

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI  
MENGUNAKAN *CASCADED H-BRIDGE MULTILEVEL*  
*INVERTER 9 TINGKAT BERBASIS IOT (INTERNET OF  
THINGS)***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**DIRA SANJAYA WARDANA  
NPM 1715031002**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI  
MENGUNAKAN *CASCADED H-BRIDGE MULTILEVEL*  
*INVERTER 9 TINGKAT BERBASIS IOT (INTERNET OF  
THINGS)***

**Oleh**

**DIRA SANJAYA WARDANA**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGUNAKAN *CASCADED H-BRIDGE MULTILEVEL INVERTER* 9 TINGKAT BERBASIS IOT (*INTERNET OF THINGS*)

Oleh

**Dira Sanjaya Wardana**

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan baik dalam dunia industri maupun rumah tangga. Dalam banyak penggunaannya dibutuhkan kecepatan motor induksi yang bervariasi. Salah satu cara untuk mengatur kecepatan motor induksi adalah dengan merubah frekuensi sumber motor induksi tersebut menggunakan inverter. Pada penelitian ini dibuat sebuah *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* untuk mengatur kecepatan motor induksi dengan Total Harmonik Distorsi (THD) yang rendah. Proses pengendalian dan *monitoring* yang dilakukan berbasis IOT (*Internet Of Things*) sehingga dapat dilakukan secara *real time* selama dapat terkoneksi dengan internet. Adapun kecepatan motor induksi yang dihasilkan dengan frekuensi 30, 40, 50 dan 60 Hz adalah 778, 1082, 1381 dan 1678 RPM dengan total harmonik distorsi sebesar 9,28%, 9,59%, 9,80% dan 9,95%.

**Kata kunci :** Motor induksi, total harmonik distorsi, *pulse width modulation*, multilevel inverter, *internet of things*.

## **ABSTRACT**

### **SPEED CONTROL OF INDUCTION MOTORS USING CASCADED H-BRIDGE MULTILEVEL INVERTER 9 LEVELS BASED ON IOT (INTERNET OF THINGS)**

**By**

**Dira Sanjaya Wardana**

The induction motor is one of the most widely used types of motors in both industry and households. In many applications, various induction motor speeds are required. One way to adjust the speed of an induction motor is to change the source frequency of the induction motor using an inverter. In this research, a Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter is made to regulate the speed of an induction motor with a low Total Harmonic Distortion (THD). The control and monitoring process is carried out based on IOT (Internet Of Things) so that it can be carried out in real time as long as it can be connected to the internet. The speed of the induction motor with frequencies of 30, 40, 50 and 60 Hz is 778, 1082, 1381 and 1678 RPM with a total harmonic distortion of 9.28%, 9.59%, 9.80% and 9.95%.

**Keywords :** Induction motor, total harmonic distortion, pulse width modulation, multilevel inverter, internet of things.

Judul Skripsi : **PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR  
INDUKSI MENGGUNAKAN *CASCADED  
H-BRIDGE MULTILEVEL INVERTER*  
9 TINGKAT BERBASIS IOT (*INTERNET  
OF THINGS*)**

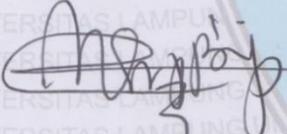
Nama Mahasiswa : **Dira Sanjaya Wardana**

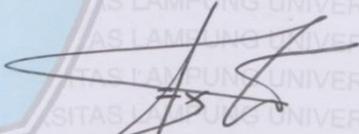
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031002

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



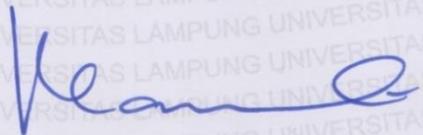
  
**Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T.**  
NIP. 196912111999031001

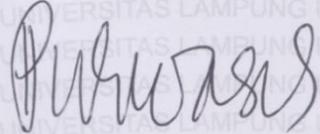
  
**Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T.**  
NIP. 196912191999031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

  
**Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng.**  
NIP. 197007192000121001

  
**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**  
NIP. 197404222000122001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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

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

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

**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**  
NIP. 196207171987031002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 September 2021**

## SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 18 Oktober 2021



Dira Sanjaya Wardana  
1715031002

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tulangbawang Barat, 24 Agustus 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Hermansyah dan Ibu Herliyati. Pendidikan penulis SDN 1 Karta pada tahun 2005 hingga 2011, SMPN 1 Karta pada tahun 2011 hingga 2014, dan SMAN 1 Tumijajar pada tahun 2014 hingga 2017. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Saat menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL). Selama perkuliahan penulis tergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Sains dan Teknologi Universitas Lampung departemen Riset dan Teknologi. Penulis melakukan kerja praktik di PT. PLN (Persero) UPT Tanjung Karang, ULTG (Unit Layanan Transmisi Gardu) Tegineneng pada 18 Agustus 2020 hingga 18 September 2020 dengan mengangkat judul “Pemeliharaan Pada Lightning Arrester (LA) 150 KV di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi Gardu (ULTG) Gardu Induk Natar.



**Karya ini Kupersembahkan untuk**

**Ayahanda Tercinta dan Ibunda Tercinta**

**Hermansyah dan Herliyati**

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

**Adik Tersayang**

**Faiz Nata Prasetya**

**Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater**



## MOTTO

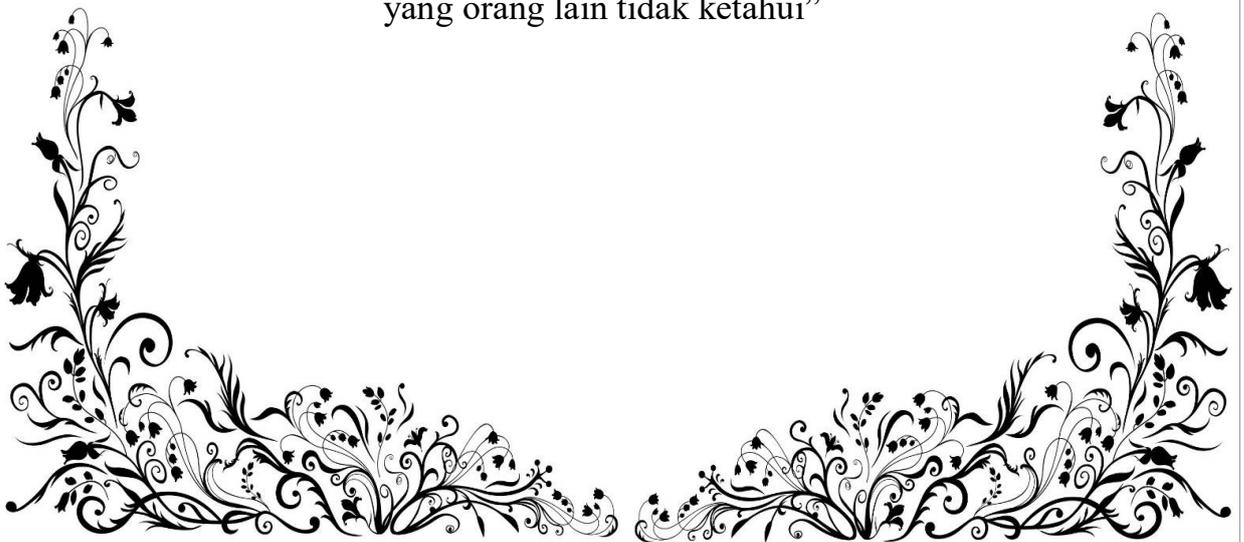
“Dan boleh jadi kamu membenci sesuatu tetapi ia baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu tetapi ia buruk bagimu, dan Allah mengetahui dan kamu tidak mengetahui”

(QS. Al-Baqarah : 216)

“Amalan yang lebih dicintai Allah adalah amalan yang terus menerus dilakukan walaupun sedikit”

(Nabi Muhammad SAW)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak. Rahasia kesuksesan adalah mengetahui yang orang lain tidak ketahui”



## SANWACANA

Segala Puji bagi Allah, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas Akhir dengan judul “Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter 9 Tingkat Berbasis IoT (Internet of Things)” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada Kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng. Selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.

6. Bapak Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
7. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
8. Bapak Dr. Eng. Charles R. Harahap. S.T., M.T. selaku pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang sarjana teknik.
9. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
10. Segenap staff Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal lainnya.
11. Seluruh teman-teman yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan segala kebaikan dalam bentuk apapun.

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

Bandar Lampung, 18 Oktober 2021

Dira Sanjaya Wardana

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Hipotesis.....	6
1.7 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Motor Induksi .....	8
2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi.....	9
2.1.2 Konstruksi Motor Induksi .....	10
2.1.3 Klasifikasi Motor Induksi.....	11
2.1.3 Prinsip Dasar Pengaturan Kecepatan Motor Induksi .....	14
2.2 Multilevel Inverter .....	16
2.2.1 <i>Cascaded</i> multilevel inverter (CMI).....	17
2.2.2 Flying capasitor multilevel inverter (FCMI) .....	18
2.2.3 Diode clamped multilevel inverter (DCMI) .....	19
2.3 Total Harmonik Distorsi (THD).....	19
2.4 Prinsip Kerja <i>Cascaded Multilevel Inverter (CMI)</i> .....	21

2.5 Kontrol PID .....	22
2.6 <i>Internet of Things</i> .....	25
2.6 Mikrokontroler .....	26
2.6.1 Arduino .....	26
2.6.2 ESP8266.....	27
2.6.3 NodeMCU.....	28
2.7 Platform Thinger.io.....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1 Waktu dan Tempat penelitian.....	32
3.3 Alat dan Bahan .....	32
3.3.1 Perangkat Keras.....	31
3.3.2 Perangkat Lunak .....	33
3.4 Prosedur Penelitian .....	33
3.4.1 Studi literatur.....	33
3.4.2 Perancangan Alat dan Sistem.....	34
3.4.3 Pengujian alat .....	45
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	47
3.6 Perancangan Perangkat Keras .....	48
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>49</b>
4.1 Hasil Pembuatan Alat .....	49
4.1.1 Program Pada Mikrokontroler .....	50
4.1.2 Rangkaian <i>Power Supply</i> .....	53
4.1.3 Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	54
4.1.4 <i>Cascaded Multilevel</i> Inverter (CMI) 9 Tingkat.....	55
4.2 Hasil Pengujian.....	56
4.2.1 Pengujian <i>Switching</i> PWM pada <i>gate driver</i> .....	56
4.2.2 Pengujian <i>Cascaded Multilevel</i> Inverter 9 Tingkat.....	62
4.2.3 Pengujian Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Berbasis IOT ( <i>Internet Of Things</i> ) .....	65
4.2.4 Total Harmonik Distorsi (THD) .....	67

4.2.5	Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor Induksi.....	70
4.2.6	Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Arus Motor Induksi .....	72
4.2.6	Penentuan Parameter Sistem Kendali <i>Loop</i> Tertutup .....	75
<b>BAB VPENUTUP .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran .....	80

