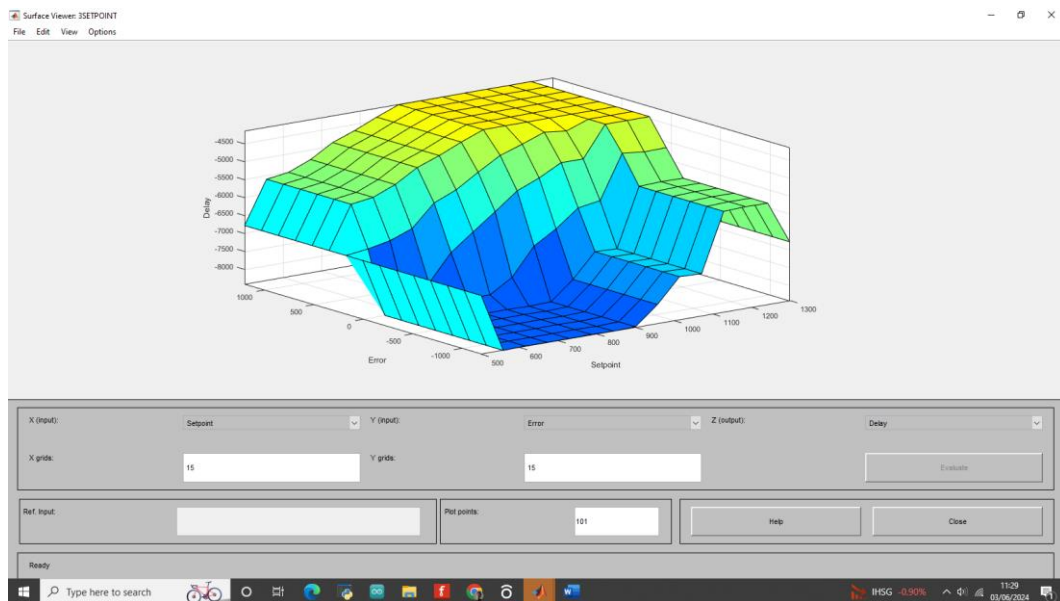
Perancangan *fuzzy logic controller* menggunakan *49 Rule Base System*, penelitian ini menggunakan metode inferensi mamdani dengan keluaran berupa nilai tegas yaitu *delay*. *Rules Base System* tersebut dinyatakan dalam bentuk logika *IF-THEN*, selanjutnya pada tahap defuzzyfikasi menggunakan metode *center of area* dimana hasil defuzzyfikasi akan digunakan untuk mengatur frekuensi keluaran pada inverter.

Berikut adalah tampilan pengimplementasi beserta simulasi rules fuzzy pada *software matlab*.



Gambar 3.18. Tampilan Implementasi Rules MATLAB

Pada simulasi matlab juga menampilkan tampilan surface dari *defuzzifikasi*.



Gambar 3.19 Tampilan *Surface* Defuzzyfikasi Pada MATLAB

3.6.12. Pemograman Mikrokontroler

Pada penelitian ini menggunakan dua buah mikrokontroler yaitu Arduino Mega 2560 dan juga NodeMCU ESP8266, pemograman dijalankan pada aplikasi Arduino IDE, adapun pemograman yang ditanamkan pada Arduino Mega 2560 yaitu, pemograman *switching* pada Inverter, pemograman sensor kecepatan, pemograman fuzzy dan pemograman komunikasi data ke NodeMCU ESP8266. Selanjutnya, pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266 ditanamkan pemograman komunikasi dengan Arduino Mega 2560, pemograman IoT, pemograman sensor arus.

```

File Edit Sketch Tools Help
Arduino Mega or Mega 2560
sketch_may17a.ino
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3 }
4
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8 }
9
10

```

Gambar 3.20 Tampilan Awal Arduino IDE

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan, yaitu.

