

**SKRIPSI**

**PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 PHASA  
MENGUNAKAN *FREQUENCY CONVERTER* LENZE 8400  
BERBASIS PLC SIEMENS SIMATIC S7-300**



*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Makassar*

**Disusun oleh:**

**SURIANTO  
D411 15 005**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2020**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 PHASA  
MENGUNAKAN *FREQUENCY CONVERTER* LENZE 8400  
BERBASIS PLC SIEMENS SIMATIC S7-300**

Disusun Oleh:

**SURIANTO**  
**D41115002**

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan  
Program Strata-1 pada Sub-Program Teknik Energi.  
Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Gowa, 11 November 2020

Disahkan Oleh:

Pembimbing I



**Prof. Dr. Ir.H. Ansar Suyuti, MT.**  
**NIP. 196712311992021001**

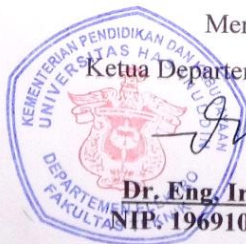
Pembimbing II



**Dr. Ikhlas Kitta, S.T., MT.**  
**NIP. 19760914 200801 1 006**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro



**Dr. Eng. Ir Dewiani., MT.**  
**NIP. 19691026 199412 2 001**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : SURIANTO  
TEMPAT LAHIR : PEKKABATA  
TANGGAL LAHIR : 15 JUNI 1997  
NIM : D41115005  
FAKULTAS / PRODI : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO  
WISUDA PERIODE : II / DESEMBER  
JUDUL SKRIPSI : PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3  
PHASA MENGGUNAKAN FREQUENCY  
CONVERTER LENZE 8400 BERBASIS PLC SIEMENS  
S7-300

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa bilamana berkas yang saya unggah tidak benar dan tidak sesuai, maka saya bersedia melampirkan surat keterangan pembenaran dari pihak berwenang.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya

Gowa, 11 November 2020

Yang membuat pernyataan,

  
METERAI  
TEMPEL  
7A6A73AHF484913403  
6000  
RUPIAH  
SURIANTO

## ABSTRAK

Dunia industri sangat memperhatikan segala aspek dalam suatu siklus produksi. Berbagai tuntutan konsumen secara kuantitas, kualitas dan kecepatan produksi harus menjadi perhatian. Disisi lain faktor efisiensi waktu dan biaya harus pula dilakukan demi menjaga keseimbangan dalam perusahaan, sehingga kebutuhan akan peralatan produksi yang tepat sangat diperlukan. Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharannya dibandingkan dengan motor DC. Namun dalam hal pengaturan kecepatan dan torsi motor induksi bukanlah suatu permasalahan yang mudah untuk dilakukan. Pengaturan kecepatan motor dengan prinsip pengaturan frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan *frequency converter* yang dikontrol oleh *Programmable Logic Controller* (PLC). Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan *frequency converter* satu fasa dan frekuensi 50 Hz untuk digunakan mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa. *Frequency converter* mengkonversikan sumber tegangan AC 3 fasa maupun sumber tegangan AC 1 fasa yang memiliki frekuensi 50 Hz konstan menjadi sumber tegangan AC 3 fasa yang frekuensinya dapat diatur antara 0 – 50 Hz. Pada penelitian ini program ladder diagram dirancang menggunakan TIA Portal V14 pada PLC yang digunakan sebagai pengendali kecepatan motor induksi tiga fasa melalui *frequency converter* Lenze 8400. Motor yang dikontrol adalah motor induksi 3 phasa jenis *squirrel cage rotor* 4P dengan 1500 Rpm. Frekuensi yang dikendalikan mulai dari 10,08 Hz sampai 50,28 Hz dan putaran yang dihasilkan 300 rpm sampai dengan 1503 rpm. Semakin besar data frekuensi yang disetting ke PLC, maka kecepatan putaran motor induksi akan berubah semakin cepat.

**Kata Kunci : Motor Induksi, Frequency Converter, PLC Siemens Simatic S7-300**

## ABSTRACT

The industrial world is very concerned about all aspects of a production cycle. Various consumer demands in quantity, quality and production speed must be a concern. On the other hand, time and cost efficiency factors must also be done in order to maintain balance within the company, so the need for the right production equipment is needed. Induction motors are the most widely used motors today, because they have a simple construction, are relatively cheap, are lighter and have high efficiency and are easy to maintain compared to DC motors. However, in regulating the speed and torque of an induction motor it is not an easy problem to do. Motor speed regulation with the principle of frequency regulation can be done using frequency converter which is controlled by Programmable Logic Controller (PLC). One way this is done is by using frequency converter single phase and a frequency of 50 Hz to be used to regulate the speed of a three-phase induction motor. Frequency converter convert a 3-phase AC voltage source and a 1-phase AC voltage source that has a constant 50 Hz frequency into a 3-phase AC voltage source whose frequency can be adjusted between 0 - 50 Hz. In this study the ladder diagram program was designed using the TIA Portal V14 on the PLC which is used as a three-phase induction motor speed controller through frequency converter Lenze 8400. The controlled motor is a type 3 phase induction motor squirrel cage rotor 4P with 1500 Rpm. Frequency controlled starts from 10.08 Hz to 50.28 Hz and the resulting rotation is 300 rpm to 1503 rpm. The greater the frequency data set to the PLC, the faster the rotation speed of the induction motor will be.

