

SKRIPSI

REALISASI SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI TIGA-FASE
BERBASIS PLC OMRON CP1E



Disusun Oleh :

Abd. Rahmansyah
105820056810

Satriadi
105820044410

TEKNIK LISTRIK JURUSAN ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2015



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **Realisasi Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase Berbasis PLC Omron CP1E**

Nama : Satriadi
Abd. Rahmansyah

Stambuk : 105 82 00444 10
105 82 00568 10

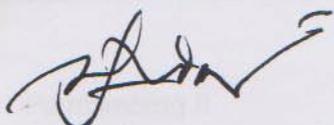
Makassar, 18 Maret 2015

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Indra Jaya Mansur, MT.


Andi Fharuddin, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro


Umar Katur, ST., MT.
NBM : 990 410



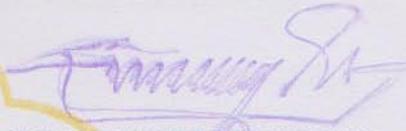
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Satriadi dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 00444 10 dan Abd.Rahmansyah dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 00568 10, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 332/05/A.5-II/II/36/2015, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu 28 Februari 2015

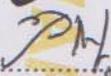
Makassar, 27 Jumadil Awal 1436 H
18 Maret 2015 M

Panitia Ujian :

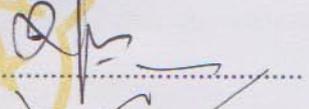
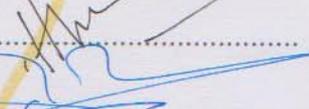
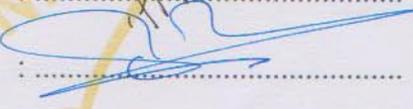
1. Pengawas Umum

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Dr. H. Irwan Akib, M.Pd. : 
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. : 

2. Penguji

- a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. : 
- b. Sekertaris : Rahmania, ST., MT. : 

3. Anggota

- : 1. Dr. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. : 
- 2. Ir. Abd. Hapid, MT. : 
- 3. Suriyani, ST., MT. : 

Mengetahui :

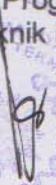
Pembimbing I


Dr. Ir. Indra Jaya Mansur, MT.

Pembimbing II


Andi Fakharuddin, ST., MT.

Ketua Program Studi
Teknik Elektro


Umar Katu, ST., MT.
NBM : 990 410

REALISASI SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI TIGA-FASE BERBASIS PLC

OMRON CP1E

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana

Program Studi Teknik Listrik

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh :

ABD. RAHMANSYAH
10582 0056810

SATRIADI
10582 0044410

PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2015

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Setinggi-tinggi pujian hanya bagi Allah SWT, Sang pemilik kerajaan langit dan bumi. Sholawat serta salam dihaturkan bagi Rosulullah Muhammad SAW dan seluruh manusia yang menyerukan kebenaran. Syukur sebagai bukti atas nikmat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini yang berjudul **“REALISASI SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI TIGA-FASE BERBASIS PLC OMRON CP1E”**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar. Skripsi ini di buat berdasarkan data yang didapatkan selama melakukan penelitian serta konsultasi terhadap pembimbing.

Semua kendala yang kami temui dalam melakukan penelitian teratasi dengan adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari pembimbing. Maka dari itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Teristimewa kepada kedua orang tua kami yang telah mendoakan, menyemangati dan mendukung kami baik dari segi material maupun moral yang telah membantu kami tanpa jasa.
2. Ayahanda Hamzah Al Imran, S.T. M.T. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ayahanda Umar Katu ,S.T., M.T. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ir. Indra Jaya Mansyur, MT. Pembimbing I Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.

5. Bapak Andi Faharuddin, S.T., M.T. Pembimbing II Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.

6. Kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu telah membantu sehingga terlaksananya kuliah kerja profesi.

Dalam penulisan ini, kami menyadari terdapat banyak kekurangan, hal ini disebabkan karena keterbatasan ilmu, wawasan dan pengalaman sehingga skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan maka dengan kerendahan hati penulis agar diberikan kritik yang membangun guna perbaikan skripsi ini.

Semoga dapat memberikan manfaat kepada kami dan pada khususnya kepada pembaca umumnya bagi kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan khususnya bidang ilmu kelistrikan.

Makassar, Februari 2015

Penulis



ABSTRAK

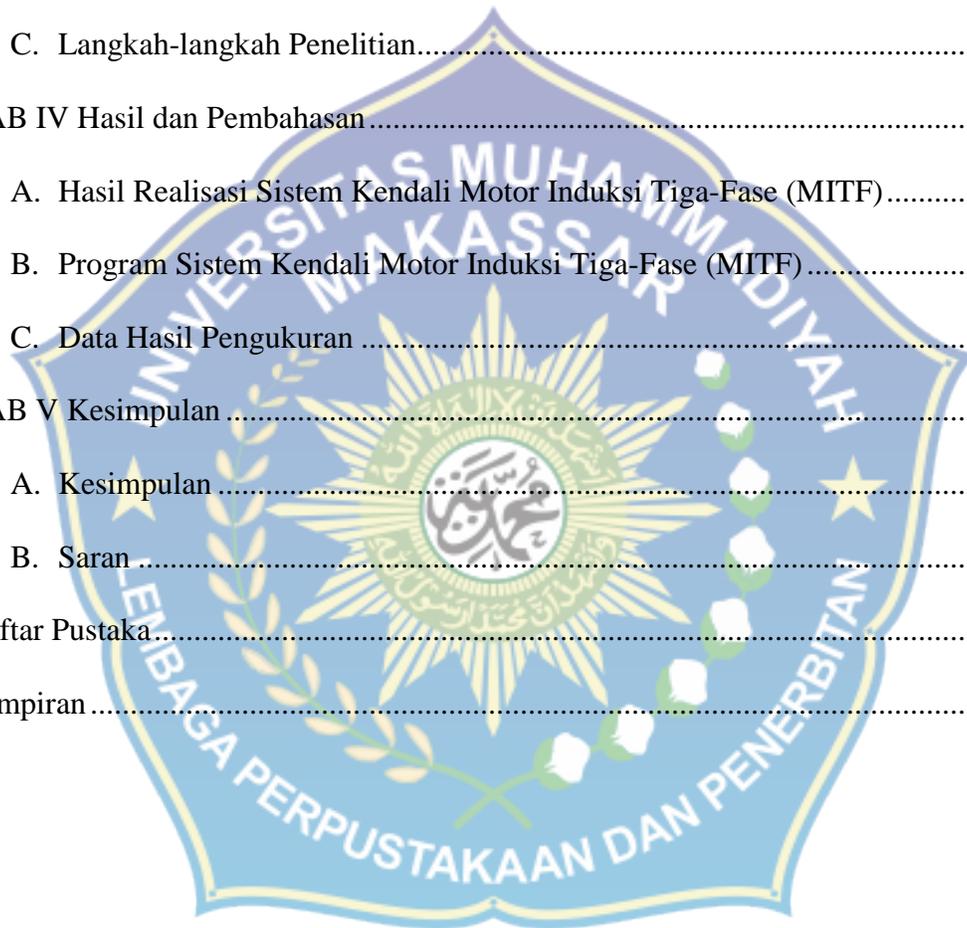
Abd. Rahmansyah 105820056810, Satriadi 105820044410 : Realisasi Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase Berbasis PLC Omron CP1E (dibimbing oleh Dr. Ir. Indra Jaya Mansur, MT dan Andi Faharuddin ST., MT). Penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan sistem kendali motor induksi berbasis PLC berupa start dan stop motor, mengubah putaran motor (maju dan mundur), dan memvariasikan kecepatan motor. Hasil pembahasan menunjukkan penggunaan PLC sebagai kontrol start/stop dan forward/reverse dan Inverter sebagai Variabel Speed Drive (VSD) atau Variabel Frequency Drive (VFD). Pengaruh dan penggunaan alat listrik yang berlebihan dapat ditekan dengan penggunaan PLC sebagai komponen yang memiliki kemampuan sebagai pengganti alat listrik lainnya seperti Timer, Counter, Relay, dan kabel karena PLC menggunakan masukan dan keluaran sesuai program yang dirancang pada Software CX-Programmer. Pengendalian kecepatan putar motor dikendalikan dengan menggunakan Inverter dan terkoneksi dengan PLC sehingga dapat menjadi pengendali putar Motor Induksi Tiga-Fase.

