

**PERANCANGAN FUZZY-PI PADA PENGENDALIAN KECEPATAN
MOTOR INDUKSI BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

(Skripsi)

Oleh

REYZAL EFFENDY NUR ARDIANSYAH

NPM. 2015031034



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

PERANCANGAN FUZZY-PI PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh

Reyzal Effendy Nur Ardiansyah

Pada penelitian ini ditampilkan penerapan metode Fuzzy-PI dalam mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis *Internet of Things* (IoT). Metode Fuzzy-PI digunakan karena berperan dalam mengatasi nilai error pada kecepatan motor induksi 3 fasa apabila diberikan beban. Selain itu karena sifat dari penggunaan kontroler Fuzzy-PI bersifat adaptif diharapkan dapat memberikan respon sistem yang lebih baik dari penelitian sebelumnya pada kondisi di berbagai setpoint. Pada penelitian ini pengendalian kecepatan motor induksi menggunakan metode *Voltage/frequency* (V/f). Pada proses pengaturan pensaklaran dalam mengatur frekuensi inverter digunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) yang ditanamkan pada *board* Arduino Mega. Untuk mengatur setpoint dari kecepatan motor induksi yang diinginkan melalui *smartphone*, digunakan *board* NodeMCU. Peran *board* ini adalah untuk menghubungkan sistem IoT dengan perangkat keras pengendalian kecepatan motor induksi. IoT disematkan selain berfungsi dalam mengendalikan kecepatan, digunakan untuk memantau kecepatan motor induksi tiga fasa secara *real time*. Hasil dari penelitian didapatkan respon sistem pada *setpoint* 600 rpm menghasilkan *rise time* sebesar 0.83 s, *settling time* 2.5 s, dan *overshoot* 0 %. Pada *setpoint* 900 rpm menghasilkan *rise time* sebesar 1.27 s, *settling time* 3.86 s, dan *overshoot* 0 %. Dan pada *setpoint* 1200 rpm menghasilkan *rise time* sebesar 0.83 s, *settling time* 2.5 s, dan *overshoot* 0 %. Untuk penerapan IoT rata-rata *delay* yang dihasilkan sebesar 1.64s.

Kata Kunci: Motor Induksi Tiga Fasa, Fuzzy-PI, IoT.

ABSTRACT

FUZZY-PI DESIGN ON SPEED CONTROL OF INDUCTION MOTOR BASED ON INTERNET OF THINGS

By

Reyzal Effendy Nur Ardiansyah

This paper presents the application of the Fuzzy-PI method in controlling the speed of a three-phase induction motor based on the Internet of Things (IoT). The Fuzzy-PI method is used because it plays a role in overcoming the error value in the speed of a 3-phase induction motor when given a load. In addition, because the nature of the use of Fuzzy-PI controllers is adaptive, it is expected to provide a better system response than previous research in conditions at various setpoints. In this study, induction motor speed control uses the Voltage / frequency (V / F) method. In the process of setting the switching in regulating the inverter frequency, the Pulse Width Modulation (PWM) method is used which is embedded in the Arduino Mega board. To set the setpoint of the desired induction motor speed via a smartphone, a NodeMCU board is used. The role of this board is to connect the IoT system with the induction motor speed control hardware. IoT is embedded in addition to functioning in controlling speed, used to monitor the speed of a three-phase induction motor in real time. The results of this paper obtained the system response at 600 rpm setpoint produces a rise time of 0.83 s, settling time 2.5 s, and 0% overshoot. At 900 rpm setpoint produces a rise time of 1.27 s, settling time 3.86 s, and 0% overshoot. And at 1200 rpm setpoint produces a rise time of 0.83 s, settling time 2.5 s, and 0% overshoot. For the application of IoT, the average delay generated is 1.64s.

Keywords: Three-phase induction motors, Fuzzy-PI, IoT

**PERANCANGAN FUZZY-PI PADA PENGENDALIAN KECEPATAN
MOTOR INDUKSI BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Oleh

REYZAL EFFENDY NUR ARDIANSYAH

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PERANCANGAN FUZZY-PI PADA
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR
INDUKSI BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Nama Mahasiswa : **Reyzal Effendy Nur Ardiansyah**

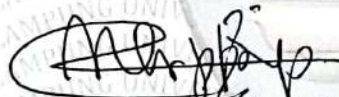
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031034

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



Dr. Eng. FX Arinto S, S.T., M.T
NIP. 196912191999031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi Teknik Elektro

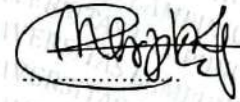


Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 19731104 200003 1 001

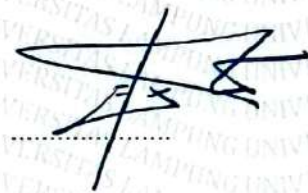
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Agustus 2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Penerapan Fuzzy-PI Pada Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Berbasis *Internet of Things*” merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka bersedia menerima sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 September 2024



Reyzal Effendy Nur Ardiansyah
NPM 2015031034

RIWAYAT HIDUP



Saya lahir di Denpasar pada tanggal 30 Mei 2002. Saya merupakan anak dari pasangan Bapak Mathori dan Ibu Suminah. Saya adalah anak pertama dari tiga saudara. Pendidikan Sekolah Dasar saya diselesaikan di SDIT Albanna Denpasar. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama diselesaikan di SMPIT Nurul Iman Banjar Agung. Pendidikan Sekolah Menengah Atas diselesaikan di SMAN 1 Banjar Agung. Saya diterima di Universitas Lampung pada Jalur beasiswa PMPAP.

Untuk pengalaman organisasi saya di Himpunan Jurusan Teknik Elektro (HIMATRO) selama dua periode. Pada periode pertama saya di divisi Litbang dan periode kedua saya berada pada divisi Kerohanian. Selain itu saya juga aktif di organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) pada periode 2021. Saya merupakan anggota departemen Advokesma. Selain itu saya juga aktif sebagai asisten praktikum pada tahun 2023 sebagai koordinator Praktikum Dasar Tenaga Listrik, Praktikum Mesin-Mesin Listrik, dan Praktikum Elektronika Daya. Untuk pengalaman Kerja Praktik pada bulan Juli 2023 dilaksanakan di ULTG Tarahan pada bagian Proteksi. Saya juga mempunyai pengalaman magang MBKM di PLN UP2D pada bulan Agustus-November 2023 di bagian perencanaan.



PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan Rahmat dan Ridho Allah SWT

Teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW Karya Tulis ini ku
persembahkan kepada:

Ayah dan Ibuku Tercinta

MATHORI DAN SUMINAH

Serta Kakak-Kakak dan Adikku Tersayang

ANANDA PUTRI NURRACHMATIKA DEWI

AQILAH PUTRI SALSABILA

Terimakasih untuk semua dukungan dan doa selama ini Sehingga aku dapat

menyelesaikan hasil karyaku ini



MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,"

(QS. Al-Insyirah 94: Ayat 5)

The only way to do great work is to love what you do

(Steve Jobs)

It always seems impossible until it's done

(Nelson Mandela)

SANWACANA

Segala puji dan syukur senantiasa tercurahkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan anugerah yang diberikan oleh-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Fuzzy-PI Pada Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Berbasis *Internet of Things*”. Skripsi ini dibuat sebagai bentuk kewajiban mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Pada proses pengerjaan skripsi melibatkan berbagai pihak yang membantu penulis. Untuk itu ucapan terima kasih penulis sampaikan pada:

1. Kedua Orang tua, Bapak Mathori dan Ibu Suminah yang selalu mendukung penulis disetiap proses perkuliahan dan selalu memberikan kasih sayang, doa, kepercayaan dan ridho kepada penulis untuk terus selalu berjuang.
2. Keluarga besar Mbah Sahran yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis untuk terus melangkah.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
5. Bapak Dr. Eng Charles R Harahap, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama tugas akhir penulis yang senantiasa memberikan bimbingan, pendampingan, dorongan dan motivasi kepada penulis.
6. Dr. Eng. F.X Arinto S, S.T., M. T. selaku pembimbing pendamping yang senantiasa memberikan masukan dengan motivasi yang berbeda kepada penulis dalam membantu menyelesaikan tugas akhir.
7. Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.. selaku dosen penguji yang memberikan arahan kepada penulis terkait tugas akhir dan membimbing penulis
8. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M. Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang banyak membantu dalam membimbing penulis menjalani

proses perkuliahan.

9. Bapak Baiqodar, S. T. selaku PLP Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik yang senantiasa mendampingi dan banyak menolong penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir.
10. Seluruh dosen, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang selalu membantu penulis.
11. Rekan-rekan proyek tugas akhir bimbingan Pak Charles seperti Cahya dan Desi yang selalu berusaha dan bekerja keras dalam menyelesaikan tugas akhir dalam suka duka.
12. Keluarga rekan-rekan penampungan rumah amal: Amal, Auliya, Alfin, Saka, Refli, Arda, Ahmad, Akmal, Rizki, Herly dan Zulizar. Yang selalu memberikan kesan ceria dalam kebersamaan perjalanan kuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
13. Rekan-rekan Kerja Praktik di ULTG Tarahan: Altika, Kenya, Alberth, Cahya, Desi, dan Akbar. Yang selalu bersama-sama dalam suka duka kerja praktik.
14. Keluarga rekan-rekan asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik Angkatan 19, 20, dan 21 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, karena membantu penulis dalam proses praktikum dan belajar terkait fokus konversi energi.
15. Pemilik NPM 2315031078 yang sudah membantu penulis pada proses perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir.
16. Keluarga Besar HIMATRO yang telah menerima penulis menjadi bagian dari keluarga yang solid dan menjadi wadah dalam pengembangan skill bagi penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Hipotesis Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Motor Induksi 3 Fasa.....	6
2.1.1. Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa	6
2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa	9
2.1.3. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi.....	10
2.2. Inverter 3 Fasa	11
2.3. <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	12
2.4. <i>Gate Driver</i>	13
2.5. Mikrokontroller	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	16
2.8.	Kontroller PI.....	17
2.9.	<i>Fuzzy Logic</i>	18
2.10.	<i>IoT (Internet of Things)</i>	20
2.11.	Blynk	21
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	23
3.3	Diagram Blok Sistem	24
3.4	Alat dan Bahan	26
3.5	Perancangan Sistem.....	27
3.5.1	Studi Literatur	27
3.5.2	Spesifikasi Motor Induksi	27
3.5.3	Perancangan Rangkaian <i>DC Power Supply</i>	28
3.5.4	Perancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i>	28
3.5.5	Perancangan Rangkaian Inverter	29
3.5.6	Perancangan <i>Wiring</i> Arduino Mega	30
3.5.7	Perancangan <i>Wiring</i> NodeMCU.....	31
3.5.8	Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan.....	33
3.5.9	Perancangan <i>Wiring</i> Transformator <i>Step-Up</i>	34
3.5.10	Perancangan Parameter Fuzzy-PI	34
3.5.11	Pemograman Arduino Mega dan NodeMCU.....	40
3.5.12	Perancangan Software Blynk	42
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		44
4.1	Hasil Rancangan.....	44
4.1.1	Hasil Rancangan Rangkaian <i>DC Power Supply</i>	44
4.1.2	Hasil Rancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i>	45
4.1.3	Hasil Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa	46
4.1.4	Hasil Rancangan Rangkaian Tranformator <i>Step-Up</i>	46
4.1.5	Hasil Rancangan Arduino Mega	47
4.1.6	Hasil Rancangan NodeMCU.....	48
4.1.7	Hasil Rancangan Sensor Kecepatan.....	48

4.1.8	Hasil Rancangan Sensor Arus	49
4.1.9	Hasil Rancangan Rangkaian Beban	49
4.1.10	Hasil Rancangan Alat Secara Keseluruhan	50
4.2	Pengujian Hasil Rancangan	50
4.2.1	Pengujian Inverter	51
4.2.2	Pengujian Nilai Arus	54
4.2.3	Pengujian Sensor Kecepatan	57
4.2.4	Pengujian Fuzzy-PI	59
4.2.5	Pengujian IoT	62
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....		66
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kontruksi Motor Induksi Tiga Fasa	7
Gambar 2.2 Menggambarkan Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa.....	7
Gambar 2.3 Rotor Sangkar	8
Gambar 2.4 Rotor Belitan	9
Gambar 2.5 <i>Inverter</i> 3 Fasa.....	11
Gambar 2.6 <i>Pulse Widht Modulation</i>	12
Gambar 2.7 IC HCPL 3120.....	13
Gambar 2.8 Arduino Mega 2560.....	14
Gambar 2.9 NodeMCU ESP8266	16
Gambar 2.10 Modul Sensor Kecepatan LM393	16
Gambar 2.11 Sensor Arus ACS712	17
Gambar 2.12 Blok Diagram <i>Close Loop</i>	17
Gambar 2.13 Pengendali Fuzzy	18
Gambar 2.14 Blok Diagram <i>Fuzzy Logic</i>	19
Gambar 2.15 Representasi Kurva Segitiga	19
Gambar 2.16 Representasi Kurva Trapeseoidal.....	20
Gambar 2.17 <i>Server</i> Blynk	21