**Keywords : Induction motor, Frequency Converter, Siemens Simatic S7 PLC**

**300**

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Lingkup Penelitian.....	2
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Motor Induksi .....	5
2.1.1. Umum.....	5
2.1.2. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa .....	6
2.1.3. Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa .....	9
2.1.4. Karakteristik Motor Induksi 3 Fasa.....	10
2.1.5. Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa .....	11
2.2. Frekuensi Konverter .....	12
2.3.1. Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT).....	13
2.3.2. Pengaturan frekuensi Inverter melalui PLC.....	16
2.4. Programmable Logic Controller (PLC) .....	18
2.4.1. Prinsip Kerja PLC .....	19
2.4.2. Input/Output PLC.....	20
2.4.3. Software TIA Portal .....	21

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.2. Alat Penelitian .....	22
3.3. Metode Penelitian .....	23
3.4. Variabel Penelitian.....	24
3.5. Gambar rangkaian.....	25
3.6. Prosedur Penelitian .....	26
3.7. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
4.1. Analisa Perangkat Keras .....	29
4.1.1. PLC Siemen S7-300.....	30
4.1.2. Input/Output PLC.....	31
4.1.3. Frekuensi Konverter.....	31
4.1.4. Rangkaian alat.....	37
4.2. Analisis Software .....	39
4.2.1. Percobaan 1 (Kontrol Kecepatan Secara Manual).....	40
4.2.1. Percobaan 2 (Program Kecepatan Motor Secara <i>Sequence</i> ).....	51
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>60</b>
5.1. Kesimpulan .....	60
5.2. Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Konsruksi motor induksi.....	7
<b>Gambar 2.2.</b> Motor tipe rotor sangkar tupai ( <i>squirrel-cage rotor</i> ).....	8
<b>Gambar 2.3.</b> Karakteristik pengaturan kecepatan terhadap frekuensi .....	12
<b>Gambar 2.4.</b> Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) Jenis N .....	13
<b>Gambar 2.5.</b> Modul daya Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) .....	14
<b>Gambar 2.6.</b> IGBT digunakan pada penggerak motor (drive).....	15
<b>Gambar 2.7.</b> Penggerak motor menggunakan sumber 1 phasa.....	17
<b>Gambar 2.8.</b> Diagram blok variable frekuensi drive sebagai penggerak1 .....	17
<b>Gambar 2.9.</b> Bagian utama sistem PLC.....	19
<b>Gambar 2.10.</b> Blok diagram CPU pada PLC.....	19
<b>Gambar 3.1.</b> Susunan alat .....	25
<b>Gambar 3.2.</b> Blok doagram kendali kecepatan motor .....	26
<b>Gambar 3.3.</b> Diagram alir penelitian .....	28
<b>Gambar 4.1.</b> Rangkaian pengontrolan motor induksi 3 phasa.....	29
<b>Gambar 4.2.</b> Sistem kerja PLC .....	30
<b>Gambar 4.3.</b> Frekuensi converter .....	32
<b>Gambar 4.4.</b> Rangkaian frekuensi converter .....	32
<b>Gambar 4.5.</b> Sirkuit sederhana inverter PWM .....	34
<b>Gambar 4.6.</b> Pembentukan gelombang pada keluaran inverter .....	35
<b>Gambar 4.7.</b> Gelombang keluaran frequency converter.....	37
<b>Gambar 4.8.</b> Diagram pengawatan sistem pengontrolan motor .....	38
<b>Gambar 4.9.</b> Tampilan depan TIA Portal .....	39
<b>Gambar 4.10.</b> Diagram ladder saat On dan tombol input 20% diaktifkan .....	42



<b>Gambar 4.11.</b> Diagram ladder saat tombol input 40% dan 60% diaktifkan.....	42
<b>Gambar 4.12.</b> Diagram ladder saat tombol input 80% dan 100% diaktifkan.....	43
<b>Gambar 4.13.</b> Diagram ladder saat tombol input on diaktifkan .....	53
<b>Gambar 4.14.</b> Diagram ladder saat kecepatan 50% .....	54
<b>Gambar 4.15.</b> Diagram ladder saat kecepatan 70% .....	55
<b>Gambar 4.16.</b> Diagram ladder saat stop dan function block MOVE.....	56

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Alat dan bahan.....	22
<b>Tabel 4.1.</b> Pengalamatan <i>input</i> PLC percobaan 1.....	40
<b>Tabel 4.2.</b> Pengalamatan <i>output</i> PLC percobaan 1.....	41
<b>Tabel 4.3.</b> Data hasil pengamatan frekuensi dan putaran motor percobaan 1 .....	44
<b>Tabel 4.4.</b> Data hasil pengamatan penelitian percobaan 1 .....	47
<b>Tabel 4.5.</b> Hasil pengamatan frekuensi dan tegangan pada motor .....	50
<b>Tabel 4.6.</b> Pengalamatan <i>Input</i> dan <i>Output</i> PLC percobaan 2 .....	52
<b>Tabel 4.7.</b> Data kecepatan pada percobaan 2 .....	57
<b>Tabel 4.8.</b> Data hasil percobaan 2 .....	58
<b>Tabel 4.9.</b> Tabel tegangan pada motor induksi 3 phasa percobaan 2.....	59

