

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN MOTOR  
INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN METODE ZIEGLER – NICHOLS  
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**CAHYA ANDIKA SALSABILA**

**NPM. 2015031029**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### **RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN METODE ZIEGLER – NICHOLS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

Oleh

**Cahya Andika Salsabila**

Pentingnya motor induksi tiga fasa dalam sektor industri membuat motor jenis ini memainkan peran yang sangat penting karena kelebihannya. Oleh karena itu, diperlukan motor induksi tiga fasa yang mampu diatur kecepatannya sesuai dengan keinginan, Untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilakukan dengan mengatur jumlah pasangan kutub atau dengan mengatur frekuensi menggunakan inverter tiga fasa. Selain itu, menjaga kestabilan putaran motor juga sangat diperlukan, penambahan beban atau ketika terjadi gangguan menyebabkan kestabilan dan kecepatan putaran motor menjadi berkurang dan terganggu. Untuk mengatasi ketidakstabilan putaran motor diperlukan sebuah kontrol loop tertutup sebagai kontrol sistem. Pada penelitian ini, penggunaan metode pengendali PID diterapkan karena respon sistemnya yang baik namun strukturnya yang sederhana. Pengendali PID didesain dengan menerapkan metode kedua Ziegler – Nichols atau biasa disebut dengan metode osilasi. Metode ini dipilih karena efisiensinya dalam mencari parameter dibanding metode *trial-error* yang melelahkan. Penerapan pengendali PID ini menghasilkan nilai  $K_u = 0,03121$  dimana sistem sudah mampu berosilasi stabil. Dengan menerapkan metode kedua Ziegler – Nichols maka diperoleh parameter PID yaitu  $K_p = 0,018726$  ,  $K_i = 0,018726$  , dan  $K_d = 0,0046815$ . Kombinasi parameter PID ini membuat sistem mencapai nilai *setpoint* dengan *risetime* selama 2,2 detik, *settling time* 3,8 detik, dengan nilai *maximum overshoot* 1,7 %. Dengan respon sistem ini, maka pemberian beban dan perubahan kecepatan tidak mempengaruhi kestabilan putaran motor terlalu signifikan. Penerapan IoT pada sistem ini membuat sistem mampu dikendalikan dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk dengan perangkat seluler.

Kata Kunci : Motor Induksi Tiga Fasa, PID, Ziegler- Nichols, IoT

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF 3 PHASE INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM USING ZIEGLER - NICHOLS METHOD BASED ON INTERNET OF THINGS (IoT)**

**By**

**Cahya Andika Salsabila**

The importance of three-phase induction motors in the industrial sector makes this type of motor play a very important role because of its advantages. Therefore, a three-phase induction motor is needed that is able to regulate its speed as desired, to regulate the speed of a three-phase induction motor can be done by adjusting the number of pole pairs or by adjusting the frequency using a three-phase inverter. In addition, maintaining the stability of motor rotation is also very necessary, the addition of loads or when disturbances occur causes the stability and speed of motor rotation to be reduced and disrupted. To overcome the instability of motor rotation, a closed-loop control is needed as a system control. In this research, the use of PID controller method is applied because of its good system response but simple structure. The PID controller is designed by applying the second Ziegler - Nichols method or commonly called the oscillation method. This method was chosen because of its efficiency in finding parameters compared to the laborious trial-error method. The application of this PID controller produces a value of  $K_u = 0,03121$  where the system is able to oscillate stably. By applying the second Ziegler-Nichols method, the PID parameters  $K_p = 0,018726$  ,  $K_i = 0,018726$  , dan  $K_d = 0,0046815$  are obtained. This combination of PID parameters makes the system reach the setpoint value with a risetime of 2,2 seconds, settling time 3,8 seconds, with a maximum overshoot 1,7 %. With this system response, the provision of load and speed changes does not affect the stability of motor rotation too significantly. The application of IoT in this system makes the system capable of being controlled remotely through the Blynk application with a mobile device.

Keywords : Three-phase induction motors, PID, Ziegler- Nichols, IoT

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN MOTOR  
INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN METODE ZIEGLER – NICHOLS  
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

**Oleh**

**CAHYA ANDIKA SALSABILA**

**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**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN SISTEM  
PENGENDALI KECEPATAN  
MOTOR INDUKSI 3 FASA  
MENGUNAKAN METODE  
ZIEGLER – NICHOLS BERBASIS  
INTERNET OF THINGS (IoT)**

Nama Mahasiswa : **Cahya Andika Salsabila**

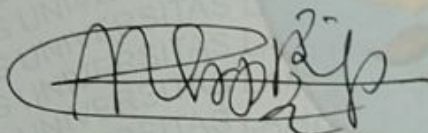
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031029

Program Studi : Teknik Elektro

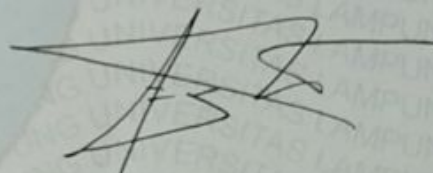
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing



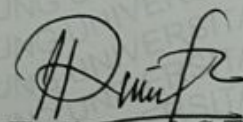
**Dr. Eng. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T.** NIP. 196912111999031001



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

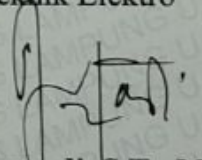
2. Mengetahui

Ketua Jurusan  
Teknik Elektro



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

Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

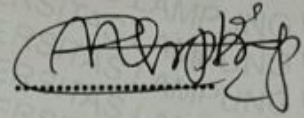


**Sumadi, S.T., M.T.**  
NIP. 197311042000031001

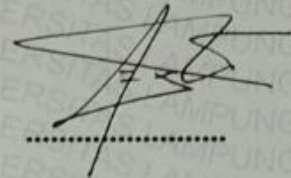
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

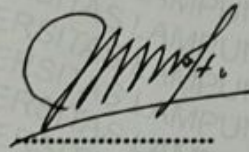
Ketua : **Dr. Eng. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T.**



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



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

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

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang telah 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 hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2024



**Cahya Andika Salsabila**

NPM. 2015031029

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 18 Juli 2003, sebagai anak pertama dari empat bersaudara, dari Bapak Andi Tabala dan Ibu Ika Permata Sari. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 Waylima pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTs Negeri 1 Pesawaran diselesaikan pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Akhir (SMA) di SMA Negeri 1 Gading Rejo diselesaikan pada tahun 2020.

Tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi bagian dari Asisten Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik dengan menjadi asisten dalam mata kuliah praktikum pengukuran besaran listrik dan praktikum rangkaian listrik. Penulis juga aktif mengikuti Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Sosial dan Kewirausahaan selama 2 periode (tahun 2021 hingga 2023). Penulis juga aktif mengikuti organisasi Koperasi Mahasiswa (KOPMA) Universitas Lampung sebagai staff departemen Pengembangan Sumber Daya Anggota (PSDA). Penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik dan secara aktif mengikuti kegiatan akademik di konsentrasi tersebut. Beberapa kegiatan akademik pada lingkup tersebut yang diikuti oleh penulis diantaranya kegiatan kerja praktik di PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Tanjung Karang, ULTG Tarahan dan membahas topik tentang “Analisis Tahanan Isolasi Pada PMT 150 KV Bay Trafo 1 Gardu Induk Teluk Betung”. Penulis juga melakukan kerja magang pada PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Lampung selama 1 semester dan membahas topik “Analisis Pengaruh Panjang Kabel Terhadap Susut Daya Listrik Jaringan Distribusi Pada Penyulang Jangkrik Gardu Induk Tegineneng”



## PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'allamin, Puji Syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa dan Maha Besar atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta Solawat kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi WaSallam. Puji syukur kepada – Nya telah mengizinkan menulis karya ini hingga selesai dan tiada satu hari pun tanpa pertolongan – Nya.

Kupersembahkan karya ini dengan tulus

### **Kepada Nenek Masriah Saji**

Atas semua kepercayaan, pengorbanan, dukungan dan doa selama ini ke penulis, sehingga penulis bisa bertahan dan meraih cita - cita sampai sejauh ini, karena doa dan pengorbanan nenek, semoga nenek selalu dalam perlindungan Allah SWT.

### **Kepada Ayah, Ibu, dan Adik – Adik**

Atas semua doa dukungan, rumah dan pelukan hangat yang selalu menyambut penulis ketika kembali kerumah.

### **Kepada Keluarga Besar Syahwa**

Atas semua doa dukungan, semangat dan motivasi, terima kasih selalu menjadi garda terdepan dalam hal apapun selama hidup penulis.

### **Kepada Kerabat, Sahabat, Dosen dan Civitas Teknik Elektro**

## **MOTTO HIDUP**

**“Tidak perlu menjelaskan dirimu kepada siapa pun, karena yang menyukaimu tidak butuh itu. Dan yang membencimu tidak akan percaya itu”**

**(Ali bin Abu Thalib)**

**“If you live according to what others think, you will never be rich.” – Seneca**  
**(*Letters*)**

**“Mengapa kita harus merasa kemampuan kita lebih rendah, hanya karena kita perempuan?” – NAJWA SHIHAB**

## SANWACANA

Puji syukur kepada Allah Subhannahu Wata'ala atas segala karunia, rahmat, dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW. Skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Metode Ziegler – Nichols Berbasis Internet of Things (IoT)” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Nenek Masriah Saji, Ayah, Ibu, Adik- adik, dan keluarga besar penulis yang selalu mendo'akan, memberikan dukungan dan mengantarkan penulis mengejar cita cita sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dalam keadaan yang sangat baik.
2. Bapak Dr. Eng. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, dan dukungan moral dan akademik selama proses perkuliahan dan penyusunan tugas akhir dan skripsi ini. Semangat, arahan dan kritik yang diberikan membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping atas ketersediaannya membimbing dan memberikan saran sepanjang proses penelitian. Kebaikan hati dan bimbingannya sangat membantu penulis menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku Dosen Penguji atas kesediaan dan waktu yang diluangkan untuk memberikan evaluasi dan kritik yang

membangun. Masukan tersebut memberikan motivasi bagi penulis untuk meningkatkan kualitas diri dan skripsi yang saya tulis.

5. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis sedari awal penulis menjadi mahasiswa teknik elektro hingga menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
7. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik atas kesempatannya mengabdikan menjadi asisten laboratorium dan memberikan tempat nyaman kepada penulis untuk mengerjakan tugas akhir ini.
9. Bapak Baiqodar, S.T. selaku PLP Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik atas ilmu, waktu dan kebaikannya beliau membantu penulis memahami tugas akhir ini, sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu.
10. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan di perkuliahan.
11. Kak Joseph Nicolas dan kak Hari Agus Simarmata atas segala bentuk kepedulian berupa ilmu, keahlian baru, dan berbagai macam kesulitan yang di hadapi penulis, terima kasih atas kebaikannya yang luar biasa. Tanpa kalian, tugas akhir dan skripsi ini mungkin sulit terselesaikan dengan baik dan waktu yang tepat. Segala kebaikannya semoga dibalas Tuhan YME.
12. Keluarga besar Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik angkatan 2019, 2020, 2021 dan 2022, terima kasih selalu menemani penulis, memberikan semangat, dan menghibur penulis selama ini, sehingga bisa menyelesaikan studi di jurusan Teknik Elektro ini.
13. Desi Budiati dan Reyzal Effendy, selaku sahabat satu tim tugas akhir, yang saling melengkapi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir yang awalnya

kita fikir sangat sulit ini, akhirnya mampu dilewati karena saling melengkapi dan membantu.

14. Desi, Desti, Iin, Tata, Dian, Tiyas, Rachma, Tiara, semua sahabat penulis yang selalu mendengar keluh kesah penulis. Terima kasih selalu menjadi garda terdepan bagi penulis.
15. Keluarga Besar Himatro dan teman-teman Angkatan 2020 terutama teman-teman TTL 20 atas segala proses, pengalaman, dan bantuannya selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro.
16. Muhammad Yusuf Syamil, seseorang yang selalu berada dibelakang penulis sebagai *support system* terbaik dalam segala hal. Terima kasih selalu berusaha menjadi hal yang paling membahagiakan dihidup penulis.
17. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari sempurna dan membutuhkan banyak perbaikan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat membantu bagi penulis dan para pembaca.