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Motor Induksi .....	9
Gambar 2.2 Konstruksi motor induksi .....	11
Gambar 2.3 Motor induksi rotor sangkar .....	12
Gambar 2.4 Konstruksi motor induksi rotor belitan .....	13
Gambar 2.5. Karakteristik Perubahan Frekuensi terhadap Kecepatan .....	15
Gambar 2.6. Karakteristik Perubahan Tegangan terhadap Kecepatan .....	15
Gambar 2.7. Karakteristik Perubahan Tahanan Luar terhadap Kecepatan .....	16
Gambar 2.8 <i>Cascaded</i> Multilevel Inverter (CMI) .....	17
Gambar 2.9 Flying Capacitor Multilevel Inverter .....	18
Gambar 2.10 Diode Clamped Multilevel Inverter .....	19
Gambar 2.11 Gelombang Terdistorsi.....	20
Gambar 2.12 Topologi <i>Cascaded</i> Multilevel Inverter .....	22
Gambar 2.13. Blok Diagram Pengendali PID .....	25
Gambar 2.14 Arduino Mega 2560.....	27
Gambar 2.15 Jenis-jenis ESP8266.....	29
Gambar 2.16 NodeMCU .....	30
Gambar 2.17 Fitur utama <i>platform</i> Thinger.io .....	31
Gambar 2.18 Tampilan <i>platform</i> Thinger.io .....	32
Gambar 3.1 Perancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	35
Gambar 3.2 Perancangan <i>Cascaded H-bridge multilevel inverter</i> 9 tingkat .....	36
Gambar 3.3 Rancangan Rangkaian DC <i>Power Supply</i> .....	38
Gambar 3.4 <i>Wiring</i> Arduino Mega 2560 .....	39
Gambar 3.5 <i>Board</i> NodeMCU .....	42
Gambar 3.6 Konfigurasi Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan LM393 .....	43
Gambar 3.7 <i>Wiring</i> Antara <i>Board</i> NodeMCU Dengan ArduinoMega.....	44

Gambar 3.8 <i>Interface</i> Pada <i>Platform Thinger.Io</i> .....	45
Gambar 3.9 Respon sistem yang beresilasi dengan $K_p = K_u$ .....	46
Gambar 3.10 Diagram alir penelitian.....	48
Gambar 3.11 Blok diagram perancangan perangkat keras.....	49
Gambar 4.1 Program pada Arduino IDE.....	51
Gambar 4.2 Program pada NodeMCU.....	53
Gambar 4.3 Rangkaian <i>Power Supply</i> .....	54
Gambar 4.4 Sumber DC .....	54
Gambar 4.5 Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	55
Gambar 4.6 Jalur PCB <i>Gate Driver</i> .....	55
Gambar 4.7 Rangkaian <i>Cascaded Multilevel Inverter (CMI) 9 Tingkat</i> .....	56
Gambar 4.8 Jalur PCB <i>Cascaded Multilevel Inverter (CMI) 9 Tingkat</i> .....	57
Gambar 4.9 Gelombang <i>output gate driver 1</i> .....	58
Gambar 4.10 Gelombang <i>output gate driver 2</i> .....	59
Gambar 4.11 Gelombang <i>output gate driver 3</i> .....	59
Gambar 4.12 Gelombang <i>output gate driver 4</i> .....	59
Gambar 4.13 Gelombang <i>output gate driver 5</i> .....	60
Gambar 4.14 Gelombang <i>output gate driver 6</i> .....	60
Gambar 4.15 Gelombang <i>output gate driver 7</i> .....	60
Gambar 4.16 Gelombang <i>output gate driver 8</i> .....	61
Gambar 4.17 Gelombang <i>output gate driver 9</i> .....	61
Gambar 4.18 Gelombang <i>output gate driver 10</i> .....	61
Gambar 4.19 Gelombang <i>output gate driver 11</i> .....	62
Gambar 4.20 Gelombang <i>output gate driver 12</i> .....	62
Gambar 4.21 Gelombang <i>output gate driver 13</i> .....	62
Gambar 4.22 Gelombang <i>output gate driver 14</i> .....	63
Gambar 4.23 Gelombang <i>output gate driver 15</i> .....	63
Gambar 4.24 Gelombang <i>output gate driver 16</i> .....	63
Gambar 4.25 Gelombang <i>output inverter</i> pada frekuensi 30 .....	64
Gambar 4.26 Gelombang <i>output inverter</i> pada frekuensi 40 .....	65
Gambar 4.27 Gelombang <i>output inverter</i> pada frekuensi 50 .....	65
Gambar 4.28 Gelombang <i>output inverter</i> pada frekuensi 60 .....	65

Gambar 4.29 Grafik Tegangan <i>Output</i> .....	66
Gambar 4.30 Tampilan pengendalian dan monitoring kecepatan motor induksi pada <i>platform</i> Thinger.io dengan <i>setpoint</i> 1000 RPM.....	67
Gambar 4.31 Tampilan pengendalian dan monitoring kecepatan motor induksi pada <i>platform</i> Thinger.io dengan <i>setpoint</i> 1200 RPM.....	67
Gambar 4.32 Tampilan pengendalian dan monitoring kecepatan motor induksi pada <i>platform</i> Thinger.io dengan <i>setpoint</i> 1400 RPM.....	68
Gambar 4.33 Tampilan pengendalian dan monitoring kecepatan motor induksi pada <i>platform</i> Thinger.io dengan <i>setpoint</i> 1600 RPM.....	68
Gambar 4.34 Galombang hasil simulasi <i>Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter</i> 9 Tingkat pada matlab .....	69
Gambar 4.35 Total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 30 Hz .....	70
Gambar 4.36 Total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 40 Hz .....	70
Gambar 4.37 Total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 50 Hz .....	70
Gambar 4.38 Total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 60 Hz .....	71
Gambar 4.39 Grafik hubungan antara total harmonik distorsi (THD) pada masing-masing frekuensi .....	71
Gambar 4.40 Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor .....	72
Gambar 4.41 Kecepatan Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 30 Hz.....	73
Gambar 4.42 Kecepatan Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 40 Hz.....	73
Gambar 4.43 Kecepatan Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 50 Hz.....	74
Gambar 4.44 Kecepatan Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 60 Hz.....	74
Gambar 4.45 Arus Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 30 Hz .....	75
Gambar 4.46 Arus Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 40 Hz .....	76
Gambar 4.47 Arus Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 50 Hz .....	76
Gambar 4.48 Arus Motor Induksi Pada Saat Frekuensi 60 Hz .....	76
Gambar 4.49 Respon sistem dengan nilai $K_u = 0,02$ dan $K_i = 0$ .....	77
Gambar 4.50 Respon sistem kecepatan motor pada <i>setpoint</i> 1000 RPM .....	79
Gambar 4.51 Respon sistem kecepatan motor pada <i>setpoint</i> 1200 RPM .....	80
Gambar 4.48 Respon sistem kecepatan motor pada <i>setpoint</i> 1400 RPM .....	80
Gambar 4.49 Respon sistem kecepatan motor pada <i>setpoint</i> 1600 RPM .....	81

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter .....	25
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	28
Tabel 3.1 Urutan Pensaklaran Pada Masing-masing Mosfet .....	37
Tabel 3.2 Konfigurasi Pin <i>Output</i> Arduino Untuk Proses <i>Switching</i> .....	39
Tabel 3.3 Konfigurasi Pin Arduino Mega Untuk Sensor LM39 .....	41
Tabel 3.4 Pin <i>Wiring</i> NodeMCU dan Arduino Mega.....	42
Tabel 3.5 Parameter pada metode osilasi.....	44
Tabel 4.1 konfigurasi pin Arduino pada <i>switchinh</i> mosfet .....	52
Tabel 4.2 Hubungan antara frekuensi dengan Tegangan <i>Output</i> .....	66
Tabel 4.3 Total Harmonik Distorsi Pada Setiap Frekuensi.....	69
Tabel 4.4 Data hasil kecepatan motor induksi pada masing-masing frekuensi.....	73
Tabel 4.5 Data hasil arus motor induksi pada masing-masing frekuensi .....	75
Tabel 4.6 Parameter pada metode osilasi.....	78

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Hingga saat ini motor induksi merupakan salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan baik dalam dunia industri maupun rumah tangga. Hal tersebut dikarenakan motor induksi memiliki keuntungan antara lain memiliki konstruksi yang sederhana, harga yang relatif murah serta mudah dalam hal pemeliharannya jika dibandingkan dengan motor listrik jenis lain. Penggunaan motor induksi baik rotor sangkar ataupun rotor belitan sering dibutuhkan untuk dapat beroperasi pada kecepatan yang bervariasi. Dalam pemakaian motor induksi terkadang dibutuhkan putaran yang dapat diubah-ubah sesuai dengan kondisi beban, pengaturan perpindahan putaran yang halus dan range lebar, contohnya pada Motor-motor penggerak, *exhaust fan* penyegar udara pada pabrik-pabrik, tempat kerja dan lain-lain. Karena itu maka banyak dilakukan usaha dan penelitian bagaimana cara mengatur putaran motor induksi tersebut. Salah satunya dengan cara mengubah frekuensi catu daya yang masuk ke motor untuk mengatur kecepatan motor.

Untuk mengendalikan frekuensi tegangan AC dapat dilakukan melalui perangkat elektronika daya, yaitu inverter. Prinsip kerja sederhana inverter yaitu mengubah sumber yang awalnya berupa DC menjadi AC, melalui proses *switching* pada MOSFET/IGBT. Proses *switching* pada MOSFET/IGBT ini akan menghasilkan frekuensi dengan nilai yang dapat diatur sesuai dengan proses

*switching* yang dilakukan. Multilevel Inverter adalah konverter elektronik yang diciptakan untuk menghasilkan tegangan AC dengan beberapa level atau tingkatan yang didapatkan dari *switching* tegangan DC, sebagai contoh baterai, dan sel surya. Multilevel Inverter memiliki beberapa keunggulannya diantaranya *switching loss* yang lebih rendah lebih baik, kemampuan tegangan yang lebih tinggi, dan total harmonik distorsi yang lebih rendah.

Pada pengendalian motor induksi, harmonisa yang besar dapat menyebabkan berbagai kerugian, diantaranya motor mudah panas, getaran pada motor, motor berbunyi bising, kecepatan yang tidak stabil, dan rugi-rugi yang besar yang dapat berpengaruh terhadap kerja dan berkurangnya *lifetime* motor tersebut. Gelombang yang mendekati sinus murni pada inverter didapatkan dengan menggunakan multilevel inverter dan teknik pensaklaran. Multilevel inverter adalah inverter yang memiliki keluaran bertingkat sehingga keluaran yang dihasilkan menyerupai sinus. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengatur pensaklaran dalam inverter adalah PWM (*Pulse Width Modulation*).

Kecepatan motor dapat berubah jika diberikan beban yang berubah-ubah pula. Oleh karena itu untuk menjaga kecepatan motor agar tetap konstan ketika diberikan beban yang berubah-ubah, diperlukan adanya *feedback* (umpan balik) yang akan dijadikan acuan pada sistem kontrol kecepatan motor agar dapat menjaga kecepatan motor dalam kondisi konstan. Kemudian dengan semakin meluasnya penggunaan internet terutama dengan semakin berkembangnya teknologi *Internet of Things* (IOT) memungkinkan kita untuk memanfaatkan internet dalam mengendalikan suatu sistem dari jarak jauh, salah satunya dapat

dimanfaatkan untuk mengendalikan dan memonitoring kecepatan motor induksi dari jarak jauh.

Dari latar belakang tersebut di atas muncul sebuah ide untuk merancang sebuah *cascaded multilevel inverter* satu fasa tipe *H-Bridge* yang dapat menghasilkan gelombang keluaran sembilan tingkat dengan THD yang kecil sebagai kontrol kecepatan motor induksi yang dapat dikendalikan dan dimonitoring dari jarak jauh yang berbasis mikrokontroler sebagai penghasil sinyal PWM untuk proses pensaklaran.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Merancang sebuah sistem untuk mengendalikan kecepatan motor induksi menggunakan *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* 9 tingkat dengan melakukan pengaturan frekuensi menggunakan metode *switching PWM (pulse width modulation)* berbasis *IOT (Internet of Things)* dengan sistem kendali *loop* tertutup.
- b. Mengetahui *Total Harmonic Distortion* (THD) dan kecepatan motor induksi yang dihasilkan dari rancang bangun *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* 9 tingkat berdasarkan pengaruh variasi nilai frekuensi tertentu.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

- a. Dihasilkannya *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* 9 tingkat yang mampu mengendalikan kecepatan motor induksi.
- b. Memudahkan dalam pengendalian dan monitoring kecepatan motor induksi karena dapat dilakukan secara *real time* dari jarak jauh berbasis *IOT (internet of things)*.