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Menggunakan *Frequency Converter* Lenze 8400 Berbasis Plc Siemens Simatic S7-300”. Skripsi ini diajukan guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis dan seluruh keluarga yang telah mendidik, mendoakan, memberikan dukungan, nasehat dan motivasi kepada penulis.
2. Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan bantuan Beasiswa Bidikmisi untuk meringankan biaya kuliah penulis.
3. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA. selaku Rektor Universitas Hasanuddin dan Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Elektro, Para Dosen, Staf Pengajar, Laboran, dan Staf Administrasi Departemen Teknik Elektro
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Ansar Suyuti, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II
6. Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T. dan Ibu Dr. A. Ejah Umraeni, ST, M.T. selaku Dosen Penguji

7. Teman-teman seperjuangan “THYR15TOR” Teknik Elektro angkatan 2015 yang selalu memberikan semangat kebersamaan dan motivasi.
8. Sahabat-sahabat seperjuangan di Laboratorium Riset Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan beserta Keluarga Besar Laboratorium Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan
9. Sahabat-sahabat Penulis di Ikatan Keluarga Mahasiswa Bidikmisi (IKAB Unhas) serta berbagai organisasi, komunitas, serta Event Intra dan Ekstra kampus.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung kami dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran Penulis yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Makassar, November 2020

Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Dunia industri sangat memperhatikan segala aspek dalam suatu siklus produksi. Berbagai tuntutan konsumen secara kuantitas, kualitas dan kecepatan produksi harus menjadi perhatian. Disisi lain faktor efisiensi waktu dan biaya harus pula dilakukan demi menjaga keseimbangan dalam perusahaan, sehingga kebutuhan akan peralatan produksi yang tepat sangat diperlukan.

Sebagian besar dari peralatan industri menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama. Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan saat ini. motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharaannya dibandingkan dengan motor DC. Namun selain kelebihan tersebut, motor induksi memiliki kelemahan pada pengaturan kecepatan yang tergolong tidak mudah untuk dilakukan. Oleh sebab itu diperlukan teknologi yang tepat untuk dapat mengatur putaran motor induksi stabil.

Pengendalian kecepatan motor dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya yaitu dengan pengaturan frekuensi. Pengaturan kecepatan motor dengan prinsip pengaturan frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan konverter frekuensi yang dikontrol secara otomatis oleh *Programmable Logic Controller* (PLC). Cara pengaturan kecepatan ini paling mudah dan efektif apabila dibandingkan dengan yang lain, terutama untuk motor induksi. Pengaturan putaran motor dengan peralatan pendukung yang telah tersedia di pasaran akan mempermudah untuk merangkai sesuai dengan program yang direncanakan. Oleh

karena itu penelitian yang berkaitan tentang pengaturan kecepatan putaran motor induksi 3 fasa dengan menggunakan konverter frekuensi dengan PLC Siemens S7-300 diharapkan mampu mengatur kecepatan pada motor induksi.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis merumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat program pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan konverter frekuensi Lenze 8400 dengan PLC Siemens Simatic S7-300 ?
2. Bagaimana mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan konverter frekuensi Lenze 8400 dengan PLC Siemens Simatic S7-300 ?

## **1.1. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Membuat program pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan konverter frekuensi Lenze 8400 dengan PLC Siemens Simatic S7-300.
2. Melakukan pengujian program pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan beberapa level kecepatan menggunakan konverter frekuensi Lenze 8400 dengan PLC Siemens Simatic S7-300.

## **1.2. Lingkup Penelitian**

Penyusun membatasi permasalahan yang akan dibahas pada laporan tugas akhir ini agar pembahasan lebih terarah. Adapun batasan masalah sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan motor induksi 3 phasa dengan beban nol menggunakan PLC Siemens S7-300 dengan CPU314C-2PN DP dan konverter frekuensi Lenze 8400=0,75.
2. Program yang dibuat yaitu pengaturan kecepatan dengan tombol input manual dan pengaturan kecepatan *sequence* menggunakan Totally Integrated Automation (TIA) Portal (TIA V14).

### **1.3. Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini disusun dengan pembagian masing-masing bagian per bab. Sistematika penulisan skripsi ini adalah:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

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

Bab ini menjelaskan tentang teori dasar yang digunakan dan yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. yaitu: Motor Induksi 3 Phasa, Programmable Logic Controller (PLC) dan Frekuensi Konverter.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan metode yang dilakukan dalam penelitian, waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan, langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini serta perancangan kontrol kecepatan motor.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memaparkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan dan pembahasan data-data yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut.

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memberikan simpulan berdasarkan hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Motor Induksi**

#### **2.1.1. Umum**

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator (Zuhal, 1988).

Mesin ini juga disebut mesin asinkron (mesin tak serempak), hal ini dikarenakan putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan perkataan lain, bahwa antara rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip. Pada umumnya motor ac yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian. Motor induksi tiga fasa sangat banyak dipakai sebagai penggerak di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan, tetapi juga memiliki beberapa kelemahan (Haines et al, 2013).

Sedangkan motor induksi tiga fasa (*Three phase induction motor*) juga disebut dengan *poly phase induction motor* adalah suatu motor listrik yang mempunyai 3 buah kumparan stator yang dipasang pada keliling stator yang letaknya masing-masing bergeser 120° listrik maupun mekanik. Sesuai dengan namanya, maka motor jenis ini memerlukan sumber tegangan bolak balik tiga fasa.