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Diagram Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	24
Gambar 3.3 Motor Induksi 3 Fasa	27
Gambar 3.4 Rangkaian <i>DC Power Supply</i>	28
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Gate Driver</i>	29
Gambar 3.6 Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa.....	29
Gambar 3.7 <i>Wiring</i> Arduino Mega	31
Gambar 3.8 <i>Wiring</i> NodeMCU	32
Gambar 3.9 Wiring Sensor Kecepatan.....	33
Gambar 3.10 Perancangan <i>Wiring</i> Transformator <i>Step Up</i>	34
Gambar 3.11 Tampilan Awal Aplikasi Matlab	35
Gambar 3.12 Tampilan Awal <i>Fuzzy Logic Designer</i>	35
Gambar 3.13 Diagram <i>Fuzzy-PI Controller</i>	36
Gambar 3.14 <i>Membership Function Error</i>	36
Gambar 3.15 <i>Membership Function Change Error</i>	37
Gambar 3.16 <i>Membership Function Kp</i>	37
Gambar 3.17 <i>Membership Function Ki</i>	37
Gambar 3.18 Tampilan Awal Aplikasi Arduino IDE.....	41
Gambar 3.19 Tampilan Aplikasi Blynk.....	42
Gambar 3.20 Diagram Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	42
Gambar 4.1 Rangkaian <i>DC Power Supply</i>	45
Gambar 4.2 Rangkaian <i>Gate Driver</i>	45

Gambar 4.3 Rangkaian Inverter 3 Fasa.....	46
Gambar 4.4 Rangkaian Transformator <i>Step-Up</i>	47
Gambar 4.5 Rangkaian Arduino Mega 2560	47
Gambar 4.6 Rangkaian NodeMCU	48
Gambar 4.7 Hasil Rangkaian Sensor Kecepatan	48
Gambar 4.8 Hasil Rangkaian Sensor Arus.....	49
Gambar 4.9 Rangkaian Beban	49
Gambar 4.10 Rangkaian Alar Secara Keseluruhan	50
Gambar 4.11 Gelombang PWM pada Frekuensi 20 Hz.....	51
Gambar 4.12 Gelombang PWM pada Frekuensi 30 Hz	52
Gambar 4.13 Gelombang PWM pada Frekuensi 40 Hz	53
Gambar 4.14 Pengukuran Tegangan Keluaran pada Frekuensi 20 Hz.....	53
Gambar 4.15 Pengukuran Tegangan Keluaran pada Frekuensi 30 Hz.....	54
Gambar 4.16 T Pengukuran Tegangan Keluaran pada Frekuensi 40 Hz	54
Gambar 4.17 Pengukuran Nilai Arus Menggunakan Multimeter	55
Gambar 4.18 Perbandingan Pengukuran Nilai Arus	56
Gambar 4.19 Nilai Kecepatan Motor Menggunakan Tachometer	57
Gambar 4.20 Pengukuran Kecepatan pada Sensor LM393	57
Gambar 4.21 Hubungan Antara Frekuensi Dan Kecepatan	58
Gambar 4.22 Pengujian Kecepatan dengan Setpoint 600 rpm.....	59
Gambar 4.23 Pengujian Kecepatan dengan Setpoint 900 rpm.....	60
Gambar 4.24 Pengujian Kecepatan dengan Setpoint 1200 rpm.....	60

Gambar 4.25 Pengujian Kecepatan Motor dengan Kondisi Berbeban	62
Gambar 4.26 Tampilan Blynk	63
Gambar 4.27 Tampilan Blynk pada Kondisi dengan Beban	63
Gambar 4.28 Pengujian <i>Delay</i> IoT	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konfigurasi <i>Switching</i> Inverter 3 Fasa.	12
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560	15
Tabel 2.3 Respon <i>PI Controller</i> Terhadap Perubahan Konstanta	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa.....	28
Tabel 3.2 Skema Pensaklaran Inverter.....	30
Tabel 3.3 Konfigurasi Pin Arduino Mega dengan <i>Gate</i> MOSFET	31
Tabel 3.4 Konfigurasi pin NodeMCU dengan Arduino Mega.....	32
Tabel 3.5 Konfigurasi Pin NodeMCU dengan Modul ACS712.....	32
Tabel 3.6 Pin <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega	33
Tabel 3.7 <i>Rules Membership Function</i> Kp.....	38
Tabel 3.8 <i>Rules Membership Function</i> Ki	38
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Nilai Arus Menggunakan Sensor ACS712	55
Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Arus pada Multimeter dan Modul ACS712.....	56
Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Kecepatan pada Tachometer dan LM393``	58
Tabel 4.4 Respon Kecepatan Pengujian Kondisi Tanpa Beban	61
Tabel 4.4 Pengujian <i>Delay</i> pada IoT	65

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Demi mendukung kemajuan infrastruktur pada industri modern saat ini, maka diperlukan motor listrik yang lebih handal dan efisien. Mesin-mesin tersebut diharapkan dalam kondisi dengan performa yang baik, handal dan juga kuat untuk mendukung kelangsungan proses produksi. Dari kriteria tersebut maka motor induksi adalah jawaban yang tepat terkait kondisi tersebut [1]. Motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana dan kokoh namun dengan harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, Sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor dc pada industri [2].

Motor induksi tiga fasa juga mempunyai kelemahan yaitu pada arus *starting* nya. Kekurangan ini membuat lonjakan arus mula yang mengakibatkan *overshoot* motor yang dimana dapat mempengaruhi performa motor listrik. Dapat dikatakan motor induksi tiga fasa ini memiliki sifat yang tidak linier. Pada prinsipnya, pengoperasian motor induksi ini harus dijalankan dengan kecepatan konstan, dengan putaran motor yang menyesuaikan beban [3].

Pengendalian kecepatan motor induksi merupakan hal penting pada penggunaan motor induksi. Cara dalam mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa yaitu dengan cara mengatur kecepatan dari frekuensi masukan. Untuk mengatur kecepatan dari motor induksi salah satunya adalah dengan cara menggunakan inverter. Inverter merupakan alat yang digunakan untuk mengubah tegangan DC (searah) menjadi tegangan AC (bolak-balik) [4]. Inverter tiga fasa tersusun atas 6 buah komponen pensaklaran. Proses dari pensaklaran memanfaatkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Sinyal PWM memiliki ayunan dengan frekuensi dasar

yang tetap. Namun, mempunyai lebar pulsa yang beragam. Lebar pulsa ini disebut sebagai *duty cycle* [5].

Untuk mengolah umpan balik dari pembacaan sensor, maka dibutuhkan kontrol *close loop*. Pembacaan dari sensor akan diolah supaya putaran motor tetap pada *setpointnya*. Karakteristik motor induksi yang bersifat adaptif apabila diberikan beban, membuat kecepatannya tidak sesuai dengan yang diharapkan. Pada penelitian ini dipilih metode fuzzy-PI dengan karakteristik *output* yang dihasilkan berupa nilai K_p dan K_i [1], [6], [7]. Fuzzy-PI digunakan karena sulit untuk menentukan parameter K_p dan K_i secara *trial* dan *error*.

Penelitian ini terinspirasi dari penelitian sebelumnya dengan judul “Pengendalian dan Pemantauan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Internet of Things*”, karya Rina Arjulina Nasution. Pada penelitian tersebut sistem yang digunakan dibuat secara *open loop*. Penelitian tersebut masih belum dilengkapi dengan beban pada rangkaian. Selain itu kontrol PWM dan penggunaan IoT juga menjadi referensi utama yang diperoleh dari jurnal tersebut [4].

Untuk referensi kedua diambil dari jurnal yang berjudul “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 \emptyset Menggunakan Kontrol PI Berbasis *Direct Torque Control*”, karya Sutejo Maspriyanto, Gigih Prabowo, dan Arman Jaya. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa peran PI terhadap pengaturan kecepatan motor sangat membantu dalam meningkatkan respon kecepatan motor baik dalam keadaan *start* motor atau dalam kondisi berbeban. Dalam menangani nilai *error* dan *delta error* pada respon kecepatan motor dijelaskan hampir tidak mengalami perubahan kecepatan motor saat terdapat gangguan [8].

Untuk referensi yang ketiga diambil dari penelitian yang berjudul “Kontrol Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560 Pada Lift 4 Lantai,” oleh M Bayu Riswan Maulana, dkk. Pada penelitian ini diketahui bahwa untuk mengontrol motor induksi secara *close loop* dapat menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler dalam mengolah *feedback*. Hasil dari kontrol tersebut akan digunakan untuk mengatur PWM supaya kecepatan motor dapat tetap sesuai dengan kecepatan referensinya.[9].

Untuk referensi keempat diambil dari penelitian yang berjudul “Analisis Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*,” karya Akbar Kurniawan. Pada penelitian ini peran fuzzy digunakan untuk mengatur proses pensaklaran PWM dengan menggunakan 6 buah MOSFET. Penelitian ini sifatnya simulasi dengan menggunakan aplikasi MATLAB. Dengan menggunakan fuzzy, diperoleh hasil yang memuaskan pada pengontrolan motor induksi 3 fasa dengan diperoleh rise time 0.2 s, dan kecepatan tunak pada 0,3 s [3].

Untuk referensi kelima diambil dari penelitian yang berjudul “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Dengan Metode *V/f (Volt/Frequence)* dan Kontrol PI-Fuzzy,” karya Bima Dwi Priya Setiawan, dkk. Pada jurnal ini dijelaskan teknik *tunning* dengan sistem fuzzy lebih baik dari metode *tunning* konvensional seperti *Ziegler Nichols*. Hanya saja pada penelitian ini masih bersifat *open loop* [10].

Untuk referensi keenam diambil dari penelitian yang berjudul “Pengaturan Kecepatan Motor DC *Brushless* Menggunakan Kontroller Fuzzy PI,” karya Kholis Nur Faizin dan M Erik Echsony. Pada penelitian ini dalam mengontrol kecepatan motor, digunakan kombinasi antara kontroller fuzzy dan kontroler PI. Variabel yang digunakan pada *input* adalah *error* dan *delta error*, sedangkan variabel *output* yang digunakan adalah delta Kp dan delta Ki. Kontrol fuzzy digunakan secara *autotuning* untuk menentukan besaran variabel PI dalam menyesuaikan siklus dari kerja PWM. Pada penelitian ini dijelaskan juga kontroller fuzzy PI lebih baik dibandingkan kontroller PI baik dalam kondisi tanpa gangguan maupun saat diberi gangguan [11].

Untuk referensi ketujuh diambil dari penelitian yang berjudul “*Matlab/ Simulink Based Modeling and Simulation of Fuzzy PI Control For PMSM*,” karya DaWei Gu, dkk. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa kontroller PI konvensional dinilai belum mampu menyelesaikan masalah terkait kontradiksi antara kinerja dinamis dan kinerja statis. Pada penelitian menggunakan MATLAB ini dipaparkan bahwa kontrol fuzzy PI menghasilkan dinamika sistem yang meningkat. Pada penelitian ini sifatnya masih *open loop* [6].

Untuk referensi kedelapan diambil dari penelitian yang berjudul “Adaptive *Fuzzy PI For Induction Motor Speed Control*,” oleh Hari Magfiroh, dkk. Seperti pada

referensi keempat dan kelima, penelitian ini juga membandingkan antara PI konvensional dan fuzzy PI. Uji coba yang dilakukan menggunakan matlab juga memberikan referensi bahwa peran fuzzy PI sebagai sistem kontrol *close loop* lebih baik pada kondisi tidak berbeban dan kondisi berbeban [7].

Pada referensi kesembilan pada penelitian yang berjudul “*Analysis of Fuzzy-PI and PI Control Strategies for Permanent Magnetic Synchronous Motor Drive,*” oleh Bhavesh Sonkriwal, dkk. Pada penelitian ini dijelaskan kontrol PI memiliki *overshot*, *steady state error*, dan *torque ripples* yang tinggi. Selain itu kontrol PI konvensional tidak memiliki kemampuan penyesuaian parameter yang menyebabkan respon menjadi lambat dan riak pada *torque*. Namun kontrol Fuzzy PI pada penelitian ini dapat memungkinkan perubahan parameter secara *online* berdasarkan kebutuhan sistem untuk meningkatkan stabilitas sistem dan kemampuan kontrol [12].

Pada jurnal yang berjudul “*Development of Internet of Things (IoT) Based Electric Equipment Control*”, oleh Gunawan Zain S dkk, dalam mendukung revolusi industri 4.0, maka pengendalian dan pemantauan bisa digunakan dengan menggunakan IoT (*Internet of Things*). IoT merupakan konsep dengan tujuan dalam memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus [13]. Peran IoT digunakan pada peran pengendalian dan monitoring dari kecepatan motor induksi.

Apabila merujuk pada penelitian sebelumnya yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Metode Ziegler Nichols Berbasis *Internet of Things*” oleh Cahya Andika Salsabila, didapatkan pada respon sistem dengan *setpoint* 600 rpm diperoleh nilai *rise time* 1.53 s, *settling time* 3,6 s, dan *overshoot* 0.5 %. Pada *setpoint* 900 rpm diperoleh nilai *rise time* 2.56 s, *settling time* 3,9 s, dan *overshoot* 1 %. Sedangkan pada *setpoint* 1200 rpm diperoleh nilai *rise time* 2.52 s, *settling time* 3,9 s, dan *overshoot* 1.7 %. Selain itu apabila melihat pengujian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan beban diperoleh *disturbance* yang cukup besar. Pada penelitian lain menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* yang berjudul, “Penerapan Fuzzy Logic Pada Sistem Pengendalian Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Internet of Things*,” oleh Desi Budiati

diperoleh respon sistem dengan *setpoint* 600 rpm diperoleh nilai *rise time* 1.48 s, *settling time* 2.97 s, dan *overshoot* 1.5 %. Pada *setpoint* 900 rpm diperoleh nilai *rise time* 1.46 s, *settling time* 2.92 s, dan *overshoot* 2 %. Sedangkan pada *setpoint* 1200 rpm diperoleh nilai *rise time* 1.65s, *settling time* 3,98 s, dan *overshoot* 1 %. Dari penelitian tersebut bisa dibuat menjadi perbandingan bagaimana penerapan metode Fuzzy-PI pada penelitian ini.