Bandar Lampung, September 2024

Cahya Andika Salsabila

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>MOTTO HIDUP</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xx</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	8
1.3. Manfaat Penelitian.....	8
1.4. Batasan Masalah.....	8
1.5. Rumusan Masalah .....	9
1.6. Hipotesis Penelitian .....	9
1.7. Sistematika Penulisan.....	9
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>11</b>
2.1. Motor Induksi.....	11
2.1.1. Klasifikasi Motor Induksi .....	11
2.1.2. Konstruksi Motor Induksi .....	11
2.1.3. Prinsip Kerja Motor Induksi .....	13

2.1.4.	Pengaturan Kecepatan Motor induksi .....	14
2.2.	Inverter Tiga Fasa.....	15
2.3.	MOSFET .....	16
2.4.	Gate Driver .....	17
2.5.	Mikrokontroler .....	18
2.5.1.	Arduino Mega .....	18
2.6.	Modul Sensor Kecepatan LM393.....	19
2.7.	Modul Sensor Arus ACS712 .....	20
2.8.	Kontroler PID .....	21
2.9.	Metode Ziegler-Nichols .....	22
2.10.	Internet Of Things (IoT) .....	24
2.10.1.	NodeMCU ESP8266 .....	24
2.10.2.	Blynk .....	25
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.2.	Diagram Alir Penelitian.....	26
3.3.	Diagram Blok Sistem .....	27
3.4.	Alat dan Bahan.....	28
3.4.1.	Perangkat Keras (Hardware).....	29
3.4.2.	Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....	29
3.5.	Perancangan Sistem .....	29
3.5.1.	Studi Literatur .....	29
3.5.2.	Spesifikasi Motor Induksi .....	30
3.5.3.	Perancangan Rangkaian Inverter.....	31
3.5.4.	Perancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	32
3.5.5.	Perancangan Rangkaian <i>DC Power Supply</i> .....	33
3.5.6.	Perancangan <i>Wiring</i> Arduino Mega.....	34
3.5.7.	Perancangan <i>Wiring</i> NodeMCU .....	35
3.5.8.	Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan .....	36
3.5.9.	Perancangan <i>Wiring</i> Transformator <i>Step Up</i> .....	38
3.5.10.	Penentuan Parameter Pengendali PID.....	38
3.5.11.	Pemrograman Arduino Mega dan NodeMCU .....	40

3.5.12. Perancangan <i>Software</i> Blynk .....	41
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1. Hasil Rancangan.....	43
4.2. Pengujian Hasil Rancangan.....	54
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>77</b>
5.1. Kesimpulan .....	77
5.2. Saran.....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>78</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rotor sangkar ( <i>squirrel cage</i> ).....	12
Gambar 2.2	Rotor belitan ( <i>wound rotor</i> ).....	13
Gambar 2.3	Rangkaian Inverter tiga fasa .....	16
Gambar 2.4	MOSFET dan simbolnya .....	17
Gambar 2.5	Arduino Mega 2560.....	19
Gambar 2.6	Modul Sensor Kecepatan LM393.....	20
Gambar 2.7	Modul Sensor Arus ACS712 .....	20
Gambar 2.8	Kontroller PID .....	21
Gambar 2.9	NodeMCU ESP8266 .....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	26
Gambar 3.2	Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras.....	27
Gambar 3.3	Motor Induksi 3 Fasa Tipe 731404 Class 0.1.....	30
Gambar 3.4	Rangkaian Inverter 3 Fasa .....	31
Gambar 3.5	Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	32
Gambar 3.6	Rangkaian DC <i>Power Supply</i> .....	33
Gambar 3.7	<i>Wiring</i> Arduino Mega.....	34
Gambar 3.8	<i>Wiring</i> NodeMCU .....	35
Gambar 3.9	<i>Wiring</i> Sensor Kecepatan .....	37
Gambar 3.10	Perancangan <i>Wiring</i> Transformator <i>Step Up</i> .....	38
Gambar 3.11	Sistem <i>Close-Loop</i> dengan pengendali proporsional .....	39
Gambar 3.12	Kurva respon sistem <i>sustained oscillation</i> .....	39
Gambar 3.13	Program Arduino Mega dan NodeMCU .....	40
Gambar 3.14	Tampilan Aplikasi Blynk .....	42
Gambar 3.15	Blok Diagram Sistem Perancangan Perangkat Lunak.....	42
Gambar 4.1	Hasil Rancangan Rangkaian DC <i>Power Supply</i> .....	43
Gambar 4.2	Hasil Rancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	44
Gambar 4.3	Hasil Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa.....	45

Gambar 4.4 Hasil Rancangan Rangkaian Transformator <i>Step Up</i> .....	46
Gambar 4.5 Hasil Rancangan Arduino Mega .....	47
Gambar 4.6 Hasil Rancangan NodeMCU .....	47
Gambar 4.7 Hasil Rancangan Sensor Kecepatan .....	48
Gambar 4.8 Hasil Rancangan Sensor Arus .....	49
Gambar 4.9 Respon Sistem Telah <i>Sustained Oscillation</i> .....	50
Gambar 4.10 Hasil Perancangan <i>Software</i> Blynk .....	52
Gambar 4.11 Hasil Rancangan Rangkaian Beban .....	53
Gambar 4.12 Hasil Keseluruhan Rangkaian .....	54
Gambar 4.13 Gelombang PWM inverter pada frekuensi 20 Hz .....	56
Gambar 4.14 Gelombang PWM inverter pada frekuensi 30 Hz .....	58
Gambar 4.15 Gelombang PWM inverter pada frekuensi 40 Hz .....	60
Gambar 4.16 Tegangan Keluaran Inverter Frekuensi 20 Hz Fasa R-S-T .....	61
Gambar 4.17 Tegangan Keluaran Inverter Frekuensi 30 Hz Fasa R-S-T .....	61
Gambar 4.18 Tegangan Keluaran Inverter Frekuensi 40 Hz Fasa R-S-T .....	62
Gambar 4.19 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Frekuensi 20 Hz .....	63
Gambar 4.20 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Frekuensi 30 Hz .....	63
Gambar 4.21 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Frekuensi 40 Hz .....	64
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kecepatan Motor dan Frekuensi .....	65
Gambar 4.23 Hasil Pengukuran Sensor Arus Frekuensi 20 Hz .....	65
Gambar 4.24 Hasil Pengukuran Sensor Arus Frekuensi 30 Hz .....	66
Gambar 4.25 Hasil Pengukuran Sensor Arus Frekuensi 40 Hz .....	66
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Frekuensi dan Arus .....	67
Gambar 4.27 Grafik Respon Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Tanpa Beban <i>Setpoint</i> 600 rpm .....	68
Gambar 4.28 Grafik Respon Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Tanpa Beban <i>Setpoint</i> 900 rpm .....	69
Gambar 4.29 Grafik Respon Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Tanpa Beban <i>Setpoint</i> 1200 rpm .....	69
Gambar 4.30 Grafik Respon Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa saat berbeban	70
Gambar 4.31 Hasil Arsitektur Pemodelan <i>Application Layer</i> .....	71
Gambar 4.32 Hasil Arsitektur Pemodelan <i>Middleware Layer</i> .....	71

Gambar 4.33 Hasil Arsitektur Pemodelan <i>Gateway Layer</i> .....	72
Gambar 4.34 Hasil Arsitektur Pemodelan <i>Physical Layer</i> .....	72
Gambar 4.35 Pengujian <i>Setpoint</i> di Blynk.....	74
Gambar 4.36 Pengujian <i>Delay</i> Blynk IoT pada kecepatan 600 rpm.....	75
Gambar 4.37 Pengujian <i>Delay</i> Blynk IoT pada kecepatan 900 rpm.....	75
Gambar 4.38 Pengujian <i>Delay</i> Blynk IoT pada kecepatan 1200 rpm.....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konfigurasi <i>Switching</i> Inverter3 Fasa.....	16
Tabel 2.2	Spesifikasi Arduino Mega.....	19
Tabel 2.3	Tanggapan Sistem Kontrol PID .....	22
Tabel 2.4	Metode Pertama Aturan Ziegler-Nichols.....	23
Tabel 2.5	Metode Kedua Aturan Ziegler – Nichols.....	23
Tabel 3.1	Spesifikasi Motor Induksi .....	30
Tabel 3.2	Skema Pensaklaran Inverter.....	31
Tabel 3.3	Konfigurasi Pin Arduino Mega dengan <i>gate</i> MOSFET .....	35
Tabel 3.4	Konfigurasi Pin NodeMCU dengan Arduino Mega .....	36
Tabel 3.5	Konfigurasi Pin NodeMCU dengan Modul ACS712 .....	36
Tabel 3.6	Pin <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega .....	37
Tabel 3.7	Metode Kedua Ziegler Nichols .....	40
Tabel 4.1	Parameter Pengendali PID .....	51
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran dan Perhitungan Tegangan Keluaran Inverter ....	62
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Pengukuran Kecepatan Motor .....	64
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Arus Keluaran Motor Induksi 3 Fasa .....	67
Tabel 4.5	Respon Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa .....	70

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi baru – baru ini telah menciptakan tantangan dan peluang baru dalam berbagai industri. Untuk mengatasi permasalahan ini serta memanfaatkan potensi teknologi terbaru dalam mengoptimalkan operasi dan meningkatkan efisiensi maka *Internet Of Things* (IoT) menjadi solusi yang sangat efektif. Perkembangan terbaru dalam IoT menawarkan potensi besar di berbagai bidang dan mengubah cara individu berinteraksi dengan dunia fisik dan digital, termasuk di sektor bisnis, pemerintah, dan industri. IoT terus berevolusi dan memainkan peran penting dalam mendorong inovasi dan efisiensi di banyak aspek kehidupan kita termasuk dalam aspek industri dan kelistrikan.

Motor listrik memainkan peran yang sangat penting dalam sektor industri sebagai tenaga penggerak berbagai macam peralatan dan mesin di industri. Motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk mengoperasikan peralatan dan mesin di industri. Salah satu jenis motor listrik yang sangat umum digunakan dalam bidang industri adalah motor induksi tiga fasa karena karakteristik motor yang tidak memerlukan *prime mover* (*self-starting motor*), tidak ada komutator dan sikat arang. Motor induksi juga memiliki pengoperasian yang sederhana, perawatan yang lebih sedikit, sangat efisien, handal dan lebih murah daripada jenis motor lainnya[1].

Dalam bidang industri, biasanya membutuhkan motor listrik yang dapat diatur kecepatannya sesuai dengan keinginan. Pada motor induksi tiga fasa, untuk mengatur kecepatan motor maka putaran beban yang dapat beresilasi harus diatur. Untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilakukan dengan mengatur jumlah pasangan kutub atau dengan mengatur frekuensi. Untuk mengatur

frekuensi tegangan AC dapat dilakukan dengan menggunakan inverter[2]. Inverter merupakan peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak – balik (AC). Inverter tiga fasa terdiri dari enam buah MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), di mana untuk mengendalikan pensaklaran MOSFET digunakan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) di mana tegangan keluarannya dapat diatur sesuai kebutuhan sehingga terciptanya kecepatan motor yang bervariasi[1].

Kontrol loop tertutup harus diterapkan untuk menstabilkan dan mempertahankan kecepatan motor induksi tiga fase pada kecepatan yang diinginkan. Kontrol PID dipilih untuk mengontrol kecepatan motor induksi[3].

Pada penelitian ini dipilih metode Ziegler Nichols untuk menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  pada kontroler PID karena efisiensinya dalam mencari parameter yang sesuai dengan memberikan pendekatan yang lebih terstruktur dalam waktu yang relatif singkat jika dibandingkan dengan metode *trial and error* yang lebih banyak memerlukan banyak percobaan.

Dalam kerangka Industri 4.0 dan era digital, IoT merupakan salah satu pilar utama transformasi industri. *Internet of Things* (IoT) adalah konsep atau skenario di mana objek memiliki kemampuan untuk mengirimkan data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia-ke-manusia atau manusia-ke-komputer[4]. Mengintegrasikan motor induksi tiga fase ke dalam jaringan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh. Dengan menggunakan jaringan internet menggunakan modul NodeMCU ESP8266 di mana sebagai *platform internet of things* (IoT) dan sebagai mikrokontroler serta digunakan aplikasi Blynk sebagai platform untuk mengendalikan Arduino dan pemantauan data. Data dari motor dapat diakses secara *real time* dari perangkat seluler, sehingga memungkinkan pemantauan dan manajemen yang lebih baik[5].

Pada penelitian terdahulu, penelitian pertama merupakan penelitian dari C. R. Harahap, R. A. Nasution, dan F. X. A. Setyawan, 2023 dengan judul “Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sumber Panel Surya” [1]. Pada penelitian ini, peneliti membahas sistem pengendalian motor induksi 3 fasa secara *open-loop*

dengan memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi matahari, pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dilakukan dengan pengaturan frekuensi jala jala menggunakan teknik pensaklaran PWM. Pada penelitian ini, belum terdapat sistem yang mampu mengolah data keluaran dari pengontrolan kecepatan motor induksi 3 fasa, sehingga belum menjamin apakah kecepatan sistem akan selalu baik ketika diberikan beban.

Pada penelitian kedua merupakan penelitian dari Alva Brisbananda Ashari, dkk, 2020 dengan judul “Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode Field Orientation Control (FOC) Berbasis Fuzzy-PID” [3]. Pada penelitian ini, peneliti membahas pengontrolan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode Fuzzy-PID. Peneliti membandingkan respon sistem ketika menggunakan PID dan FLC, hasilnya menunjukkan bahwa menggunakan kontrol PID lebih baik, namun menggunakan FLC akan lebih sederhana. Maka untuk memperbaiki nilai hasil kontrol kecepatan motor menggunakan PID, penulis menggunakan kontroler *hybrid* Fuzzy-PID, peneliti juga menambahkan pengemudi motor yaitu Field Oriented Control (FOC). Meskipun demikian, penelitian ini masih berbasis MATLAB/SIMULINK.

Pada penelitian ketiga merupakan penelitian dari Rahmat Fajar Yanto, dkk, 2021 dengan judul “Rancang Bangun Cascaded H-Bridge *Multilevel* Inverter 9 Tingkat Dengan Pengendali Pid Untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Via *Smartphone*” [6]. Pada penelitian ini, peneliti merancang sistem pengendalian kecepatan motor induksi dengan *Multilevel Inverter* 1 fasa 9 Tingkat, kemudian keluaran motor diolah menggunakan sistem control PID, penelitian ini juga mampu mengendalikan kecepatan motor induksi menggunakan *smartphone* melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini mampu mengendalikan kecepatan motor induksi ketika diberikan beban, dengan nilai *rise time* tidak sampai 3 detik. Berdasarkan penelitian ini, maka penulis berfikir apakah dengan sistem kontrol yang sama mampu mengolah keluaran motor induksi 3 fasa sebaik motor induksi 1 fasa, mengingat pada penelitian ini menggunakan motor induksi 1 fasa.