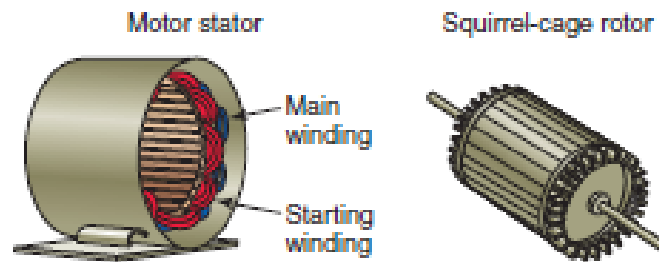
Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai dikalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut (Haines et al, 2013) :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron. Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor *shunt*.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC *shunt*.

### **2.1.2. Konstuksi Motor Induksi 3 Fasa**

Sebuah motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar. Antara bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm (Evalina & Zulfikar, 2018).



**Gambar 2.1.** Konstruksi motor induksi (sumber : [www.grainger.com](http://www.grainger.com)).

Konstruksi motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa terdiri dari 3 bagian utama yaitu:

1. Stator

Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya. Secara prinsip stator motor induksi adalah sama dengan stator motor sinkron maupun generator. Jumlah kutub dari suatu motor akan menentukan lambat cepatnya putaran suatu motor. Makin banyak jumlah kutub yang terpasang maka makin lambat putaran yang dihasilkan sedangkan apabila jumlah kutubnya makin sedikit maka putaran yang dihasilkan makin cepat (Haines et al, 2013).

Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas/mika. Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi . Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar  $120^{\circ}$ . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis

dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris.

Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga fasa (Haines et al, 2013).

## 2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan ke kumparan rotor. Rotor dari motor induksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu (Prakoso et al, 2012):

Inti dari rotor motor induksi tipe sangkar tupai terdiri dari lapisan-lapisan konduktor yang dipasangkan sejajar dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktor tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil, yaitu konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, semua konduktor rotor dihubungkan singkat dengan cincin ujung. Konduktor rotor dan cincin-ujung serupa dengan sangkartupai yang berputar sehingga dinamakan motor induksi sangkar tupai (Suhendra, 2014).



**Gambar 2.2.** Motor tipe rotor sangkar tupai (*squirrel-cage rotor*). (Sumber : [www.leeson.com](http://www.leeson.com))

Hampir 90% dari motor induksi banyak menggunakan rotor dengan jenis ini. Rotor jenis ini banyak digunakan pada motor induksi 3 fasa yang berdaya relatif

kecil, Karena rotor jenis ini, pada motor induksi adalah paling sederhana dan kuat rotor jenis ini dibuat dari baja silicon dan terdiri dari inti yang berbentuk silinder yang sejajar dengan alur/slot dan diisi dengan tembaga atau aluminium yang berbentuk batangan (Prakoso et al., 2012).

### **2.1.3. Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa**

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (Emf) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor (Evalina & Zulfikar, 2018).

Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Apabila sumber tegangan tiga fasa dihubungkan ke terminal

stator maka pada kumparan tegangan (stator) akan timbul arus yang menghasilkan fluksi.

#### **2.1.4. Karakteristik Motor Induksi 3 Fasa**

Garis grafik kopel sebagai fungsi dari waktu daya dan kecepatan putaran. Pada bagian AB dari grafik, kopel hampir sebanding dengan bilangan slip (adalah pengurangan kecepatan sesuai dengan perubahan kopel). Sebaliknya pada bagian (motor berbeban lebih) bilangan slip bertambah terus tetapi kopel berkurang dan motor berhenti. Tidak semua tenaga listrik yang diserap motor induksi berubah menjadi tenaga mekanik yang berguna, tetapi sebagian hilang dalam bentuk tenaga panas. Tenaga mekanik ( $W_{mekanik}$ ) sama dengan tenaga listrik ( $W_{listrik}$ ) dikurang tenaga panas ( $W_k$ ), rendamen sebagai fungsi dari tenaga mekanik dan tenaga listrik (Evalina & Zulfikar, 2018).

#### **4.2.1.1. Prinsip Terjadinya Slip**

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Seandainya hal ini terjadi, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluksi yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang di induksikan dalam rotor, tidak ada arus yang mengalir pada rotor, dan karenanya tidak akan menghasilkan kopel. Kecepatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kecepatan sinkron agar adanya tegangan induksi pada rotor, dan akan menghasilkan arus di rotor, arus induksi ini akan berinteraksi dengan fluks listrik sehingga menghasilkan kopel. Selisih antara kecepatan rotor dengan kecepatan sinkron disebut slip (s).

Slip dapat dinyatakan dalam putaran setiap menit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kecepatan sinkron (Zuhal, 1988).

$$\text{Slip (s)} = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\%$$

$n_s$  = kecepatan sinkron

$n_r$  = kecepatan rotor

Dari persamaan rumus slip, dapat memberikan informasi yaitu:

- (1) Saat  $s=1$  di mana  $n_r=0$ , ini berarti rotor masih dalam keadaan diam atau akan berputar.  $s=0$  menyatakan bahwa  $n_s=n_r$ , ini berarti rotor berputar sampai kecepatan sinkron. Hal ini dapat terjadi jika arus dc yang diinjeksikan ke belitan rotor, atau rotor digerakkan secara mekanik.
- (2)  $0 < s$  Secara singkat prinsip kerja terjadinya slip motor adalah seperti yang digambarkan dalam blok diagram berikut ini:

### **2.1.5. Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa**

Pengaturan kecepatan pada motor umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran biasanya memerlukan biaya yang cukup tinggi. Pengaturan ini dapat dilakukan dengan mengatur frekuensi jala-jala.