Kata Kunci : Motor Induksi Tiga-Fase, PLC, Inverter, Kontrol Motor

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak.....	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Lampiran.....	xii
Daftar Notasi dan Singkatan.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TEORI DASAR	5
A. Motor Induksi.....	5
B. <i>Programmable Logic Control</i> (PLC).....	15

C. Inverter	20
BAB III Metodologi Penelitian.....	26
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	26
C. Langkah-langkah Penelitian.....	30
BAB IV Hasil dan Pembahasan	32
A. Hasil Realisasi Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase (MITF).....	32
B. Program Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase (MITF).....	36
C. Data Hasil Pengukuran	40
BAB V Kesimpulan	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	51
Daftar Pustaka.....	52
Lampiran.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi	7
Gambar 2.2 Grafik Torque-Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase	9
Gambar.2.3 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga-Fase	10
Gambar.2.4 Diagram Pengawatan Forward dan Reverse	12
Gambar 2.5 Sebuah Programmable Logic Control	17
Gambar 2.6 Sistem PLC	18
Gambar 2.7. Sinyal: (a) diskrit, (b) digital, (c) analog	20
Gambar 2.8 Grafik Inverter	21
Gambar 2.9 Diagram Inverter Drive Ls IC5	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Diagram Skema Sistem Kendali MITF	31
Gambar 4.1 Foto Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase telah direalisasikan	32
Gambar 4.2 Rangkaian Pengawatan Sistem Kendali MITF	34
Gambar 4.3 Gambar Panel Kendali	35
Gambar 4.4 Pembuatan Program Aplikasi Kendali Kecepatan MITF	37
Gambar 4.5 Diagram Ladder Program Sistem Kendali MITF pada PLC	38
Gambar 4.6 Flowchart Sistem Forward/Reverse MITF	39
Gambar 4.7 Flowchart Sistem Start/Stop MITF	40
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Ferkuensi	42

Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Arus (A)	43
Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Vout	44
Gambar 4.10 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Ferkuensi	46
Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Arus (A).....	47
Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Vout.....	48



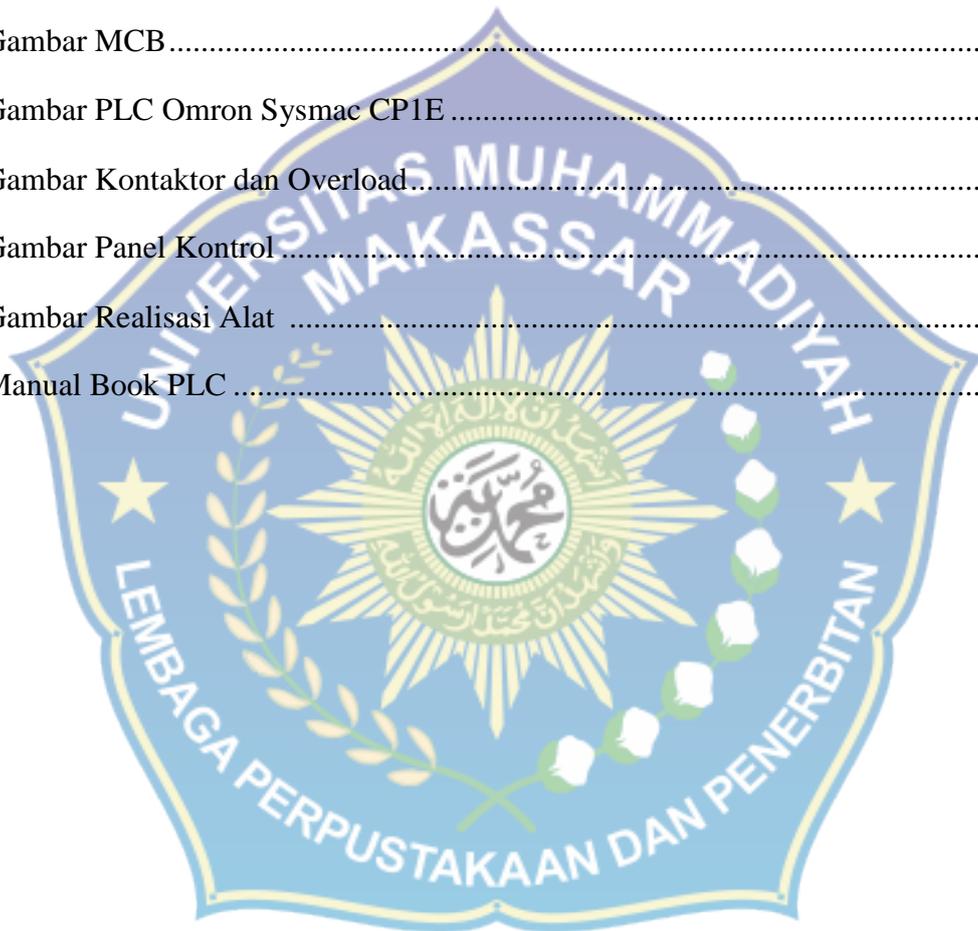
DAFTAR TABEL

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
Tabel 1. Alat.....	28
Tabel 2. Bahan	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
Tabel 1 Hasil Pengukuran Potensio	40
Tabel 2 Hasil Pengukuran Kendali Putaran MITF dalam arah Reverse	41
Tabel 3 Hasil Pengukuran Kendali Putaran MITF dalam arah Forward	45



DAFTAR LAMPIRAN

Gambar Inverter	53
Gambar Motor Induksi Tiga-Fase	53
Gambar Relay Omron LY2N.....	54
Gambar MCB.....	54
Gambar PLC Omron Sysmac CP1E	55
Gambar Kontaktor dan Overload.....	55
Gambar Panel Kontrol	56
Gambar Realisasi Alat	56
Manual Book PLC	57



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi	Defenisi dan Keterangan
DC	<i>Direct Current</i> (Arus Searah)
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
AC	<i>Alternating Current</i> (Arus Bolak-Balik)
Ns	Kecepatan Sinkron dalam RPM
Nb	Kecepatan Dasar dalam RPM
f	Frekuensi sumber AC (Hz)
p	Jumlah Kutub yang terbentuk pada motor
Hp	<i>Horse Power</i>
Pb 1	<i>Push Button</i> 1 (Tombol 1)
Pb 2	<i>Push Button</i> 2 (Tombol 2)
ES	<i>Emergency Switch</i>
F2	<i>Fuse</i> (MCB 1F)
F1	<i>Fuse</i> (MCB 3F)
EMF	<i>Elektromotive Force</i> /Gaya Gerak Listrik
MCB	<i>Miniature Circuit Breaker</i>
MITF	Motor Induksi Tiga-Fase

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dengan berkembangnya dunia otomotif maka makin banyak bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk kendaraan bermotor baik beroda dua maupun beroda empat. Kenaikan harga minyak bumi yang terus meningkat memaksa kita untuk mencari energi alternatif untuk alat transportasi, seperti mobil listrik. Pada saat ini energi listrik masih merupakan energi alternatif untuk alat transportasi, pada sistem ini motor listrik akan menggantikan mesin diesel mesin konvensional sebagai penggerak utama, mesin listrik yang dapat digunakan pada saat ini sangat banyak sekali mulai dari motor induksi sampai motor DC. Pengaturan kecepatan pada motor induksi jauh lebih sulit dibandingkan dengan motor DC karena tidak ada hubungan yang linier antara arus motor dan torsi yang dihasilkan seperti pada motor DC.