Berdasarkan penjelasan diatas yang telah menjadi dasar peneltian ini, maka dilakukan penelitian untuk membangun suatu sistem pengendali pada kecepatan motor induksi 3 fasa dengan Fuzzy-PI sebagai kontroler dan dapat diintegrasikan dengan internet yang berjudul, “Penerapan Fuzzy-PI Pada Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Berbasis *Internet of Things*.”

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Merancang fuzzy-PI pada pengendalian kecepatan motor induksi berbasis *Internet of Things*.
2. Menentukan parameter derajat keanggotaan dan *rules* pada kontrol fuzzy PI.
3. Melakukan pemantauan arus pada kendali kecepatan motor induksi 3 fasa melalui *device* dengan aplikasi *Blynk* secara *real-time*.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh perancangan fuzzy-PI pada pengendalian kecepatan motor induksi berbasis *internet of things* secara *real-time*.
2. Mengetahui derajat keanggotan dan *rules* pada kontroler Fuzzy PI.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan fuzzy PI pada pengendalian kecepatan motor induksi berbasis *Internet of Things*.
2. Bagaimana menentukan parameter derajat keanggotaan dan *rules* pada kontroler Fuzzy PI.
3. Bagaimana melakukan pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan aplikasi Blynk secara *real-time* dengan *device smartphone*

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan metode *tuning* fuzzy PI
2. Pengendalian hanya dilakukan pada kecepatan motor induksi 3 fasa.
3. Basis *internet of things* hanya digunakan untuk mengontrol dan menampilkan kecepatan, serta menampilkan arus.

1.6 Hipotesis Penelitian

Kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dikendalikan dan dipantau dengan metode Fuzzy PI berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengendalian kecepatan motor dilakukan dengan menggunakan aplikasi Blynk melalui *smartphone* sebagai *device* secara *real-time*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terbagi atas beberapa bab sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis penelitian dan sistematika penulisan laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat penjelasan teori dasar secara umum yang digunakan sebagai referensi pada penelitian.

III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tahapan penelitian yang mencakup waktu, tempat, alat, bahan, spesifikasi alat, dan metode penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil dan pengolahan data yang disertai analisa hasil penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari penelitian dan saran terkait penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan motor yang saat ini banyak digunakan baik dalam rumah tangga maupun di bidang industri. Motor ini banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana, lebih murah dalam perawatan, dan mudah dalam pengoperasiannya [1].

Motor induksi sesuai dengan namanya memanfaatkan induksi pada medan magnet stator ke rotornya. Arus motor ini didapat dari akibat adanya perbedaan putaran rotor dengan medan magnet putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Karena itu motor induksi juga disebut sebagai motor asinkron. Karena terdapat selisih antara putaran pada rotor dengan putaran pada motor yang disebut sebagai *slip* [14].

Motor induksi dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan fasanya, yaitu motor induksi tiga fasa dan motor induksi satu fasa. Motor induksi tiga fasa biasanya dioperasikan di bidang industri yang memiliki sistem tenaga tiga fasa, sedangkan pada motor induksi satu fasa biasanya digunakan pada peralatan rumah tangga.

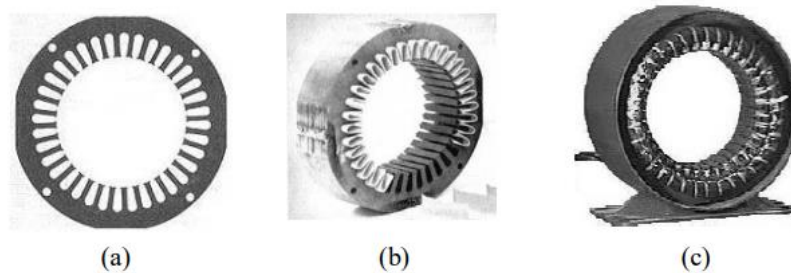
2.1.1. Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.1 bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm.



Gambar 2.1 Kontruksi Motor Induksi Tiga Fasa [15]

Komponen stator merupakan bagian terluar dan merupakan yang mengalirkan arus fasa. Stator tersusun atas tumpukan laminasi inti dengan kumparan yang dililitkan berbentuk silindris. Tumpukan laminasi tersebut dilapisi oleh kertas seperti pada gambar 2.2.b dengan elemen pada laminasi inti terbuat dari lempengan besi seperti gambar 2.2.a. Pada setiap lembaran besi, terdapat alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Di setiap sebaran kumparan alur disebut sebagai belitan fasa. Belitan tersebut mempunyai jarak sebesar 120° . Pada tumpukan inti serta belitan stator terdapat cangkang silindris seperti pada gambar 2.2.C. Pada gambar dibawah ini terdapat contoh lempengan laminasi inti (a), lempengan inti yang telah disatukan (b), serta belitan stator yang telah diletakkan pada cangkang luar (c) [16].

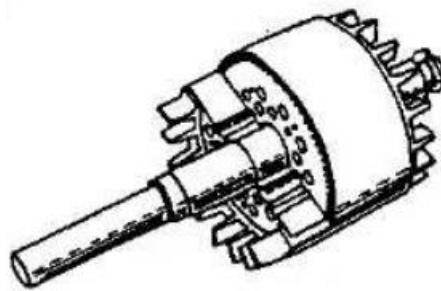


Gambar 2.2 Menggambarkan Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa, (a) Lempengan Inti, (b) Lempengan Inti dan Kertas Isolasi, (c) Lempengan Inti dan Belitan Stator

Pada rotor motor induksi terbagi atas dua jenis, yaitu:

1. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar

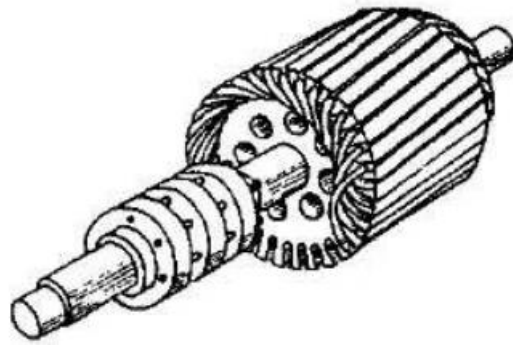
Pada motor induksi tiga fasa rotor sangkar, penampangnya mempunyai konstruksi yang sederhana. Inti stator dirancang secara pabrikasi melalui lapisan-lapisan plat baja. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan secara terpisah pada alur stator terpisah 120° secara listrik dengan tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y) [17].



Gambar 2.3 Rotor Sangkar [14]

2. Motor induksi tiga fasa rotor belitan

Motor induksi tiga fasa rotor belitan memiliki rotor yang dililit dengan lilitan yang terisolasi layaknya lilitan pada stator. Lilitan fasa rotor terhubung secara Y dengan ujung fasanya masing-masing terbuka dan dikeluarkan ke cincin *slip* yang terhubung pada variabel eksternal. Fungsi dari variabel eksternal ini adalah membatasi arus penghasutan dan peningkatan torsi rotor. Pada saat penghasutan, adanya penambahan tahanan eksternal menghasilkan torsi penghasutan yang nilainya lebih kecil dibandingkan motor rotor sangkar [17].



Gambar 2.4 Rotor Belitan [14]

2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Prinsip kerja motor adalah mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada motor induksi, prinsip kerjanya berdasarkan pada induksi elektromagnetik. Apabila sumber tegangan terhubung dengan kumparan stator, maka timbul medan putar sebesar [4]:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots (2.1)$$

Induksi elektromagnetik dihasilkan dari kumparan stator ke kumparan rotor. Garis-garis fluks diinduksikan oleh kumparan stator dan memotong kumparan rotor sehingga timbul gaya gerak listrik (GGL).

Arus dari kumparan rotor akan mengalir yang disebabkan oleh kumparan rotor karena rangkaian tertutup. Kumparan rotor berada dalam garis gaya fluks yang dialiri arus dari kumparan stator menyebabkan rotor mengalami gaya Lorentz. Kemudian rotor akan bergerak sesuai arah gerakan medan induksi stator akibat torsi gaya Lorentz [18].

$$F = B \cdot i \cdot L \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

F = Gaya Lorentz (Newton)

B = Kerapatan fluks magnet (Tesla)

i = Arus yang mengalir di kawat (Ampere)

L = Panjang konduktor (Meter).

Pada motor induksi juga terdapat istilah *slip*. *Slip* merupakan perbedaan antara kecepatan pada putaran sinkron dan kecepatan pada rotor. Hal ini disebabkan oleh adanya rugi-rugi baik pada rugi-rugi lilitan, rugi-rugi mekanik, dan rugi-rugi mekanik. Selain itu *slip* juga dinyatakan dalam bentuk persentase. Untuk persamaannya dapat ditulis:

$$\% \text{ slip} = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

2.1.3. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Pada motor induksi dalam pengaturan kecepatan motornya dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. Pengaturan pada jumlah kutub motor

Dari persamaan 2.1 dapat dilihat kecepatan pada motor induksi berbanding terbalik dengan jumlah kutub motor. Dalam artian kecepatan motor induksi akan semakin cepat apabila jumlah kutubnya semakin sedikit. Untuk mengatur jumlah kutub bisa dilakukan pada perancangan kumparan statornya. Namun, hal ini sulit dilakukan karena mempengaruhi konstruksi motor yang ada.

2. Pengaturan frekuensi sumber

Dari persamaan 2.1 dapat dilihat kecepatan motor induksi berbanding lurus dengan frekuensi sumber. Dalam artian untuk mendapatkan nilai kecepatan yang semakin besar, maka perlu frekuensi yang besar pula untuk mewujudkannya. Untuk melakukan pengaturan frekuensi bisa dilakukan dengan menggunakan *inverter*.

3. Pengaturan tegangan sumber

Untuk mengatur kecepatan motor, dapat dilakukan dengan mengubah tegangan masukan. Tegangan masukan mempengaruhi seberapa cepat motor dapat berputar. Semakin besar nilai tegangan masukan, maka semakin cepat pula

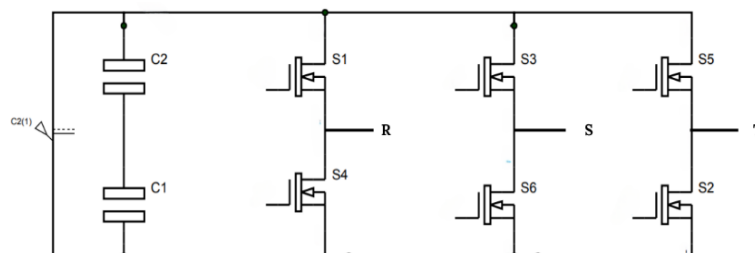
motor akan berputar. Namun, putaran motor yang dihasilkan tegangan sumber terbatas oleh pengaturan motor tersebut.

4. Pengaturan tahanan luar

Pada jenis rotor belitan (*wound rotor*) yang dihubungkan dengan pengaturan tahanan luar mempengaruhi nilai torsi yang berbeda-beda. Dalam artian, tahanan luar akan mempengaruhi putaran motor induksi yang mengakibatkan motor induksi putarannya dapat berubah-ubah [4].

2.2. Inverter 3 Fasa

Inverter 3 fasa adalah suatu topologi yang terdiri atas enam buah komponen pensaklaran. Komponen pensaklaran merupakan komponen semikonduktor seperti MOSFET, SCR, dan lain-lain. Tujuan adanya komponen ini adalah mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC 3 fasa. Untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan, setiap saklar beralih dari satu kondisi ke kondisi lainnya [19].



Gambar 2.5 *Inverter* 3 Fasa

Untuk prinsip kerjanya, motor induksi tiga fasa memiliki mekanisme yang hampir sama dengan motor induksi satu fasa. Yaitu dengan mengkombinasikan antara sakelar dengan kesesuaian frekuensi agar mengubah listrik dari DC ke listrik AC. Pengaturan penyalaan sakelar tidak boleh dilakukan secara bersamaan dan mengikuti aturan agar tidak terjadi gangguan. Pada hal ini aturan penyalaan adalah 180° pada IGBT disetiap fasanya dengan konfigurasi pensaklaran (*switching*) seperti pada tabel 2.1.

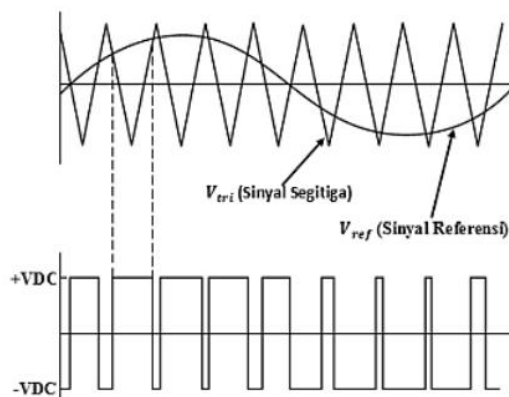
Tabel 2.1 Konfigurasi *Switching* Inverter 3 Fasa.