#### 1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana membangkitkan gelombang keluaran 9 tingkat melalui metode *switching* PWM pada *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter*?
- b. Bagaimana mengendalikan kecepatan motor induksi dengan menggunakan *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* 9 tingkat dengan melakukan perubahan frekuensi?
- c. Bagaimana mengendalikan kecepatan motor induksi dari jarak jauh menggunakan internet?

#### 1.5 Batasan Masalah

Beberapa hal yang membatasi masalah dalam pembahasan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. *Multilevel inverter* yang dibuat merupakan jenis *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* 9 tingkat.
- b. Motor Induksi yang digunakan berjenis kapasitor *start-running*
- c. Penggunaan *microcontroller* Arduino Mega 2560 sebagai pembangkit pulsa PWM.
- d. Penggunaan *Node-MCU* sebagai pengendali dan monitoring kecepatan motor induksi berbasis IOT (*Internet of Things*).

## **1.6 Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian ini adalah dapat dikendalikannya kecepatan motor induksi dari jarak jauh menggunakan jaringan internet. Adapun pengendalian kecepatan motor induksi dilakukan dengan merubah frekuensi sumber, dimana frekuensi sumber akan berbanding lurus dengan kecepatan motor induksi.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai materi tugas akhir ini, maka tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

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

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang teori – teori yang mendukung rancang bangun alat pembangkitan tegangan tinggi DC.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, garis besar metode yang diusulkan, serta diagram alir metode yang diusulkan.

**BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menjelaskan hasil penelitian, pembahasan, dan perhitungan kinerja metode yang diusulkan.

**BAB V. SIMPULAN DAN SARAN**

Memuat simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, dan saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

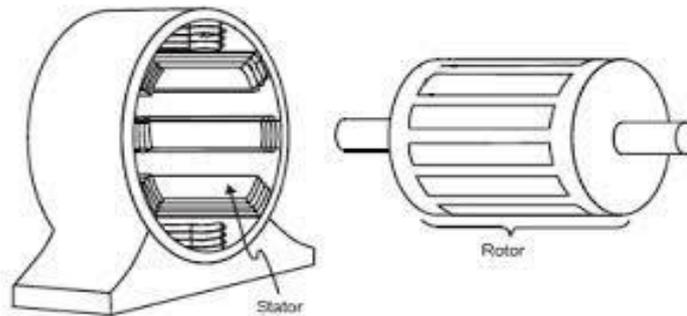
#### **2.1 Motor Induksi**

Motor induksi adalah suatu peralatan yang dapat berfungsi mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik ataupun tenaga gerak, dimana tenaga gerak tersebut berupa putaran pada poros motor. Motor AC memiliki dua macam tipe yaitu synchronous motor dan asynchronous motor. Motor induksi sendiri termasuk dalam tipe asynchronous motor atau motor tak serempak dikarenakan putaran poros motor yang tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa putaran antara rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut dengan slip.

Motor induksi merupakan salah satu motor yang paling umum digunakan pada berbagai macam peralatan industri. Popularitas motor induksi karena rancangannya yang sederhana, harga yang relatif murah dan mudah di dapat. Motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator, dimana arus rotor pada motor ini merupakan arus yang terinduksi sebagai karena adanya perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator [1].

Rotor merupakan bagian yang berputar pada motor induksi tiga fasa. Rotor terdiri dari susunan belitan jangkar yang disusun sedemikian rupa. Medan putar

stator akan memotong belitan pada kumparan rotor. Karena rotor merupakan rangkaian tertutup maka akan terdapat arus akan mengalir pada belitan rotor. Arus tersebut akan menimbulkan gaya yang dapat menggerakkan rotor searah dengan medan stator. Adapun rotor dan stator motor induksi ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Motor Induksi [2]

### 2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

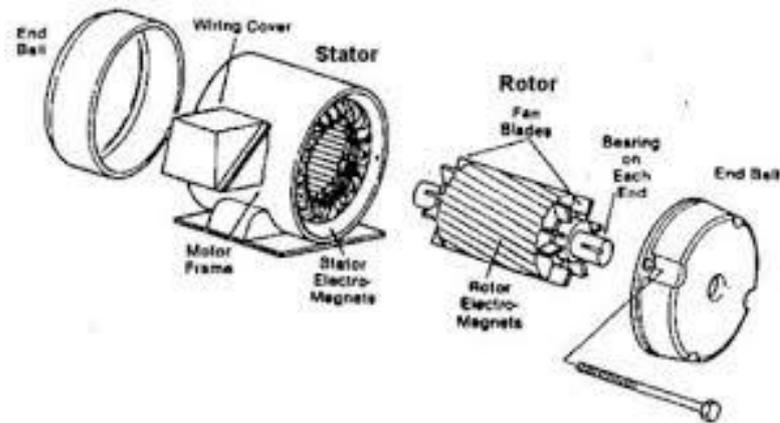
Berputarnya rotor pada motor induksi ditimbulkan karena adanya medan putar yang dihasilkan oleh kumparan statornya. Medan putar tersebut akan terjadi ketika kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan AC. Adapun prinsip kerja motor induksi adalah sebagai berikut:

1. Ketika sumber tegangan AC dihubungkan pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar stator dengan kecepatan :  $N_s = \frac{120}{p} f$  (2.1)
2. Medan putar stator yang dihasilkan akan memotong konduktor pada rotor oleh karena itu pada kumparan rotor akan timbul GGL Induksi.

3. Dikarenakan kumparan rotor adalah rangkaian tertutup, maka akan timbul arus yang mengalir ( $I$ ). Kawat penghantar tersebut dialiri arus yang berada dalam medan magnet maka akan timbul gaya ( $F$ ) pada rotor.
4. Jika kopel awal yang dihasilkan oleh gaya ( $F$ ) pada rotor cukup besar untuk dapat memikul beban, maka rotor tersebut dapat berputar searah dengan medan putar statornya.
5. Seperti yang telah dibahas pada point nomor 3 bahwa tegangan induksi akan ditimbulkan karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar statornya. Sehingga agar tegangan terinduksi diperlukan adanya suatu perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator atau synchronous speed ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor atau actual speed ( $n_r$ )
6. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut slip ( $S$ ) [2].

### **2.1.2 Konstruksi Motor Induksi**

Motor induksi adalah salah satu motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan, dikarenakan konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerjanya yang baik. Pada umumnya motor induksi terdiri atas rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang bergerak, sedangkan stator adalah bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor terdapat celah udara yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konstruksi motor induksi [1]

Gambar 2.2 menunjukkan konstruksi dari motor induksi. Stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari tumpukan laminasi inti yang memiliki alur tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Pada Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa. Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian pada tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang berbentuk silindris. Antara stator dan rotor terdapat celah udara yang sangat kecil yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara tersebut lewat fluks induksi stator memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor dapat berputar. Celah udara yang ada antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa agar didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Apabila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar dapat mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sedangkan bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran pada mesin akibat gesekan [1].

### 2.1.3 Klasifikasi Motor Induksi

Terdapat dua jenis motor induksi satu fasa berdasarkan jenis rotornya, yaitu :

1. Motor induksi sangkar tupai (*squirrel-cage motor*)
2. Motor induksi rotor belitan (*wound-rotor motor*)

Pada kedua jenis motor ini memiliki prinsip kerja yang sama dan juga konstruksi stator yang sama hanya saja berbeda pada konstruksi rotor [1].

#### 1. Motor Induksi Sangkar Tupai

Pada penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang cukup sederhana. Dimana inti stator pada jenis motor sangkar tupai terdiri dari lapisan–lapisan plat baja yang beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan–lilitan pada kumparan stator ini diletakkan dalam alur stator, berikut bentuk dari rotor sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.3.



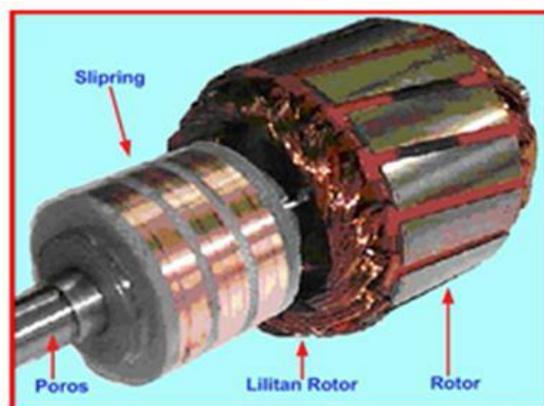
Gambar 2.3 Motor induksi rotor sangkar [1]

Bentuk batang rotor dan cincin ujung pada motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng inti rotor. Pada motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor tetapi dibenamkan ke dalam alur rotor yang kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar

tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah.

## 2. Motor Induksi Rotor Belitan

Pada motor rotor belitan (motor cincin slip) cukup berbeda dengan motor sangkar tupai pada konstruksi rotornya. Sesuai namanya, rotor dililit menggunakan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Selama proses pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan dapat menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan rotor sangkar. Adapun konstruksi Rotor belitan ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konstruksi motor induksi rotor belitan [1]

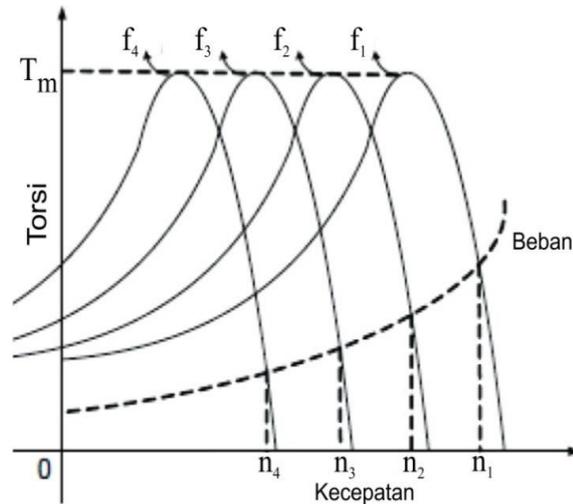
### 2.1.3 Prinsip Dasar Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara, antara lain yakni pengaturan jumlah kutub motor, pengaturan frekuensi sumber, pengaturan tegangan sumber dan pengaturan tahanan luar.

$$N_s = \frac{120}{p} f \quad (2.2)$$

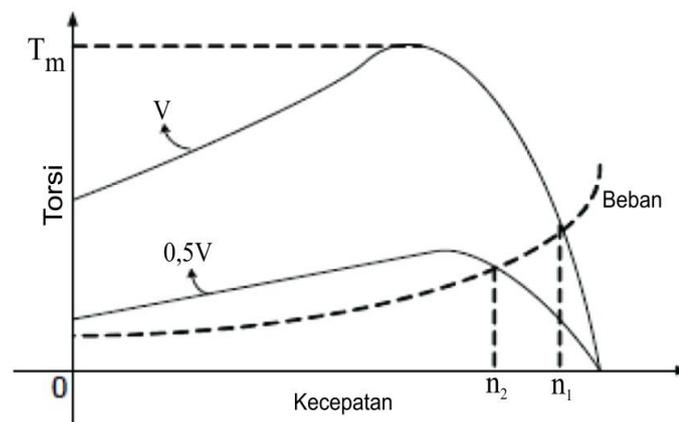
Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa kecepatan motor berbanding terbalik dengan jumlah kutub, sehingga bila semakin sedikit jumlah kutub, maka putaran motor induksi akan menjadi semakin cepat. Jumlah kutub dapat diatur dengan mendesain kumparan stator sedemikian rupa sehingga dihasilkan jumlah kutub yang diinginkan. Pada praktiknya, pengendalian kecepatan motor induksi dengan cara mengubah jumlah kutub cukup sulit dilakukan karena perlu mengubah konstruksi dari motor induksi.