Pada penelitian keempat merupakan penelitian dari Amer Alkrwy, dkk, 2021 dengan judul “*Adaptive Tuning of PID Controller using Crow Search Algorithm*”

for DC motor” [7]. Penelitian ini membahas penggunaan Algoritma Crow Search (CSA) untuk mengoptimalkan parameter PID pada motor DC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PID-CSA *controller* efektif dalam meningkatkan kinerja pelacakan dan stabilitas motor DC dibandingkan dengan metode penyetelan tradisional. *Transfer function* dari motor DC juga disediakan sebagai referensi. Selain itu, studi tersebut juga memperkenalkan penggunaan CSA-PID *controller* yang menggabungkan CSA untuk mengoptimalkan parameter PID pada motor DC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma CSA mengungguli metode penyetelan PID tradisional dan memberikan respons transient dan statis yang lebih baik. Sistem hibrida yang diusulkan memberikan respons transient terbaik dibandingkan dengan metode penyetelan lainnya seperti PSO dan Ziegler Nichols. CSA-PID *controller* menunjukkan kinerja pelacakan yang baik dan stabilitas dalam mengontrol kecepatan sistem motor DC. Selain itu, jurnal juga menyebutkan berbagai algoritma optimisasi lainnya yang telah digunakan untuk menyetel PID *controller* pada berbagai sistem seperti twin rotor MIMO *system*, motor DC, dan inverted pendulums, yang telah terbukti meningkatkan kinerja PID *controller* dalam hal stabilitas dan waktu respons.

Pada penelitian kelima merupakan penelitian dari N.Hamid, dkk, 2021 dengan judul “Penalaan Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols untuk Optimasi Kontrol Kecepatan Motor pada Alat Spin Coater”[8]. Pada penelitian ini, peneliti menerapkan sistem kendali PID metode kedua Ziegler Nichols dengan harapan agar mendapatkan putaran motor yang tinggi dan stabil pada alat *spin coater*. Pada penelitian ini, peneliti membandingkan hasil kecepatan putaran motor dan respon sistem saat sebelum optimasi (sebelum menggunakan PID) dan setelah optimasi (setelah diterapkan PID). Dengan menggunakan 3 *Setpoint* kecepatan putaran motor, maka diperoleh hasil yang cukup baik ketika menggunakan pengendali PID membuat sistem mencapai *Setpoint* relatif lebih cepat, dan meminimalkan galat sebesar 83.51% dari sebelum menggunakan PID. Meskipun demikian, pada penelitian ini proses osilasi yang dihasilkan masih kurang baik karena nilai periode osilasi kecepatan motor mencapai 20 detik, sehingga dampaknya pada nilai *Setpoint* tertinggi, mempunyai nilai *risetime* mencapai 9 detik.



Pada penelitian keenam merupakan penelitian dari Prastiko D, dkk, 2022 dengan judul “Pengendali dan Monitoring Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa Berbasis PLC dan Expansion dengan HMI”[9]. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengatasi salah satu kekurangan motor induksi 3 fasa, yaitu dalam pengaturan kecepatan motor, peneliti menggunakan pengendali inverter atau Variable Frequency Drive (VFD), Human Machine Interface (HMI), Programmable Logic Controller (PLC) yang ditambahkan dengan expansion PLC. HMI berfungsi untuk melakukan input frekuensi 0-50 Hz, kemudian akan diproses oleh expansion PLC dan menghasilkan skala 0-10 VDC yang dapat diterima oleh VFD. Masukan nilai dari VFD akan dikonversikan menjadi nilai frekuensi 0-50 Hz untuk menggerakkan motor. Hasil yang didapatkan adalah terdapat selisih error antara pembacaan sensor dan alat ukur mencapai hampir 7% dikarenakan tegangan yang dihasilkan VFD tidak mencapai maksimal sehingga nilai yang dibaca sensor tidak sesuai. Dan pada penelitian ini belum terdapat sistem control.

Pada penelitian ketujuh merupakan penelitian dari E.Purwanto, dkk, 2019 dengan judul “Desain Kontrol Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Fuzzy Pid Berbasis *Idirect Field Oriented Control*” [10]. Pada penelitian ini, peneliti membandingkan hasil control sistem konvensional PID dengan control sistem *hybrid* yaitu Fuzzy-PID, peneliti juga menggunakan metode IFOC agar motor dapat dikontrol seperti motor dc penguat terpisah, peneliti memilih metode IFOC karena desain yang lebih sederhana, sehingga penerapannya sangat populer dikalangan industry. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan kontroler FPID lebih baik dibandingkan dengan kontroler PID. Dimana respon *overshoot* untuk kontroler FPID 0% sedangkan kontroler PID adalah 0.23%. Begitu pula dengan respon *undershoot* untuk kontrol FPID adalah 2.88% sedangkan kontroler PID adalah 6.78%. Untuk respon *rise time*, *settling time*, dan *steady state error* tidak jauh berbeda dari kedua kontroler. Penelitian ini berbasis simulasi menggunakan platform LabView.

Pada penelitian kedelapan merupakan penelitian dari H.Toar ,dkk, 2020 dengan judul “Penala Parameter Pid Otomatis Pada Pengatur Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa” [11]. Penelitian ini membahas mengenai cara untuk mengatasi

kelemahan PID ketika diterapkan pada sistem non-linear seperti motor induksi 3 fasa, peneliti membahas tentang penalaan parameter PID secara otomatis menggunakan algoritma dengan memasukan kriteria parameter performa dinamik serta nilai beban sesuai keinginan pengguna. Hasil dari percobaan penalaan parameter PID ini dibandingkan dengan metode *trial error* PID. Percobaan penalaan ini berbasis simulasi menggunakan aplikasi LabVIEW. Pengujian dilakukan dengan 3 kondisi kecepatan dan 3 kondisi beban yaitu kecepatan rendah (500 rpm), kecepatan menengah (750 rpm), kecepatan tinggi (1000 rpm) dan beban 0Nm, beban 10Nm dan beban 5Nm. Diperoleh hasil Kontroler PID dengan menggunakan metode trial&error tidak mampu memenuhi persyaratan tersebut disegala kondisi yang diuji, sementara persyaratan tersebut dapat dipenuhi oleh penggunaan algoritma penala otomatis. Desain Penala Parameter PID Otomatis Pada Pengatur Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa mampu menghasilkan karakteristik performa kecepatan dinamik yang lebih baik dari penggunaan metode *trial&error* dengan tolak ukur dari performa masa transien berupa *risetime* kurang dari 20ms, *error steady state*, *overshoot* dan *undershoot* masing masing maksimum bernilai +- 2%. Penggunaan penala parameter PID otomatis ini diterapkan dengan simulasi.

Pada penelitian kesembilan merupakan penelitian dari Chang – Hung Su, 2019 dengan judul “*Fractional Order PID Control for Reduction of Vibration and Noise on Induction Motor*”[12]. Penelitian ini membahas terkait pengendalian motor, sistem kontrol, dan pengurangan kebisingan pada motor induksi. Topik-topik yang dibahas meliputi kendali berorientasi medan, pengontrol orde fraksional, metode penyetelan yang kuat, algoritma pengendalian kecepatan, dan penyebab tingkat kebisingan trafo. Penelitian tersebut menginvestigasi dampak arus harmonik, getaran, dan kebisingan pada motor induksi dengan pengontrol *Proporsional-Integral-Derivative* (PID) orde fraksional. Studi tersebut mengusulkan pengontrol FO PID untuk menstabilkan efek arus dan harmonik pada motor, meningkatkan kinerja dalam hal arus harmonik, getaran, dan kebisingan. Metode desain, pengaturan eksperimental, dan hasil dibahas, menyoroti manfaat menggunakan pengontrol FO PID dibandingkan dengan pengontrol PID konvensional. Artikel tersebut membahas dampak arus harmonik, getaran, dan kebisingan pada motor

induksi dengan fokus pada penggunaan pengontrol *Proporsional Integral Derivative* (PID) orde fraksional untuk meningkatkan kinerja. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa pengontrol FO PID dapat mengurangi kebisingan dan getaran pada motor induksi dibandingkan dengan pengontrol PID konvensional. Studi tersebut juga menyoroti pentingnya mempertimbangkan efek arus harmonik dan margin fasa dalam pengendalian motor.

Pada penelitian kesepuluh merupakan penelitian dari Mohammed A, dkk, 2020 dengan judul "*Fuzzy-PID Speed Controller Model-Based Indirect Field Oriented Control for Induction Motor*"[13]. Penelitian ini membahas perbandingan kinerja dinamis motor induksi dengan pengontrol kecepatan FUZZY-PID di bawah berbagai kasus beban. Hasilnya menunjukkan bahwa pengontrol dengan pengatur batas memiliki kinerja lebih baik dalam hal *rise time*, *setting time*, *overshoot*, dan *undershoot*. Menghilangkan pengatur batas menghasilkan *rise time* yang lebih cepat tetapi torsi awal dan arus yang lebih tinggi. Memperhatikan pengontrol PID dengan nilai torsi awal nominal mencapai kinerja dinamis terbaik. Peneliti menyimpulkan bahwa pengontrol FUZZY-PID dengan model IFOC efektif untuk pengendalian kecepatan motor induksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengontrol kecepatan FUZZY-PID berbasis model IFOC untuk motor induksi mencapai kontrol kecepatan yang baik, kinerja dinamis yang baik, dan waktu percepatan yang cepat. Pengatur batas PID memiliki dampak signifikan pada kinerja dinamis sistem. Hasil menunjukkan bahwa membatasi PID dengan nilai torsi awal nominal meningkatkan kinerja sistem. Penelitian ini menggunakan simulasi MATLAB/SIMULINK.

Berdasarkan pemaparan diatas, dan beberapa penelitian terdahulu, menjadi landasan penulis untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul "Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Metode Ziegler – Nichols Berbasis *Internet Of Things* (IoT)".

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sebuah system pengendalian dan pemantauan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa menggunakan pengendali PID berbasis *Internet Of Things*.
2. Untuk menentukan nilai – nilai parameter pada pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler – Nichols.
3. Melakukan pengendalian kecepatan Motor Induksi 3 Fasa melalui *device smartphone* secara *real – time* melalui aplikasi Blynk.
4. Melakukan pemantauan arus, dan kecepatan pada Motor Induksi 3 Fasa melalui *device smartphone* secara *real – time* melalui aplikasi Blynk.

## 1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Dihasilkannya sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa menggunakan pengendali PID berbasis *Internet Of things* (IOT).
2. Mendapatkan nilai – nilai parameter pada pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler – Nichols.
3. Memudahkan dalam pengendalian dan pemantauan kecepatan pada Motor Induksi 3 Fasa melalui *device smartphone* secara *real – time* melalui aplikasi Blynk.

## 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan pengendali PID berbasis *Internet Of Things* (IoT).
2. Menentukan nilai nilai parameter pengendali PID dengan metode *tuning* Ziegler – Nichols.

3. Pengendalian berbasis IoT hanya pada kecepatan motor induksi 3 fasa.
4. Pemantauan berbasis IoT hanya pada arus dan kecepatan motor induksi 3 Fasa.

### **1.5. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian dan pemantauan Motor Induksi 3 Fasa menggunakan pengendali PID berbasis *Internet Of things* (IOT)?
2. Bagaimana menentukan nilai – nilai parameter pada pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler – Nichols?
3. Bagaimana melakukan pengendalian dan pemantauan kecepatan pada Motor Induksi 3 Fasa melalui *device smartphone* secara *real – time* melalui aplikasi Blynk?

### **1.6. Hipotesis Penelitian**

Hipotesis dari penelitian ini adalah mampu mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan cara mengatur frekuensi masukan pada inverter tiga fasa. Kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dikendalikan dari jarak dekat dan jauh, dimana saja dan kapan saja melalui aplikasi Blynk menggunakan jaringan internet pada *smartphone*. Dan penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam pengembangan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa.

### **1.7. Sistematika Penulisan**

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

BAB I                      PENDAHULUAN

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

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori – teori penunjang yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

## BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang hal – hal yang dilakukan dalam penelitian, seperti; waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta garis besar metode yang diusulkan serta diagram alir metode yang diusulkan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Motor Induksi

Motor induksi adalah perangkat listrik dengan fungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau tenaga kinetik dalam bentuk putaran poros motor[1]. Motor induksi adalah motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan pada peralatan rumah tangga maupun pada industri. Namanya berasal dari fakta bahwa arus rotor pada motor ini tidak berasal dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang diinduksi sebagai hasil dari perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan magnet berputar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Perbedaan putaran relatif stator dan rotor dikenal sebagai *slip*[2].

#### 2.1.1. Klasifikasi Motor Induksi

Motor Induksi dibagi menjadi 2 macam berdasarkan jumlah fasanya, yakni motor induksi 1 fasa (peralatan rumah tangga) dan Motor Induksi 3 fasa (peralatan industri). Motor induksi 1 fasa menggunakan tegangan 220VAC sedangkan motor induksi 3 fasa menggunakan tegangan 380VAC. Bentuk motor induksi 1 fasa lebih kecil daripada motor induksi 3 fasa[14].

#### 2.1.2. Konstruksi Motor Induksi

Pada dasarnya ada tiga komponen utama dalam motor induksi, sebagai berikut:

a. Stator

Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

- 1) Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang.
- 2) Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
- 3) Alur, bahannya sama dengan inti, di mana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
- 4) Belitan (kumparan) stator dari tembaga.

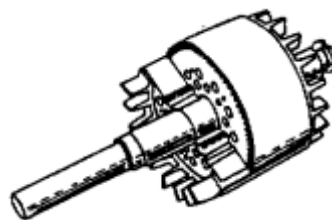
b. Rotor

Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor. Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

- 1) Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
- 2) Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
- 3) Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
- 4) Poros atau as.

Berdasarkan bentuk konstruksinya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

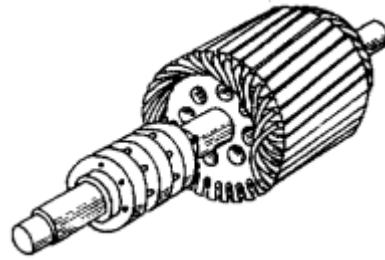
1. Motor induksi dengan rotor sangkar (*squirrel cage*).