Dalam dunia industri, pengendalian posisi dan kecepatan motor induksi sangat penting. Motor induksi merupakan motor elektrik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Salah satu kelemahan motor induksi yaitu memiliki beberapa karakteristik parameter yang tidak linier, terutama resistansi rotor yang memiliki nilai yang bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda, sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya secara konstan bila terjadi perubahan beban. Oleh karena itu untuk mendapatkan kecepatan yang konstan dan performansi sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan suatu pengontrol. Motor induksi tiga-fasa adalah alat penggerak yang paling banyak

digunakan dalam dunia industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

Untuk itu diperlukan sistem kontrol untuk menggerakkan motor listrik sesuai dengan keinginan. Dimana dalam aplikasinya penggunaan motor listrik sebagai penggerak utama mobil listrik. PLC (*Programmable Logic Control*) dapat mengatur masukan-masukan maupun keluaran-keluaran sesuai dengan instruksi di dalam program dan melaksanakan aturan kontrol yang sudah di program. Sebab PLC memiliki kelebihan dibanding sistem kontrol konvensional diantaranya tidak memakan banyak tempat, komponen yang digunakan sedikit, mudah mendeteksi apabila terjadi kerusakan, dan hasil yang diperoleh memuaskan.

Berdasarkan kebutuhan akan energi alternatif untuk alat transportasi tersebut kami mengangkat judul **“Realisasi Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase Berbasis PLC Omron CP1E”**. Untuk merancang sistem pengendalian mobil listrik sebagai alat transportasi alternatif.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat penulis sebutkan yaitu :

1. Bagaimana desain dan realisasi dari sistem kontrol motor induksi tiga-fase berbasis PLC pada motor induksi ?
2. Bagaimana performa dan keandalan dari sistem kontrol motor induksi tiga-fase berbasis PLC pada motor induksi ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan ini yaitu :

1. Merealisasikan penggunaan PLC sebagai sistem kontrol *start/stop* dan *forward/reverse* pada motor induksi.
2. Merealisasikan kontrol kecepatan pada motor induksi.
3. Mendapatkan hasil uji dari sistem kontrol motor induksi berbasis PLC pada motor induksi.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan ini yaitu :

1. Menambah pengetahuan penulis tentang sistem kendali motor induksi tiga-fase.
2. Sistem ini dapat menjadi penggerak purwarupa motor elektrik.

E. Batasan Masalah

Hasil yang dicapai akan optimal jika masalah dalam penulisan ini dibatasi, oleh sebab itu, penulis membatasi permasalahan pada :

1. Jenis PLC yang digunakan yaitu PLC Omron Sysmac CP1E.
2. PLC sebagai pengontrol seperti *start/stop* dan *forward/reverse*.
3. Kendali kecepatan motor induksi tiga-fase menggunakan potensio.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan, penulis membuat sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I, Bab ini terdiri dari latar belakang, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan..

BAB II, Bab ini berisi teori-teori dasar PLC, motor induksi dan hal-hal yang menyangkut tentang sistem pengontrolan pada motor khususnya pada motor induksi.

BAB III, Bab ini membahas tentang objek penelitian, cara penelitian, waktu dan tempat dilakukannya penelitian dan lain-lain.

BAB IV, Bab ini membahas tentang hasil dan pembahasan terhadap penelitian yang telah dilakukan dimulai dari realisasi alat sampai program beserta data penelitian.

BAB V, Bab ini merupakan simpulan terhadap hasil dan pembahasan terhadap penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA, Daftar yang mencantumkan spesifikasi sebuah buku yang meliputi judul buku, nama pengarang buku, penerbit buku tersebut dan informasi lain yang terkait.

LAMPIRAN, Berisi tentang dokumentasi-dokumentasi dan buku petunjuk penggunaan alat terkait dengan judul skripsi.

BAB II

DASAR TEORI

A. Motor Induksi

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.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi tiga-fase dan motor induksi satu-fase. Motor induksi tiga-fase dioperasikan pada sistem tenaga tiga-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri, sedangkan motor induksi satu-fase dioperasikan pada sistem tenaga satu-fase yang banyak digunakan terutama pada penggunaan untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi satu-fase mempunyai daya keluaran yang rendah.

Klasifikasi motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama :

a. Motor induksi satu-fase.

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu-fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas

angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3Hp sampai 4Hp.

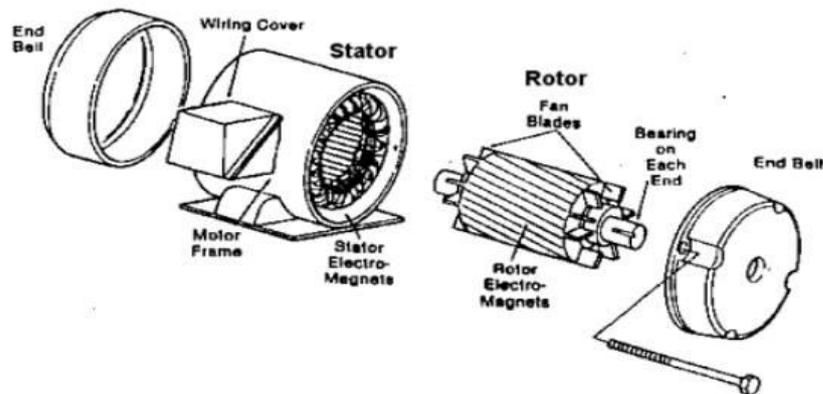
b. Motor induksi tiga-fase.

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga-fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*. Tersedia dalam ukuran 1/3Hp hingga ratusan Hp.

Seperti motor-motor jenis lainnya, motor induksi pada dasarnya mempunyai tiga bagian penting sebagai berikut:

1. Stator yaitu bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
2. Celah (*air gap*) yaitu celah udara antara stator dan rotor. Celah ini merupakan tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin.

3. Rotor yaitu bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi

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

1. Rotor sangkar (*squirrel cage*) adalah bagian dari mesin yang berputar bebas dan letaknya bagian dalam. Terbuat dari besi laminasi yang mempunyai slot dengan batang aluminium / tembaga yang dihubungkan singkat pada ujungnya.
2. Rotor kumparan (*wound rotor*) adalah kumparan yang dihubungkan bintang dibagian dalam dan ujung yang lain dihubungkan dengan *slipring* ke tahanan luar. Kumparan sendiri dapat dikembangkan menjadi pengaturan kecepatan putaran motor. Pada kerja normal slipring hubung singkat secara otomatis, sehingga rotor bekerja seperti rotor sangkar.

A.1 Kecepatan Motor Induksi

Motor induksi bekerja sebagai berikut. Listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar. Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada “kecepatan dasar” yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya “slip/geseran” yang meningkat dengan meningkatnya beban. Slip hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/ slip ring, dan motor tersebut dinamakan “motor cincin geser/ slip ring motor”.