Kecepatan putar pada motor AC (bolak-balik) dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah:

$$n_s = \frac{120 f}{p}$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan Putar Dari Medan Putar Stator (rpm)

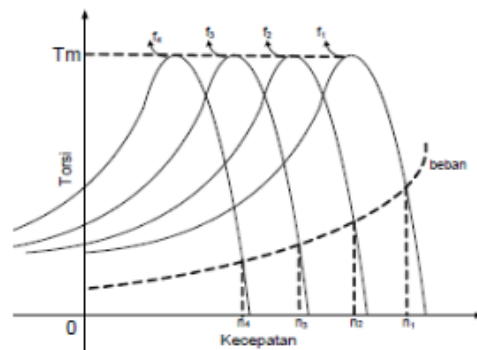
$f$  = Frekuensi (Hz atau cps)

$p$  = Jumlah Pasang Kutub Pada Motor

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa untuk mendapatkan besarnya putaran medan stator dapat dengan menambah atau mengurangi jumlah pasang

kutubnya atau mengatur nilai frekuensi. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4 (Zuhal, 1988).

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah nilai frekuensi jala. Hanya saja untuk menjaga keseimbangan kerapatan fluks perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan frekuensi. Persoalannya sekarang adalah bagaimana mengatur frekuensi dengan cara efektif dan ekonomis (Zuhal, 1988).



**Gambar 2.3.** Karakteristik pengaturan kecepatan terhadap frekuensi

## 2.2. Frekuensi Konverter

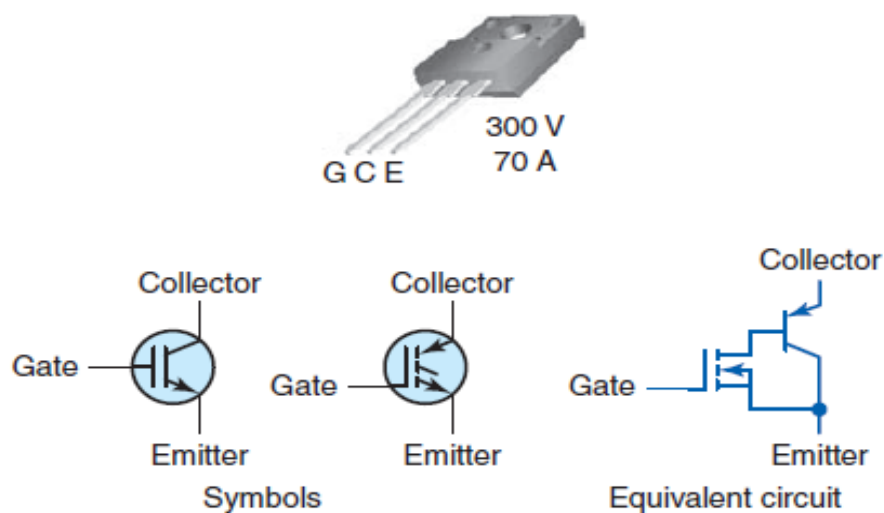
Kita membutuhkan suatu sumber AC dengan amplituda dan frekuensi yang berbeda dengan sumber AC yang disediakan oleh jaringan jala-jala/grid dalam menjalankan peralatan listrik. Dalam hal ini jala-jala yang disediakan oleh PT.PLN adalah bertegangan 220 AC 50 Hz. Untuk mengubah tegangan AC 50 Hz tersebut kita menggunakan suatu rangkaian elektronika daya khusus, konverter AC-AC. Rangkaian konverter AC-AC merupakan rangkaian yang dapat menghasilkan tegangan keluaran AC variabel dari sumber AC tetap. Jika sebuah



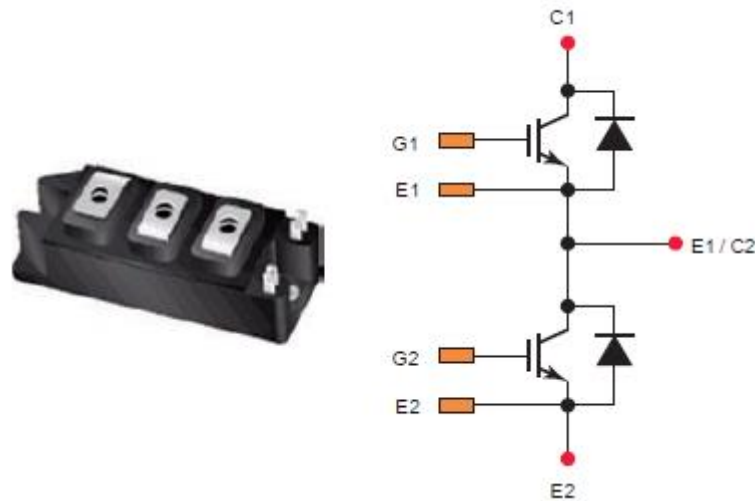
saklar thyristor dihubungkan antara sumber AC dan beban, aliran energi dapat dikontrol oleh variasi nilai rms dari tegangan AC yang dipakai oleh beban (Luthfiani,2020).