Selain itu, berdasarkan persamaan 2.2 menunjukkan bahwa kecepatan motor induksi sebanding dengan frekuensi sumber, sehingga dengan semakin besarnya frekuensi, maka putaran motor induksi menjadi semakin cepat. Pengaturan frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan *inverter* dengan desain tertentu. Selain untuk mengubah listrik arus searah menjadi listrik arus bolak-balik, *inverter* dengan desain tertentu juga dapat digunakan untuk menghasilkan frekuensi yang berubah-ubah sesuai keinginan. Adapun karakteristik perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Karakteristik Perubahan Frekuensi terhadap Kecepatan [3]

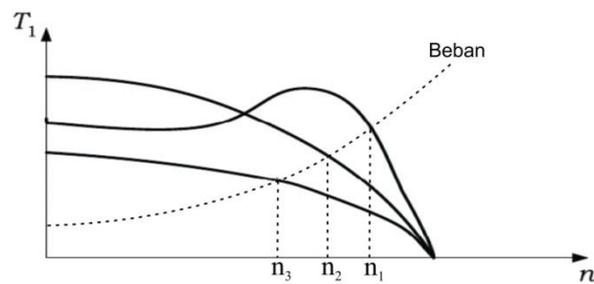
Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah tegangan sumber. Bila semakin besar tegangan sumber pada motor, maka putaran motor akan menjadi semakin cepat. Namun, pengaturan tegangan sumber menghasilkan putaran yang terbatas dikarenakan area pengaturan yang sempit [3]. Adapun karakteristik perubahan tegangan terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.6. Karakteristik Perubahan Tegangan terhadap Kecepatan [3]

Pengendalian kecepatan motor induksi juga dapat dilakukan dengan cara mengatur nilai tahanan luar motor induksi jenis rotor belitan. Pengaturan

tahanan luar dapat menghasilkan nilai torsi yang berbeda-beda. Pada pengendalian ini, motor induksi jenis rotor belitan dihubungkan dengan tahanan luar. Tahanan luar ini akan mempengaruhi putaran motor induksi, sehingga putaran motor dapat berubah-ubah [8]. Adapun karakteristik perubahan tahanan luar terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 2.7.

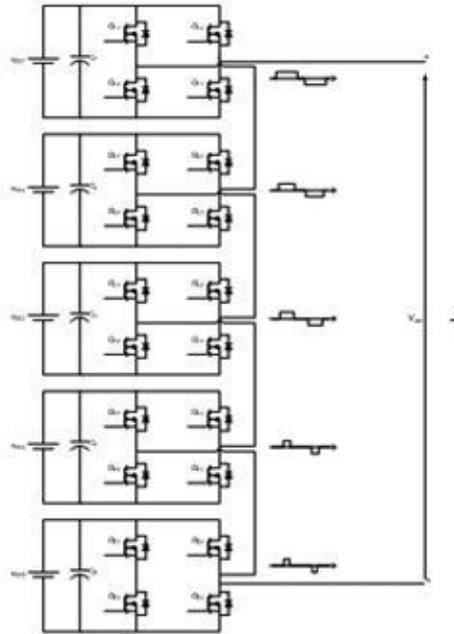


Gambar 2.7. Karakteristik Perubahan Tahanan Luar terhadap Kecepatan [3]

## 2.2 Multilevel Inverter

Multilevel inverter adalah jenis inverter yang mana gelombang keluaran tegangannya memiliki tingkatan atau level tertentu sesuai dengan jumlah sumber tegangan input DC yang digunakan. Berdasarkan topologinya multilevel inverter dapat dibagi menjadi tiga jenis yakni sebagai berikut :

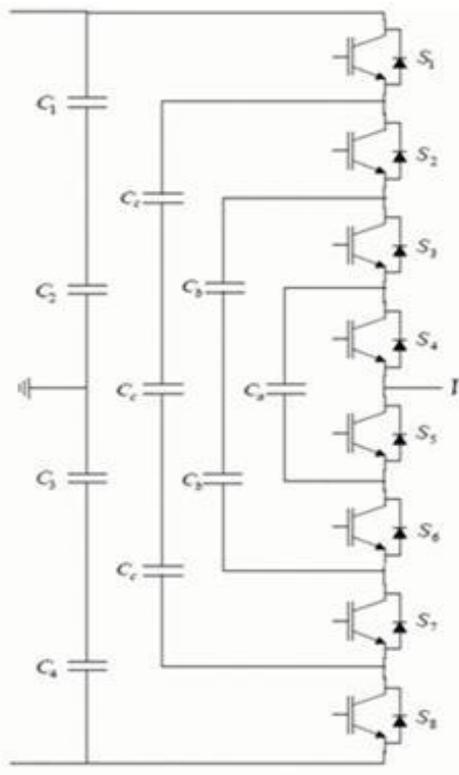
### 2.2.1 Cascaded multilevel inverter (CMI)



Gambar 2.8 Cascaded Multilevel Inverter (CMI) [4]

Pada Gambar 2.8 menunjukkan topologi dari *Cascaded Multilevel Inverter*. *Cascaded inverter* adalah jenis multilevel inverter dimana tegangan keluarannya dihasilkan dari sumber DC terpisah. Keluaran tegangan dari jenis multilevel inverter ini berbentuk gelombang kotak bertingkat, dimana pada tegangan keluaran tersebut akan semakin bertingkat seiring dengan sumber tegangan DC yang digunakan pada multilevel inverter jenis ini .

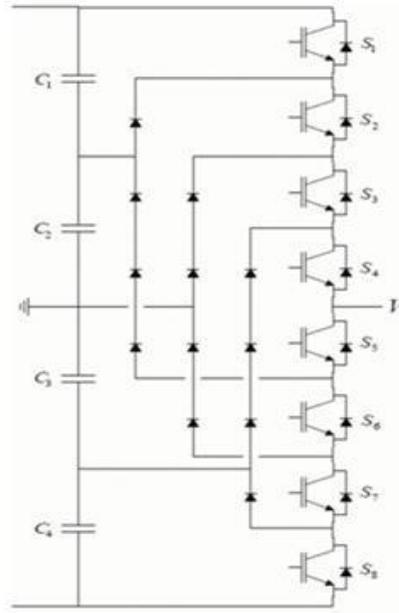
### 2.2.2 Flying capacitor multilevel inverter (FCMI)



Gambar 2.9 *Flying Capacitor Multilevel Inverter* [4]

Pada Gambar 2.9 menunjukkan topologi dari *Flying Capacitor Multilevel Inverter*. *Flying capacitor multilevel inverter* adalah jenis multilevel inverter dengan keluaran tegangan dihasilkan dari sebuah sumber tegangan DC. Keluaran gelombang kotak bertingkat dari multilevel ini dapat dihasilkan dari variasi topologi inverter yang menggunakan kapasitor sebagai penyuplai tegangan.

### 2.2.3 Diode clamped multilevel inverter (DCMI)



Gambar 2.10 *Diode Clamped Multilevel Inverter* [4]

Pada Gambar 2.10 menunjukkan topologi dari *Diode Clamped Multilevel Inverter*. *Cascaded inverter Diode clamped multilevel inverter* adalah salah satu jenis inverter dimana prinsip kerjanya hampir sama dengan *flying capacitor* multilevel inverter, tetapi *diode clamped* multilevel inverter menggunakan dioda untuk penyearah dan pembatas arus sehingga bentuk keluaran gelombang yang menyerupai gelombang sinusoidal [4].

### 2.3 Total Harmonik Distorsi (THD)

Total Harmonik Distorsi (THD) merupakan perbandingan antara besarnya nilai RMS dari seluruh komponen harmonisa dengan besarnya nilai RMS dari fundamental. THD biasanya dinyatakan dalam bentuk presentase (%THD). Nilai dari Total Harmonik Distorsi ini akan digunakan sebagai pengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa

terhadap gelombang sinusoidal murni. Pada gelombang sinusoidal sempurna besarnya nilai Total Harmonik Distorsi adalah 0%, sedangkan untuk menghitung THD tegangan yang mengalami distorsi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut[12] :

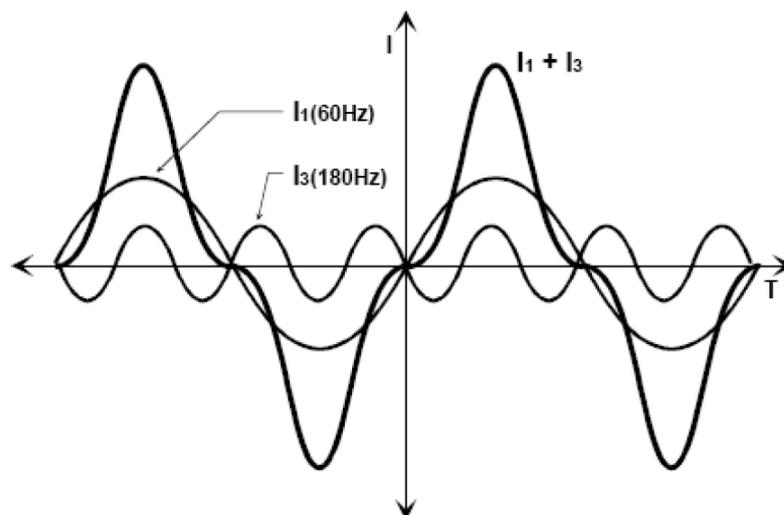
$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.3)$$

Dimana :

$V_n$  = Nilai tegangan harmonisa (V)

$V_1$  = Nilai tegangan fundamental (V)

$N$  = Komponen harmonisa maksimum yang diamati



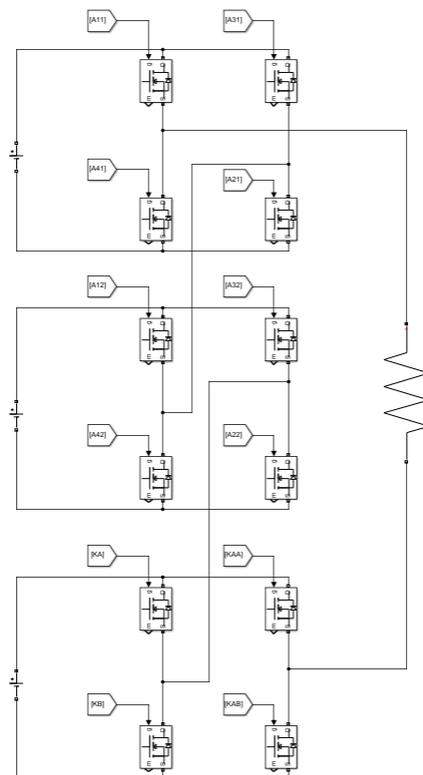
Gambar 2.11 Gelombang terdistorsi[13]

Pada gambar 2.11 menunjukkan bentuk gelombang terdistorsi. Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonisa antara lain catu daya, komputer, printer, lampu flurescent yang menggunakan elektronik ballast (lampu

hemat energi), power elektronik (Thyristor), dan dan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor atau elektronika daya sebagai rangkaian pengendali motor listrik[13].

## 2.4 Prinsip Kerja *Cascaded Multilevel Inverter (CMI)*

*Cascaded H-Bridge multilevel inverter* adalah jenis multilevel inverter dengan tegangan keluarannya dihasilkan dari sumber tegangan DC terpisah. Keluaran tegangan pada jenis multilevel inverter ini akan berbentuk gelombang kotak bertingkat, dimana tegangan keluaran tersebut akan semakin bertingkat seiring bertambahnya dengan sumber DC yang digunakan pada multilevel inverter jenis ini.