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung persentase slip/geseran.

$$\% \text{Slip} = \frac{N_s - N_b}{N_b} 100\%$$

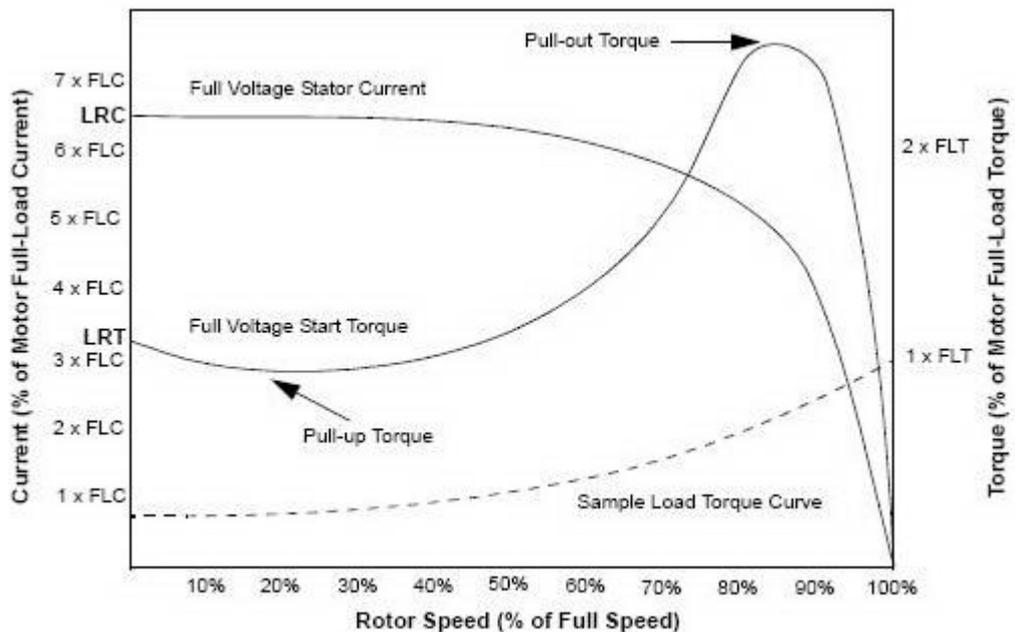
Dimana:

N_s = kecepatan sinkron dalam RPM

N_b = kecepatan dasar dalam RPM

A.2 Hubungan Antara Beban, Kecepatan Dan Torque Pada Motor Induksi.

Gambar dibawah menunjukkan grafik torque-kecepatan motor induksi AC tiga-fase dengan arus yang sudah ditetapkan.



Gambar 2.2 Grafik Torque-Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase

Grafik tersebut diperoleh apabila motor :

- Mulai menyala ternyata terdapat arus nyala awal yang tinggi dan torque yang rendah (“*pull-up torque*”).
- Mencapai 80% kecepatan penuh, torque berada pada tingkat tertinggi (“*pull-out torque*”) dan arus mulai turun.
- Pada kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus torque dan stator turun ke nol.

A.3 Rangkaian Ekuivalen

Kecepatan putaran medan magnet motor induksi akan dipengaruhi oleh frekuensi sumber yang masuk ke motor dengan mengacu ke persamaan berikut:

$$N_s = \frac{120 \times f}{p}$$

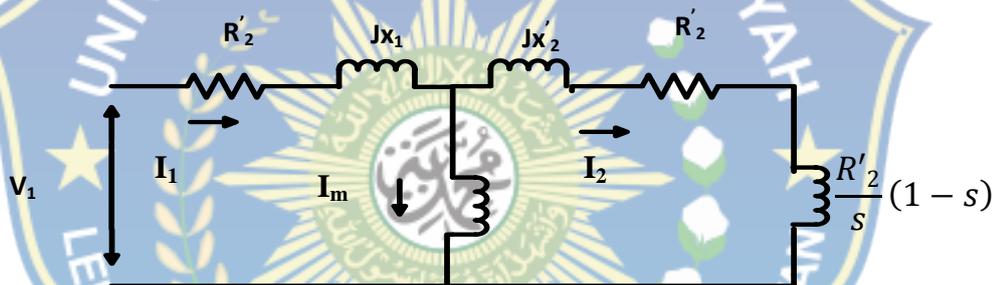
dimana :

f = frekuensi sumber AC (Hz)

p = jumlah kutub yang terbentuk pada motor

N_s = kecepatan putaran medan magnet stator (putaran/menit, rpm)

Perubahan frekuensi sumber pada motor induksi tiga-fase akan mempengaruhi besarnya impedansi kumparan motor karena kumparan motor induksi mengandung reaktansi induktif (X_1) seperti yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar.2.3 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga-Fase

Dimana :

V_1 = Tegangan sumber per fase pada kumparan stator

R_1 = Resistansi kumparan stator

X_1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

R'_2 = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

X'_2 = Reaktansi Induktif rotor dilihat dari sisi stator

X_m = Reaktansi magnet pada Motor

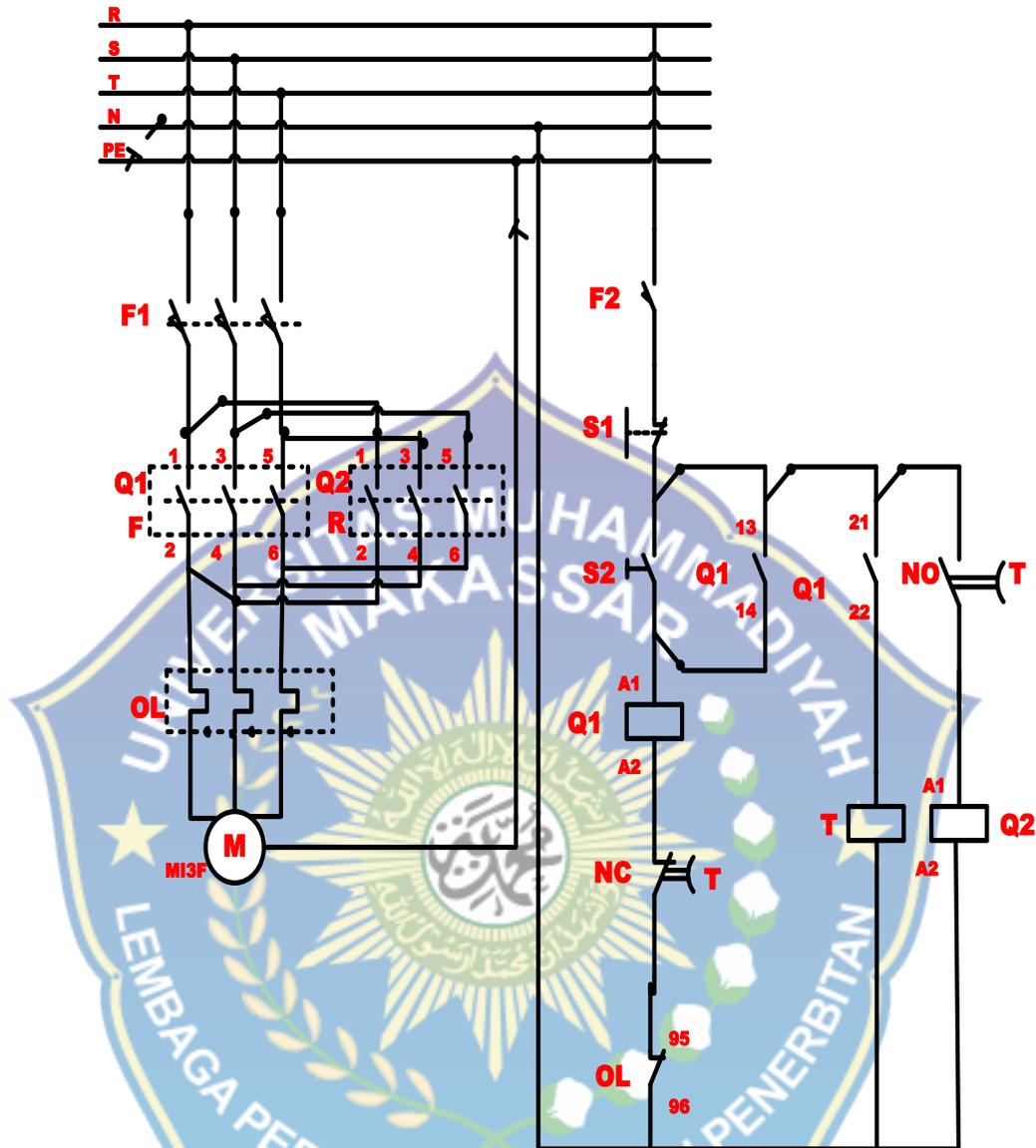
$\frac{R'_2}{s}(1 - s)$ = Resistansi yang mewakili beban motor

A.4 Sistem kendali Motor Induksi Tiga-Fase pembalikan putaran (*Forward-Reverse*)

Motor induksi tiga-fase banyak digunakan oleh dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan yang dapat diperoleh dalam pengendalian motor induksi tiga-fase yaitu, struktur motor induksi tiga-fase lebih ringan (20% hingga 40%) dibandingkan motor arus searah untuk daya yang sama, harga satuan relatif lebih murah, dan perawatan motor induksi tiga-fase lebih hemat.