S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1

2.3. *Pulse Width Modulation (PWM)*

Pulse Width Modulation atau PWM adalah cara dalam membandingkan sinyal referensi (V_r) dengan sinyal pembawa (V_c), yang umumnya sinyal pembawa atau sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaji.

Pada prinsip kerjanya saat amplitude pada sinyal referensi (V_r) lebih besar dibandingkan sinyal pembawanya (V_c), maka sinyal yang dihasilkan adalah *high* atau *ON*, apabila sebaliknya atau sinyal referensi (V_r) lebih kecil dari sinyal pembawa (V_c), maka akan dihasilkan sinyal *low* atau *OFF*. Proses dari membandingkan kedua sinyal tersebut dapat menghasilkan *duty cycle* seperti pada gambar 2.6.

Gambar 2.6 *Pulse Widht Modulation*

Satu periode sinyal PWM disebut sebagai T , pada satu periode terdiri atas waktu aktif (T_{on}) dan waktu non aktif (T_{off}). Untuk memperoleh nilai duty cycle dapat dituliskan dengan persamaan:

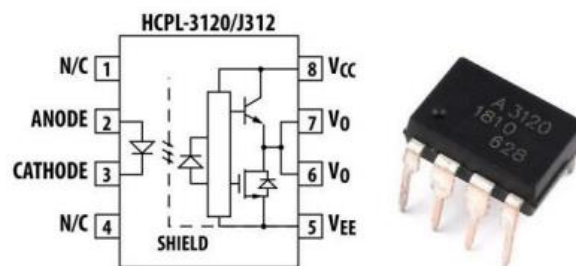
$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$$

Untuk mendapatkan tegangan yang dihasilkan PWM dapat dilakukan dengan cara:

$$V_{out} = D \times V_{in} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.4. Gate Driver

Gate driver adalah rangkaian yang berperan dalam menghubungkan rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Saklar semikonduktor pada rangkaian daya digerakkan oleh rangkaian kontrol dengan rangkaian *gate driver* sebagai penghubungnya. Karena rangkaian *gate driver* juga mempunyai peran dalam memindahkan dan menguatkan sinyal pemicu dari rangkaian kontrol tersebut. Salah satu jenis IC yang digunakan pada *gate driver* adalah HCPL 3120, IC ini dirancang secara khusus sebagai penggerak saklar semikonduktor pada jenis MOSFET dan IGBT.



Gambar 2.7 IC HCPL 3120

HCPL 3120 adalah salah satu dari sekian banyak *optocoupler*. HCPL 3120 terdiri atas dua bagian seperti, *transmitter* dan *receiver*. Pada *transmitter* IC terhubung dengan rangkaian *input* atau rangkaian kontrol berupa LED *infrared* yang berperan dalam memberikan sinyal berupa cahaya *infrared*. Bagian *receiver* IC dihubungkan

dengan beban dan berfungsi menerima sinyal dari *transmitter*. Bagian *receiver* terdiri atas kombinasi transistor. Saat ada arus melewati anoda dan katoda IC, maka LED *infrared* akan memancarkan cahaya *infrared*. Cahaya akan diterima *receiver* dan diperoleh tegangan V_o dengan tegangan V_o sama dengan tegangan yang diberikan pada V_{cc} .

Selain itu, HCPL 3120 juga berperan dalam proteksi pada rangkaian kontrol. Proteksi diperoleh dari *transmitter* dan *receiver* yang tidak terkoneksi secara langsung. Arus keluaran maksimum pada HCPL 3120 adalah sebesar 2,5 A, tegangan masukan pada V_{cc} sebesar 15-30 Volt, dan waktu pensaklaran hingga 500 ns.

2.5. Mikrokontroler

Adapun mikronkontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah:

2.5.1. Arduino Mega 2560

Arduino mega 2560 merupakan sebuah *board mikrokontroler* dengan basis ATmega 2560. Arduino mega mempunyai 54 pin *input* atau *output* dengan 15 pin *output* khusus untuk PWM, 16 analog *input*, 4 UARTS, sebuah *crystal* osilator 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, soket ICSP dan tombol *reset* [20].



Gambar 2.8 Arduino Mega 2560

Untuk spesifikasi Arduino bisa dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Parameter	Spesifikasi
Tegangan operasi	5V
Tegangan <i>input</i> (rekomendasi)	7-12 V
Tegangan <i>input</i> (limit)	6-20 V
Pin digital I/O	54 (15 pin PWM)
Pin analog input	16
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3 v	50 mA
<i>Flash memory</i>	256 KB dengan * KB untuk <i>bootloader</i>
EERPOM	4 KB
SRAM	8 KB
Kecepatan pewaktuan	16 Mhz

2.5.2. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 merupakan *platform IoT open source*. Istilah NodeMCU secara *default* mengacu pada *firmware* DevKit. NodeMCU telah mem-*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.

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 juga dirancang untuk mudah diprogram.



Gambar 2.9 NodeMCU ESP8266

2.6. Sensor Kecepatan LM393

Sensor kecepatan LM393 dilengkapi dengan sensor *optocoupler* dan IC LM393. Sensor *optocoupler* bekerja berdasarkan perubahan pada cahaya *infrared*. Terdapat dua bagian utama dari sensor *optocoupler* yaitu, *transmitter* dan *receiver*. Pada transmitter terdiri atas IR LED (*infrared LED*) yang berperan dalam mengirimkan sinyal ke *receiver*. Sedangkan *receiver* berperan dalam menerima cahaya dari *transmitter*.



Gambar 2.10 Modul Sensor Kecepatan LM393

2.7. Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 merupakan sensor yang sistem kerjanya berdasarkan efek medan magnet. Dengan sensor ini, arus yang dapat diukur adalah arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC). Modul sensor ini dilengkapi dengan rangkaian *amplifier* fungsional, sehingga sensitivitas pengukuran arus meningkat yang disesuaikan dengan pengukuran perubahan arus kecil.

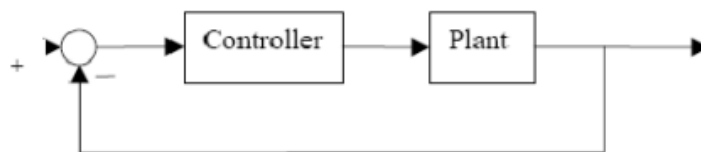
Cara kerja dari sensor ini adalah dengan membaca arus yang melewati kabel tembaga. Kabel tembaga tersebut terdapat pada modul sensor yang menghasilkan medan magnet dan ditangkap oleh IC. Perubahan medan magnet bawaan ini akan menjadi tegangan proporsional. Nilai variabel sensor dimasukkan dan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses. Keluaran dari sensor tersebut merupakan tegangan AC yang disearahkan oleh rangkaian penyearah [21].



Gambar 2.11 Sensor Arus ACS712

2.8. Kontroller PI

Salah satu jenis kontroller yang banyak ditemui pada jenis kontrol *close loop* adalah Kontroller PI. Kontroller PI merupakan kontroler yang mudah dihungkan dengan jenis kontroller lain seperti Fuzzy dan Robust yang membuat sistem menjadi lebih baik.



Gambar 2.12 Blok Diagram *Close Loop*

Kontrol PI sesuai dengan namanya terdiri atas dua kontrol yang dikombinasikan, yaitu kontrol Proporsional (P) dan kontrol integral (I). Setiap komponen diantara keduanya harus diatur sedemikian rupa supaya sistem dapat berjalan dengan baik. Parameter yang diatur tersebut disebut sebagai konstanta. Setiap parameter memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing seperti pada tabel dibawah.

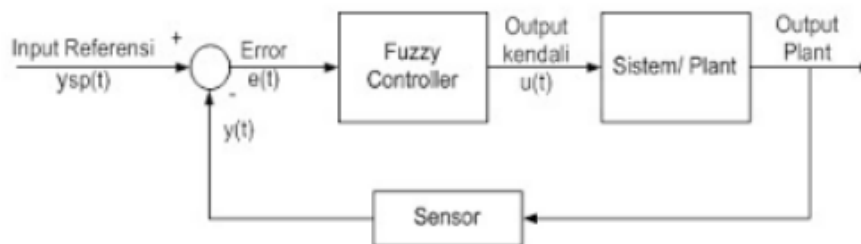
Tabel 2.3 Respon *PI Controller* Terhadap Perubahan Konstanta

Respon close loop	Rise Time	Overshoot	Settling Time	SS Error
Kp	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Ki	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang

Pada tabel tersebut, parameter-parameter tidak bersifat independent, sehingga perubahan salah satu konstanta akan mempengaruhi nilai konstanta yang lainnya. Tabel 2.3 hanya bisa dipakai apabila akan melakukan perubahan konstanta. Dalam merancang kontrol PI biasanya dilakukan *trial & error* sampai mendapatkan hasil terbaik [8].

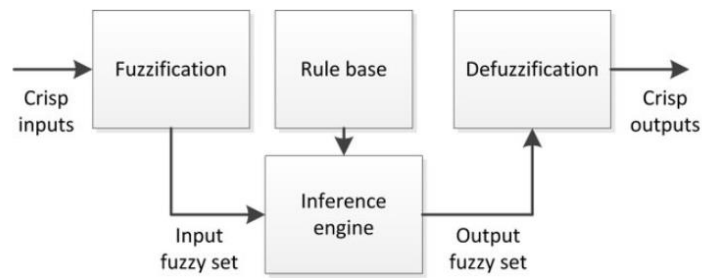
2.9. Fuzzy Logic

Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Teori ini merupakan perluasan teori himpunan tegas, dengan nilai yang mengacu pada cara manusia dalam mempersepsikan sesuatu [22]. Dapat dikatakan, pada metode Fuzzy tidak ada pernyataan bernilai benar atau salah. Melainkan pernyataan dengan kondisi diantara keduanya [23].



Gambar 2.13 Pengendali Fuzzy

Selain itu pada logika Fuzzy terdapat fungsi keanggotaan atau *membership function*. *Membership function* mengacu pada kurva yang menunjukkan pemetaan *input* terhadap derajat keanggotaan dengan interval antara 0 sampai 1. Dalam menemukan fungsi keanggotaan bisa dilakukan dengan fungsi representasi linier dan representasi kurva segitiga [23].



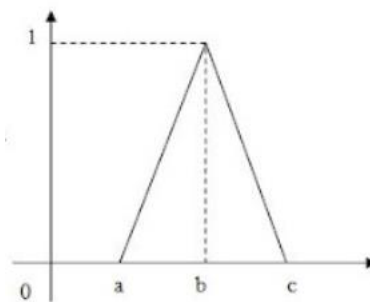
Gambar 2.14 Blok Diagram *Fuzzy Logic*

Pada dasarnya, blok diagram fuzzy terdiri atas 3 bagian, yaitu:

1. Fuzzifikasi: Merupakan proses mengubah nilai masukan yang bersifat numerik menjadi nilai linguistik.
2. Mesin inferensi: Merupakan proses mengambil kesimpulan dari masukan yang diolah dengan aturan dasar yang terdiri atas kumpulan aturan *IF-THEN*. Metode pada proses inferensi yang digunakan adalah mamdani.
3. Defuzzifikasi: Merupakan proses mengubah hasil dari aksi kendali fuzzy menjadi aksi kendali numerik yang diperlukan dalam pengendalian.

Himpunan fuzzy secara umum menyatakan nilai linguistik dari variabel nilai numerik. Secara garis besar, bentuk dari himpunan fuzzy yang paling banyak digunakan pada metode mamdani adalah [22]:

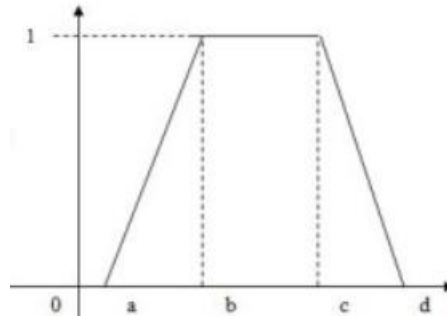
1. Triangular/ Segitiga



Gambar 2.15 Representasi Kurva Segitiga

$$\mu = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } > c \end{cases} \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Trapezoidal



Gambar 2.16 Representasi Kurva Trapezoidal

$$\mu = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{for } > d \end{cases} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.10. IoT (Internet of Things)

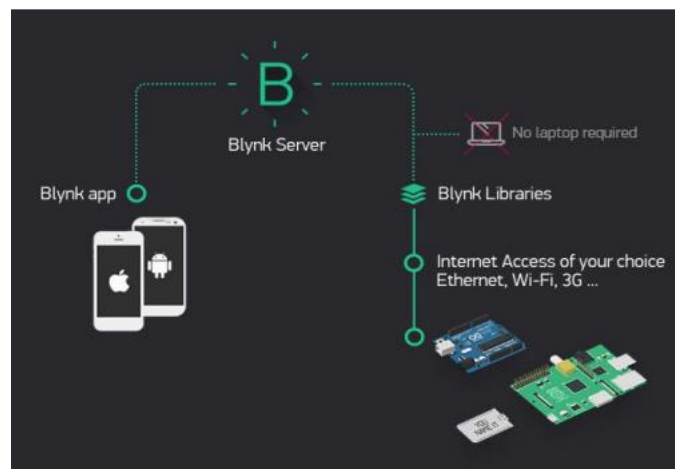
IoT (*Internet of Things*) merupakan suatu konsep yang mengarah pada koneksi komunikasi pada berbagai jenis perangkat elektronik melalui internet. Dengan IoT dapat memungkinkan suatu perangkat terhubung dan berkomunikasi dengan perangkat lain dalam bertukar informasi serta menjalankan perintah-perintah tertentu. Perangkat yang dimaksud adalah seperti pada *smartphone*, perangkat rumah tangga, sensor, dan sebagainya.