Gambar 2.12 Topologi *Cascaded Multilevel Inverter* [4]

Adapun besar tegangan keluaran pada multilevel inverter jenis ini adalah penjumlahan dari setiap tegangan keluaran inverter masing-masing tingkat ditunjukkan pada persamaan 2.4..

$$V_{out} = \sum_{i=1}^p V_{ac} \quad (2.4)$$

Dengan p adalah jumlah inverter yang tersusun secara bertingkat.

Pada multilevel inverter tipe *Cascaded H-Bridged multilevel inverter* memiliki konstruksi yang paling sederhana dan pengaturan yang yang sederhana juga. Namun memiliki output gelombang yang baik seiring dengan tingkat level yang tinggi. Pada multilevel inverter ini tidak memerlukan frekuensi switching tinggi untuk dapat menghasilkan gelombang sinusoidal.

Multilevel inverter dengan sumber DC sendiri atau terpisah menghasilkan keluaran tegangan yang sesuai dengan level tingkatan inverter tersebut. Contohnya untuk inverter dengan dua sumber DC, tegangan keluaran ( $V_o$ ) akan memiliki lima level tegangan yaitu  $+2V_{dc}$ ,  $V_{dc}$ ,  $0$ ,  $-V_{dc}$ , dan  $-2V_{dc}$  [4].

## 2.5 Kontrol PID

Kontrol PID (Proportional–Integral–Derivative) Adalah gabungan dari ketiga jenis kontroler. Ketika masing-masing dari ketiga jenis kontroler tersebut berdiri sendiri maka hasil yang dicapai kurang baik, karena masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan tersendiri. Ketika kombinasi dari tiga jenis kontroler tersebut menjadi satu kesatuan sistem, diharapkan dapat memberikan kontribusi dari kelebihan masing-masing [5].

Pengendali proporsional merupakan penguat linier yang penguatannya dapat diatur. Adapun hubungan keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan  $e(t)$  ditunjukkan pada persamaan 2.5 .

$$m(t) = Kp \cdot e(t) \quad (2.5)$$

dengan:  $Kp$  adalah Konstanta gain proporsional

$m(t)$  adalah keluaran kontrol

$e(t)$  adalah sinyal kesalahan

Pengendali proporsional integral merupakan perubahan keluaran kontrol integral  $m(t)$ , berubah dengan fungsi waktu yang mana sebanding dengan sinyal error. Adapun hubungan keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan  $e(t)$  ditunjukkan pada persamaan 2.6 :

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt \quad (2.6)$$

dengan:  $Kp$  adalah konstanta gain proporsional

$Ti$  adalah waktu integral

Pada tetapan waktu integral  $Ti$  akan mengatur aksi kontrol integral, sedangkan  $Kp$  akan memperkuat bagian proporsional maupun bagian integral dari aksi kontrol. Kebalikan dari tetapan waktu integral  $Ti$  adalah laju reset. Laju reset merupakan banyaknya pengulangan bagian proporsional dari aksi pengontrolan setiap detik. Adapun kontrol proporsional derivatif ditunjukkan pada persamaan 2.7:

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + KpTd \frac{de(t)}{dt} \quad (2.7)$$

dengan:  $Kp$  adalah konstanta gain proporsional

$Td$  adalah tetapan waktu derivatif

Pengendali derivatif atau sering disebut kontrol laju (rate control), dikarenakan besar keluaran kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal error. Tetapan waktu turunan  $Td$  merupakan selang waktu bertambah majunya

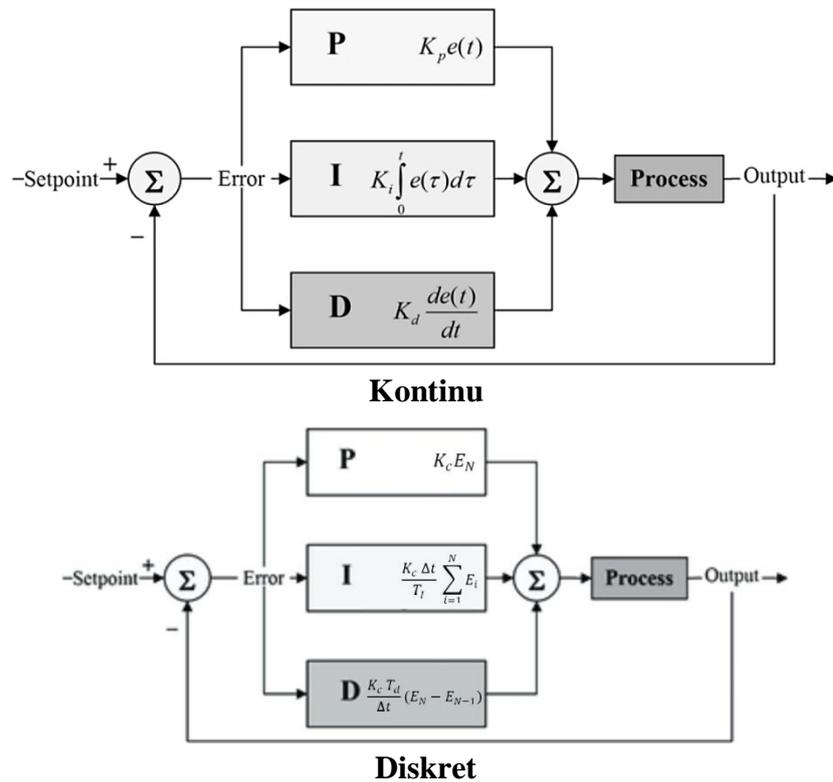
respon kontrol proporsional yang diakibatkan karena aksi laju (rate action). Kontroler PID merupakan gabungan dari pengendali proporsional, pengendali integral, dan pengendali turunan. Gabungan kontrol ini memiliki keunggulan dalam hal memperbaiki kesalahan sinyal jika dibandingkan dengan masing-masing dari tiga kontrol tersebut. Adapun persamaan kontrol PID ditunjukkan pada persamaan 2.8:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Untuk memenuhi sistem yang diinginkan maka ketiga parameter PID harus ditetapkan secara optimal. Ada beberapa metode untuk menentukan parameter tersebut diantaranya adalah metode coba-coba (cut and try method), metode Ziegler-Nichols dan metode tanggapan tangga [5]. Adapun tanggapan sistem kontrol PID ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter [6]

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	SS Error
Kp	Decrease	Increase	Small change	Decrease
Ki	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
Kd	Small change	Decrease	Decrease	Small change



Gambar 2.13. Blok Diagram Pengendali PID [7]

Pada Gambar 2.13 menunjukkan blok diagram pengendali PID dengan sistem kontinu dan diskret.

## 2.6 *Internet of Things*

*Internet of Things* atau dikenal juga dengan sebutan IoT, adalah sebuah konsep yang bertujuan memperluas manfaat konektivitas internet yang terhubung secara terus-menerus. Semakin berkembangnya infrastruktur dan penggunaan internet, maka kita menuju babak berikutnya, dimana bukan saja smartphone atau komputer yang dapat menggunakan koneksi dengan internet, melainkan berbagai macam benda nyata akan dapat terkoneksi dengan internet. Contoh dapat berupa : mesin industri, kendaraan, peralatan elektronik, peralatan yang dapat dikenakan manusia (wearables), dan juga termasuk benda nyata apa saja yang semuanya

tersambung ke jaringan lokal dan global menggunakan sensor dan atau aktuator yang tertanam [8].

## 2.6 Mikrokontroler

### 2.6.1 Arduino

Salah satu pengembangan pada *Microcontroller* adalah *Revolusi Open Source Hardware* yakni Arduino. Arduino adalah sebuah *Microcontroller* yang bersifat *open source*, dimana desain dari skematik dan PCB bersifat *open source*, sehingga dapat digunakan untuk dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan. Arduino dikembangkan dari thesis Hernando Barragan tahun 2004, yang merupakan seorang mahasiswa asal kolombia. Arduino diawali di ruang kelas *Interactive Design Institute* di Ivrea, pada tahun 2005 di italia. Arduino ditemukan oleh Massimo Banzi dan David Cuartielles dengan tujuan awal yaitu membantu para siswa membuat perangkat desain dan interaksi dengan harga yang murah dan terjangkau. Kata Arduino sendiri berasal dari bahasa italia, yang artinya teman yang berani. Untuk Board Arduino menggunakan Chip / IC *Microcontroller* Atmel AVR. Pada penelitian ini dipakai *microcontoller* Arduino jenis Arduino Mega 2560 yang ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Arduino Mega 2560[9]

Adapun spesifikasi Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560[9]

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input (Rekomendasi)	7-12 V
Tegangan Input (Limit)	6-20 V
Pin Digital I/O	54 (15 pin PWM)
Arus DC tiap Pin I/O	20 mA
Arus DC Pin 3,3v	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16
LED_BUILTIN	13
Panjang	101,2 mm
Lebar	53,3 mm
Berat	37 g

### 2.6.2 ESP8266

ESP 8266 merupakan sebuah chip yang lengkap dimana didalamnya sudah terdapat processor, memori dan juga akses ke pin GPIO. Hal ini menyebabkan ESP8266 dapat secara langsung menggantikan Arduino dan ditambah lagi dengan kemampuannya untuk mensupport koneksi wifi secara langsung. IoT (*Internet Of Things*) semakin berkembang seiring dengan perkembangan mikrokontroler, module yang berbasis *Ethernet* maupun *wifi* semakin banyak dan beragam dimulai dari *Wiznet*, *Ethernet shield* hingga yang terbaru adalah *Wifi* module yang dikenal dengan ESP8266. Ada beberapa jenis ESP8266 yang dapat ditemui

dipasaran, namun yang paling mudah didapatkan di Indonesia adalah type ESP-01,07,dan 12 dengan fungsi yang sama perbedaannya terletak pada GPIO pin yang disediakan. Berikut beberapa tipe ESP8266 ditunjukkan pada gambar 2.15 [8].



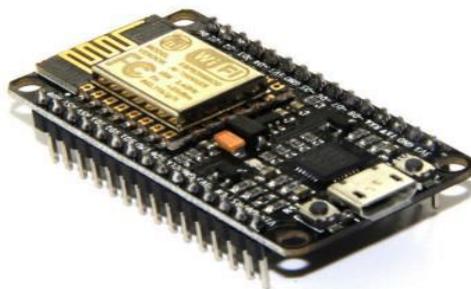
Gambar 2.15 Jenis-jenis ESP8266 [8]

Tegangan kerja ESP-8266 sebesar 3.3V, sehingga dalam penggunaan mikrokontroler tambahannya dapat menggunakan board arduino yang memiliki suplai teggangan sumber 3.3V, namun akan lebih baik jika membuat secara terpisah level shifter untuk komunikasi dan sumber tegangan untuk wifi module ini. Karena *wifi* module ini dilengkapi dengan Mikrokontroler dan GPIO sehingga banyak orang yang mengembangkan firmware untuk dapat menggunakan module ini tanpa perangkat mikrokontroler tambahan. *Firmware* yang digunakan agar wifi module ini dapat bekerja *standalone* [8].

### 2.6.3 NodeMCU

NodeMCU merupakan sebuah *platform* IoT yang bersifat *open source*. Yang terdiri dari perangkat keras berupa *System On Chip* (SoC) ESP8266-12 buatan Espressif System, juga firmware yang digunakan yang menggunakan

bahasa pemrograman scripting Lua. Istilah NodeMCU sebenarnya mengacu pada *firmware* yang digunakan daripada perangkat keras *development kit*. NodeMCU bisa dianalogikan sebagai *board* Arduino-nya ESP8266. NodeMCU telah menggabungkan ESP8266 ke dalam sebuah *board* yang kompak dengan berbagai fungsi layaknya mikrokontroler ditambah juga dengan kemampuan akses terhadap Wifi juga chip komunikasi USB to Serial sehingga untuk memprogramnya hanya diperlukan ekstensi kabel data mikro USB. Secara umum ada tiga produsen NodeMCU yang produknya kini beredar di pasaran: Amica, DOIT, dan Lolin/WeMos. Berikut merupakan bentuk dari NodeMCU yang ditunjukkan pada gambar 2.16.