Gambar 2.1 Rotor sangkar (*squirrel cage*)[2]



## 2. Motor induksi dengan rotor belitan (*wound rotor*)



Gambar 2.2 Rotor belitan (*wound rotor*)[2]

Merupakan celah udara di mana sebagai tempat berpindahnya energi dari startor ke rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga meyebabkan rotor berputar.

### 2.1.3. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor Induksi bekerja berdasarkan prinsip berikut [2]:

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sebesar:

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

Dimana:

$n_s$  = Kecepatan Sinkron (rpm)

$f$  = Frekuensi stator (Hz)

$p$  = Jumlah Kutub

2. Medan putar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl).
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Dengan adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

7. Seperti yang telah dijelaskan pada nomor (3), tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya, agar tegangan terinduksi, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan putaran rotor ( $n_r$ ).
8. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut dengan slip (S), di mana dinyatakan dengan:

$$S = \frac{(n_s - n_r)}{n_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$n_s$  = kecepatan putaran stator (rpm)

$n_r$  = kecepatan putaran rotor (rpm)

9. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan bila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

#### 2.1.4. Pengaturan Kecepatan Motor induksi

Motor induksi biasanya berputar pada kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkron, tetapi untuk beberapa penggunaan tertentu, diinginkan untuk menyesuaikan putaran. Pengaturan putaran motor induksi bisa sangat mahal. Biasanya ada beberapa cara untuk melakukan penyesuaian ini, diantaranya [2]:

- a. Mengubah jumlah kutub motor

Berdasarkan persamaan (2.1) dapat dilihat bahwa kecepatan motor ( $n_s$ ) adalah berbanding terbalik terhadap perubahan jumlah kutub. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sehingga dapat menerima tegangan input pada posisi kumparan yang berbeda. Oleh karena itu, semakin tinggi jumlah kutub, semakin lambat motor akan berjalan[2]. Akan tetapi, pada praktiknya, pengendalian kecepatan motor induksi dengan cara mengubah

jumlah kutub cukup sulit untuk dilakukan karena perlu mengubah konstruksi dari motor induksi itu sendiri[1].

b. Mengubah frekuensi sumber

Berdasarkan persamaan (2.1) dapat dilihat juga bahwa Kecepatan motor induksi sebanding dengan frekuensi catu daya, sehingga semakin tinggi frekuensinya, semakin cepat motor induksi berputar. Penyesuaian frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan inverter dengan desain tertentu. Selain mengubah daya DC menjadi daya AC, inverter dengan desain tertentu juga dapat menghasilkan frekuensi yang dapat diubah - ubah [15].

c. Mengatur tegangan sumber

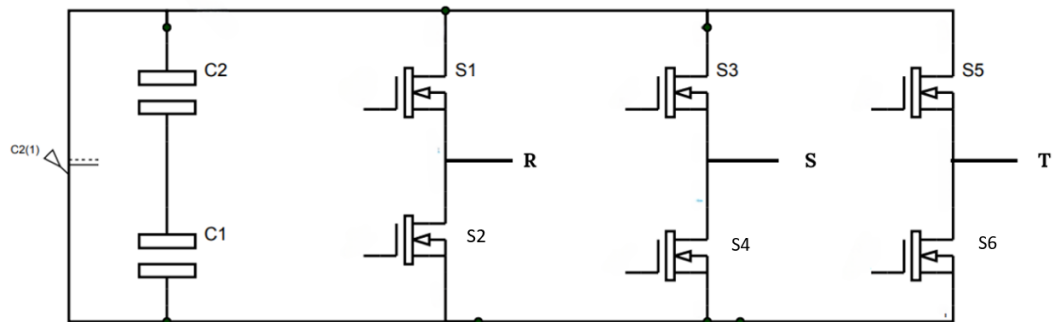
Tegangan sumber juga dapat diatur untuk mengatur putaran motor induksi. Semakin tinggi nilai tegangan motor, semakin tinggi pula kecepatan motor. Semakin besar beban pada motor, maka tegangan motor semakin besar mengikuti batas kecepatan motor.

d. Mengatur nilai tahanan luar

Kecepatan motor induksi dapat dikendalikan dengan mengatur nilai tahanan luar motor induksi rotor belitan (*wound rotor*). Dengan mengatur tahanan luar, nilai torsi yang berbeda dapat dihasilkan. Dalam pengaturan ini, motor induksi rotor belitan dihubungkan ke tahanan luar. Tahanan luar ini mempengaruhi putaran motor induksi dan oleh karena itu putaran motor dapat diubah [1].

## 2.2. Inverter Tiga Fasa

Inverter adalah rangkaian elektronika daya dengan fungsi mengubah daya DC menjadi daya AC, dengan tegangan dan frekuensi yang diatur. Rangkaian inverter tiga fasa digunakan untuk mengubah daya DC menjadi daya AC tiga fasa. Komponen yang digunakan dalam rangkaian inverter tiga fasa umumnya adalah MOSFET, SCR atau IGBT yang disusun dengan konfigurasi jembatan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Rangkaian Inverter tiga fasa

Prinsip kerja rangkaian inverter tiga fase tidak jauh berbeda dengan inverter satu fase, yaitu mengkonverter frekuensi, dengan frekuensi yang telah dirubah tersebut motor dapat dikontrol sesuai kecepatan yang diinginkan menggunakan PWM. Mekanisme kontrol kombinasi sakelar elektronik dengan frekuensi yang sesuai diperlukan untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC. Setiap sakelar elektronik tidak boleh beroperasi secara bersamaan, karena hal ini dapat menyebabkan gangguan. Oleh karena itu, pengaturan penyalaan sakelar dalam hal ini adalah IGBT dengan perbedaan  $180^\circ$  setiap fasa. Inverter tiga fasa memiliki enam mode operasi atau konfigurasi switching mengikuti aturan sebagai berikut[16]:

Tabel 2.1 Konfigurasi *Switching* Inverter3 Fasa

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

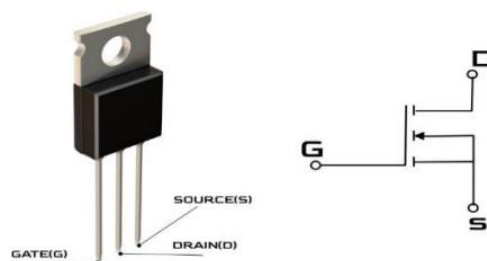
### 2.3. MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan salah satu jenis transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor (silikon). MOSFET umumnya digunakan sebagai saklar, sebagai penguat sinyal untuk perangkat

elektronik, dan pengendali kecepatan motor. Komponen ini terdiri dari empat bagian utama, yaitu *gate* (G), *drain* (D), *source* (S), dan *body* [1].

Mosfet terdiri dari 3 buah sambungan baik negatif-positif-negatif atau positif-negatif-positif. Pada mosfet kontrol dilakukan oleh tegangan *gate* (VGS). Mosfet akan *On* jika terminal *Drain* (D) dan *Source* (S) dibias maju dengan polaritas D dan S tergantung jenisnya. Setelah itu perlu diberikan tegangan penyulutan dengan memberikan  $VGS > 0$ . Dengan kondisi ini maka tegangan antara *Drain* dan *Source* VDS menjadi nol dan akan mengalir arus listrik di *Drain* yang besarnya sama dengan arus beban. Mosfet akan *Off* jika terminal *Drain* dan *Source* dibias maju, tetapi tegangan *Gate* diberi input sama dengan nol. Kondisi ini akan menjadikan tegangan *Drain Source* (VDS) akan sama dengan tegangan *Drain Drain* (VDD) dan sama dengan tegangan sumber dan arus sama dengan nol.

Salah satu aplikasi yang banyak digunakan pada MOSFET adalah untuk saklar (*switching*). Mosfet berfungsi sebagai saklar *ON* jika *Drain* dan *Source* dibias maju dan *Gate* diberikan tegangan pemicuan. Sebaliknya untuk menjadikan FET sebagai saklar *OFF*, maka nilai tegangan *Gate* diberi nilai sama dengan nol. Dalam aplikasi saklar elektronis, Mosfet akan di-*drive* dengan rangkaian pembangkit pulsa dengan frekuensi tertentu.



Gambar 2.4 MOSFET dan simbolnya

#### 2.4. Gate Driver

Gate driver adalah rangkaian yang berfungsi sebagai penghubung antara sinyal pengendali tegangan (G) terhadap sumber (S) pada MOSFET, tegangan tersebut bernama Voltage Gate to Source (VGS). Rangkaian gate driver menggerakkan dan

menguatkan sinyal pemicu (pulsa kontrol) yang dihasilkan oleh rangkaian kontrol untuk menggerakkan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. HCPL 3120 merupakan salah satu jenis IC yang digunakan sebagai gate driver. IC ini dirancang khusus untuk driver sakelar semikonduktor jenis IGBT dan MOSFET.

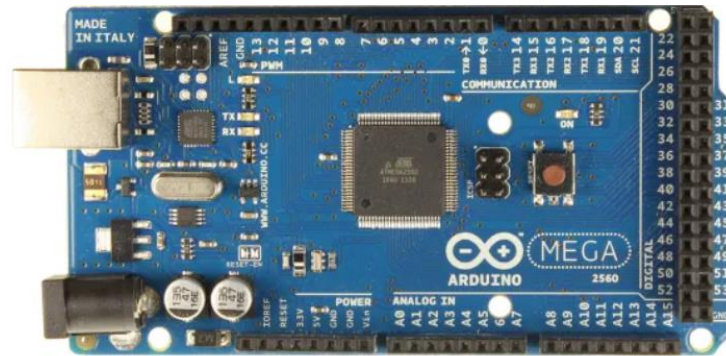
HCPL 3120 adalah jenis optocoupler yang terdiri dari dua bagian: *transmitter* dan *receiver*. Bagian *transmitter* dari IC ini terhubung ke rangkaian kontrol atau input dan terdiri dari LED infra-merah (IR LED), yang memiliki fungsi mentransmisikan sinyal dalam bentuk cahaya infra-merah. Di sisi lain, IC bagian *receiver* terhubung ke rangkaian beban atau output dan terdiri dari komponen yang mampu menerima cahaya yang dipancarkan oleh *transmitter*. Komponen yang mampu menerima cahaya ini terdiri dari kombinasi transistor: ketika arus mengalir melalui terminal anoda dan katoda IC, LED IR pada terminal tersebut memancarkan cahaya inframerah. Cahaya ini ditangkap oleh *receiver* dan menghasilkan tegangan pada  $V_o$ . Jumlah tegangan pada  $V_o$  sama dengan tegangan yang diterapkan ke  $V_{cc}$ .

Selain berfungsi sebagai driver IGBT dan MOSFET, HCPL 3120 juga berfungsi sebagai proteksi untuk rangkaian kontrol. Hal ini karena bagian *transmitter* dan *receiver* dari IC ini tidak terhubung secara langsung. HCPL 3120 memiliki arus output maksimum sebesar 2,5 A, tegangan masukan pada  $V_{cc}$  antara 15-30 Volt, serta waktu pensaklaran hingga 500 ns.[6]

## **2.5. Mikrokontroller**

### **2.5.1. Arduino Mega**

Arduino mega 2560 adalah sebuah *board* mikrokontroller yang berbasis ATmega2560. Arduino mega memiliki 54 pin input atau *output* yang mana 15 pin *output* untuk PWM, 16 analog input, 4 UARTS, sebuah *crystal osilator* 16 MHz, koneksi USB, jack power, soket ICSP dan tombol reset [17].



Gambar 2.5 Arduino Mega 2560

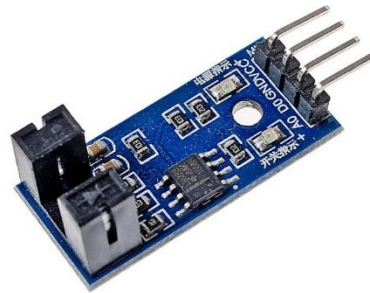
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input yang disarankan	7 – 12 V
Batas tegangan input	6 – 20 V
Pin digital I/O	54 (15 diantaranya pin PWM)
Jumlah pin analog input	16
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arud DC untuk pin 3.3 V	50 mA
Flash Memory	256 KB dengan 8 KB digunakan untuk <i>bootloader</i>
EEPROM	4 KB
SRAM	8 KB
Kecepatan Pewaktuan	16 hz

## 2.6. Modul Sensor Kecepatan LM393

Modul sensor kecepatan ini berisi IC LM393 dan sensor *optocoupler*. Sensor *optocoupler* bekerja dengan mendeteksi perubahan cahaya infra merah. Sensor *optocoupler* terdiri dari dua komponen utama: *transmitter* dan *receiver*. Bagian *transmitter* terdiri dari LED infra merah (IR LED), yang berfungsi mengirim sinyal ke bagian *receiver*. Sebaliknya, bagian *receiver* terdiri atas komponen yang menerima cahaya yang dipancarkan dari *transmitter*.

Modul sensor mendeteksi pergerakan objek yang ditempatkan di antara *transmitter* dan *receiver* sensor. Objek tersebut biasanya berupa 25 piringan *encoder* (*disk encoder*) atau kisi-kisi, dan ketika kisi-kisi ini berputar, terjadi situasi di mana cahaya inframerah terhubung dan terhalang oleh kisi-kisi. Jika sensor *optocoupler* terhalang oleh kisi, rangkaian akan *open*. Namun, jika sensor tidak terganggu oleh kisi-kisi, rangkaian akan *close*. Cahaya inframerah yang ditangkap kemudian terputus-putus, menghasilkan pulsa *on* dan *off*. Pulsa *on* dan *off* ini kemudian dikonversi oleh mikrokontroler menjadi nilai kecepatan[1].