Inti dari IoT adalah tiga komponen utama berupa perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan konektivitas. Perangkat keras merupakan perangkat yang terhubung dengan internet dan berupa fisik seperti mikrokontroler, sensor, dan perangkat cerdas. Sementara perangkat lunak mencakup operasi dari

suatu sistem atau aplikasi yang digunakan dalam pengoperasian data dari perangkat keras. Konektivitas (internet) digunakan sebagai penghubung antara satu perangkat dengan perangkat lainnya dalam berkomunikasi [13].

2.11. Blynk

Blynk adalah salah satu contoh implementasi dalam mendukung layanan *server* pada proyek IoT. Blynk sendiri adalah aplikasi yang dapat diunduh secara gratis melalui *Google Play Store* dan *App Store*. Aplikasi ini biasanya digunakan untuk mengendalikan modul seperti Arduino, Rasbery PI, dan sejenisnya melalui internet. Blynk dapat mengontrol serta memonitor perangkat keras dari jarak yang jauh. Selain itu *platform* ini juga dapat menyimpan data-data sensor yang ada dan menghasilkan nilai hasil pengukuran pada datanya. Aplikasi ini banyak digunakan karena relatif mudah dalam penggunaannya terutama bagi orang awam [24].



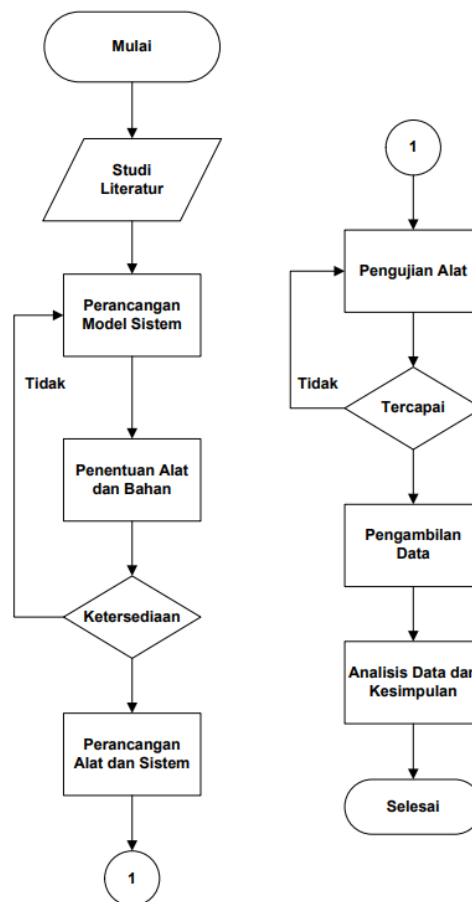
Gambar 2.17 *Server* Blynk

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik, Laboratorium Elektronika, dan Laboratorium Konversi Energi Elektrik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, dimulai sejak Januari 2024 hingga Juni 2024.

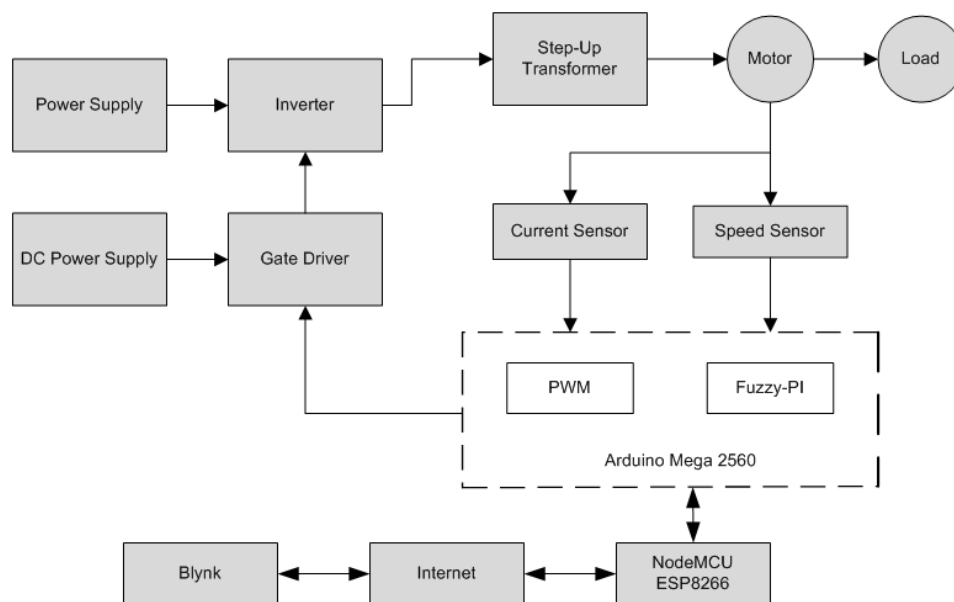
3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 3.1 ditampilkan Diagram Alir Penelitian. Diagram alir penelitian ini digunakan sebagai rujukan dalam menjalankan penelitian. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengumpulkan berbagai panduan dalam proses penelitian. Kemudian dilakukan perancangan model sistem. Setelah perancangan model sistem diperoleh dilanjutkan dengan penentuan alat dan bahan. Penentuan alat bahan disesuaikan dengan ketersediaan dan kesesuaian dengan model sistem yang sudah dirancang. Kemudian Jika alat dan bahan sudah tercapai, maka dilakukan perancangan alat dan sistem. Setelah itu dilaksanakan pengujian alat dan pengambilan data. Data yang diperoleh akan dianalisis dan diberikan kesimpulan.

3.3 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 2 Diagram Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Dari diagram perancangan perangkat keras (*hardware*) diatas mempunyai fungsi pada masing-masing blok sebagai berikut:

1. *Power Supply* berperan dalam suplai tegangan 22V untuk sumber tegangan pada inverter 3 fasa.
2. *DC Power Supply*
DC Power Supply berperan dalam menyuplai rangkaian *gate driver*.

3. Inverter 3 Fasa

Inverter digunakan untuk mengatur nilai frekuensi yang berperan dalam kecepatan motor induksi

4. *Gate Driver*

Gate driver berperan dalam menguatkan tegangan arduino. Keluaran pada arduino sebesar 5V. peran arduino kemudian adalah memicu gate pada MOSFET di inverter.

5. 3 Fasa *Transformer Step-Up*

Transformer step-up berperan dalam menaikkan tegangan dari inverter untuk memutar motor.

6. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa adalah objek yang dikendalikan pada penelitian ini.

7. Sensor Arus

Sensor arus berperan dalam mengetahui keluaran arus dari inverter 3 fasa.

8. Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan sebagai pendeteksi nilai dari kecepatan motor induksi 3 fasa yang dihasilkan.

9. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 berperan untuk menerjemahkan nilai dari sensor arus dan sensor kecepatan untuk diolah dan dilanjutkan ke NodeMCU ESP8266.

10. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP 2860 mempunyai fungsi untuk meneruskan pembacaan arus dan kecepatan motor induksi dari arduino Mega 2560 untuk ditampilkan di *platform* Blynk. Selain itu NodeMCU ESP 8266 juga berperan dalam menerima data nilai frekuensi yang diatur melalui aplikasi Blynk dan meneruskannya ke arduino Mega 2560 untuk diolah.

11. Blynk

Blynk sebagai *platform* untuk mengetahui kecepatan dan nilai arus melalui pengendalian pada motor induksi 3 fasa.

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan pada penelitian ini meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Pada perangkat keras (*hardware*) meliputi:

1. Motor induksi 3 fasa
2. Transformator *Step-Up*
3. Aki
4. Rangkaian *power supply*
5. Sensor arus ACS712
6. Sensor kecepatan LM393
7. Inverter DC-AC (3 fasa)
8. Rangkaian *gate driver*
9. NodeMCU ESP8266
10. Arduino Mega 2560
11. Multimeter Digital
12. Osiloskop digital
13. Laptop
14. Handphone

Pada perangkat lunak (*software*) meliputi:

1. Arduino IDE 1.8.19
2. EasyEda
3. Microsoft Office Word
4. Microsoft Excel
5. Solidwork

3.5 Perancangan Sistem

Adapun perancangan sistem dalam penunjang penelitian ini antara lain:

3.5.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan berbagai hal dalam memperoleh pedoman yang berkaitan dengan perancangan alat. Pedoman-pedoman tersebut diperoleh dari berbagai penelitian-penelitian sebelumnya yang berasal dari jurnal atau artikel maupun berasal dari buku yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Dari pedoman yang diperoleh dapat menunjang pedoman yang sesuai terkait prinsip kerja alat serta karakteristik dari penelitian yang dibuat.

3.5.2 Spesifikasi Motor Induksi

Motor induksi yang digunakan pada penelitian ini merupakan motor induksi 3 fasa dengan jenis motor sangkar tupai. Pada gambar 3.3 ditampilkan motor induksi yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.3 Motor Induksi 3 Fasa

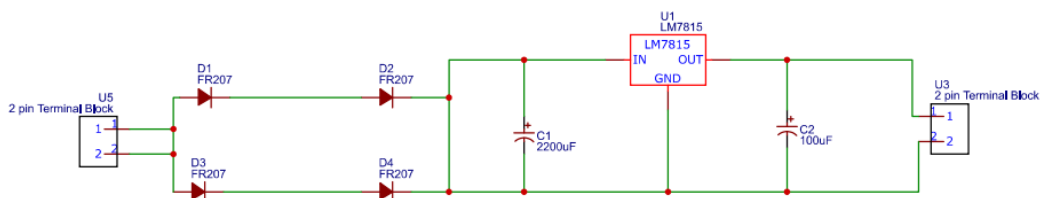
Adapun spesifikasi motor induksi yang digunakan pada penelitian ini diantaranya:

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

Keterangan	Spesifikasi
Tipe Motor	731404 CLASS 0.1
Rating tegangan	400V (Y) /230V (Δ)
Rating arus	0.45A (Y) /0.78A (Δ)
Rating daya	0.12 kW
Rating frekuensi	50 Hz
Rating kecepatan	1380 U//min
Cos ϕ	0.67

3.5.3 Perancangan Rangkaian *DC Power Supply*

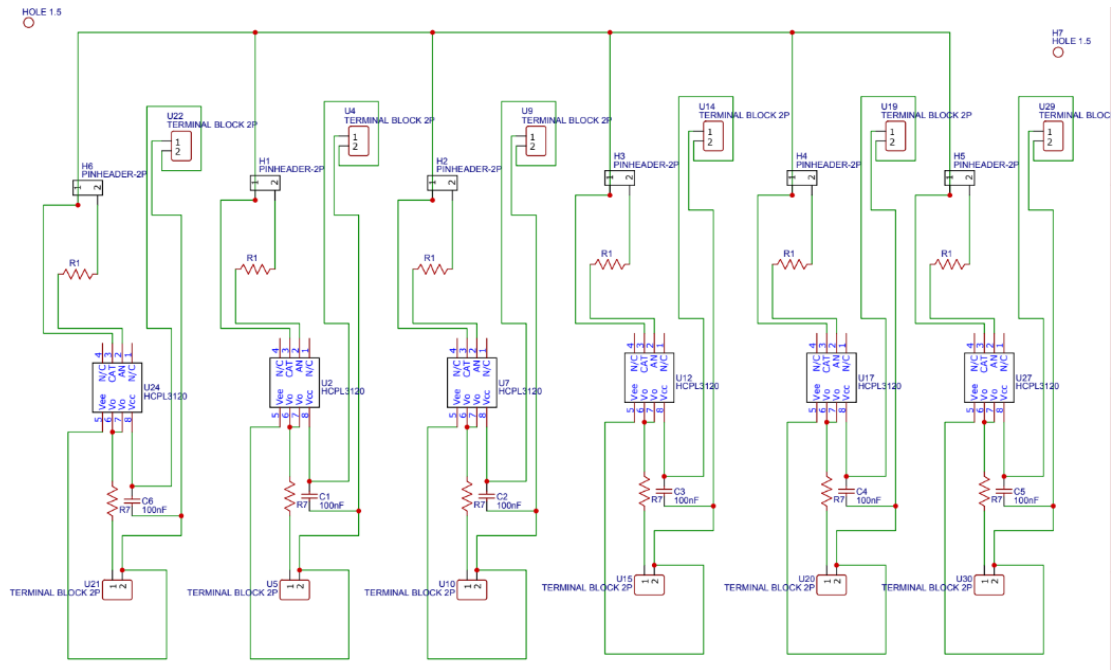
Perancangan *DC Power Supply* ditunjukkan untuk menghasilkan tegangan 15 Volt. Rangkaian ini terdiri atas berbagai komponen, seperti: transformator CT 220/15V 1A, dioda FR207, IC Regulator LM7815, kapasitor 3300 μ F dan kapasitor 100 μ F. Pada penelitian ini terdiri atas 6 rangkaian *DC Power Supply*. Adapun untuk rancangan dari rangkaian *DC Power Supply* dapat dilihat pada gambar 3.4