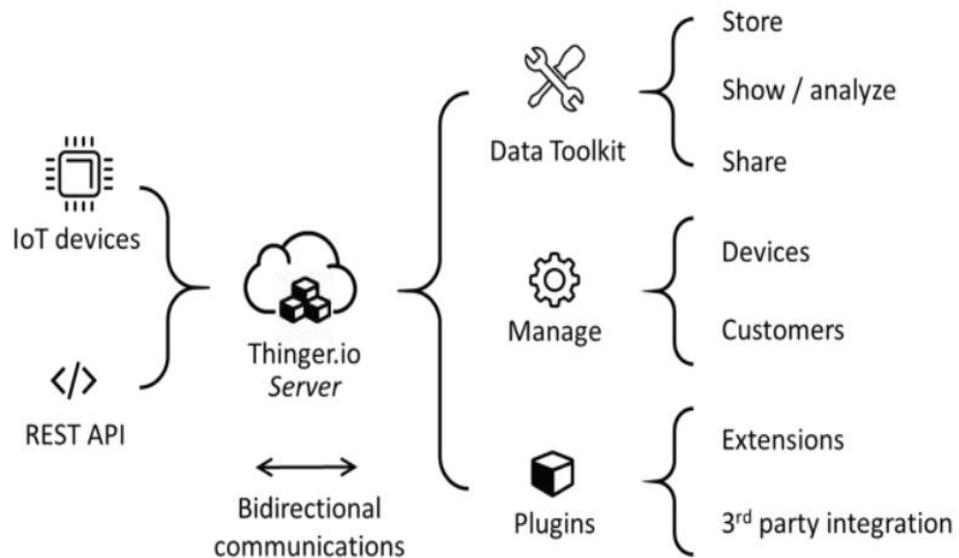


Gambar 2.16 NodeMCU [10]

## 2.7 Platform Thinger.io

Thinger.io adalah Platform IoT cloud yang menyediakan setiap alat yang diperlukan untuk membuat prototipe, skala, dan mengelola produk yang terhubung dengan cara yang sangat sederhana [4]. Tujuan penelitian ini adalah untuk imlemantasikan penggunaan IoT sehingga dapat diakses oleh seluruh dunia, dan menyederhanakan pengembangan proyek IoT. Fitur Utama Thinger.io antara lain sebagai berikut:

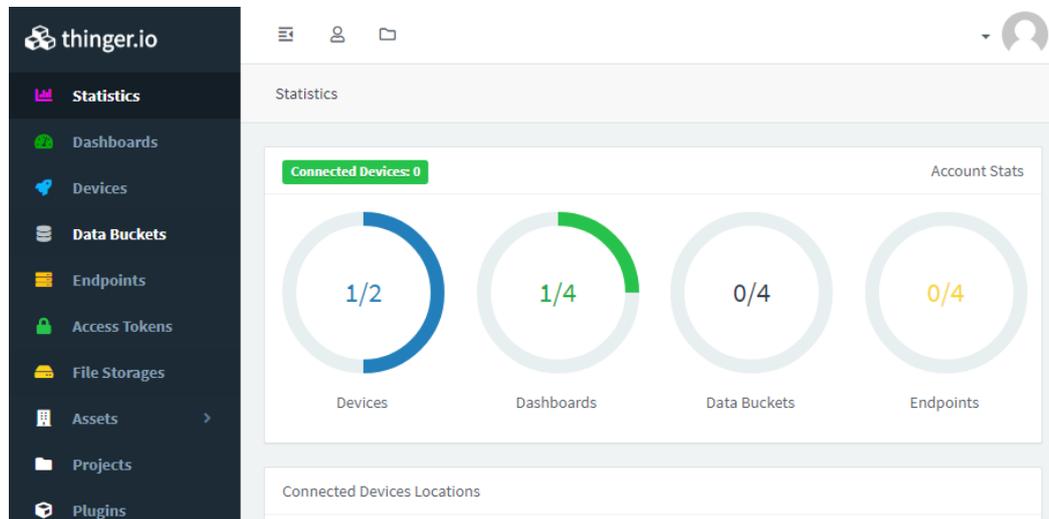
- a) Platform Thinger.io dibentuk oleh dua produk utama yaitu Backend (yang merupakan server IoT aktual) dan Frontend berbasis web yang menyederhanakan bekerja dengan semua fitur menggunakan komputer atau smartphone apapun. Gambar 2.17 menunjukkan fitur utama yang disediakan oleh platform ini untuk membuat proyek IoT.



Gambar 2.17 Fitur utama *platform* Thinger.io[11]

- b) Connect devices sepenuhnya kompatibel dengan semua jenis perangkat, tidak masalah prosesor, jaringan atau pabrikan. Thinger.io memungkinkan untuk membuat komunikasi dua arah dengan Linux, Arduino, Raspberry Pi, atau perangkat MQTT dan bahkan dengan teknologi canggih seperti Sigfox atau LoRaWAN atau sumber data API internet lainnya.
- c) Store Device Data menyimpan data perangkat: Hanya beberapa klik untuk membuat Data Bucket, menyimpan data IoT dengan cara yang scalable, efisien, dan terjangkau, yang juga memungkinkan agregasi data waktu-nyata.
- d) Display Real-time or Stored Data tampilkan data real-time atau disimpan dalam beberapa widget seperti deret waktu, bagan donat, pengukur, atau

bahkan representasi yang dibuat khusus untuk membuat dashbor luar biasa dalam hitungan menit. Adapun tampilan pada Thinger.io ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Tampilan *platform* Thinger.io

- e) Trigger events and data values memicu peristiwa dan nilai data menggunakan mesin aturan Node-RED yang tertanam.
- f) Extend with custom features perluas dengan fitur khusus dengan beberapa plugin untuk mengintegrasikan proyek IoT ke dalam perangkat lunak perusahaan Anda atau layanan Internet pihak ketiga lainnya.
- g) Custom the appearance ubah sesuaikan penampilan berkat tampilan depan yang sepenuhnya dapat diubah namanya, yang memungkinkan pengenalan warna merek, logo, dan domain web sesuai kebutuhan. Setiap perangkat dapat dikelola melalui "Dasbor Perangkat". Antarmuka ini menunjukkan koneksi data dan juga memungkinkan memeriksa "API perangkat" dengan representasi data perangkat mentah.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat penelitian**

Pada penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan mulai pada bulan Januari 2021 hingga Mei 2021 yang berlokasi di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) sebagai berikut:

##### **3.3.1 Perangkat keras**

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

1. Motor Kapasitor Tipe 73134 Class 0.1
2. Rangkaian catu daya (*power supply*)
3. Rangkaian *Cascaded multilevel inverter* (CMI) 9 tingkat satu fasa
4. Rangkaian *gate driver* mosfet
5. *Microcontroller* Arduino Mega 2560 dan NodeMCU ESP8266

6. Sensor Kecepatan LM393
7. Laptop/PC
8. Osiloskop digital
9. Multimeter digital

### **3.3.2 Perangkat lunak**

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

1. Proteus 8
2. Microsoft Office 2016
3. Arduino Ide
4. Matlab 2016

## **3.4 Prosedur Penelitian**

Adapun prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

### **3.4.1 Studi literatur**

Pada tahap studi literatur ini akan dilakukan pengumpulan referensi yang akan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan perancangan alat. Dari referensi referensi tersebut akan dipelajari komponen, metode, rangkaian, dan hal hal lainnya yang berhubungan dengan perancangan alat. Tahap ini juga bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan karakteristik dan prinsip kerja dari komponen komponen maupun program yang akan digunakan dalam merancang alat. Beberapa referensi yang dikumpulkan antara lain:

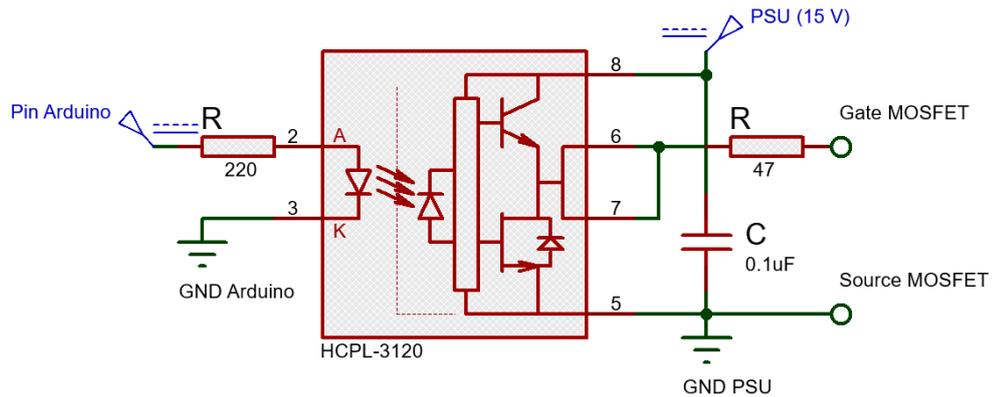
- a. Prinsip kerja motor induksi kapasitor
- b. Prinsip kerja *Cascaded multilevel inverter* 9 tingkat
- c. Pengaturan kecepatan motor kapasitor satu fasa.
- d. Prancangan sistem kendali IOT (*Internet of Things*).
- e. Pemrograman Arduino Mega 2560 dan NodeMCU.
- f. Rangkaian dan karakteristik komponen yang akan digunakan (*Data sheet*).

### **3.4.2 Perancangan Alat dan Sistem**

Dalam tahap perancangan alat ini terdiri dari beberapa tahap yang akan dilakukan antara lain:

#### **3.4.2.1 Perancangan Rangkaian *Gate Driver***

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian *gate driver*. Rangkaian *gate driver* dibutuhkan untuk melakukan pensaklaran pada mosfet dikarenakan tegangan keluaran Arduino hanya sebesar 5 Volt, sedangkan dalam proses pensaklaran mosfet dibutuhkan tegangan sebesar antara 12 hingga 20 Volt. Rangkaian *gate driver* yang dibuat pada penelitian ini akan menghasilkan tegangan *output* sebesar 15 Volt sehingga dapat digunakan pada proses pensaklaran mosfet. Adapun komponen penyusun dari rangkaian *gate driver* ini antara lain yaitu, IC *Optocoupler* HCPL 3120, resistor 47 ohm, resistor 220 ohm, serta kapasitor Mylar 0,1  $\mu$ F. Berikut merupakan rancangan rangkaian *gate driver* ditunjukkan pada gambar 3.1.