Gambar 2.6 Modul Sensor Kecepatan LM393

## 2.7. Modul Sensor Arus ACS712

ACS712 adalah IC alternatif yang berguna untuk trafo arus, yang ukurannya relatif besar, sebagai sensor arus. Pada prinsipnya, ACS712 mirip dengan sensor efek Hall lainnya, memanfaatkan medan magnet di sekitar arus dan mengubahnya menjadi tegangan yang linier dengan perubahan arus. Nilai variabel dari sensor ini dimasukkan ke mikrokontroler untuk diproses. Keluaran dari sensor ini masih berupa sinyal tegangan AC, agar dapat diolah oleh mikrokontroler maka sinyal tegangan AC ini di searahkan oleh rangkaian penyearah.

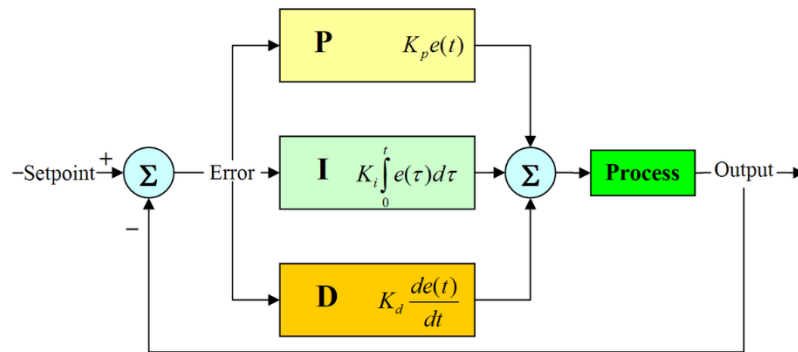


Gambar 2.7 Modul Sensor Arus ACS712



## 2.8. Kontroler PID

Kontroler merupakan komponen yang berfungsi untuk mengurangi kesalahan pada sinyal. Prinsip pada kontroler yaitu dapat mengubah model sistem seluruhnya dan juga berubah sesuai yang dikehendaki. Salah satu jenis kontroler yang paling umum adalah kontroler PID. Di mana elemen-elemen kontroler P, I, dan D secara keseluruhan bertujuan agar mempercepat reaksi sebuah sistem, menghasilkan perubahan awal yang signifikan dan mampu menghilangkan *offset*.



Gambar 2.8 Kontroler PID

*Proporsional-Integral-Derivatif* (PID) merupakan pengontrol konvensional yang digunakan dalam mengontrol parameter seperti: kecepatan, suhu, aliran, tekanan dan variabel proses lainnya[18]. Kontroler PID secara kontinu menghitung nilai kesalahan sebagai pembeda antara *setpoint* yang diinginkan dengan variabel proses yang terukur[19]. Transfer fungsi pada kontroler PID dalam domain  $s$  dinyatakan dengan persamaan :

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$K_p$  = Koefisien Proporsional

$K_i$  = Koefisien Integral

$K_d$  = Koefisien Derivatif

$T_i$  = Waktu Integral

$T_d$  = Waktu Derivatif

Dari persamaan tersebut,  $u(t)$  merupakan variabel yang dapat dikendalikan dan  $e(t)$  merupakan galat dari selisih antara nilai referensi dengan sinyal keluaran. Sementara  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  adalah koefisien dari *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* parameter PID yang harus ditentukan. Kontrol *Proportional* akan melakukan perkalian dengan kesalahan yang terjadi pada sistem. Kemudian, kontrol integral melakukan penjumlahan dengan kesalahan yang terjadi tiap waktu. Dan kontrol *derivative* melakukan pengontrolan berdasarkan kecepatan perubahan terhadap kesalahan sinyal. Untuk memenuhi sistem yang diinginkan maka ketiga parameter tersebut harus ditetapkan secara optimal. Masing-masing kendali tersebut dapat bekerja dan diterapkan secara terpisah maupun kombinasi secara bersamaan dengan tujuan saling memenuhi antar masing-masing karakteristik kendali tersebut. Adapun tanggapan sistem pada kontrol PID ditunjukkan pada tabel 2.4 di bawah ini [20]:

Tabel 2.3 Tanggapan Sistem Kontrol PID

<i>Closed-Loop Response</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Setting Time</i>	<i>SS Error</i>
<i>K<sub>p</sub></i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>
<i>K<sub>i</sub></i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
<i>K<sub>d</sub></i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small Change</i>

## 2.9. Metode Ziegler-Nichols

Salah satu metode untuk pengaturan kendali PID yang paling umum adalah metode Zeigler-Nicolas. Metode ini mengusulkan aturan dalam penentuan  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  yang berdasarkan karakteristik respon transien dari suatu sistem dan bertujuan untuk maksimum *overshoot* 25% terhadap masukan step [8] [21]. Metode Ziegler - Nichols terdiri atas dua metode, yaitu: metode pertama dan metode kedua, antara lain:

### a. Metode Pertama

Pada metode ini, respon suatu sistem terhadap masukan satu satuan fungsi step ditentukan secara eksperimental. Ketika respon yang dihasilkan

melalui eksperimen atau simulasi dinamik sistem menghasilkan kurva berbentuk S, maka metode ini dapat diterapkan. Kurva pada metode ini dapat dilambangkan dengan dua konstanta, yaitu: waktu tunda ( $L$ ) dan konstanta waktu ( $T$ ) [8] [21]. kedua konstanta tersebut digunakan untuk mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Parameter pada metode pertama Ziegler-Nichols ditentukan dengan tabel di bawah ini:

Tabel 2. 4 Metode Pertama Aturan Ziegler-Nichols

Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	2L	0.5L

b. Metode Kedua

Pada metode ini, mengatur  $T_i = \infty$  dan  $T_d = 0$  pada awalnya. Kemudian sistem hanya bekerja dengan pengendali proporsional. Nilai  $K_p$  dinaikkan dari 0 ke nilai kritis  $K_{cr}$  sehingga memperoleh output yang mulai berosilasi dengan amplitudo yang konstan[8] [21]. Metode ini juga terdapat dua parameter, yaitu:  $K_u$  dan  $T_u$ . Berikut parameter pada metode kedua Ziegler-Nichols ditentukan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.5 Metode Kedua Aturan Ziegler – Nichols

Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5 K_{cr}$	$0.125P_{cr}$

## 2.10. Internet Of Things (IoT)

*Internet Of Things* (IoT) adalah teknologi yang menghubungkan mesin, perangkat, dan objek fisik lainnya dengan sensor dan aktuator jaringan untuk memungkinkan mereka memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin berinteraksi satu sama lain [4]. Prinsip pengoperasian IoT adalah mesin dan objek secara otomatis berinteraksi satu sama lain tanpa campur tangan pengguna, menggunakan koneksi internet sebagai penghubung. Dalam konsep ini, pengguna hanya bertindak sebagai koordinator dan pemantau[1]. Tujuan dai IoT ini adalah untuk memungkinkan manusia berinteraksi dengan benda-benda dengan lebih mudah dan memungkinkan benda-benda tersebut untuk berkomunikasi satu sama lain[4]. Sistem dasar *Internet of Things* adalah perangkat keras (objek), koneksi internet, dan *cloud data center* di mana data disimpan dan aplikasi dijalankan[1].

### 2.10.1. NodeMCU ESP8266

NodeMCU adalah *platform* IoT (*Internet of Things*) yang bersifat *open source*. *Board* ini terdiri dari perangkat keras SoC (*System on Chip*) ESP8266 dengan bahasa pemrograman Lua, di mana bahasa Lua mempunyai sistematis logika dan susunan pemrograman bahasa C. NodeMCU dapat dianalogikan sebagai *board* Arduinonya ESP8266. NodeMCU menggabungkan ESP8266 menjadi sebuah *board* dengan berbagai macam fungsi layaknya mikrokontroler yang dilengkapi dengan kemampuan akses *WiFi* serta *chip* komunikasi *USB to Serial* sehingga proses pemrogramannya hanya memerlukan kabel data mikro *USB* [1].



Gambar 2.9 NodeMCU ESP8266

### 2.10.2. Blynk

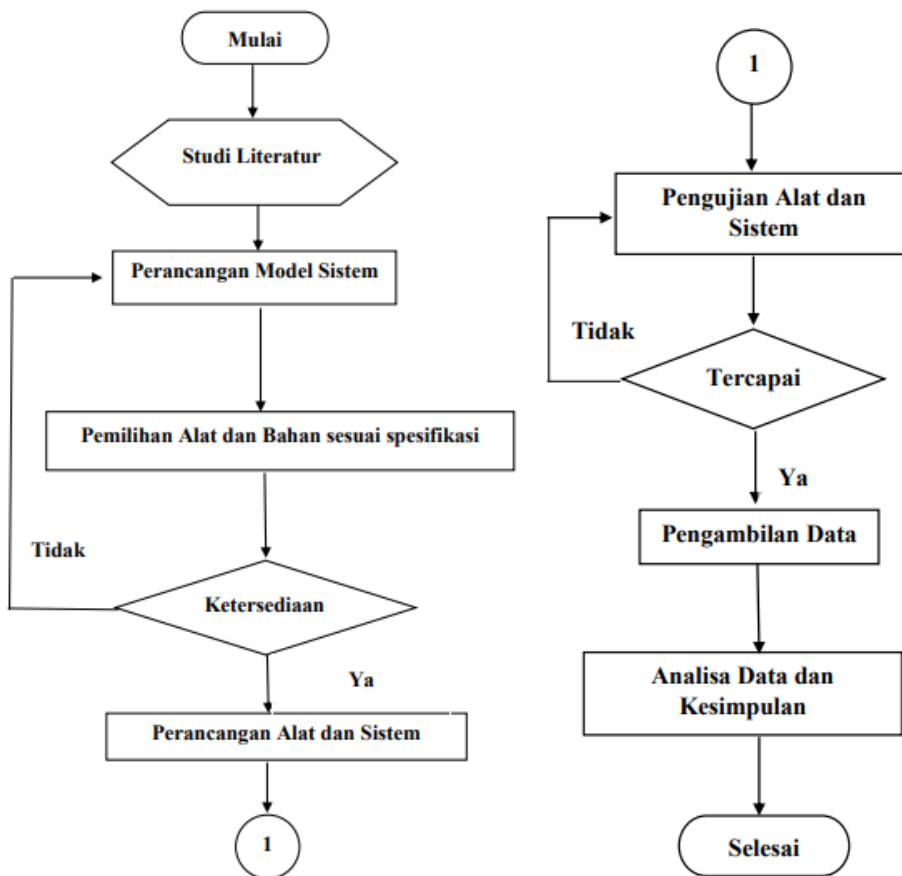
Blynk adalah layanan server yang digunakan untuk mendukung proyek *Internet of Things*. Layanan server ini memiliki lingkungan pengguna *mobile*, baik Android maupun iOS. Aplikasi Blynk sebagai pendukung IoT dapat diunduh melalui Google *Play Store*. Blynk mendukung berbagai macam perangkat keras yang digunakan untuk proyek *Internet of Things*. Blynk merupakan *dashboard* digital dengan fasilitas antarmuka grafis untuk pembuatan produknya. Blynk diciptakan untuk mengontrol dan memonitor perangkat keras dari jarak jauh menggunakan komunikasi data internet atau intranet (jaringan LAN). Kemampuan untuk menyimpan dan menampilkan data secara visual menggunakan angka, warna atau grafik memudahkan pembuatan proyek di bidang *Internet of Things*. Aplikasi Blynk memiliki tiga komponen utama yaitu, *Application*, *Server*, dan *Libraries* [5].

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan, yaitu dari Januari 2024 sampai dengan Juni 2024. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.

#### 3.2. Diagram Alir Penelitian

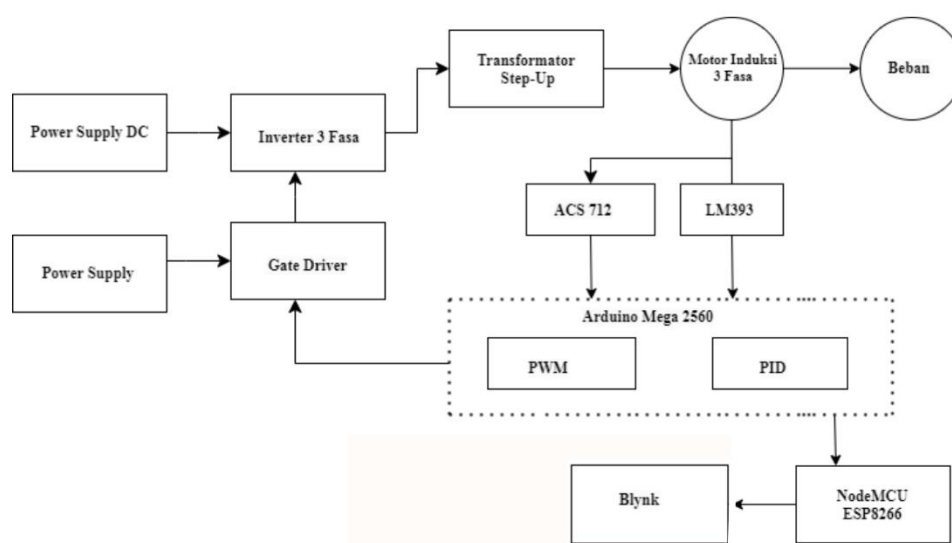


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1. Di mana, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dari studi literature, perancangan alat dan simulasi, pemilihan alat dan bahan, perancangan alat dan sistem, pengujian alat dan sistem, pengambilan data, dan analisis data beserta kesimpulan.

### 3.3. Diagram Blok Sistem

Adapun diagram blok sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

Adapun fungsi dari masing – masing blok pada diagram blok perancangan perangkat keras pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. *Power Supply*

*Power Supply* pada penelitian ini digunakan sebagai sumber daya yang men-suplai rangkaian *gate driver* dan inverter.