1. Penelitian ini berhasil merancang dan membuat sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan *fuzzy logic controller* berbasis *Internet of Things* (IoT), sistem ini mampu menghasilkan respon sistem yang baik pada saat beban diberikan, didapatkan rata-rata nilai *rise time* 1,53s, *settling time* 3,29s dan *overshoot* 1,5%. Pada saat diberi gangguan mendapatkan nilai *rise time* 1,81s, *settling time* 3,81s dan *overshoot* 1%.
2. Sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan *fuzzy logic controller* berhasil diimpelentasikan dengan menerapkan 49 rules *membership function*. Hasilnya, sistem dapat dengan cepat memperbaiki penurunan kecepatan akibat terjadinya gangguan.
3. Sistem pengendalian kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan menggunakan *fuzzy logic controller* dapat dikendalikan dan dipantau kecepatannya melalui Blynk dari jarak jauh melalui device *smartphone*.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk melakukan pengembangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian sistem dalam satu papan PCB sehingga menghasilkan rangkaian sistem yang lebih tertata, meminimalisir adanya kerusakan dan *error* pembacaan saat pengukuran yang disebabkan akibat struktur rangkaian sistem yang kurang baik.
2. Menggunakan komponen sensor yang lebih mumpuni sehingga menghasilkan pembacaan sensor yang lebih akurat sehingga meminimalisir *error* dalam pembacaan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Yahya, K. Wijayanto, and M. N. Azrina, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Metode Logika Fuzzy Berbasis PLC," 2020.
- [2] A. Kurniawan, "Analisis Pengendalian Motor Induksi tiga Fasa Menggunakan Fuzzy Logic Control," vol. 09.
- [3] "Technological Advances of Speed Control of Induction Motor with PI and Fuzzy Logic Controllers," *IJRTE*, vol. 8, no. 6S, pp. 41–45, Mar. 2020, doi: 10.35940/ijrte.F1009.0386S20.
- [4] M. R. Sanjaya and E. Endryansyah, "Rancang Bangun dan Analisis Inverter Satu Fasa Berbasis Metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Dengan Modul EGS002," *jte*, vol. 13, no. 2, pp. 19–26, Nov. 2023, doi: 10.36546/jte.v13i2.987.
- [5] I. Irianto, F. D. Murdianto, E. Sunarno, and D. D. Proboningtyas, "Comparison Method of PI, PID and Fuzzy Logic Controller to Maintain Speed Stability in Single Phase Induction Motors," *Intek*, vol. 8, no. 1, p. 7, Jul. 2021, doi: 10.31963/intek.v8i1.2687.
- [6] C. R. Harahap, R. A. Nasution, and F. X. A. Setyawan, "Pengendalian Motor Induksi 3 Fasa Dengan sumber Panel Surya," *JITET*, vol. 11, no. 3, Sep. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3424.
- [7] R. A. B. S. Putra, A. R. Al Tahtawi, and K. Wijayanto, "Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Fuzzy Integral Controller," *IRWNS*, vol. 12, pp. 52–56, Aug. 2021, doi: 10.35313/irwns.v12i0.2657.
- [8] F. F. Kurniawan, P. Endramawan, and D. Hardiyanto, "Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor DC Dengan PWM Berbasis Arduino Nano," vol. 07, 2022.
- [9] C. R. Harahap, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *ELE*, vol. 16, no. 3, pp. 338–345, Sep. 2022, doi: 10.23960/elc.v16n3.2388.
- [10] A. K. Rajagiri, S. R. Mn, S. S. Nawaz, and S. K. T, "Speed Control of DC Motor using Fuzzy Logic Controller by PCI 6221 with MATLAB," *E3S*

Web Conf., vol. 87, p. 01004, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/20198701004.

- [11] Ginola, A. B. Pulungan, W. Purwanto, and I. Yelfianhar, "Simulation of Brushless DC Motor Speed Control with Fuzzy Logic Method," *Jl*, vol. 5, no. 2, pp. 139–145, Oct. 2020, doi: 10.31572/inotera.Vol5.Iss2.2020.ID125.
- [12] R. A. N. Apriyanto and D. I. Samudra, "Perbandingan Simulasi Kontrol Kecepatan Kereta Api Dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Sugeno," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 10, no. 1, pp. 18–29, Aug. 2022, doi: 10.34010/telekontran.v10i1.7238.
- [13] Muhammad Iqbal Naufal and Irwanto Irwanto, "Motor Listrik 3 Fasa Sebagai Sistem Penggerak Motor Roll Pada Mesin Case Sealer di Pt. Matahari Megah," *SAINTEK*, vol. 2, no. 1, pp. 32–45, Jun. 2023, doi: 10.58169/saintek.v2i1.132.
- [14] B. L. Theraja, *A Text book of Electrical Technology*, vol. 2. India: S Chand, 2013.
- [15] A. S. Samosir, *Diktat Elektronika Daya*. 2018.
- [16] "Farhan et al. - 2022 - Rancang Bangun Inverter Berkapasitas 200 Watt.pdf."
- [17] R. P. Mandi, "Technological Advances of Speed Control of Induction Motor with PI and Fuzzy Logic Controllers," *IJRTE*, vol. 8, no. 6S, pp. 41–45, Mar. 2020, doi: 10.35940/ijrte.F1009.0386S20.
- [18] A. Setiawan, B. yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Bali: Jayapangus Press, 2018.
- [19] G. Saravanan, A. M. Ibrahim, D. S. Kumar, U. Vanitha, and V. S. Chandrika, "Iot Based Speed Control Of BLDC Motor With Harris Hawks Optimization Controller," *International Journal of Grid and Distributed Computing*, vol. 13, no. 1, 2020.