Prinsip kerja Motor Induksi Tiga-Fase *Forward-Reverse*

Pada saat Pb1 ditekan maka koil kontaktor K1M bekerja dan membuat motor berputar. Motor dapat berputar *forward*/maju terus sebab kontak K1M /14-13 menutup. Untuk membalik putaran motor dapat menekan Pb0 terlebih dahulu lalu tekan Pb2. Saat Pb2 ditekan maka koil kontaktor K2M bekerja dan memutar motor *Reverse*/mundur. Pengertian *Forward* dan *Reverse* harus menekan Pb0 terlebih dahulu dan tunggu hingga putaran motor berhenti lalu tekan tombol yang lain ini agar tidak ada pengereman mendadak pada motor. Pada saat over load terjadi kontak F2/97-98 menutup dan menyalakan R *Emergency Switch* (ES) dapat mematikan semua sirkit bila ada sesuatu yang tidak diinginkan.



Gambar.2.4 Diagram Pengawatan *Forward* dan *Reverse*

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan untuk peralatan, kontrol industri, dan otomatisasi; oleh karena itu, mereka sering disebut pekerja keras industri gerak. Mereka kuat, dapat diandalkan, dan tahan lama. Bila daya disuplai ke motor induksi pada direkomendasikan spesifikasi, itu berjalan pada kecepatan *rated*. Namun, banyak aplikasi membutuhkan

operasi kecepatan variabel. Misalnya, untuk mesin cuci dapat menggunakan kecepatan yang berbeda untuk setiap siklus mencuci. Secara historis, sistem gigi mekanik digunakan untuk mendapatkan kecepatan variabel. Baru-baru ini, daya elektronik dan sistem kontrol telah jatuh tempo kemudian komponen ini akan digunakan untuk kontrol motor di tempat gigi mekanik.

Elektronik ini tidak hanya mengontrol kecepatan motor, namun dapat meningkatkan karakteristik motor yang dinamis dan mantap. Selain itu, elektronik dapat mengurangi daya rata-rata sistem konsumsi dan kebisingan generasi motor. Kontrol motor induksi adalah kompleks karena nonlinear yang karakteristik. Meskipun ada metode yang berbeda untuk kontrol, *Volt Variabel Variabel Frekuensi (VVVF)* atau V / f adalah metode yang paling umum dari kontrol kecepatan di loop terbuka. Metode ini paling cocok untuk aplikasi tanpa persyaratan kontrol posisi atau kebutuhan untuk akurasi kontrol yang tinggi kecepatan. Contoh ini aplikasi termasuk pemanasan, AC, kipas dan blower.

1. Putaran Motor

Ketika AC pasokan dinilai diterapkan ke gulungan stator, itu menghasilkan fluks magnetik besarnya konstan, berputar pada kecepatan sinkron. Fluks melewati melalui celah udara, menyapu melewati permukaan rotor dan melalui konduktor rotor stasioner. sebuah elektro kekuatan (EMF) diinduksi dalam konduktor rotor karena perbedaan kecepatan relatif antara berputar yang fluks dan konduktor stasioner. Frekuensi EMF induksi adalah sama dengan frekuensi pasokan. Besarnya sebanding dengan relatif kecepatan antara fluks dan konduktor. Karena bar rotor korsleting di ujung, EMF Terimbas menghasilkan

arus dalam konduktor rotor. Arah arus rotor menentang relatif kecepatan antara memutar fluks yang dihasilkan oleh stator dan konduktor rotor stasioner (per hukum Lenz). Untuk mengurangi kecepatan relatif, rotor mulai berputar di arah yang sama seperti yang fluks dan mencoba untuk mengejar ketinggalan dengan fluks berputar. Tapi dalam prakteknya, rotor tidak pernah berhasil 'mengejar' dengan medan stator. Jadi, rotor berjalan lebih lambat dari kecepatan bidang stator. ini perbedaan kecepatan disebut kecepatan slip. Kecepatan Slip ini tergantung pada beban mekanik pada poros motor.

Frekuensi dan kecepatan motor, sehubungan dengan pasokan input, disebut frekuensi sinkron dan kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron adalah berbanding lurus dengan rasio frekuensi pasokan dan jumlah kutub di motor.

Kecepatan sinkron sebuah motor induksi ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$\text{Kecepatan Sinkron (} N_s \text{)} = 120 \times F / P$$

Dimana :

F = Frekuensi Motor

P = Jumlah Kutub Motor

Kecepatan sinkron adalah kecepatan di mana stator berputar fluks. Rotor fluks berputar lebih lambat dari sinkron kecepatan dengan kecepatan slip. Kecepatan ini disebut dasar kecepatan. Kecepatan yang tercantum di plat nama adalah kecepatan dasar. Beberapa produsen juga menyediakan slip sebagai persentase dari kecepatan sinkron seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

Kecepatan Dasar N = Kecepatan Sinkron – Kecepatan Slip

$$\% \text{ Slip} = \frac{(\text{Kecepatan Sinkron} - \text{Kecepatan Dasar})}{\text{Kecepatan Sinkron}} \times 100\%$$

2. *V/f CONTROL THEORY*

Seperti yang bisa kita lihat dalam karakteristik kecepatan torsi, motor induksi imbang nilai arus dan memberikan yang dinilai torsi pada kecepatan dasar. Ketika beban meningkat (*over-rated load*), sementara berjalan pada basis kecepatan, tetes kecepatan dan slip meningkat. Seperti yang kita telah melihat di bagian sebelumnya, motor bisa mengambil 2,5 kali dinilai torsi dengan penurunan sekitar 20% di kecepatan. Setiap peningkatan lebih lanjut dari beban pada poros dapat kiosk motor. Torsi yang dikembangkan oleh motor berbanding lurus dengan medan magnet yang dihasilkan oleh stator. jadi, tegangan yang diberikan ke stator berbanding lurus dengan produk fluks stator dan kecepatan sudut. Ini membuat fluks yang dihasilkan oleh stator proporsional untuk rasio tegangan yang diberikan dan frekuensi pasokan. Dengan memvariasikan frekuensi, kecepatan motor dapat bervariasi. Oleh karena itu, dengan memvariasikan tegangan dan frekuensi dengan rasio yang sama, fluks dan karenanya, torsi dapat dijaga konstan sepanjang rentang kecepatan.

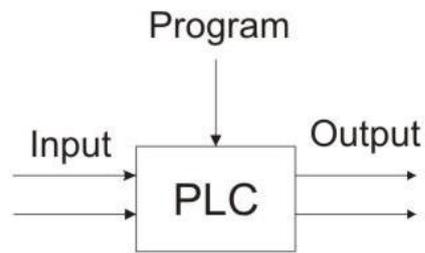
B. *Programmable Logic Control (PLC)*

Programmable Logic Control (PLC) merupakan suatu bentuk khusus pengontrol berbasis mikroprosesor yang memanfaatkan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi dan untuk mengimplementasikan

fungsi-fungsi semisal logika, *sequencing*, pemwaktuan (*timing*), pencacah (*counting*) dan aritmatika guna mengontrol mesin-mesin dan proses-proses (Gambar 2.5) dan dirancang untuk dioperasikan oleh para insinyur yang hanya memiliki sedikit pengetahuan mengenai komputer dan pemrograman. Piranti ini dirancang sedemikian rupa agar tidak hanya programmer komputer saja yang dapat membuat atau mengubah program-programnya. Oleh karena itu, para perancang PLC telah menempatkan sebuah program awal didalam piranti ini (*pre-program*) yang memungkinkan program-program kontrol dimasukkan dengan menggunakan suatu bentuk bahasa pemrograman yang sederhana dan intuitif.