#### 2. *Inverter 3 Fasa*

Inverter 3 Fasa pada penelitian ini digunakan sebagai pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa melalui pengaturan frekuensi yang diubah ubah.

#### 3. *Gate Driver*

*Gate Driver* pada penelitian ini digunakan untuk menguatkan sinyal pemicu pada *gate* MOSFET yang digunakan untuk proses *switching* yang diperoleh dari Arduino mega.

#### 4. Transformator 3 Fasa

Transformator 3 Fasa pada penelitian ini digunakan untuk menaikkan tegangan 12 V dari inverter menjadi 220 V sebagai tegangan pemicu motor induksi.

#### 5. Motor Induksi 3 Fasa

Motor Induksi 3 Fasa pada penelitian ini digunakan sebagai objek yang akan dikendalikan.

#### 6. Sensor Kecepatan

Sensor Kecepatan pada penelitian ini digunakan untuk membaca nilai dari kecepatan yang dihasilkan oleh motor induksi.

#### 7. Sensor Arus

Sensor Arus pada penelitian ini digunakan untuk membaca nilai arus yang dihasilkan oleh motor induksi.

#### 8. Arduino Mega

Arduino Mega pada penelitian ini digunakan untuk mengatur proses pensaklaran pada *inverter* dan mengatur pengendali PID melalui program. Arduino Mega juga digunakan untuk mengolah hasil pembacaan sensor kecepatan yang kemudian akan dikirimkan ke NodeMCU, Arduino mega juga menerima data dari NodeMCU.

#### 9. NodeMCU

NodeMCU pada penelitian ini digunakan sebagai perantara antara Arduino Mega dan *platform IoT* blynk. NodeMCU berfungsi menerima data dari Arduino Mega dan mengirimkannya ke blynk. NodeMCU juga membaca data dari nilai sensor arus, yang kemudian data arus dan kecepatan ini akan ditampilkan pada blynk.

#### 10. Blynk

*Blynk* pada penelitian ini digunakan sebagai *platform IoT* untuk melakukan pemantauan dan pengendalian sistem dari jarak jauh dan *real time*.

#### 11. Beban

Beban pada penelitian ini digunakan untuk menguji sistem kendali yang digunakan.

### 3.4. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu, Perangkat Keras (*Hardware*) dan Perangkat lunak (*Software*).



### **3.4.1. Perangkat Keras (Hardware)**

Perangkat Keras (Hardware) yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Motor Induksi 3 Fasa Tipe 731404 Class 0.1
2. Rangkaian catu daya (*Power Supply*)
3. Rangkaian *Gate Driver*
4. Rangkaian Inverter 3 Fasa
5. Rangkaian Transformator *Step Up*
6. *Microcontroller* Arduino Mega 2560
7. NodeMCU ESP8266
8. Sensor Arus ACS712
9. Sensor Kecepatan LM393
10. Laptop
11. Osiloskop Digital
12. Multimeter Digital

### **3.4.2. Perangkat Lunak (Software)**

Perangkat Lunak (*Software*) yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Arduino IDE 2.2.1
2. EasyEDA
3. Blynk
4. Microsoft Office

## **3.5. Perancangan Sistem**

Adapun tahapan – tahapan pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain :

### **3.5.1. Studi Literatur**

Tahap studi literatur ini melibatkan pengumpulan referensi yang akan menjadi pedoman dalam merancang alat. Dari referensi-referensi tersebut, dipelajari

komponen, metode, rangkaian, dan hal-hal lain yang relevan dengan perancangan alat dalam penelitian ini. Tahap ini juga bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan karakteristik dan prinsip kerja dari komponen dan program yang digunakan dalam perancangan alat.

### 3.5.2. Spesifikasi Motor Induksi

Motor Induksi yang digunakan sebagai *plant* atau objek yang dikendalikan pada penelitian ini yaitu Motor Induksi 3 Fasa Tipe 731404 Class 0.1.



Gambar 3.3 Motor Induksi 3 Fasa Tipe 731404 Class 0.1.

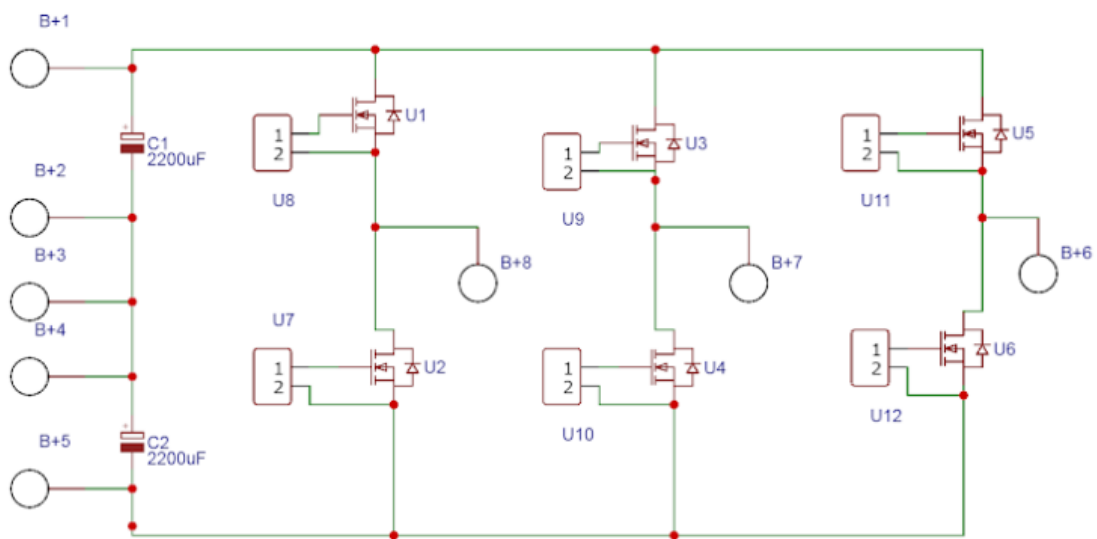
Adapun spesifikasi dari motor induksi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi

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

### 3.5.3. Perancangan Rangkaian Inverter

Pada penelitian ini akan dirancang rangkaian inverter dengan jenis inverter yaitu inverter catu tegangan (*voltage – fed inverter- VFI*). Beberapa komponen yang digunakan untuk merangkai inverter ini yaitu, MOSFET IRFP460 sebanyak 6 buah, serta kapasitor Elco 2200  $\mu$ F 180 V. Adapun rangkaian inverter 3 fasa dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Inverter 3 Fasa

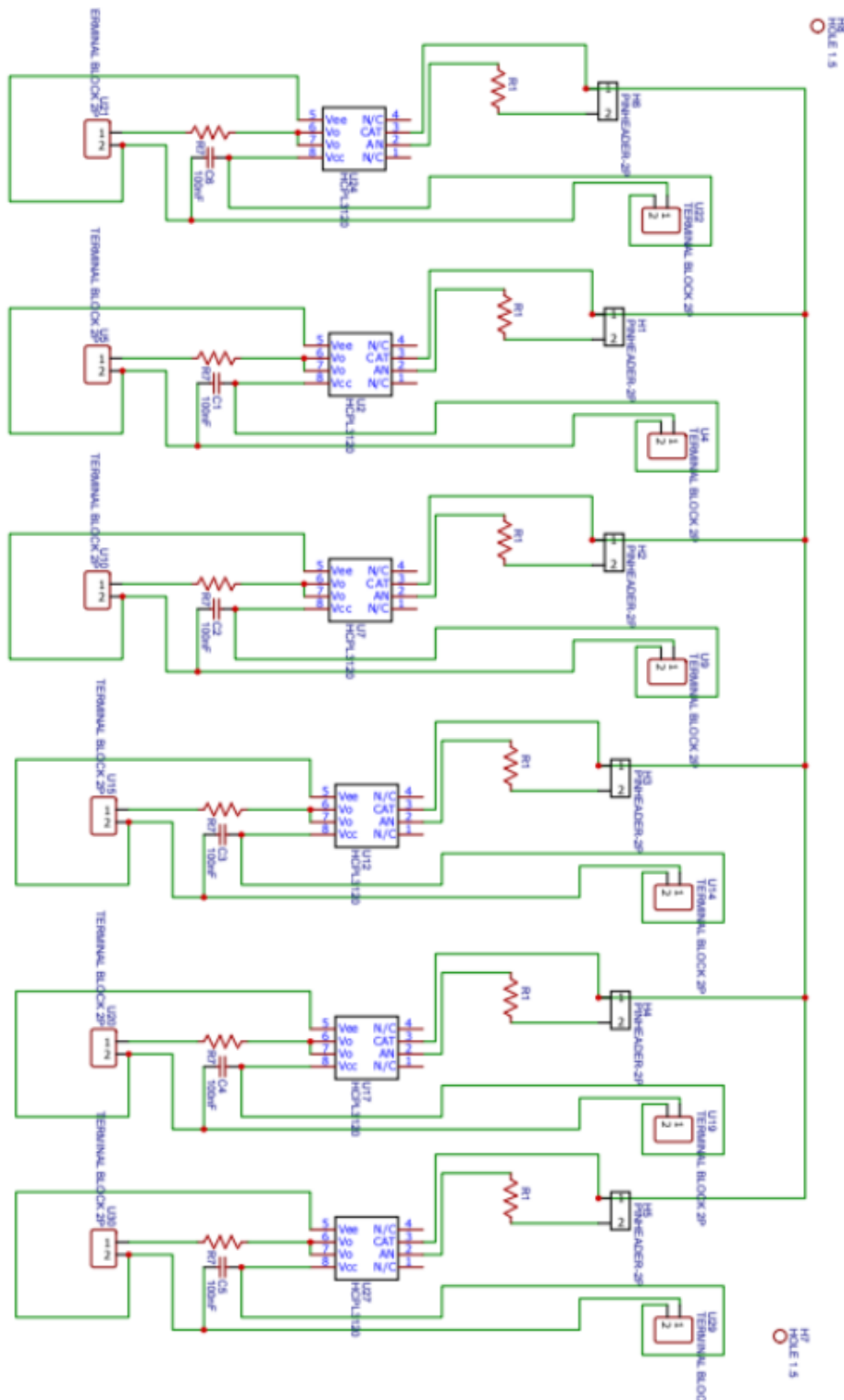
Adapun skema dari pensaklaran mosfet dan tegangan keluaran inverter dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3. 2 Skema Pensaklaran Inverter

Interval	Saklar (ON)	Tegangan Per Fasa			Tegangan Antarfasa		
		Va	Vb	Vc	Vab	Vbc	Vca
1	1,4,5	1/3 Vdc	-2/3 Vdc	1/3 Vdc	Vdc	-Vdc	0
2	1,4,6	2/3 Vdc	-1/3 Vdc	-1/3 Vdc	Vdc	0	-Vdc
3	1,3,6	1/3 Vdc	1/3 Vdc	-2/3 Vdc	0	Vdc	-Vdc
4	2,3,6	-1/3 Vdc	2/3 Vdc	-1/3 Vdc	-Vdc	Vdc	0
5	2,3,5	-2/3 Vdc	1/3 Vdc	1/3 Vdc	-Vdc	0	Vdc
6	2,4,5	-1/3 Vdc	-1/3 Vdc	2/3 Vdc	0	-Vdc	Vdc

### 3.5.4. Perancangan Rangkaian *Gate Driver*

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah rangkaian *gate driver*. Adapun rancangan rangkaian *gate driver* ditunjukkan pada gambar 3.5.

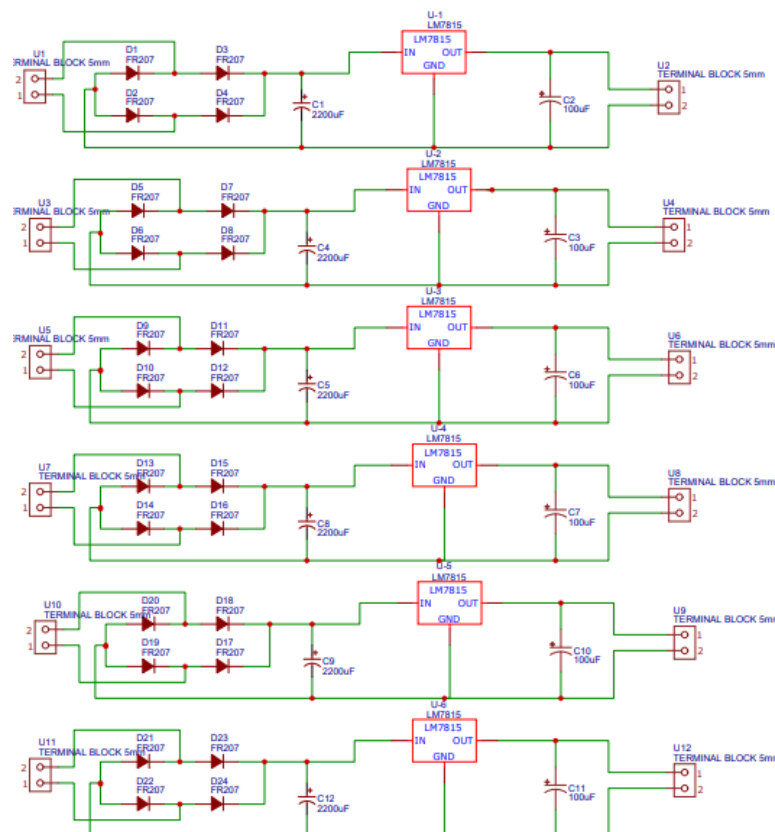


Gambar 3.5 Rangkaian *Gate Driver*

Rangkaian *gate driver* ini digunakan sebagai penghubung antara rangkaian kontrol dan rangkaian catu daya. Tegangan pemicu *gate driver* pada MOSFET IRFP460 agar dapat bekerja adalah sekitar 15 Volt, namun tegangan keluaran dari Arduino Mega hanya sebesar 5 Volt yang artinya, tegangan ini belum mampu memicu *gate driver* MOSFET bekerja. Rangkaian *gate driver* ini digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran yang menuju ke MOSFET agar MOSFET dapat bekerja dan dapat melakukan pensaklaran. Beberapa komponen yang digunakan pada rangkaian *Gate Driver* ini yaitu, IC *Optocoupler* HCPL 3120, resistor 47  $\Omega$ , resistor 220  $\Omega$ , dan kapasitor *Mylar* 100nF.