Gambar 3.4 Rangkaian *DC Power Supply*

3.5.4 Perancangan Rangkaian *Gate Driver*

Rangkaian *gate driver* digunakan untuk menghubungkan antara rangkaian *DC Power Supply* dengan rangkaian inverter. Rangkaian *gate driver* berperan dalam menguatkan tegangan yang dihasilkan Arduino Mega yang sebesar 5 Volt menjadi 15 Volt. Tujuannya supaya MOSFET IRF460 pada inverter dapat bekerja sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan yaitu 15 Volt. Komponen-komponen penyusun *gate driver* adalah: IC Optocoupler HCPL 3120, resistor 47 Ω , resistor 220 Ω , dan

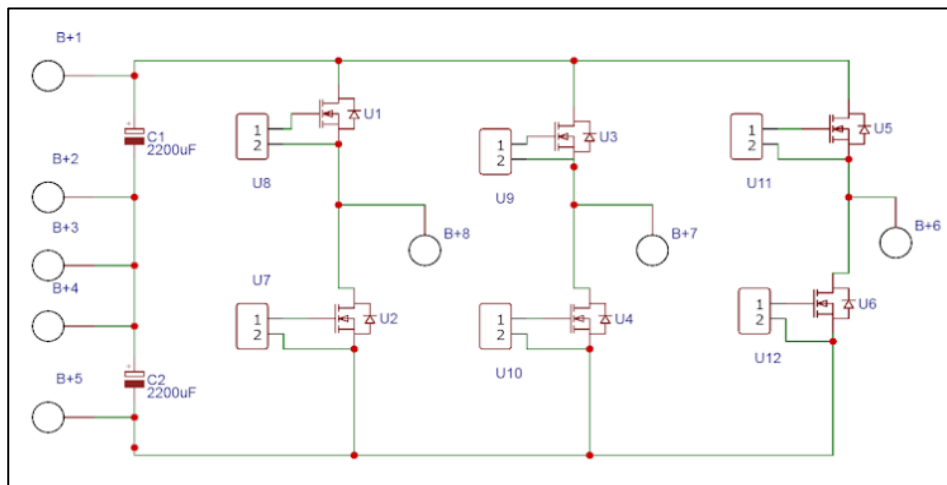
kapasitor Mylar 100nF. Adapun rangkaian *gate driver* ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian *Gate Driver*.

3.5.5 Perancangan Rangkaian Inverter

Pada perancangan rangkaian inverter, inverter yang digunakan adalah tipe inverter satu tegangan (*voltage-fed inverter-VFI*). Komponen yang digunakan dalam penyusunan pembuatan inverter adalah: 6 buah MOSFET IRF460, dan 2 buah kapasitor Elco 2200 μ F 180 V.



Gambar 3.6 Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa

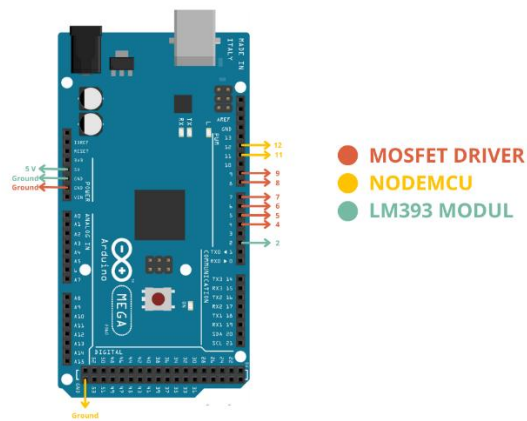
Untuk skema pensaklaran dari inverter bisa dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Skema Pensaklaran Inverter

Interval	Rentang Sudut	Saklar (ON)	Tegangan Per Fasa			Tegangan Antarfasa		
			Va	Vb	Vc	Vab	Vbc	Vca
1	0-60	1,6,5	$1/3 V_{dc}$	$-2/3 V_{dc}$	$1/3 V_{dc}$	V_{dc}	$-V_{dc}$	0
2	60-120	1,6,2	$2/3 V_{dc}$	$-1/3 V_{dc}$	$-1/3 V_{dc}$	V_{dc}	0	$-V_{dc}$
3	120-180	1,3,2	$1/3 V_{dc}$	$1/3 V_{dc}$	$-2/3 V_{dc}$	0	V_{dc}	$-V_{dc}$
4	180-240	4,3,2	$-1/3 V_{dc}$	$2/3 V_{dc}$	$-1/3 V_{dc}$	$-V_{dc}$	V_{dc}	0
5	240-300	4,3,5	$-2/3 V_{dc}$	$1/3 V_{dc}$	$1/3 V_{dc}$	$-V_{dc}$	0	V_{dc}
6	300-360	4,6,5	$-1/3 V_{dc}$	$-1/3 V_{dc}$	$2/3 V_{dc}$	0	$-V_{dc}$	V_{dc}

3.5.6 Perancangan *Wiring* Arduino Mega

Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah *Board* Arduino Mega. Alasan dari menggunakan Arduino Mega adalah karena kemampuan dalam menyimpan memori yang besar dan dilengkapi dengan pin yang banyak. Arduino Mega menghubungkan antara MOSFET *driver*, NodeMCU, dan sensor LM393. Untuk melakukan *switching*, pin yang digunakan adalah pin 4, pin 5, pin 6, pin 7, pin 8, pin 9, dan pin GND. Untuk melakukan komunikasi serial dengan NodeMCU, pin yang digunakan adalah pin 11 dan pin 12. Dan untuk menghubungkan dengan sensor LM393, pin yang digunakan adalah pin 2, pin 5 V, dan pin GND.



Gambar 3.7 *Wiring* Arduino Mega

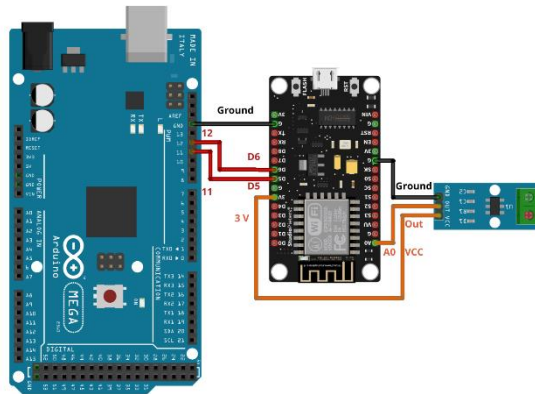
Untuk keperluan *Switching*, konfigurasi pin Arduino Mega dengan MOSFET dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Konfigurasi Pin Arduino Mega dengan *Gate* MOSFET

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

3.5.7 Perancangan *Wiring* NodeMCU

NodeMCU pada penelitian ini digunakan untuk menghubungkan Arduino Mega dengan *platform* Blynk supaya memungkinkan komunikasi dua arah dalam pengendalian dan pemantauan menggunakan jaringan internet. NodeMCU yang digunakan adalah tipe ESP8266. Pin yang digunakan untuk komunikasi serial antara NodeMCU dengan Arduino Mega pada pin 5 dan pin 6. NodeMCU juga digunakan untuk membaca arus melalui modul ACS712 menggunakan pin A0, pin 3.3V, dan pin GND. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Wiring NodeMCU

Untuk konfigurasi pin antara NodeMCU dan Arduino Mega dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Konfigurasi pin NodeMCU dengan Arduino Mega

Pin NodeMCU	Pin Arduino Mega
D5	11
D6	12
GND	GND

Untuk melihat konfigurasi pin antara NodeMCU dan ACS712 dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Konfigurasi Pin NodeMCU dengan Modul ACS712

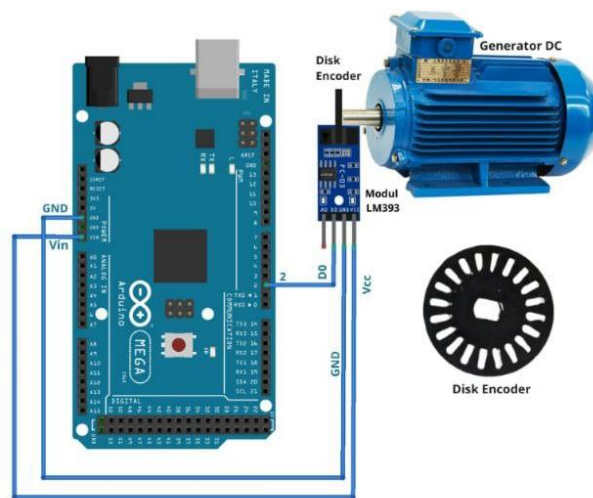
Pin NodeMCU	Pin Modul ACS712
3.3 V	VCC
A0	OUT
GND	GND

Untuk memperoleh ketelitian nilai pembacaan sensor, maka diperlukan penyesuaian dengan nilai multimeter dengan persamaan *error* sebagai berikut:

$$\% \text{ error} = \frac{(\text{Nilai arus pada sensor} - \text{Nilai arus pada multimeter}(A))}{\text{Nilai arus pada multimeter} (A)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

3.5.8 Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan yang digunakan untuk mendeteksi kecepatan adalah modul sensor LM393 dan sebuah *disk encoder*. Pada dasarnya, prinsip kerja dari sensor LM393 adalah dengan mendeteksi pulsa *ON* dari objek yang terdeteksi pada *receiver* dari *transmitter*. Jika tidak terdeteksi maka pulsa yang dihasilkan adalah *OFF*. Pulsa *ON-OFF* tersebut dikonversikan menjadi nilai kecepatan pada motor (RPM). Pada konfigurasi pin antara LM393-Arduino Mega secara berurutan adalah pin VCC-pin 5V, Pin D0-pin 2 (pin *interrupt* 0), dan pin GND-pin GND.



Gambar 3.9 Wiring Sensor Kecepatan

Tabel 3.6 Pin *Wiring* Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega

Pin LM393	Pin Arduino Mega
VCC	5V
GND	GND
D0	2

Dalam mengkonversi pulsa *ON* dan *OFF* menjadi nilai kecepatan (RPM) dengan menggunakan sensor LM393 adalah dengan persamaan 3.2.

$$n = \frac{P}{H} \times \frac{60}{t} \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

n = kecepatan RPM

P = jumlah pulsa yang dihasilkan sensor

H = jumlah lubang (*hole*) *disk encoder*

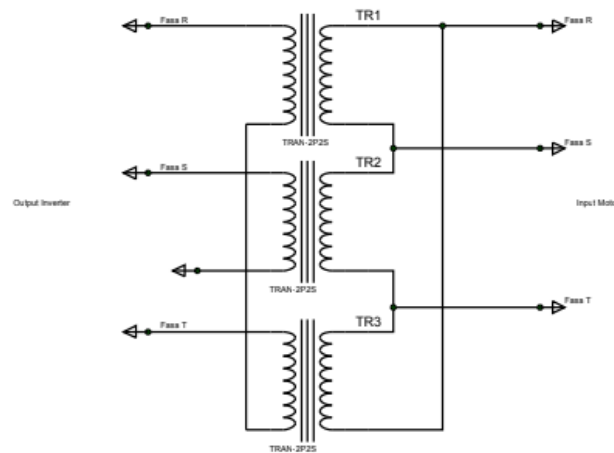
t = waktu pengambilan (detik)

Untuk memperoleh ketelitian nilai pembacaan sensor, maka diperlukan penyesuaian dengan nilai multimeter dengan persamaan *error* sebagai berikut:

$$\%Error = \left(\frac{\text{Nilai Sensor Kecepatan} - \text{Nilai Tachometer}}{\text{Nilai Tachometer}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

3.5.9 Perancangan *Wiring* Transformator *Step-Up*

Transformator *Step-Up* pada penelitian ini digunakan untuk menaikkan tegangan dari keluaran inverter ke motor. karena tegangan yang dihasilkan inverter belum cukup untuk memutar motor induksi 3 fasa. Rangkaian yang digunakan untuk menaikkan tegangan adalah rangkaian star-delta ($Y-\Delta$). *Wiring* dari rangkaian transformator *step up* adalah seperti pada gambar 3.10.