Istilah logika (*logic*) dipergunakan karena pemrograman yang harus dilakukan sebagian besar berkaitan dengan pengimplementasikan operasi-operasi logika dan penyambungan (*switching*), misalnya jika A atau B terjadi maka sambungkan (atau hidupkan) C, jika A dan B terjadi maka sambungkan D. Perangkat-perangkat masukan, yaitu , sensor-sensor semisal saklar, dan perangkat-perangkat keluaran didalam sistenm yang dikontrol, misalnya, motor, katub, dsb., disambungkan ke PLC. Sang operator kemudian memasukkan serangkai instruksi, yaitu, sebuah program, kedalam memori PLC.

Perangkat pengontrol tersebut kemudian memantau masukan-masukan dan keluaran-keluaran sesuai dengan instruksi-instruksi didalam program dan melaksanakan aturan-aturan kontrol yang telah diprogram.



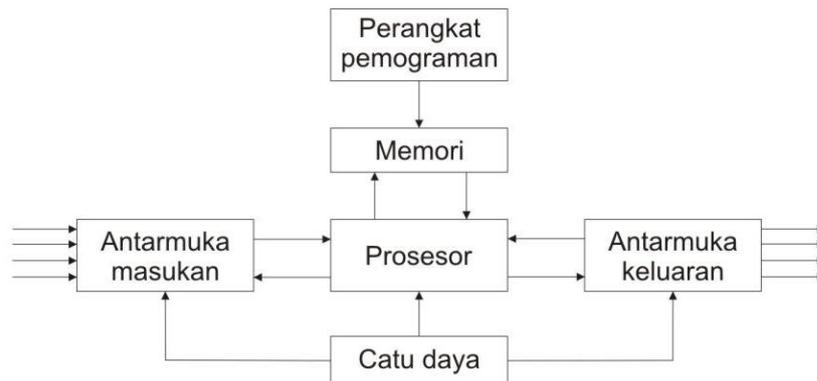
Gambar 2.5 Sebuah *Programmable Logic Control*

PLC memiliki keunggulan yang signifikan, karena sebuah perangkat pengontrol yang sama dapat digunakan didalam beraneka ragam sistem kontrol. Untuk memodifikasi sebuah sistem kontrol dan aturan-aturan pengontrolan yang dijalankan, yang harus dilakukan oleh seorang operator hanyalah memasukkan seperangkat instruksi yang berbeda dari yang digunakan sebelumnya. Penggantian rangkaian kontrol tidak perlu dilakukan. Hasilnya adalah sebuah perangkat yang fleksibel dan hemat-biaya yang dapat dipergunakan didalam sistem-sistem kontrol yang sifat dan kompleksitasnya sangat beragam.

PLC serupa dengan komputer, bedanya yaitu komputer dioptimalkan untuk tugas-tugas perhitungan dan penyajian data, sedangkan PLC dioptimalkan untuk tugas-tugas pengontrolan dan pengoprasian didalam lingkungan industri. Dengan demikian PLC memiliki karakteristik:

1. Kokoh dan dirancang untuk tahan terhadap getaran, suhu, kelembaban dan kebisingan.
2. Antarmuka untuk masukan dan keluaran telah tersedia secara *built-in* didalamnya.

3. Mudah diprogram dan menggunakan sebuah bahasa pemrograman yang mudah dipahami, yang sebagian besar berkaitan dengan operasi-operasi logika dan penyambungan.



Gambar 2.6 Sistem PLC

Perangkat PLC pertama dikembangkan pada tahun 1969. Dewasa ini PLC secara luas digunakan dan telah dikembangkan dari unit-unit kecil yang berdiri sendiri (*self-contained*) yang hanya mampu menangani sekitar 20 masukan/keluaran menjadi sistem-sistem modular yang dapat menangani masukan/keluaran dalam jumlah besar, menangani masukan/keluaran analog maupun digital, dan melaksanakan mode-mode kontrol proposional-integral-derivatif.

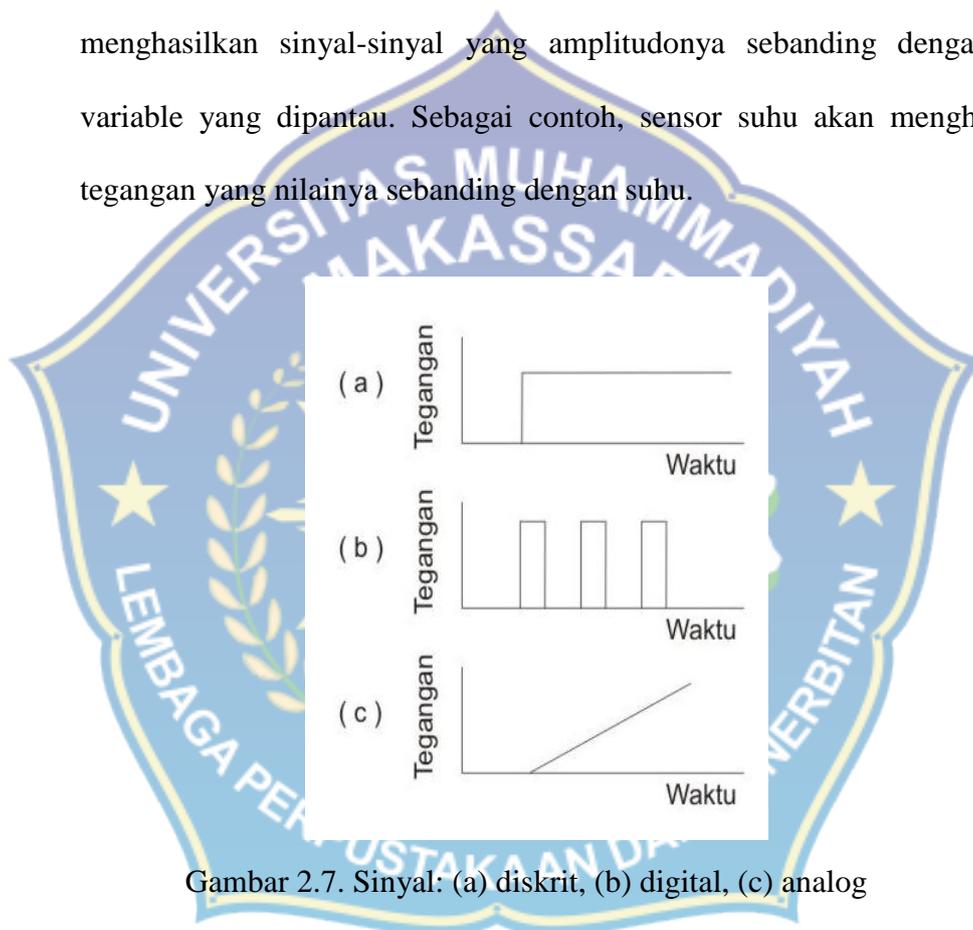
Umumnya, sebuah sistem PLC memiliki lima komponen dasar. Komponen-komponen ini adalah unit prosesor, memori, unit catu daya, bagian antarmuka masukan/keluaran, dan perangkat pemrograman. Gambar 2.6 menampilkan konfigurasi dasarnya.