### 3.5.5. Perancangan Rangkaian DC Power Supply

Pada penelitian ini dirancang rangkaian DC *Power Supply* sebesar 15 Volt. Adapun rancangan rangkaian *power supply* ditunjukkan pada gambar 3.6.

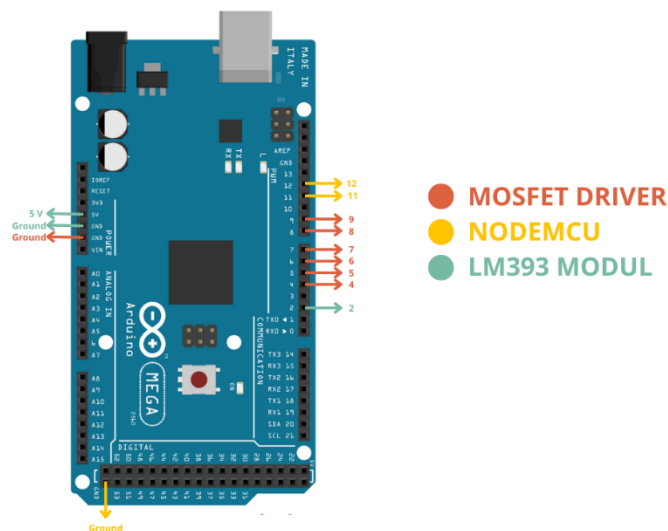


Gambar 3.6 Rangkaian DC *Power Supply*

*Power Supply* ini digunakan untuk mensuplai rangkaian *gate driver*. Adapun komponen yang digunakan adalah transformator CT 220/15V 1 Ampere, diode FR207, IC *Regulator* LM7815, kapasitor 3300  $\mu\text{F}$  dan kapasitor 100  $\mu\text{F}$ . Jumlah rangkaian DC *Power Supply* pada penelitian ini berjumlah 6 buah sesuai dengan jumlah rangkaian *gate driver*.

### 3.5.6. Perancangan *Wiring* Arduino Mega

Pada penelitian ini menggunakan *Board* Arduino Mega 2560. *Board* Arduino Mega 2560 digunakan karena memiliki pin yang banyak dan kemampuan menyimpan data yang besar. *Board* Arduino Mega dihubungkan dengan 3 perangkat lainnya yaitu : MOSFET *driver*, NodeMCU, dan LM393. Adapun rangkaian *gate driver* yang digunakan untuk proses *switching* MOSFET dihubungkan dengan pin 4, pin 5, pin 6, pin 7, pin 8, pin 9 dan pin GND. Selanjutnya untuk komunikasi serial dengan NodeMCU dihubungkan dengan pin 11, pin 12, dan GND. Dan untuk modul LM393 dihubungkan dengan pin 2, pin 5 V, dan pin GND. Konfigurasi pin- pin tersebut ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Wiring* Arduino Mega

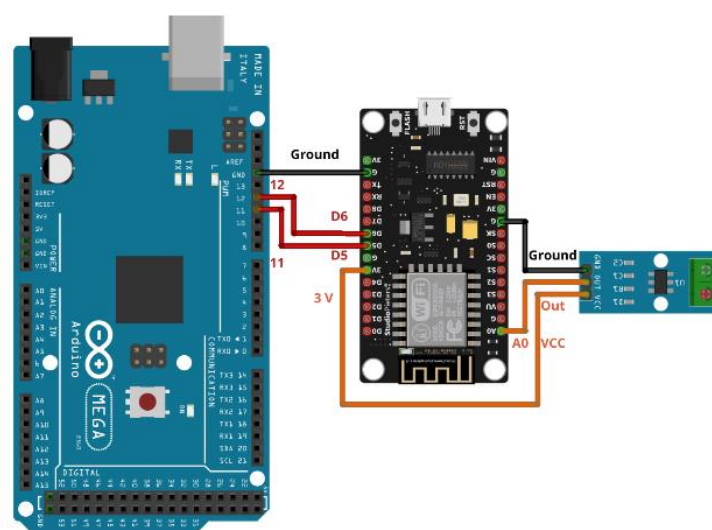
Konfigurasi pin Arduino Mega dengan *gate* MOSFET untuk keperluan *switching* ditunjukkan pada tabel 3.3.

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

*Board* NodeMCU pada penelitian ini memiliki tipe ESP8266 menggunakan modul *wifi*. NodeMCU digunakan sebagai penghubung antara Arduino Mega dengan *platform* Blynk agar bisa berkomunikasi dua arah guna untuk pengendalian dan pemantauan menggunakan jaringan internet. Untuk komunikasi serial antara NodeMCU dan Arduino Mega, digunakan pin D5, dan pin D6 yang dihubungkan dengan pin 11 dan pin 12 pada Arduino Mega. Untuk keperluan pembacaan arus keluaran inverter, maka NodeMCU juga dihubungkan dengan modul ACS712 menggunakan A0, pin 3.3V dan pin GND. Konfigurasi pin – pin tersebut ditunjukkan pada gambar 3.8.

Gambar 3.8 *Wiring* NodeMCU

Konfigurasi pin NodeMCU dengan Arduino Mega untuk keperluan serial komunikasi ditunjukkan pada tabel 3.4. Dan konfigurasi pin NodeMCU dengan Modul ACS712 untuk keperluan pembacaan arus ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.4 Konfigurasi Pin NodeMCU dengan Arduino Mega

Pin NodeMCU	Pin Arduino Mega
D5	11
D6	12
GND	GND

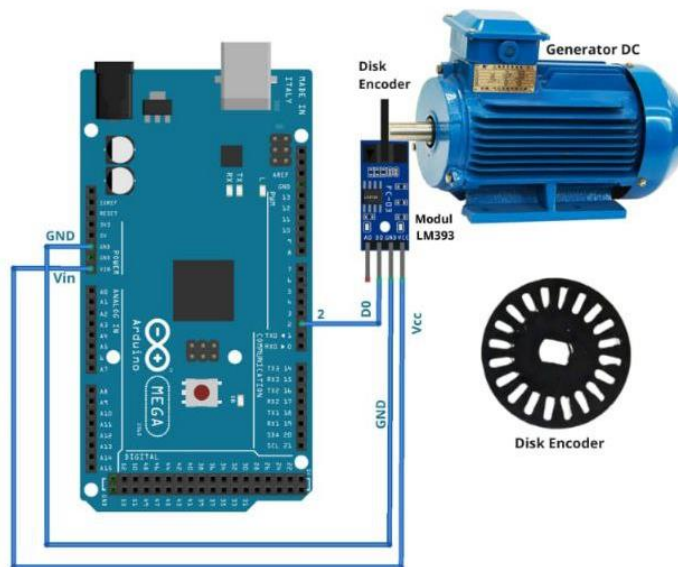
Tabel 3.5 Konfigurasi Pin NodeMCU dengan Modul ACS712

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

### 3.5.8. Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan

Pada penelitian ini untuk mendeteksi kecepatan putaran motor menggunakan modul sensor kecepatan LM393 dan sebuah *disk encoder*. Berdasarkan prinsip kerja dari modul LM393 ini, terdapat bagian *transmitter* dan *receiver*, di mana ketika terdeteksi objek di antara *transmitter* dan *receiver* maka sensor akan menghasilkan pulsa *ON*. Begitupun sebaliknya, ketika di antara *transmitter* dan *receiver* tidak terdeteksi objek maka sensor akan menghasilkan pulsa *OFF*. Pulsa *ON* dan *OFF* tersebut akan dikonversi ke nilai kecepatan (RPM) yang akan terbaca pada serial monitor Arduino. Sensor kecepatan LM393 pin Vcc dihubungkan dengan pin 5V Arduino Mega, pin D0 sensor kecepatan LM393 dihubungkan dengan pin 2 (pin *interrupt* 0) Arduino Mega, dan GND LM393 dihubungkan dengan GND Arduino Mega.





Gambar 3.9 *Wiring* Sensor Kecepatan

Konfigurasi pin sensor kecepatan LM393 dengan Arduino Mega untuk keperluan pembacaan dan kontrol kecepatan ditunjukkan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Pin *Wiring* Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega

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

Untuk mengkonversi pulsa *ON* dan *OFF* yang terbaca oleh modul sensor kecepatan LM393 agar menjadi nilai kecepatan (RPM) diperlukan rumus melalui persamaan 3.1 berikut.

$$n = \frac{P}{H} \times \frac{60}{t} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

$n$  = kecepatan (RPM)

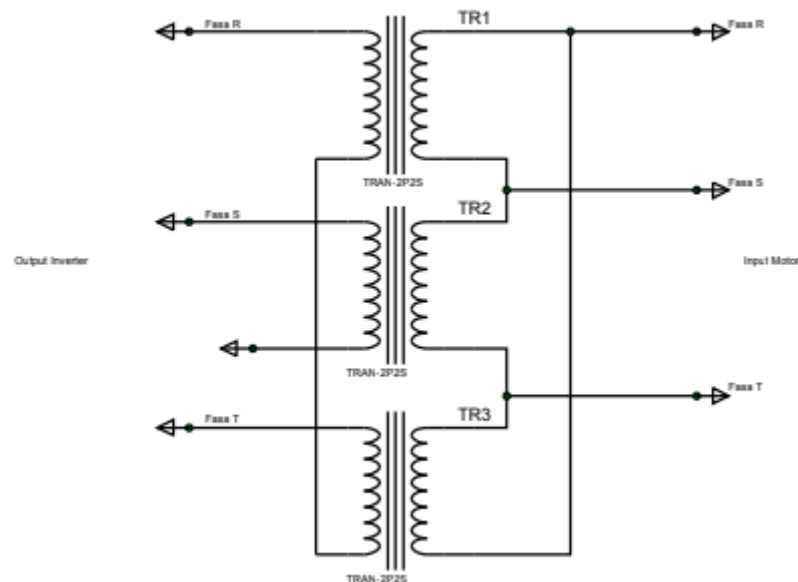
$P$  = jumlah pulsa yang dihasilkan sensor

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

$t$  = waktu sampling (detik)

### 3.5.9. Perancangan *Wiring* Transformator *Step Up*

Pada penelitian ini tegangan input pada motor induksi 3 fasa sesuai dengan spesifikasinya adalah sebesar 400V (Y) /230V ( $\Delta$ ). Tegangan keluaran inverter saja belum mencukupi tegangan nominal motor bekerja, maka dirancang transformator *step up* 3 fasa untuk menaikkan tegangan keluaran inverter. Transformator 3 fasa ini dirancang dengan hubung star-delta (Y- $\Delta$ ), *wiring* tersebut bisa dilihat pada gambar 3.10 dibawah.

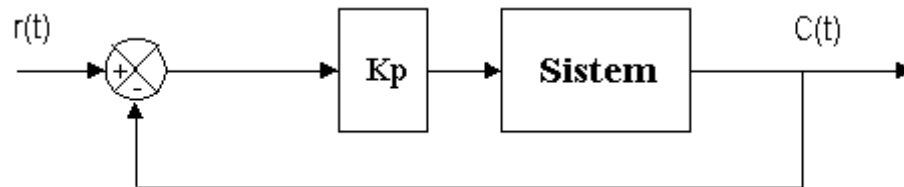


Gambar 3.10 Perancangan *Wiring* Transformator *Step Up*

### 3.5.10. Penentuan Parameter Pengendali PID

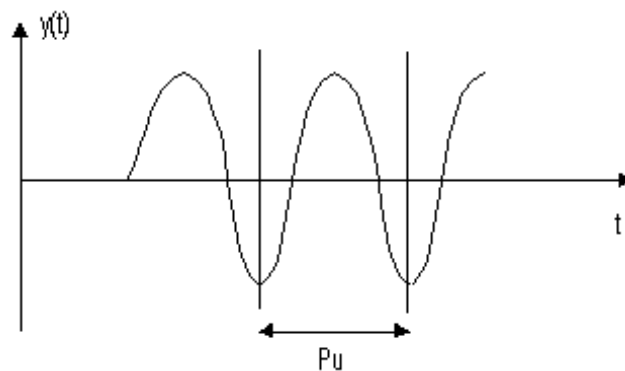
Pada penelitian ini dalam menentukan parameter PID dilakukan penalaan menggunakan *tunning* Ziegler –Nichols metode ke – dua atau yang biasa disebut dengan metode osilasi. Langkah – langkah untuk melakukan metode ini yaitu :

1. Mengatur nilai  $K_i$  dan  $K_d$  menjadi nol ( $K_i = 0$ ,  $K_d = 0$ ) sehingga sistem hanya bekerja dengan pengendali proporsional ( $K_p$ ) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.11 Sistem *Close-Loop* dengan pengendali proporsional

Nilai  $K_p$  diatur dari 0 ke nilai dimana sistem mencapai kondisi osilasi dengan amplitude yang relatif sama secara terus menerus, kondisi ini disebut dengan *sustained oscillation*. Nilai  $K_p$  yang menyebabkan sistem ber osilasi disebut dengan nilai kritis  $K_u$  (*ultimate gain*). Periode dari *sustained oscillation* disebut  $P_u$  (*ultimate period*).