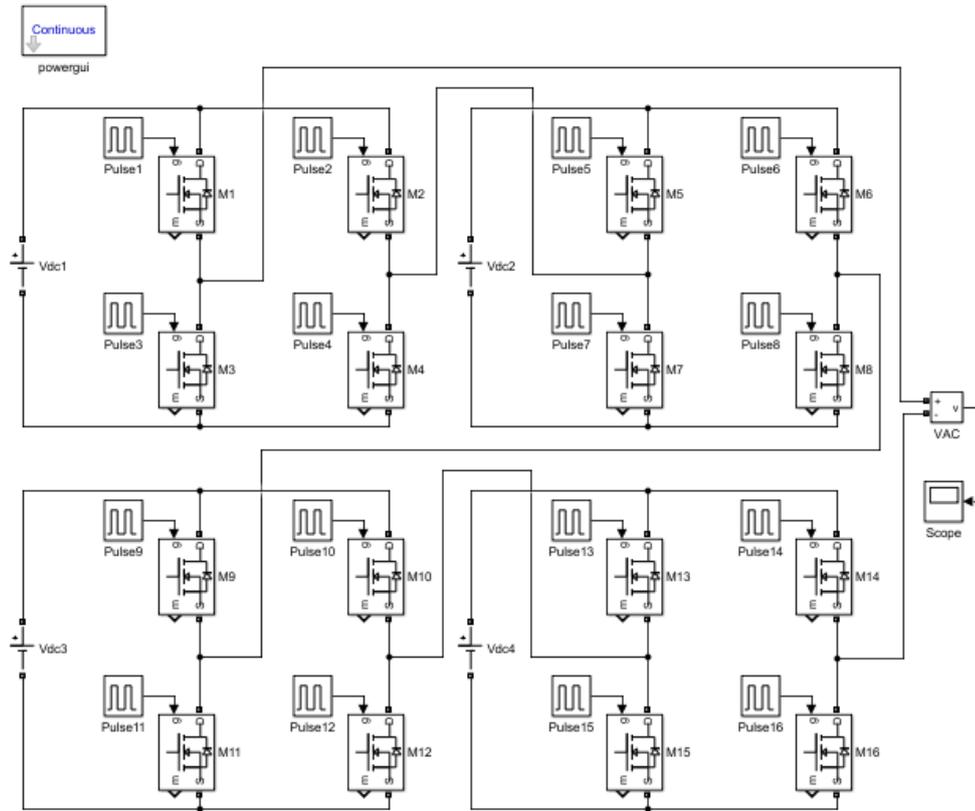


Gambar 3.1 Perancangan Rangkaian *Gate Driver*

Gambar 3.1 menunjukkan rancangan rangkaian *gate driver* yang akan dibuat. Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian *gate driver* sebanyak 16 buah, dikarenakan terdapat 16 buah mosfet yang akan dilakukan proses pensaklaran.

#### 3.4.2.2 Perancangan Rangkaian *Cascaded H-bridge multilevel inverter*

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian inverter dengan jenis *Cascaded H-bridge multilevel inverter* 9 tingkat. Pada rangkaian inverter tersebut dibutuhkan beberapa komponen penyusun antara lain yaitu, mosfet IRP460 sebanyak 16 buah dan sumber DC 12 Volt sebanyak 4 buah.



Gambar 3.2 Perancangan Rangkaian *Cascaded H-bridge multilevel inverter* 9 tingkat

Gambar 3.2 menunjukkan rangkaian *Cascaded H-bridge multilevel inverter* 9 tingkat yang akan dibuat. Adapun urutan pensaklaran pada masing-masing mosfet ditunjukkan pada tabel 3.1.

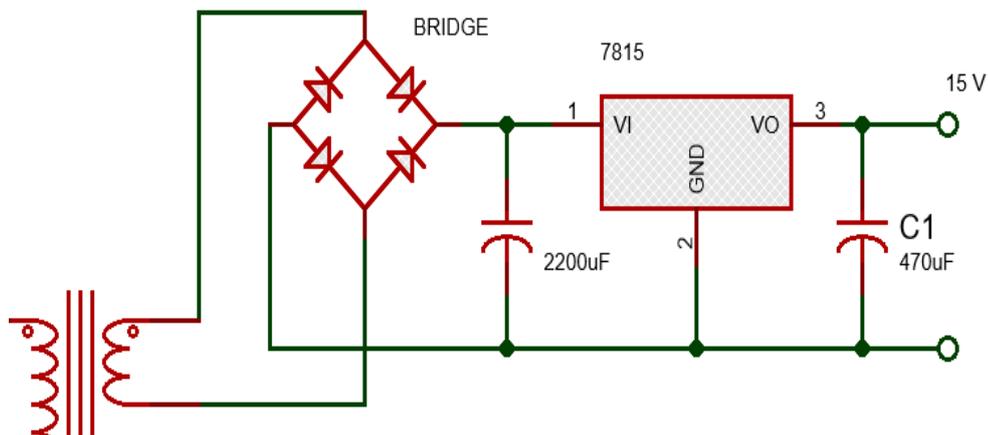
Tabel 3.1 Urutan Pensaklaran Pada Masing-masing Mosfet

$V_{AC}$	Kondisi MOSFET															
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$M_8$	$M_9$	$M_{10}$	$M_{11}$	$M_{12}$	$M_{13}$	$M_{14}$	$M_{15}$	$M_{16}$
0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
$+V_{DC}$	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
$+2V_{DC}$	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
$+3V_{DC}$	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
$+4V_{DC}$	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
$+3V_{DC}$	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
$+2V_{DC}$	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
$+V_{DC}$	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
$-V_{DC}$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
$-2V_{DC}$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
$-3V_{DC}$	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$-4V_{DC}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$-3V_{DC}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0
$-2V_{DC}$	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
$-V_{DC}$	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0

### 3.4.2.3 Perancangan Rangkaian DC Power Supply

Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian DC *power supply* sebanyak 16 buah dengan output tegangan 15 Volt yang dibutuhkan untuk mensuplai rangkaian *gate driver*.

Adapun komponen penyusun pada rangkaian DC *power supply* antara lain yaitu, transformator CT 220/18 Volt 1 Ampere, dioda *bridge*, IC Regulator LM1815, kapasitor 2200  $\mu\text{F}$ , dan kapasitor 470  $\mu\text{F}$ . Rancangan rangkaian DC *power supply* yang akan dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Rancangan Rangkaian DC *Power Supply*

### 3.4.2.4 Perancangan Wiring Arduino Mega 2560

Pada penelitian ini digunakan sebuah *board* mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang dibutuhkan pada proses pensaklaran mosfet, pembacaan sensor, serta pengendalian dan monitoring. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 memiliki pin *output* cukup banyak sehingga merupakan pilihan yang tepat untuk dapat diaplikasikan pada penelitian ini.



Gambar 3.4 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 terhubung dengan sensor kecepatan LM393 pada pin 2, pin 5 Volt dan pin GND. Selain itu Arduino Mega 2560 juga terhubung dengan *board* NodeMCU yang terkoneksi melalui pin 10 dan pin 11 yang akan digunakan sebagai komunikasi serial. Sedangkan untuk melakukan proses *switching* akan digunakan 16 pin digital pada Arduino Mega 2560 dengan konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin *Output* Arduino Untuk Proses *Switching*

Pin Arduino Mega	Saklar
Pin 22	MOSFET 1
Pin 24	MOSFET 2
Pin 26	MOSFET 3
Pin 28	MOSFET 4
Pin 30	MOSFET 5
Pin 32	MOSFET 6

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin *Output* Arduino Untuk Proses *Switching* (Lanjutan)

Pin 34	MOSFET 7
Pin 36	MOSFET 8
Pin 38	MOSFET 9
Pin 40	MOSFET 10
Pin 42	MOSFET 11
Pin 44	MOSFET 12
Pin 46	MOSFET 13
Pin 48	MOSFET 14
Pin 50	MOSFET 15
Pin 52	MOSFET 16

#### 3.4.2.5 Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan

Pada penelitian ini digunakan sebuah sensor kecepatan untuk membaca kecepatan dari motor induksi. Sensor kecepatan yang digunakan adalah sensor LM393 yang akan terhubung dengan pin 2 Arduino (pin *interrupt*). Sensor LM393 akan mengirimkan pulsa *on* atau *off* yang kemudian akan terbaca pada pin 2 Arduino. Pulsa hasil pembacaan sensor tersebut akan dikonversikan menjadi nilai kecepatan sesuai dengan persamaan 3.1 berikut :

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

di mana:

$n$  = kecepatan (rpm)

$P$  = jumlah pulsa yang dihasilkan sensor

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

$t$  = waktu sampling (detik)

Untuk konfigurasi pin Arduino Mega 2560 yang digunakan untuk sensor kecepatan LM393 ditunjukkan lebih detail pada tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Konfigurasi Pin Arduino Mega Untuk Sensor LM393

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

#### 3.4.2.6 Perancangan *Wiring* NodeMCU

Pada penelitian ini digunakan *board* NodeMCU ESP8266 yang akan digunakan pada proses pengendalian dan monitoring dari jarak jauh menggunakan internet (*internet of things*). *Board* NodeMCU akan saling berkomunikasi dengan Arduino Mega menggunakan komunikasi serial untuk mengirimkan perintah maupun menerima data dan juga digunakan untuk membaca sensor arus. *Board* NodeMCU ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Board* NodeMCU

Untuk konfigurasi pin *wiring* yang digunakan pada Arduino Mega dan NodeMCU ditunjukkan pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Pin *Wiring* NodeMCU dan Arduino Mega

Pin NodeMCU	Pin Arduino Mega
D1	10
D2	11
GND	GND
A0	Sensor Arus

### 3.4.2.7 Perancangan Pengendalian Dan Monitoring Berbasis IOT (*Internet Of Things*)

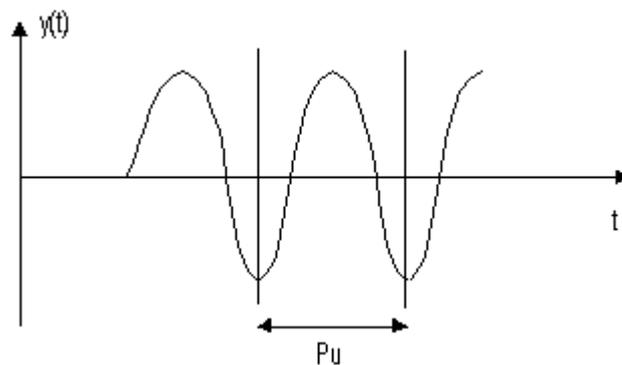
Proses pengendalian dan monitoring pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan akses internet sehingga proses pengendalian dan monitoring dapat dilakukan dari mana saja selama dapat terkoneksi dengan internet. Pada penelitian ini memanfaatkan sebuah *platform* IOT yaitu Thinger.io yang digunakan untuk mengakses data monitoring serta untuk proses mengirimkan perintah pengendalian. *Platform* Thinger.io dapat diakses dari berbagai perangkat yang menyediakan *browser* untuk mengakses *website* Thinger.io. Thinger.io akan terkoneksi dengan *board* NodeMCU melalui jaringan internet sehingga proses pengendalian dan monitoring dapat dilakukan secara *realtime*. Berikut merupakan *interface* pada *platform* Thinger.io ditunjukkan pada gambar 3.6.

Gambar 3.6 *Interface* Pada *Platform* Thinger.Io

### 3.4.2.8 Perancangan Penentuan Parameter Sistem Kendali *Loop* Tertutup

Dalam penelitian ini digunakan sistem kendali PI *controller* untuk menjaga kestabilan sistem agar tetap berada dalam *setpoint* yang ditentukan. Metode yang digunakan adalah metode 2 Zigler-Nichols atau sering disebut dengan metode osilasi. Adapun langkah-langkah dalam menentukan parameter kendali PI *controller* dengan menggunakan metode 2 Zigler-Nichols adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai  $K_i = 0$  dan menentukan nilai  $K_p = K_u$  agar respon sistem berosilasi dengan periode yang tetap seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7. Setelah diperoleh respon sistem yang berosilasi dengan periode yang tetap, maka akan didapatkan nilai  $K_u$  dan periode osilasi  $P_u$ .