### 2.3.1. Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT)

Insulated-Gate Bipolar Transistor ( IGBT) adalah persilangan antara transistor bipolar dan MOSFET yang menggabungkan atribut positif dari keduanya. BJT memiliki resistansi yang lebih rendah, tetapi waktu peralihannya lebih lama, terutama saat dimatikan. MOSFET dapat dihidupkan dan dimatikan jauh lebih cepat, tetapi resistansi on-state-nya lebih tinggi. IGBT memiliki kehilangan daya pada status yang lebih rendah selain kecepatan peralihan yang lebih cepat, memungkinkan penggerak motor elektronik beroperasi pada frekuensi pengalihan yang jauh lebih tinggi dan mengontrol lebih banyak daya (Petruzella, 2016).



**Gambar 2.4.** Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) Jenis N (Sumber : [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com))



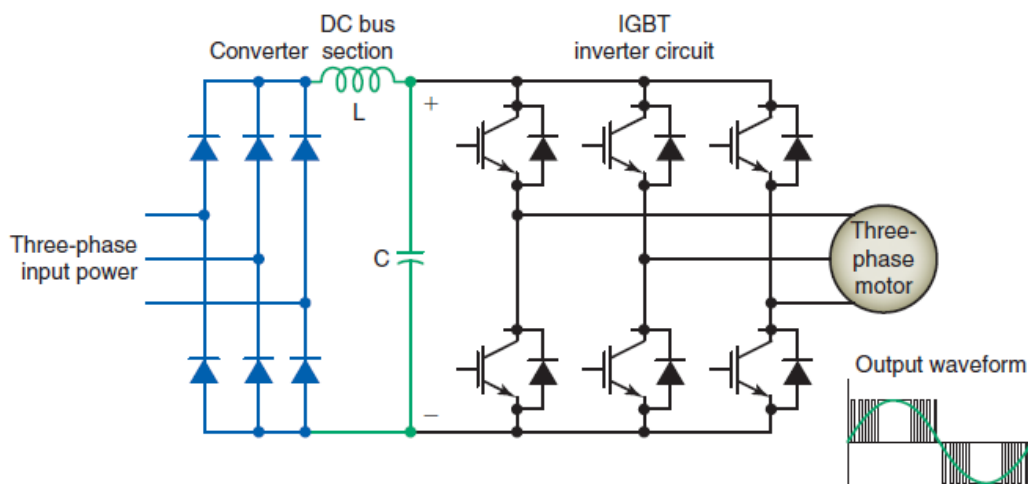
**Gambar 2.5.** Modul daya Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) (Sumber : [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com))

Dua simbol skematik berbeda yang digunakan untuk merepresentasikan IGBT tipe-N dan rangkaian ekuivalennya ditunjukkan pada Gambar 2-5. IGBT memiliki gerbang seperti MOSFET namun memiliki emitor dan kolektor seperti BJT. Rangkaian ekivalen digambarkan oleh transistor PNP, dimana arus basis dikendalikan oleh transistor MOS. IGFET mengontrol arus basis dari BJT, yang menangani arus beban utama antara kolektor dan emitor. Dengan cara ini, ada penguatan arus yang sangat tinggi (karena gerbang berinsulasi IGFET praktis tidak menarik arus dari sirkuit kontrol), tetapi penurunan tegangan kolektor-to-emitter selama konduksi penuh serendah BJT biasa (Petruzella, 2016).

Gambar 2.6 mengilustrasikan bagaimana IGBT digunakan dalam converter frekuensi yang mengontrol kecepatan motor AC dengan memvariasikan frekuensi dipasok ke motor. Selain itu, converter frekuensi juga mengatur keluarannya tegangan sebanding dengan frekuensi keluaran untuk memberikan rasio tegangan terhadap frekuensi yang relatif konstan ( $V / Hz$ ), seperti yang dipersyaratkan pada karakteristik motor AC untuk menghasilkan torsi yang memadai. Enam IGBT

mampu melakukan kecepatan peralihan yang sangat tinggi dan mungkin diperlukan untuk mengalihkan tegangan ke motor ribuan kali per detik. Pengoperasian rangkaian dapat diringkas sebagai berikut:

- Bagian masukan dari drive adalah converter yang berisi enam dioda, Dioda mengubah daya AC tiga fase menjadi daya DC.
- Bagian selanjutnya, bus DC yang menerima tegangan DC tetap. Induktor (L) dan kapasitor (C) bekerja sama untuk menyaring komponen AC dari DC bentuk gelombang. Semakin halus bentuk gelombang DC, semakin bersih bentuk gelombang keluaran dari drive.
- Bus DC memberi input inverter yang merupakan bagian terakhir dari drive. bagian ini membalikkan tegangan DC kembali ke AC. Tetapi dalam tegangan variabel dan keluaran frekuensi yang terkendali.
- Sirkuit kontrol yang cukup berperan mengoordinasikan peralihan perangkat IGBT, biasanya melalui papan kontrol logika yang menentukan penembakan komponen daya dalam urutan yang benar.