Gambar 3.12 Kurva respon sistem *sustained oscillation*

2. Setelah mendapatkan nilai  $K_u$  ( $K_p$  sementara) dan  $P_u$  maka untuk mendapatkan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dilakukan perhitungan menggunakan tabel penentuan nilai PID metode ke-dua Ziegler – Nichols berikut :

Tabel 3.7 Metode Kedua Ziegler Nichols

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$0.5K_u$	-	-
PI	$0.45K_u$	$\frac{1}{1.2}P_u$	-
PID	$0.6K_u$	$0.5 K_u$	$0.125P_u$

3. Setelah mendapatkan nilai Kp, Ti, dan Td maka untuk menentukan nilai Ki dan Kd menggunakan persamaan berikut:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$K_d = K_p \times T_d \dots\dots\dots (3.3)$$

### 3.5.11. Pemrograman Arduino Mega dan NodeMCU

Pada penelitian ini menggunakan *software* Arduino IDE 2.2.1 untuk melakukan pemrograman pada Arduino Mega 2560 dan NodeMCU. Tampilan dari program Arduino Mega dan NodeMCU pada Arduino IDE ditunjukkan oleh gambar 3.12.

```

blynknode.ino
1 #define BLYNK_PRINT Serial
2 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL64j2EpbwT"
3 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Kontrol dan Monitoring Motor Induksi"
4 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "c1DdEsVaLPh_kq8xhS3PKVjZTw8ZXWm"
5
6
7 #include <SoftwareSerial.h>
8 #include <BlynkSimpleEsp8266.h>
9 #include <ESP8266Mifl.h>
10 #include "ACS712.h"
11
12 // pins Rx: GPIO14 (D5) and Tx: GPIO 12 (D6)
13 SoftwareSerial NodeMCU(D5, D6);
14 ACS712 sensor(ACS712_20A,A0); // Deklarasi objek sensor ACS712
15
16 int RPM = 0;
17 int jeda = 0; // variabel untuk menyimpan nilai jeda dari Arduino
18
19 // Konfigurasi server Blynk
20 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
21 char ssid[] = "kypdx";
22 char pass[] = "minimal21";
23
24 //Konfigurasi Serial Komunikasi
25 byte a;
26 String setPoint;
27
28
PID1.ino
1
2 //Switching
3 int S1=4;
4 int S4=5;
5 int S3=6;
6 int S6=7;
7 int S5=8;
8 int S2=9;
9
10 // PID
11 unsigned long TIME1, PREVIOUS1;
12 double waktuSampling;
13 double kp = 0.018732; //Rise Time
14 double ki = 0.018732; //SS-Error
15 double kd = 0.004683; //Overshoot
16 double setPoint = 900;
17 double error;
18 double errorSebelumnya = 0;
19 double jumlahError = 0;
20 double selisihError;
21 double pid;
22
23 //RPM
24 float REV = 0;
25 int RPM;
26 int PREVIOUS = 0;
27 int TIME;
28 const unsigned long interval = 1000;

```

Gambar 3.13 Program Arduino Mega dan NodeMCU

Program – program yang ditanamkan pada mikrontroller Arduino Mega dan NodeMCU adalah sebagai berikut:

1. Pemrograman Arduino Mega 2560

Pemrograman pada Arduino Mega terdiri dari :

- Pemrograman untuk pensaklaran Mosfet
- Pemrograman untuk pembacaan sensor kecepatan
- Pemrograman untuk nilai kontrol PID dan *setpoint*
- Pemrograman untuk serial komunikasi data dengan NodeMCU

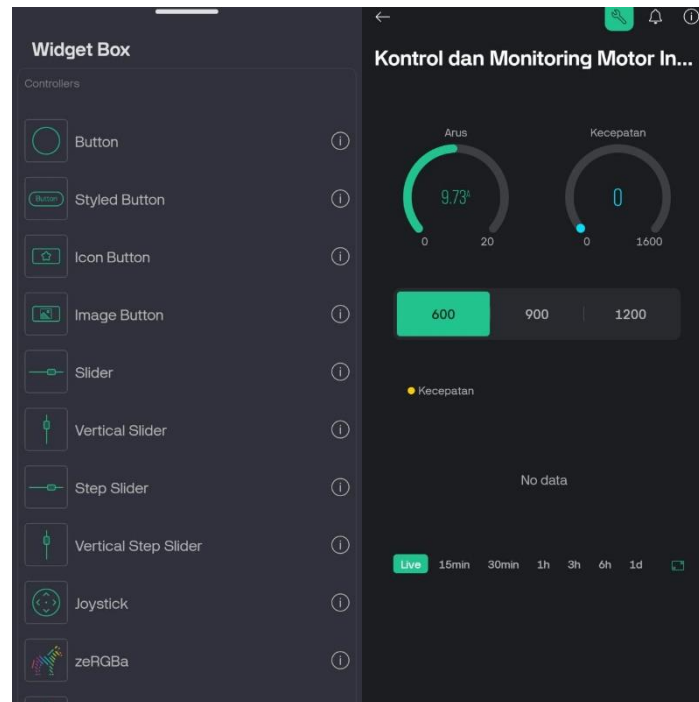
2. Pemrograman NodeMCU

Pemrograman pada NodeMCU terdiri dari :

- Pemrograman untuk serial komunikasi dengan Arduino Mega
- Pemrograman untuk menerima data kecepatan dari Arduino Mega dan mengirimkan data ke *smartphone*
- Pemrograman untuk pembacaan nilai arus dari modul ACS712 dan mengirimkannya ke *smartphone*

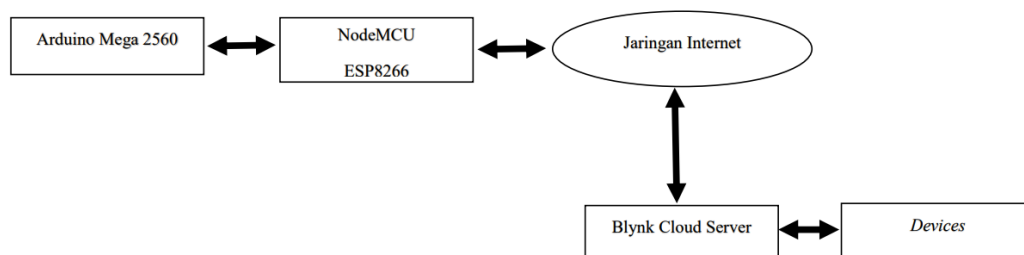
### **3.5.12. Perancangan *Software* Blynk**

Pada penelitian ini dalam pengendalian dan pemantauan motor induksi dapat dilakukan dari jarak jauh dan *real – time* menggunakan *platform Blynk* yang terdapat pada *smartphone* dengan jaringan internet/*Wi-fi*. *Platform* ini memiliki banyak *widget* yang bisa kita atur untuk keperluan pemantauan, dan pengendalian motor induksi 3 fasa. Berikut adalah beberapa pilihan *widget blynk* dan tampilan aplikasi *Blynk* yang sudah diatur untuk keperluan penelitian ini.



Gambar 3.14 Tampilan Aplikasi Blynk

Pada gambar 3.15 dibawah menunjukkan diagram blok perancangan perangkat lunak pada penelitian ini, dengan menggunakan NodeMCU yang mampu berkomunikasi dengan Arduino Mega 2560 dan menggunakan jaringan internet/*wi-fi* agar bisa terhubung dengan *blynk cloud server* dan *devices smartphone* yang digunakan sebagai media pemantauan dan pengendalian. Perangkat atau *devices* juga akan memberikan perintah ke NodeMCU yang kemudian datanya dikirimkan ke mikrokontroller Arduino Mega untuk diolah.



Gambar 3.15 Blok Diagram Sistem Perancangan Perangkat Lunak

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Telah berhasil dirancang sebuah sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan pengendali PID berbasis *Internet Of Things*.
2. Pengendali PID menggunakan metode osilasi Ziegler Nichols menghasilkan nilai parameter  $K_p = 0,018726$  ,  $K_i = 0,018726$  , dan  $K_d = 0,0046815$  . Menghasilkan respon kecepatan motor induksi 3 fasa dengan rata rata *rise time* sebesar 2,2 detik dan *overshoot* 1,06%
3. Melalui aplikasi Blynk dapat memantau dan mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa dari jarak jauh secara *real – time* menggunakan *smartphone*.

### 5.2. Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Diperlukan pengembangan teknik *switching* pada inverter, seperti menggunakan SPWM Inverter, ataupun multilevel inverter 3 fasa untuk mengurangi distorsi harmonik sehingga komponen tidak mudah panas.
2. Diperlukan pengembangan nilai pada  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  pada pengendali PID yang lebih akurat dan pengembangan metode kontrol sistem yang lebih baik seperti menggabungkan metode PID dengan *Fuzzy Logic Controller*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. R. Harahap, R. A. Nasution, dan 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.
- [2] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, 6 ed. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [3] A. B. Ashari, M. T. Suprianto, W. Aribowo, A. C. Hermawan, dan S. St, "Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode Field Orientation Control (FOC) Berbasis Fuzzy-PID 763," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 03, hlm. 763–771, Sep 2020, doi: 10.26740/jte.v9n3.p763 - 771.
- [4] B. Artono dan R. G. Putra, "Penerapan Internet Of Things (IoT) Untuk Kontrol Lampu Menggunakan Arduino Berbasis Web," *Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan*, vol. 5, no. 1, hlm. 9–16, Apr 2019, doi: 10.25047/jtit.v5i1.73.
- [5] M. Artiyasa, I. Himawan Kusumah, A. Suryana, Edwinanto, A. D. W. Muhammad Sidik, dan A. Pradiftha Junfithrana, "Comparative Study of Internet of Things (IoT) Platform for Smart Home Lighting Control Using NodeMCU with Thingspeak and Blynk Web Applications," *FIDELITY: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, hlm. 1–6, Jan 2020, doi: 10.52005/fidelity.v2i1.103.
- [6] R. yanto fajar, "Rancang Bangun Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter 9 Tingkat Dengan Pengendali PID Untuk Pengendali Kecepatan Motor Induksi Via Smartphone," 2021. Diakses: 18 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/60989>
- [7] A. Alkrwy, A. A. Hussein, T. H. Atyia, dan M. Khamees, "Adaptive Tuning of PID Controller using Crow Search Algorithm for DC motor," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1076, no. 1, hlm. 1–10, Feb 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1076/1/012001.
- [8] N. Hamid dan A. Mansur, "Penalaan Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols untuk Optimasi Kontrol Kecepatan Motor pada Alat Spin Coater," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, hlm. 315–319, Sep 2021.



- [9] D. H. Prastiko dan A. Supardi, "Pengendali dan Monitoring Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Programmable Logic Controller dan Expansion dengan Human Machine Interface," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 2, hlm. 168–176, Agu 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i2.19110.
- [10] R. Ridwan, E. Purwanto, H. Oktavianto, M. R. Rusli, dan H. Toar, "Desain Kontrol Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Fuzzy PID Berbasis Indirect Field Oriented Control," *Jurnal Integrasi*, vol. 11, no. 2, hlm. 146–155, Okt 2019, doi: 10.30871/ji.v11i2.1356.
- [11] H. Toar, E. Purwanto, H. Oktavianto, R. Ridwan, dan M. R. Rusli, "Penala Parameter PID Otomatis Pada Pengatur Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa," *Jurnal Integrasi*, vol. 12, no. 1, hlm. 1–12, Apr 2020, doi: 10.30871/ji.v12i1.1372.
- [12] C.-H. Hsu, "Fractional Order PID Control for Reduction of Vibration and Noise on Induction Motor," *IEEE Trans Magn*, vol. 55, no. 11, hlm. 1–7, Nov 2019, doi: 10.1109/TMAG.2019.2933176.
- [13] A. N. Mohammed dan G. A.-R. Ghoneim, "Fuzzy-PID Speed Controller Model-Based Indirect Field Oriented Control for Induction Motor," dalam *2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, IEEE, Feb 2021, hlm. 1–6. doi: 10.1109/ICCCEEE49695.2021.9429623.
- [14] A. Sani, E. Eka, dan N. Jannah, "Purwarupa Pengendali Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa Via Android," *Jurnal Integrasi*, vol. 12, no. 2, hlm. 88–91, Okt 2020.
- [15] C. R. Harahap, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *Electrician*, vol. 16, no. 3, hlm. 338–345, Sep 2022, doi: 10.23960/elc.v16n3.2388.
- [16] C. R. Harahap dan E. Komalasari, "Pengendalian Motor Brushless Direct current Dengan Frekuensi Tinggi Pulse Width Modulation Dengan Metode Back-Electromotive Force Menggunakan Microcontroller," *Electrician : Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, hlm. 128–133, Mei 2023, doi: 10.23960/elc.v17n2.2479.
- [17] J. widyo Leksono, H. K.W, E. Indahwati, N. Yanuansa, dan I. Ummah, *Modul Belajar Arduino Uno*. Universitas Hasyim Asy'ari, 2019.
- [18] S. Triwijaya, Y. Prasetyo, dan T. Wati, "Kontrol Kecepatan Motor BLDC dengan PID-Firefly," *Jurnal IPTEK*, vol. 25, no. 1, hlm. 51–58, Mei 2021, doi: 10.31284/j.ipitek.2021.v25i1.

- [19] R. Muhardian dan K. Krismadinata, “Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Kontroler PID dan Antarmuka Visual Basic,” *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)* 339, vol. 6, no. 1, hlm. 328, Feb 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.108034.
- [20] D. Wardana Sanjaya, “Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter 9 Tingkat Berbasis IoT (Internet of Things),” Universitas Lampung, 2021.
- [21] M. Diah Ika Putri, A. Ma’arif, dan R. Dwi Puriyanto, “Pengendali Kecepatan Sudut Motor DC Menggunakan Kontrol PID dan Tuning Ziegler Nichols,” *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 23, no. 1, hlm. 09–18, Apr 2022, doi: 10.30595/techno.v23i1.10773.