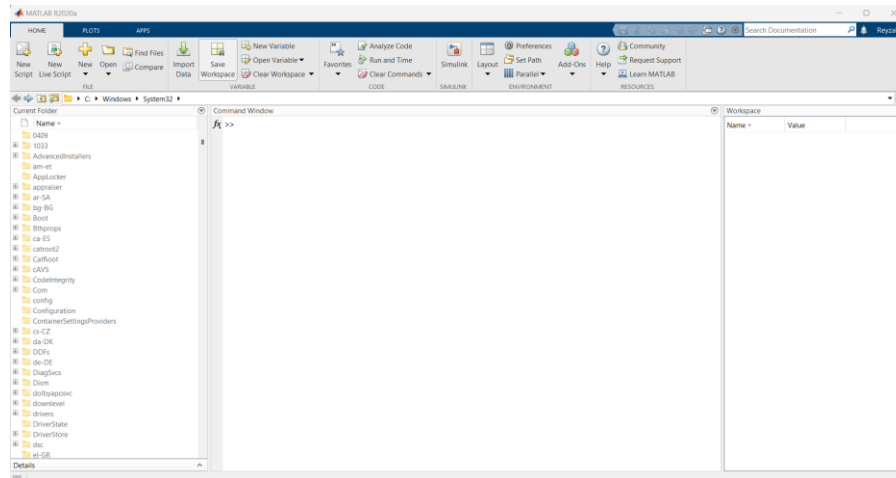


Gambar 3.10 Perancangan *Wiring* Transformator *Step Up*

3.5.10 Perancangan Parameter Fuzzy-PI

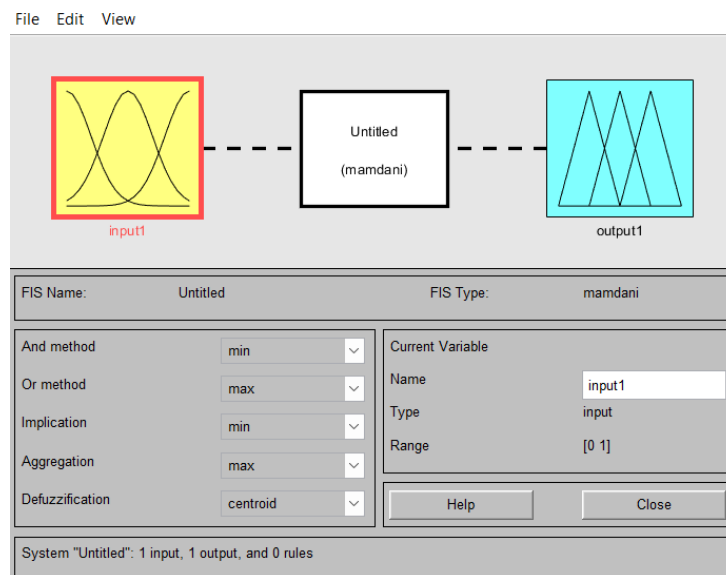
Pada penelitian ini dilakukan perancangan parameter fuzzy-PI. Perancangan parameter dari fuzzy-PI digunakan untuk memberikan gambaran dari desain yang akan dibuat dalam memberikan kontrol yang sesuai dengan objek yang diteliti, yaitu pengaturan kecepatan pada motor induksi. Untuk mendesain parameter fuzzy-

PI yang nantinya akan ditanamkan pada mikrokontroler Arduino Mega, maka digunakan aplikasi Matlab untuk membuat rancangan dari fuzzy-PI.

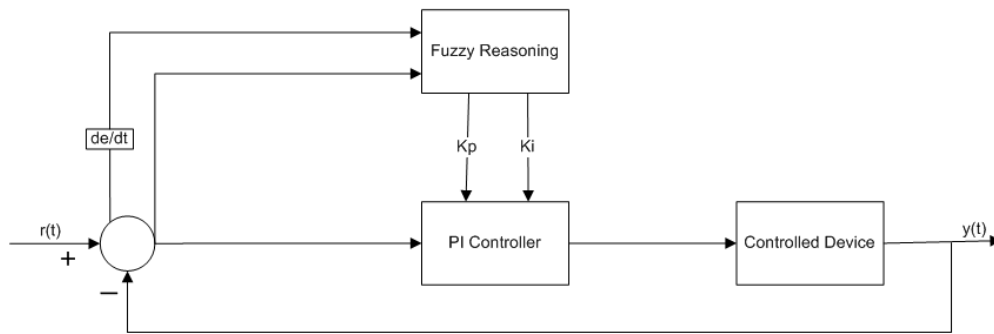


Gambar 3.11 Tampilan Awal Aplikasi Matlab

Kemudian cari menu *APPS*, dan pilih bagian *Control System Design and Analysis* untuk memilih opsi *Fuzzy Logic Controller*.



Gambar 3.12 Tampilan Awal *Fuzzy Logic Designer*



Gambar 3.13 Diagram Fuzzy-PI Controller

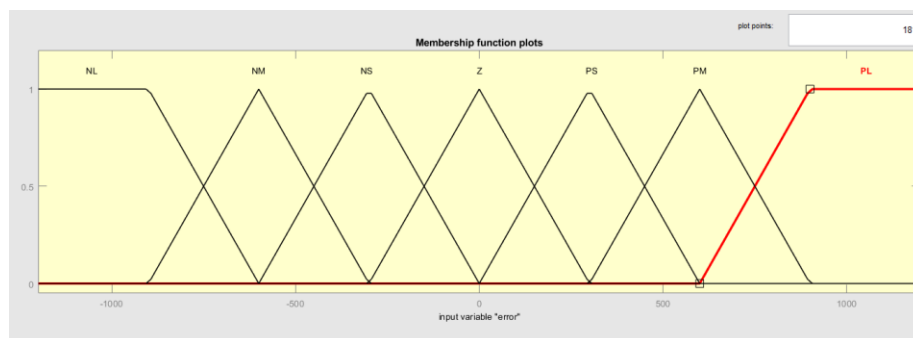
Input yang digunakan pada tahapan fuzzy terdiri atas *error* dan *change error*. *Error* merupakan nilai pengurangan dari nilai *setpoint* dengan nilai *actual*. Sedangkan *change of error* merupakan nilai pengurangan dari *error* sekarang dengan *error* sebelumnya. Persamaan *error*, *change of error* adalah:

$$e(t) = n_s - n_{s(ref)} \dots \dots \dots (3.4)$$

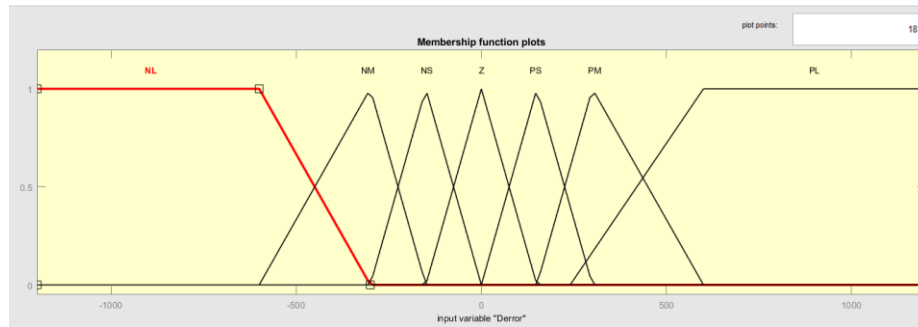
$$\Delta e(t) = \frac{e(t) - e(t_{previous})}{T} \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan $T > 0$, yang merupakan periode sampel. Output dari sistem fuzzy menghasilkan nilai K_p dan K_I yang bersifat adaptif. Nilai K_p dan K_I untuk persamaannya ditulis sebagai:

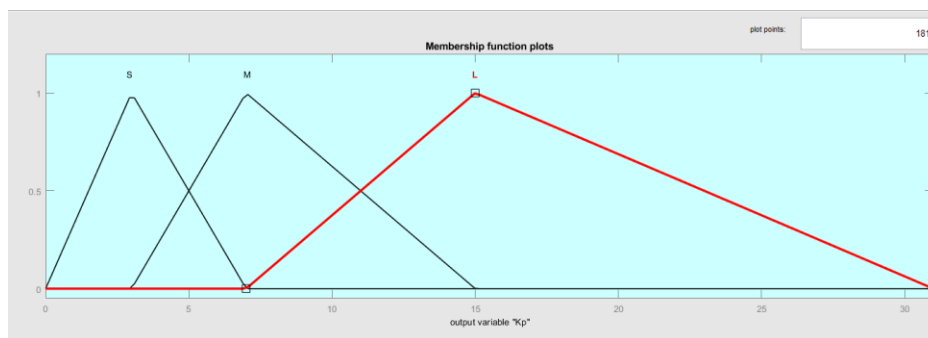
$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t)dt \dots \dots \dots (3.6)$$



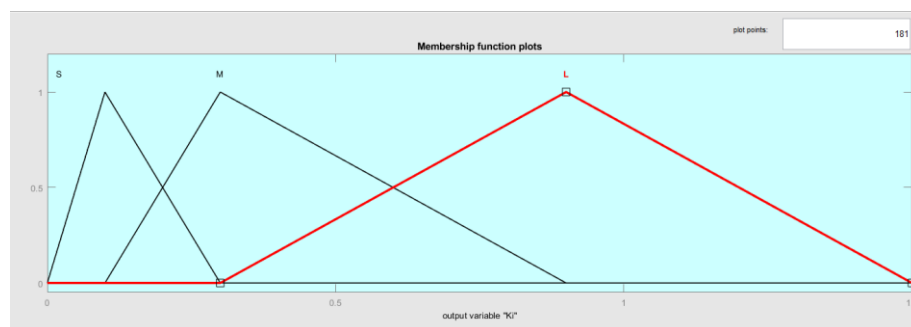
Gambar 3.14 Membership Function Error



Gambar 3.15 *Membership Function Change Error (derror)*



Gambar 3.16 *Membership Function Kp*



Gambar 3.17 *Membership Function Ki*

Keterangan untuk bagian *input*:

- NL = *Negative Large*
- NM = *Negative Medium*
- NS = *Negative Small*
- Z = *Zero*
- PS = *Positive Small*
- PM = *Positive Medium*
- PL = *Positive Large*

Keterangan untuk bagian *output*:

- S = *Small*
- M = *Medium*
- L = *Large*

Tabel 3.7 *Rules Membership Function Kp*

E/DE	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	L	L	L	L	M	M	M
NM	L	L	L	M	M	M	M
NS	L	L	M	M	M	M	M
Z	L	M	M	M	M	M	S
PS	M	M	M	M	M	S	S
PM	M	M	M	M	S	S	S
PL	M	M	M	S	S	S	S

Tabel 3.8 *Rules Membership Function Ki*

E/DE	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	S	S	S	S	M	M	M
NM	S	S	S	M	M	M	M
NS	S	S	M	M	M	M	M
Z	S	M	M	M	M	M	L
PS	M	M	M	M	M	L	L
PM	M	M	M	M	L	L	L
PL	M	M	M	L	L	L	L

Pada perancangan fuzzy-PI menggunakan 49 *rules* dengan interferensi menggunakan metode mamdani. Pada tahap fuzzifikasi, terdapat *error* dan *change error*. Logika yang digunakan pada *rule base* adalah *if-then* Pada tahap defuzzifikasi menggunakan metode *center of area* terdapat keluaran kp dan ki. Untuk persamaan *center of area* ditulis dengan:

$$Z^* = \frac{\sum_a^b \text{Fuzzy Output},u(z) \times \text{output},z}{\sum_a^b \text{Fuzzy output},u(z)} \dots\dots\dots(3.7)$$

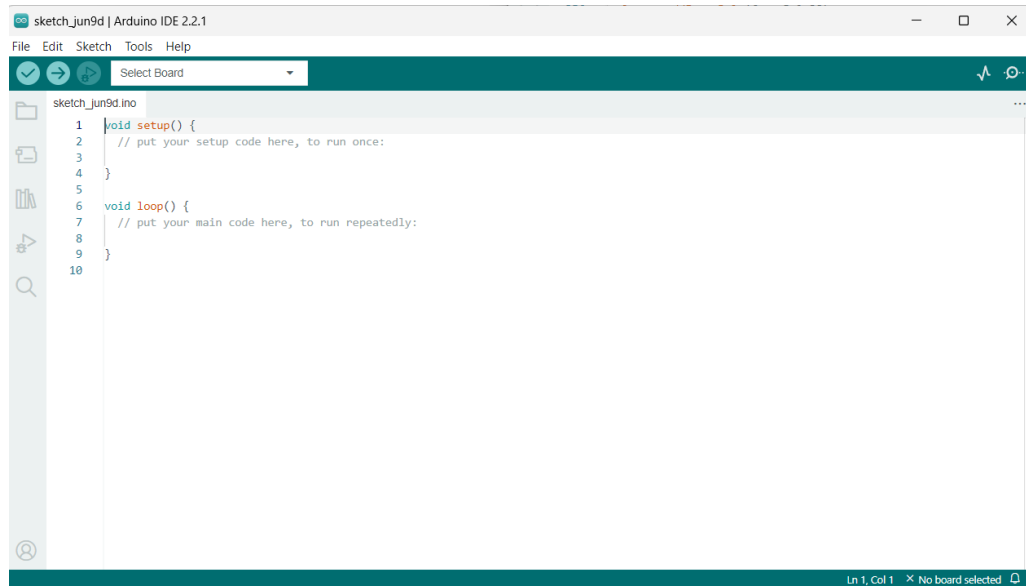
Untuk *rules* dari Fuzzy-PI antara lain:

- 1 *If (error is NL) and (Change_error is NL) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 2 *If (error is NM) and (Change_error is NL) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 3 *If (error is NS) and (Change_error is NL) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 4 *If (error is Z) and (Change_error is NL) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 5 *If (error is PS) and (Change_error is NL) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 6 *If (error is PM) and (Change_error is NL) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 7 *If (error is PL) and (Change_error is NL) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 8 *If (error is NL) and (Change_error is NM) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 9 *If (error is NM) and (Change_error is NM) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 10 *If (error is NS) and (Change_error is NM) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 11 *If (error is Z) and (Change_error is NM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 12 *If (error is PS) and (Change_error is NM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 13 *If (error is PM) and (Change_error is NM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 14 *If (error is PL) and (Change_error is NM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 15 *If (error is NL) and (Change_error is NS) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 16 *If (error is NM) and (Change_error is NS) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 17 *If (error is NS) and (Change_error is NS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 18 *If (error is Z) and (Change_error is NS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 19 *If (error is PS) and (Change_error is NS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 20 *If (error is PM) and (Change_error is NS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 21 *If (error is PL) and (Change_error is NS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 22 *If (error is NL) and (Change_error is Z) then (Kp is L) (Ki is S)*
- 23 *If (error is NM) and (Change_error is Z) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 24 *If (error is NS) and (Change_error is Z) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 25 *If (error is Z) and (Change_error is Z) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 26 *If (error is PS) and (Change_error is Z) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 27 *If (error is PM) and (Change_error is Z) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 28 *If (error is PL) and (Change_error is Z) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 29 *If (error is NL) and (Change_error is PS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 30 *If (error is NM) and (Change_error is PS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 31 *If (error is NS) and (Change_error is PS) then (Kp is M) (Ki is M)*