Gambar 3.7 Respon sistem yang berosilasi dengan  $K_p = K_u$

2. Menentukan nilai  $K_p$  dan  $T_i$  sesuai dengan ketentuan metode osilasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5 Parameter pada metode osilasi

	<b><math>K_p</math></b>	<b><math>T_i</math></b>
<b>PI</b>	0,45 $K_u$	$\frac{1}{1,2} P_u$

3. Menentukan parameter PI *controller* dengan persamaan 3.2, 3.3 dan 3.4 berikut :

$$Kp = 0,45 \times Ku$$

(3.2)

$$Ti = \frac{1}{1,2} \times Pu$$

(3.3)

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}$$

(3.4)

#### 3.4.2.9 Motor Induksi



Gambar 3.8 Motor Induksi Kapasitor *Running*

Pada penelitian ini motor yang digunakan adalah motor induksi jenis kapasitor tetap/*running* dengan kapasitor sebesar 5uF seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8. Adapun *rating* dari motor induksi tersebut adalah sebagai berikut :

Spesifikasi motor induksi :

1. Tipe perangkat : Motor induksi kapasitor *running*
2. Rating tegangan : 110 – 220 Volt

3. Rating daya : 90 Watt
4. Rating arus : 0.6 Ampere
5. Cos Phi : 0,87
6. Rating frekuensi : 50-60 Hz
7. Rating kecepatan : 1600 RPM
8. Kapasitor : 5 uF

Adapun kapasitor yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Rating Kapasitor Motor Induksi

### 3.4.3 Pengujian alat

Dalam tahap pengujian ini akan dilakukan untuk melihat keberhasilan alat sesuai dengan prinsip kerjanya dan referensi yang digunakan. Selain itu, saat pengujian berlangsung akan dilakukan pengambilan data data yang akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa hasil pengujian. Tahap pengujian ini terdiri dari beberapa proses antara lain:

#### **3.4.3.1 Pengujian modul *gate driver***

*Gate driver* merupakan penghubung antara mikrokontroler dan rangkaian daya. Dengan rangkaian ini maka amplitudo sinyal kontrol dari mikrokontroler akan dikuatkan sehingga dapat mengendalikan komponen *switching* yaitu mosfet. Pengujian modul *gate driver* ini akan dilakukan dengan melihat gelombang keluaran dari hasil pemrograman mikrokontroler arduino Mega 2560.

#### **3.4.3.2 Pengujian *Cascaded H-Bridged multilevel inverter***

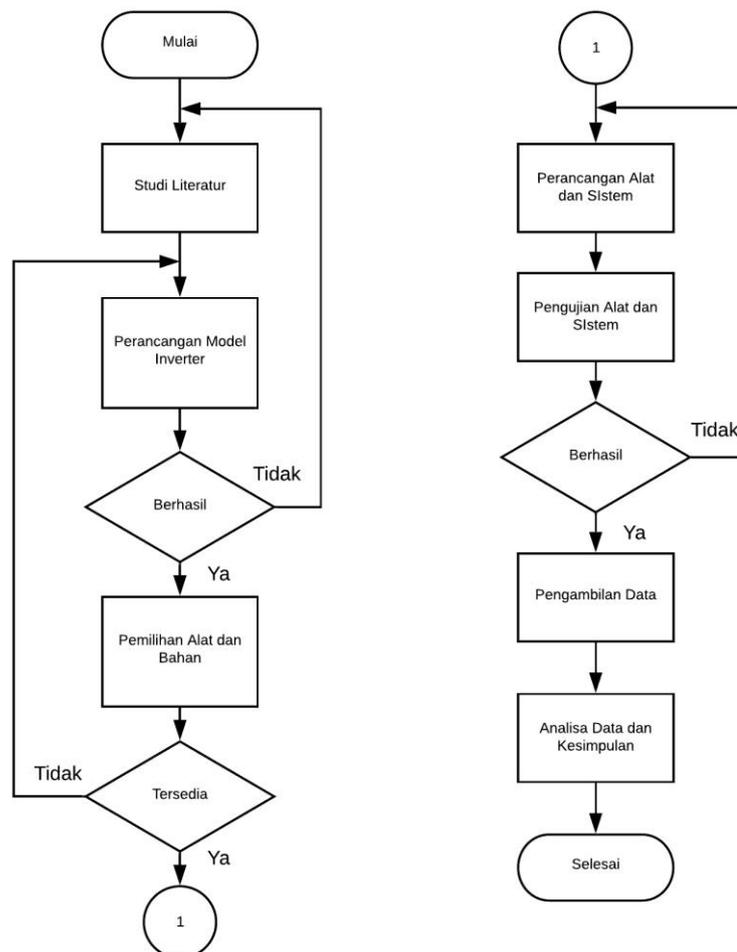
Pengujian ini dilakukan dengan melihat pengaruh perubahan frekuensi yang diakibatkan oleh proses *switching* mosfet. Proses *switching* mosfet akan menghasilkan aliran arus searah yang direkayasa sehingga menjadi arus bolak – balik dengan frekuensi tertentu.

#### **3.4.3.3 Pengujian keseluruhan**

Pengujian ini merupakan pengujian tahap akhir dimana pengujian dilakukan secara menyeluruh. Pengujian ini dilakukan dengan melihat interaksi yang terjadi antara perubahan frekuensi yang dihasilkan inverter dengan aksi pada motor yaitu berupa kecepatan yang dihasilkan.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

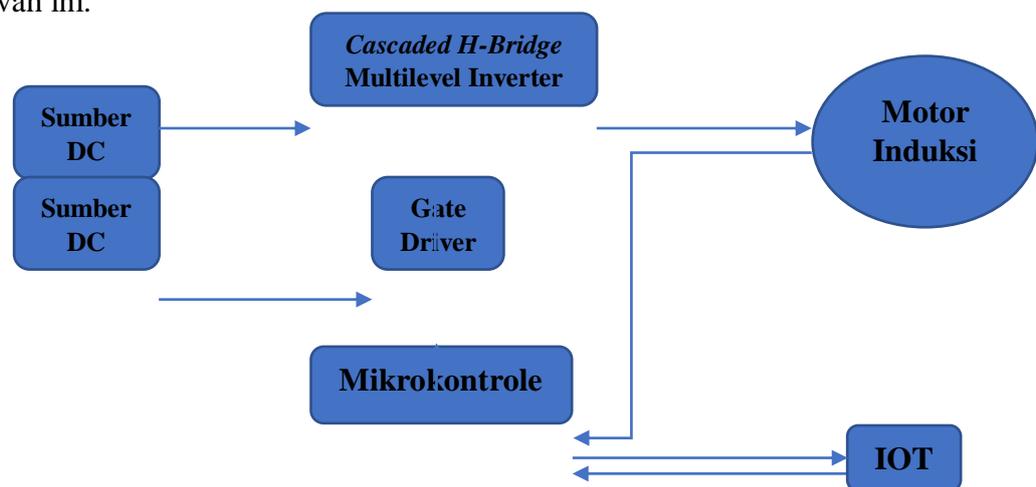
Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.10. Tahap pertama pada penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur yang kemudian dilanjutkan dengan perancangan model inverter. Setelah berhasil dibuat perancangan model inverter kemudian dilakukan pemilihan alat dan bahan dan dilanjutkan pada tahap perancangan alat dan sistem. Tahap selanjutnya adalah proses pengujian alat yang telah dibuat kemudian dilakukan proses pengambilan data.



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

### 3.6 Perancangan Perangkat Keras

Sinyal PWM yang dihasilkan Arduino akan memberikan trigger pada rangkaian *gate driver* sebagai *input* untuk proses *Switching* MOSFET pada rangkaian *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* sehingga dihasilkan tegangan AC yang dapat diatur frekuensinya sesuai dengan masukan sinyal PWM dari arduino. Kecepatan motor induksi akan dibaca oleh sensor kecepatan yang kemudian dijadikan sebagai acuan *Feedback* bagi mikrokontroler sehingga kecepatan motor induksi tersebut dapat konstan. Adapun blok diagram perancangan perangkat keras pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 Blok diagram perancangan perangkat keras

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, perubahan nilai frekuensi pada proses *switching* inverter berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi, dimana hubungan antara frekuensi dengan kecepatan motor induksi yang dihasilkan adalah berbanding lurus. Dengan nilai frekuensi 30 Hz menghasilkan kecepatan motor sebesar 778 RPM. Kemudian saat frekuensi dinaikkan menjadi 40 Hz kecepatan motor menjadi 1082 RPM. Pada saat frekuensi 50 Hz kecepatan motor menjadi 1381 RPM dan pada saat frekuensi 60 Hz dihasilkan kecepatan motor sebesar 1678 RPM.
2. Berdasarkan hasil simulasi pada *software* Matlab yang telah dilakukan, diperoleh besarnya total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 30 Hz adalah sebesar 9,28%. Pada saat frekuensi 40 Hz diperoleh THD sebesar 9,59%. Pada frekuensi 50 Hz diperoleh THD sebesar 9,80%, dan pada frekuensi 60 Hz diperoleh THD sebesar 9,95%. Dari data yang diperoleh terlihat bahwa untuk total harmonik distorsi (THD) yang dihasilkan oleh

*Cascaded multilevel inverter* 9 tingkat yaitu berkisar 9% pada masing-masing frekuensi.

3. Sistem *monitoring* dan pengendalian motor induksi berhasil dilakukan secara *real time* yang berbasis IOT (*Internet Of Things*) sehingga proses pengendalian dan *monitoring* dapat dilakukan dari mana saja selama dapat terkoneksi dengan jaringan internet. Dengan *setpoint* yang telah ditentukan yaitu 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM dan 1600 RPM.

## 5.2 Saran

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

1. Diperlukan penambahan filter pada *output* inverter untuk memperkecil harmonisa yang dihasilkan
2. Diperlukan transformator dengan efisiensi yang tinggi untuk meminimalisasi rugi-rugi daya pada transformator sehingga daya yang disalurkan dapat maksimal.
3. Diperlukan pengembangan pada *coding* mikrokontroler agar lebih praktis dan efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Saputra, “RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MELALUI PENGATURAN FREKUENSI MENGGUNAKAN MULTIVIBRATOR ASTABLE,” pp. 1–38, 2014.
- [2] N. Evalina and A. A. Zulfikar, “Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller,” *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [3] D. Suhendra, “Perancangan alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontrol pid,” 2014.
- [4] G. Mohapatra, “Multilevel Inverter; A Review,” *ICPCSI, At CHENNAI*, no. January, pp. 2–9, 2018.
- [5] S. Ferdiansah D. S., Gigih Prabowo, “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 $\phi$  dengan Kontrol PID melalui Metode Field Oriented Control (FOC) (Rectifier, Inverter, Sensor arus dan Sensor tegangan,” *Politenik Elektron. Negeri Surabaya - ITS*, pp. 1–5, 2012.
- [6] F. D. G. & Co., “PID Controller,” no. Mv, pp. 1–25, 2000.
- [7] F. T. Ui, “PERANCANGAN PENGENDALIAN PIS PADA PROPORTIONAL VALVE,” 2010.
- [8] H. Shull, “SISTEM PENGAMANAN PINTU RUMAH BERBASIS Internet Of Things (IoT) Dengan ESP8266,” *Science (80-. )*, vol. 195, no. 4279, p. 639, 1977, doi: 10.1126/science.195.4279.639.

- [9] Junaidi and Y. D. Prabowo, *Project Sistem Kendali Elektronik Berbasis Arduino*. 2018.
- [10] A. Satriadi and Y. Christiyono, "PERANCANGAN HOME AUTOMATION BERBASIS NodeMCU," vol. 8, no. 1, pp. 64–71, 2019.
- [11] A. Rianto and R. Kristiyono, "APLIKASI SENSOR HC-SR04 UNTUK MENGUKUR JARAK KETINGGIAN AIR DENGAN MIKROKONTROL WEMOS D1 R2 BERBASIS IoT ( Internet of Things )," pp. 6–11, 2020.
- [12] E. Dermawan and R. L. Rahman, "Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa terhadap Deviasi Pengukuran Energi Listrik pada kWh Meter," *J. Elektrum*, vol. 15, no. 2, pp. 7–16, 2018.
- [13] I. M. M. S. Amir and A. I. Firdaus, "Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Akibat Penggunaan Variable Speed Drive Pada Motor Induksi Tiga Fasa," vol. XIX, no. 2, pp. 20–29, 2017.