1. *Central Processing Unit (CPU)* adalah unit yang berisi mikroprosesor yang menginterpretasikan sinyal-sinyal masukan dan melaksanakan tindakan-

tindakan pengontrolan, sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori, lalu mengkomunikasikan keputusan-keputusan yang diambilnya sebagai sinyal-sinyal kontrol ke antarmuka keluaran.

2. Unit catu daya diperlukan untuk mengkonversikan tegangan AC sumber menjadi tegangan rendah DC (5 Volt) yang dibutuhkan oleh prosesor dan rangkaian-rangkaian didalam modul-modul antarmuka masukan dan keluaran.
3. Perangkat pemrograman dipergunakan untuk memasukkan program yang dibutuhkan didalam memori. Program tersebut dibuat dengan menggunakan perangkat ini dan kemudian dipindahkan kedalam unit memori PLC.
4. Unit memori adalah tempat dimana program yang digunakan untuk melaksanakan tindakan-tindakan pengontrolan oleh mikroprosesor disimpan.
5. Bagian masukan dan keluaran adalah antarmuka dimana prosesor menerima informasi dari dan mengkomunikasikan informasi kontrol ke perangkat-perangkat eksternal. Sinyal-sinyal masukan, oleh karenanya, dapat berasal dari saklar-saklar pada kasus mesin bor otomatis, atau sensor-sensor lain, seperti misalnya sel-sel fotoelektris pada mekanisme perhitungan, sensor suhu atau sensor aliran cairan, dsb. Sinyal-sinyal keluaran mungkin diberikan pada kumparan-kumparan *starter* motor, katup-katup selenoida, dll. Perangkat-perangkat masukan dan keluaran dapat digolongkan menjadi perangkat-perangkat yang menghasilkan sinyal diskrit atau digital, dan yang menghasilkan sinyal-sinyal analog (Gambar 2.7). Perangkat-perangkat yang menghasilkan sinyal-sinyal digital adalah perangkat-perangkat yang hanya

mengindikasikan kondisi ‘mati’ (*off*) atau ‘hidup’(on). Sehingga, saklar adalah sebuah perangkat yang menghasilkan sebuah sinyal diskrit, yaitu, ada tegangan atau tidak ada tegangan. Perangkat-perangkat digital pada dasarnya dapat dipandang sebagai perangkat-perangkat diskrit yang menghasilkan serangkaian sinyal ‘mati;-‘hidup’. Perangkat-perangkat analog menghasilkan sinyal-sinyal yang amplitudonya sebanding dengan nilai variable yang dipantau. Sebagai contoh, sensor suhu akan menghasilkan tegangan yang nilainya sebanding dengan suhu.

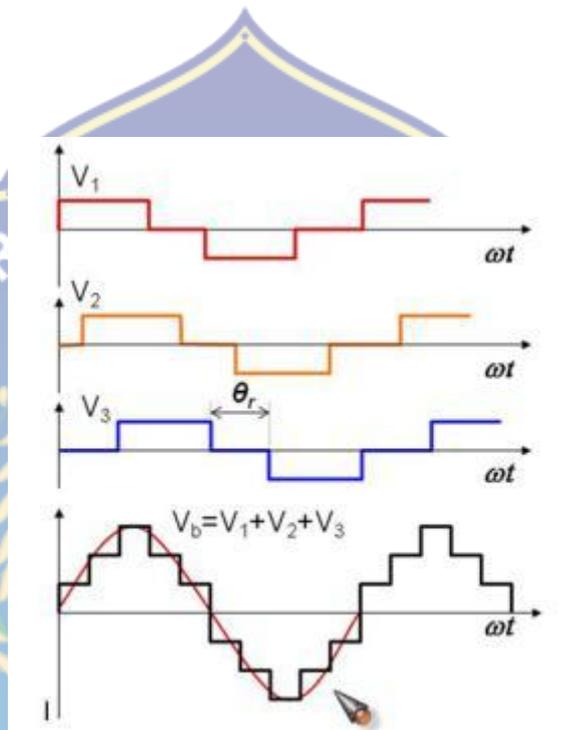


Gambar 2.7. Sinyal: (a) diskrit, (b) digital, (c) analog

C. Inverter

Inverter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) ke suatu tegangan bolak-balik (AC). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak-balik (*push-pull inverter*) sampai yang sudah bisa

menghasilkan tegangan sinus murni (tanpa harmonisa). Inverter satu fasa, tiga fasa sampai dengan multifasa dan ada juga yang namanya inverter multilevel (*capasitor split, diode clamped* dan susunan kaskade). Ada beberapa cara teknik kendali yang digunakan agar inverter mampu menghasilkan sinyal sinusoidal, yang paling sederhana adalah dengan cara mengatur keterlambatan sudut penyalan inverter di tiap lengannya.



Gambar 2.8 Grafik Inverter

Cara yang paling umum digunakan adalah dengan modulasi lebar pulsa (PWM). Sinyal kontrol penyalakan di dapat dengan cara membandingkan sinyal referensi (sinusoidal) dengan sinyal carrier (digunakan sinyal segitiga). Dengan cara ini frekuensi dan tegangan fundamental mempunyai frekuensi yang sama dengan sinyal referensi sinusoidal.

Keuntungan operasi inverter PWM sebagai teknik konversi dibandingkan dengan jenis-jenis inverter lainnya dapat dilihat dari rendahnya distorsi harmonic

pada tegangan keluaran inverter PWM. Proses pembangkit sinyal PWM menjadi salah satu faktor penentu untuk kerja sistem keseluruhan.

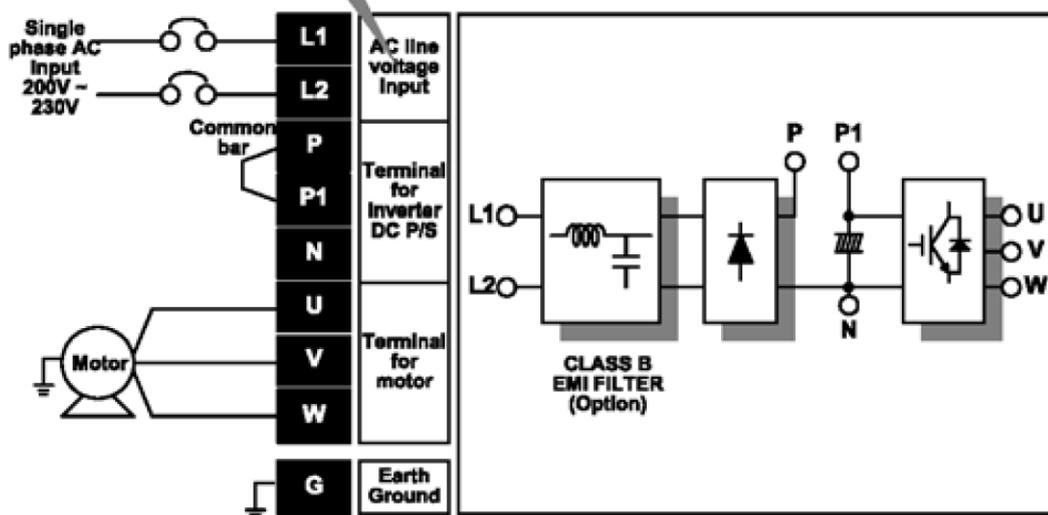
Tuntutan akan kecepatan operasi dan unjuk kerja pengendali yang handal mendorong untuk mengimplementasi sinyal PWM dalam bentuk rangkaian logika perangkat keras (*hardware logic*). Orang dalam bentuk perangkat keras ini mempunyai kecepatan lebih tinggi dibanding operasi yang dilakukan secara perangkat lunak oleh mikrokontroler, karena operasi dengan perangkat lunak membutuhkan waktu untuk menerjemahkan perintah-perintah pemrograman. Selain itu lebar data yang diproses juga terbatas oleh kemampuan mikrokontroler.