- 32 *If (error is Z) and (Change_error is PS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 33 *If (error is PS) and (Change_error is PS) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 34 *If (error is PM) and (Change_error is PS) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 35 *If (error is PL) and (Change_error is PS) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 36 *If (error is NL) and (Change_error is PM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 37 *If (error is NM) and (Change_error is PM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 38 *If (error is NS) and (Change_error is PM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 39 *If (error is Z) and (Change_error is PM) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 40 *If (error is PS) and (Change_error is PM) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 41 *If (error is PM) and (Change_error is PM) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 42 *If (error is PL) and (Change_error is PM) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 43 *If (error is NL) and (Change_error is PL) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 44 *If (error is NM) and (Change_error is PL) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 45 *If (error is NS) and (Change_error is PL) then (Kp is M) (Ki is M)*
- 46 *If (error is Z) and (Change_error is PL) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 47 *If (error is PS) and (Change_error is PL) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 48 *If (error is PM) and (Change_error is PL) then (Kp is S) (Ki is L)*
- 49 *If (error is PL) and (Change_error is PL) then (Kp is S) (Ki is L)*

3.5.11 Pemograman Arduino Mega dan NodeMCU

Board Arduino Mega 2560 dan *board* NodeMCU ESP8266 merupakan mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini. NodeMCU ESP 8266 digunakan untuk mendukung kegiatan IoT karena dilengkapi dengan modul *wifi*. Pemilihan penggunaan NodeMCU ESP8266 untuk menutupi kekurangan Arduino Mega 2560 karena tidak terdapat modul *wifi* didalamnya. Untuk melakukan pemograman pada Arduino Mega 2560 dan NodeMCU dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE 2.2.1. Tampilan aplikasi dari Arduino IDE dapat dilihat pada gambar 3.18.

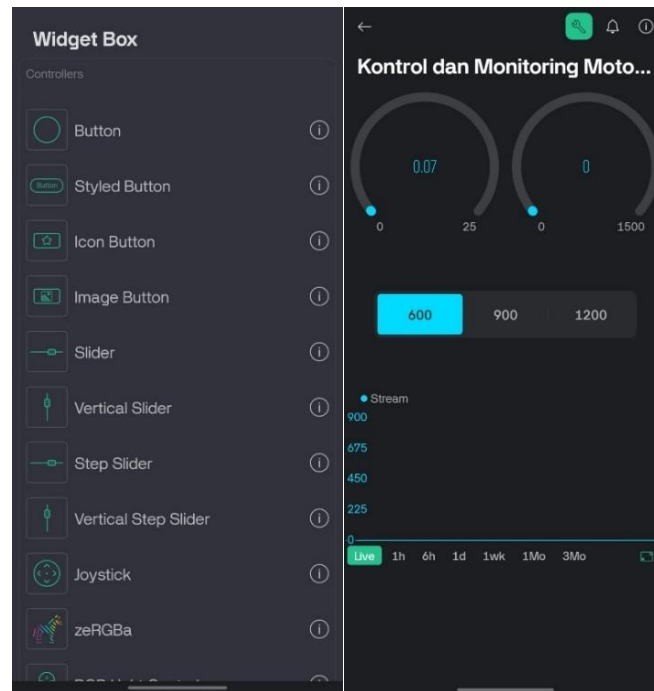


Gambar 3.18 Tampilan Awal Aplikasi Arduino IDE

Terkait program-program yang digunakan pada masing-masing mikrokontroler baik pada Arduino Mega 2560 maupun ESP8266 diantaranya:

1. Program-program yang digunakan pada mikrokontroler Arduino Mega diantaranya:
 - Pemrograman untuk *switching* pada MOSFET
 - Pemrograman serial komunikasi dengan NodeMCU
 - Pemrograman untuk pembacaan sensor kecepatan
 - Pemrograman untuk Fuzzy-PI
2. Program-program yang digunakan untuk pada NodeMCU terdiri dari:
 - Pemrograman serial untuk komunikasi dengan Arduino Mega
 - Pemrograman untuk menyalurkan informasi nilai kecepatan ke *Blynk*
 - Pemrograman untuk membaca nilai arus dan meneruskan ke *Blynk*.

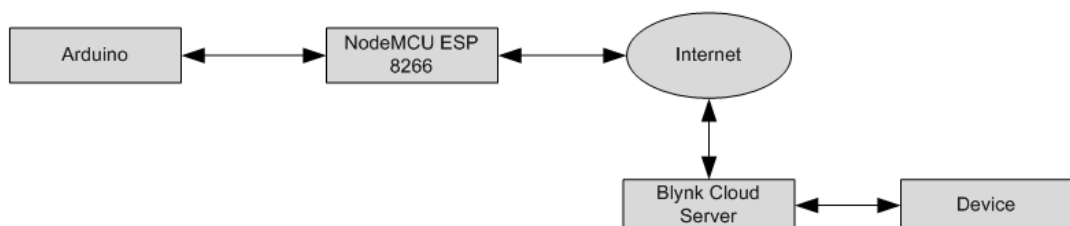
3.5.12 Perancangan Software Blynk



Gambar 3.19 Tampilan Aplikasi Blynk

Aplikasi Blynk digunakan sebagai *platform* IoT yang berperan dalam pengendalian dan pemantauan dari motor induksi tiga fasa. Pemantauan dan pengendalian dilakukan secara *real-time*. Pada aplikasi Blynk tersedia berbagai *widget* yang berguna pada keperluan IoT

Pada gambar 3.18 Terdapat *design* aplikasi *Blynk*. *Widget* yang digunakan pada aplikasi Blynk untuk penelitian ini adalah *Widget Guage* yang berfungsi untuk menampilkan nilai arus dan nilai kecepatan. *Widget Segmented Switch* sebagai perubahan *input* layaknya tombol pilihan *setpoint*, dan *Widget SuperChart* untuk menampilkan grafik yang dihasilkan dari pembacaan sensor kecepatan pada motor induksi.



Gambar 3.20 Diagram Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada bagian perangkat lunak (*software*), *device* mempunyai peran sebagai perangkat yang digunakan dalam memantau dan mengendalikan kecepatan. Pada *device* terdapat aplikasi Blynk yang terhubung dengan *blynk cloud server* melalui jaringan internet untuk menjalankan perintah yang diberikan. Perintah berupa data dikirimkan melalui NodeMCU ESP8266 menuju mikrokontroler Arduino Mega untuk proses pengolahan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Berhasil merancang Fuzzy-PI pada pengendalian kecepatan motor induksi berbasis *Internet of Things*.
2. Diperoleh sistem pengendalian yang baik menggunakan pengendalian fuzzy-PI dengan respon sistem pada pengujian kecepatan motor induksi tanpa beban dengan *setpoint* 600 rpm menghasilkan *rise time* 0.83 s, *settling time* 2.5 s, dan *overshoot* 0 %, *setpoint* 900 rpm menghasilkan *rise time* 1.27 s, *settling time* 3.86 s, dan *overshoot* 0 %, dan *setpoint* 1200 rpm menghasilkan *rise time* 1.66 s, *settling time* 3.6 s, dan *overshoot* 0.5 %. Pada pengujian dengan beban sistem dapat kembali ke *setpoint* setelah diberikan *disturbance*.
3. Sistem yang digunakan berhasil dalam pengendalian dan pemantauan menggunakan sinyal internet melalui *device smartphone*. Diperoleh nilai delay pada pengujian IoT dengan rata-rata 1.64 s.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah:

1. Diperlukan metode SPWM untuk pengembangan metode *switching* pada inverter supaya putaran motor lebih halus.
2. Diperlukan pengembangan metode seperti dua derajat kebebasan fuzzy PI- untuk semakin meningkatkan performa dari motor.
3. Peningkatan pada penggunaan sensor kecepatan supaya pembacaan kecepatan motor dapat lebih baik di kecepatan rpm yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kurnia Pratama, E. Zondra, and H. Yuwendius, “Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan,” *Jurnal Sains, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 5, no. 1, pp. 35–43, 2020.
- [2] K. R. S. Suda, E. Purwanto, B. Sumantri, H. H. Fakhruddin, A. A. Muntashir, and M. R. Rusli, “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Pemodelan Sistem (DTC) *Direct Torque Control*,” *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 18, no. 2, 2021.
- [3] A. Kurniawan, B. Suprianto, T. Wrahatnolo, and N. Kholis, “Analisis Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Fuzzy Logic Control,” Surabaya, 2020.
- [4] C. R. Harahap, R. A. Nasution, and F. X. A. Setyawan, “Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sumber Panel Surya,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 3, Sep. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3424.
- [5] R. Anda Rangkuti, Atmam, and E. Zondra, “Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC),” *JURNAL TEKNIK*, 14, pp. 121–128, Apr. 2020.
- [6] D. W. Gu, Y. Yao, D. M. Zhang, Y. B. Cui, and F. Q. Zeng, “Matlab/simulink based modeling and simulation of fuzzy PI control for PMSM,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2020, pp. 195–199. doi: 10.1016/j.procs.2020.02.047.

- [7] H. Maghfiroh, J. Slamet Saputro, F. Fahmizal, and M. Ahmad Baballe, "Adaptive Fuzzy-PI for Induction Motor Speed Control," *Journal of Fuzzy Systems and Control*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, Mar. 2023, doi: 10.59247/jfsc.v1i1.24.
- [8] S. Maspriyanto, G. Prabowo, and A. Jaya, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3Ø Menggunakan Kontrol PI Berbasis Direct Torque Control," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, 2010.
- [9] K. Jurnal, M. Saintek, M. Bayu, R. Maulana, D. Dewatama, and M. Fauziyah, "Kontrol Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560 Pada Lift 4 Lantai," vol. 2, no. 6, pp. 71–80, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.warunayama.org/kohesi>
- [10] B. Dwi, P. Setiawan, M. N. Habibi, N. A. Windarko, and & Sutedjo, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Dengan Metode V/f (Volt/Frekuensi) Dan Kontrol PI-Fuzzy," 2020.
- [11] K. Nur Faizin and M. E. Echsony, "Pengaturan Kecepatan Motor DC Brushless Menggunakan Kontroler Fuzzy PI," *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, vol. 6, May 2021.
- [12] B. Sonkriwal, D. Patil Rahul, and H. Tiwari, "*Analysis of FUZZY-PI and PI Control Strategies for Permanent Magnetic Synchronous Motor Drive,*" in *2023 2nd International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies, ICEEICT 2023, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2023. doi: 10.1109/ICEEICT56924.2023.10157901.
- [13] S. Gunawan Zain, W. Setialaksana, and M. Asriadi, "Development of Internet of Things (IoT) Based Electric Equipment Control," *Int. J. Environ. Eng. Educ*, vol. 4, no. 2, pp. 60–65, 2022, doi: 10.55151/ijeedu.v4i2.71.

- [14] Zuhal, Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [15] T. Wildi, Electrical Machines, Drives, And Power Systems. Pearson, 2014.
- [16] D. Novianto, E. Zondra, and H. Yuvendius, "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang," Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), vol. 4, no. 2, pp. 73–80, 2022, doi: 10.31849/sainetin. v6i2.9734.
- [17] J. Teknik Elektro Universitas Halu Oleo Kendari Sulawesi Tenggara and S. Jie, "Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Karakteristik (Unjuk Kerja) Motor Induksi Tiga Fasa." [Online]. Available: <http://ojs.uho.ac.id/index.php/jfe/>
- [18] A. Ayu Pangesti, "Perancangan Estimator Kecepatan Berbasis Disturbance Observer Untuk Speed Sensorless Motor Induksi Di PT. INKA," Surabaya, 2020.
- [19] L. Santoso, A. Mujibtamala Nanda Imron, B. Sri Kaloko, and U. Jember, "Perancangan Inverter Satu Fasa Berbasis Arduino Menggunakan Metode SPWM," 2022.
- [20] J. Widya Leksono, H. K. W., E. Indahwati, N. Yanuansa, and I. Um Modul Belajar Arduino Uno. 2019.
- [21] N. Adjie Riantama, "Pengendalian Kecepatan Motor Dc Menggunakan Buck-Boost Converter Berbasis IoT," 2023.
- [22] R. S. Dwi Ana, *SISTEM KENDALI CERDAS Fuzzy Logic Controller (FLC), Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Algoritma Genetik (AG) dan Algoritma Particle Swarm Aplimization (PSO)*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [23] R. A. Bimo, S. Putra, A. R. Al Tahtawi, and K. Wijayanto, "Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2021.

- [24] I. Syukhron, R. Rahmadewi, J. Teknik Elektro, F. Teknik, U. Singaperbangsa Karawang, and K. H. Jl Ronggowaluyo Telukjambe Timur -Karawang, "Penggunaan Aplikasi Blynk Untuk Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar Berbasis IoT," 2021.