**Gambar 2.6.** IGBT digunakan pada penggerak motor (drive)

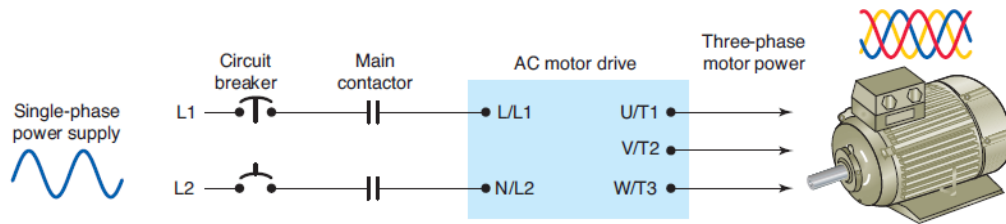
Inverter menerima DC yang telah difilter dari bus DC dan mengubahnya menjadi bentuk gelombang DC yang berdenyut. Dengan mengontrol keluaran inverter, gelombang DC yang berdenyut dapat mensimulasikan bentuk gelombang AC pada frekuensi yang berbeda. Sistem logika kontrol menghasilkan pulsa yang digunakan untuk mengontrol perangkat semikonduktor daya seperti SCR dan transistor. Sirkuit kontrol cukup berperan mengoordinasikan peralihan perangkat daya, biasanya melalui papan kontrol yang menentukan penembakan komponen daya dalam urutan yang benar. Mikroprosesor tertanam digunakan untuk semua logika internal dan persyaratan keputusan.

### **2.3.2. Pengaturan frekuensi Inverter melalui PLC**

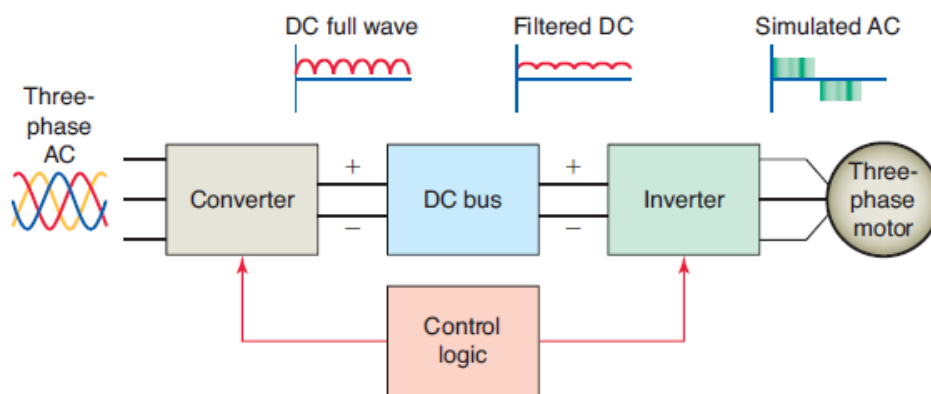
Penggunaan pengaturan putaran motor induksi 3 phasa melalui PLC dengan cara menggunakan *Analog input*, *Analog output* dan *digital output* pada terminal PLC yang terhubung melalui terminal inverter pengaturan ini menggunakan fungsi *Move* dan *Binary multiply*, jika PLC membaca besaran analog dari inverter maka nilai akan dirubah dengan *multiply* dan akan dipindahkan ke input PLC untuk *move* digunakan untuk dua bagian yaitu untuk pengaturan frekuensi dan untuk reset setting frekuensi ke 0 setelah motor mati. Dan fungsi dari SCAL 40 untuk membatasi setting frekuensi pada inverter, *Binary multiply* digunakan untuk membaca analog input dan output (Evalina & Zulfikar, 2018).

Inverter dalam hal ini yang dimaksud adalah pengendali motor AC bisa dikendalikan menggunakan PLC. Pengendaliannya bisa menggunakan hubungan serial atau perintah digital dan analog, cara mengendalikan inverter secara sederhana dengan menggunakan PLC melalui I/O digital dan analog PLC. I/O

modul yang dibutuhkan untuk aplikasi ini adalah digital output, analog output, dan analog input juga output.



**Gambar 2.7.** Penggerak motor (frekuensi converter) menggunakan sumber 1phasa (sumber : [www.delta-americas.com](http://www.delta-americas.com))



**Gambar 2.8.** Diagram blok variable frekuensi drive sebagai penggerak.

Konverter biasanya jembatan penyearah tiga fase gelombang penuh. Namun, salah satu keuntungan dari VFD adalah dapat mengoperasikan motor AC tiga fase dari suplai AC satu fase. Kunci dari proses ini adalah pembetulan dari input AC ke output DC. Pada titik rektifikasi ini, VFD hanya menghasilkan bentuk gelombang DC berdenyut yang disaring. Drive pembalik bentuk gelombang DC menjadi tiga tanda gelombang termodulasi lebar pulsa yang berbeda yang menduplikasi bentuk gelombang tiga fase AC. Gambar 2.8 menunjukkan koneksi masukan konverter tiga fase dan satu fase (Petruzella, 2016).

Tegangan masukan AC yang berbeda dari yang diperlukan untuk mengoperasikan motor memerlukan bagian konverter untuk menaikkan atau menurunkan tegangan ketinggian pengoperasian motor yang benar. VFD

menawarkan alternatif bentuk lain dari konversi daya di area daya tiga fase tidak tersedia. Karena itu mengubah daya AC yang masuk menjadi DC, VFD tidak peduli apakah sumbernya tunggal atau tiga fase. Terlepas dari daya masukan, keluarannya akan selalu tiga fase. Ukuran drive merupakan faktor karena harus mampu memperbaiki sumber fase tunggal arus tinggi. Sebagai aturan praktis, sebagian besar produsen merekomendasikan menggandakan kapasitas normal tiga fase dari drive yang akan beroperasi pada input satu fase. Operasi satu fase terbatas pada motor dengan daya yang lebih kecil.

#### **2.4. Programmable Logic Controller (PLC)**

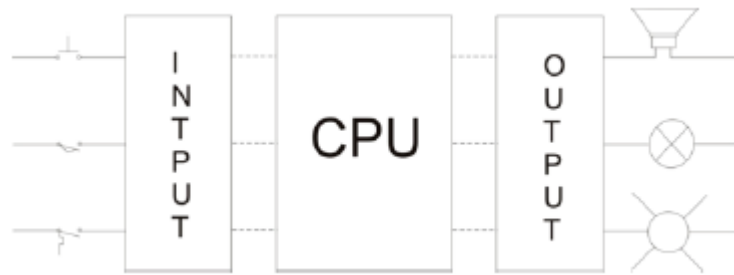
PLC diperkenalkan pertama kali pada tahun 1969 oleh Modicon (sekarang bagian dari *Gould Electronics*) for *General Motors Hydermatic Division*, PLC adalah tipe sistem kontrol yang memiliki masukan peralatan yang disebut sensor, kontroler serta peralatan keluaran. Peralatan yang dihubungkan pada PLC yang berfungsi mengirim sebuah sinyal ke PLC disebut peralatan masukan. Sinyal masuk ke PLC melalui terminal atau pin-pin yang dihubungkan ke unit (Evalina & Zulfikar, 2018).

Tempat sinyal masuk disebut titik masukan, ditempatkan dalam lokasi memori sesuai dengan status ON atau OFF pada PLC. Sedangkan bagian kontroler adalah melaksanakan perhitungan, pengambilan keputusan, dan pengendalian dari masukan untuk dikeluarkan dibagian keluaran. Semua proses mulai dari masukan, keluaran, pengendalian, perhitungan, dan pengambilan keputusan dilakukan oleh PLC. PLC digunakan untuk kontrol *feedback*, pemrosesan data dan sistem monitor terpusat yang sangat memudahkan pekerjaan dalam dunia industri.

### 2.4.1. Prinsip Kerja PLC

Secara umum, PLC terdiri dari dua komponen penyusun utama, yaitu (Setiawan, 2006):

1. *Central Processing Unit* ( CPU )
2. Sistem antarmuka input/ output

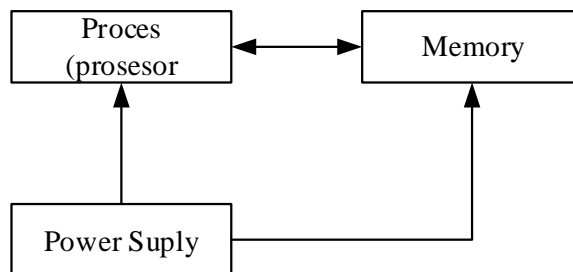


**Gambar 2.9.** Bagian utama sistem PLC

Fungsi dari CPU adalah mengatur semua proses yang terjadi di PLC. Ada tiga komponen utama penyusun CPU ini.

1. *Processor*
2. *Memory*
3. *Power supply*

Interaksi antara ketiga komponen ini dapat dilihat pada diagram berikut :



**Gambar 2.10.** Blok diagram CPU pada PLC

Pada dasarnya, operasi PLC relatif sederhana, peralatan luar dikoneksikan dengan modul input output pada PLC yang tersedia. Peralatan ini dapat berupa

sensor analog, push button, limit switch, motor starter, solenoid, lampu dan sebagainya.

Sebuah *Programmable Logic Controller (PLC)* adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan relai yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (logika 0 atau 1, hidup atau mati) (Bank, 2013).

Pengguna membuat program (yang umumnya dinamakan diagram tangga atau ladder diagram) yang kemudian harus dijalankan oleh PLC yang bersangkutan. Dengan kata lain, PLC menentukan aksi apa yang harus dilakukan pada instrumen keluaran berkaitan dengan status suatu ukuran atau besaran yang diamati. PLC banyak digunakan pada aplikasi-aplikasi industri, misalnya pada proses pengepakan, penanganan bahan, perakitan otomatis dan lain sebagainya. Dengan kata lain, hampir semua aplikasi yang memerlukan kontrol listrik atau elektronik membutuhkan PLC. Semakin kompleks proses yang harus ditangani semakin penting penggunaan PLC untuk mempermudah proses-proses tersebut (dan sekaligus menggantikan beberapa alat yang diperlukan) (Ical, 2014).

#### **2.4.2. Input/Output PLC**

Sudah dilengkapi dengan masukan dan keluaran analog, biasanya berupa tegangan 0-10 V atau arus 4-20 mA. Diagram tangga adalah suatu diagram mirip anak tangga yang menggambarkan urutan kerja dari sistem kontrol. Diagram tangga menggunakan simbol standar untuk merepresentasikan elemen rangkaian dan fungsi dalam sistem kontrol. Diagram tangga terdiri dari dua garis vertikal. Antara



kedua garis vertikal tersebut terdapat simbol-simbol switch contact normally open (NO), switch contact normally closed (NC), timer, counter, fungsi, dan keluaran (coil).

#### **2.4.3. Software TIA Portal**

TIA Portal (versi saat ini sudah mencapai versi 13) merupakan software yang digunakan untuk membuat program (LAD, STL maupun FBD) untuk PLC buatan Siemens. Selain itu konsep terintegrasi pada TIA Portal membuat programmer PLC dapat sekaligus membuat aplikasi HMI/SCADA (Human Machine Interface/Supervisory Control and Data Acquisition), ditambah lagi banyak fungsi lain yang berkaitan dengan otomasi industri (Huda, 2015).