Dalam pengaturan penempatan fase, bentuk gelombang tegangan keluaran inverter tidak sinusoida murni karena mengandung banyak komponen frekuensi yang tidak diinginkan. Teknik PWM sinkron ini mampu menghasilkan bentuk gelombang dengan komponen harmonik berfrekuensi jauh lebih tinggi dari frekuensi fundamental. Frekuensi tinggi tinggi ini memberikan keuntungan pada sistem. Karena kebocoran induktansi motor menyebarkan impedansi tinggi pada komponen yang tidak diinginkan, maka secara efektif menapis keluaran inverter (Gendroyono : 1999)

Inverter tiga-fase dengan mode konduksi 120^0 memungkinkan setiap komponen pensakelaran akan konduksi selama 120^0 dengan pasangan konduksi yang berbeda, misalnya 60^0 pertama antara Q1Q6, dan 60^0 kedua antara Q1Q2, dan seterusnya. Inverter tiga-fase mode konduksi 180^0 inverter tiga-fase.

Dalam industri, Inverter merupakan alat atau komponen yang cukup banyak digunakan karena fungsinya untuk mengubah listrik DC menjadi AC. Meskipun secara umum kita menggunakan tegangan AC untuk tegangan masukan/input dari

Inverter tersebut. Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan motor-motor listrik/servo motor atau bisa disebut *converter drive*. Cuma kalau untuk servo lebih dikenal dengan istilah servo drive. Dengan menggunakan inverter, motor listrik menjadi variable speed. Kecepatannya bisa diubah-ubah atau disetting sesuai dengan kebutuhan. Inverter seringkali disebut sebagai *Variabel Speed Drive (VSD)* atau *Variable Frequency Drive (VFD)*.



Gambar 2.9 Diagram Inverter Drive Ls IC5

Phase converter menggunakan sumber satu-fase yang terdiri dari dua penghantar dan menghasilkan tiga-fase dengan pergeseran fase sebesar 120° . Masing-masing dari keluaran tegangan tiga-fase akan di geser 120° listrik. Jika converter diukur, tegangan keluaran yang dihasilkan akan dalam kondisi seimbang untuk semua jenis beban yang terhubung.

Pada dunia otomatisasi industri, inverter sangat banyak digunakan. Aplikasi ini biasanya terpasang untuk proses linear (parameter yang bisa diubah-ubah). Linear nya seperti grafik sinus, atau untuk sistem axis (*servo*) yang membutuhkan

putaran/aplikasi yang presisi. Prinsip kerja inverter adalah mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian dijadikan AC lagi dengan frekuensi yang dikehendaki sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

Fungsi Inverter adalah untuk merubah kecepatan motor AC dengan cara merubah frekuensi outputnya. Jika sebelumnya banyak menggunakan sistem mekanik, kemudian beralih ke motor slip maka saat ini banyak menggunakan semikonduktor. Tidak seperti *softstarter* yang mengolah level tegangan, inverter menggunakan frekuensi tegangan keluaran untuk mengatur speed motor pada kondisi ideal (tanpa slip).

Merubah kecepatan motor dengan Inverter akan membuat:

1. Torsi lebih besar
2. Presisi kecepatan dan torsi yang tinggi
3. Kontrol beban menjadi dinamis untuk berbagai aplikasi motor
4. Dapat berkombinasi dengan PLC (*Programmable Logic Control*) untuk fungsi otomatisasi dan regulasi
5. Menghemat energi
6. Menambah kemampuan monitoring
7. Hubungan manusia dengan mesin (*interface*) lebih baik
8. Sebagai pengamanan dari motor, mesin (beban) bahkan proses dll.

Semakin besar daya motor maka makin besar torsi yang dihasilkan dan makin kuat motor menggerakkan beban, Torsi dapat ditambah dengan menggunakan *gear box* (cara mekanis) dan Inverter (cara elektronik).

1. Dinamika gerakan rendah (tidak memungkinkan gerakan beban yg kompleks)
2. Motor sering overload (motor rusak atau *thermal overload relay trip*)
3. Hentakan mekanis (Mesin/beban rusak, perlu perawatan intensif)
4. Lonjakan arus (Motor rusak atau *Breaker Trip*)
5. Presisi dalam proses hilang
6. Proteksi tidak terjamin

Proses di industri sering kali memerlukan tenaga penggerak dari motor listrik yang perlu diatur kecepatan putarnya untuk menghasilkan torsi dan tenaga/daya yang diinginkan. Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh motor listrik untuk memutar beban. Kelebihan Torsi (*over torque*) terjadi jika torsi beban lebih besar dari Torsi nominal, pada 80% aplikasi terjadi pada saat kecepatan rendah atau saat start awal. Maka dapat disimpulkan, peranan inverter dalam proses suatu industri cukup penting. Karena dalam proses di industri seringkali memerlukan tenaga penggerak dari motor listrik yang perlu diatur kecepatan putarnya untuk menghasilkan torsi dan tenaga/daya yang diinginkan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Realisasi aplikasi kendali kecepatan motor induksi tiga-fase terdapat beberapa tahap, dimana tahap awal yaitu menentukan tempat penelitian. Di bawah ini tercantum tempat diadakannya penelitian.

Tempat Penelitian : Laboratorium Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar

B. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam merealisasikan “Realisasi Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase” sebagai berikut :

1. Kontaktor Magnet

Kontaktor magnet atau sakelar magnet adalah sakelar yang bekerja berdasarkan kemagnetan. Artinya sakelar ini bekerja bila ada gaya kemagnetan. Magnet berfungsi sebagai penarik dan pelepas kontak-kontak. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan arus dan memutuskan arus dalam keadaan kerja normal. Arus kerja normal ialah arus yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Sebuah kontaktor kumparan magnetnya (*coil*) dapat dirancang untuk arus searah (arus DC) atau arus bolak-balik (arus AC). Kontaktor arus AC ini pada inti magnetnya dipasang cincin hubung singkat, gunanya adalah untuk menjaga arus kemagnetan agar kontinu sehingga kontaktor tersebut dapat bekerja normal. Sedangkan pada

kumparan magnet yang dirancang untuk arus DC tidak dipasang cincin hubung singkat.

2. OR (*Overload Relay*)

Fungsi dari Over load relay adalah untuk proteksi motor listrik dari beban lebih. Seperti halnya sekring (*fuse*) pengaman beban lebih ada yang bekerja cepat dan ada yang lambat. Sebab waktu motor start arus dapat mencapai 6 kali nominal, sehingga apabila digunakan pengaman yang bekerja cepat, maka pengamannya akan putus setiap motor dijalankan.

3. MCB

MCB berfungsi sebagai pengaman hubung singkat (konsleting) dan juga berfungsi sebagai pengaman beban lebih. MCB akan secara otomatis dengan segera memutuskan arus apabila arus yang melewatinya melebihi dari arus nominal yang telah ditentukan pada MCB tersebut. Arus nominal yang terdapat pada MCB adalah 1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A dan lain sebagainya. Nominal MCB ditentukan dari besarnya arus yang bisa ia hantarkan, satuan dari arus adalah Ampere, untuk kedepannya hanya akan saya tulis dengan A. Jadi jika MCB dengan arus nominal 2 Ampere maka hanya perlu ditulis dengan MCB 2A.

4. Relay

Relay adalah sakelar yang bekerja berdasarkan system elektromagnetik. Relay berfungsi untuk mengontrol atau mengendalikan output sirkuit/rangkaian listrik dimana pengendaliannya ditentukan oleh kondisi input. Relay terdiri atas lilitan

kawat dan beberapa besi lunak yang berfungsi sebagai sakelar/kontak. Apabila lilitan dialiri arus listrik, pada lilitan akan timbul gaya magnetik dan akan menarik besi lunak yang ada didepannya. Besi lunak ini dipasang diantara dua buah pin yang akan menghubungkan input dengan output. Sehingga apabila besi lunak tertarik, maka input akan terhubung dengan pin 1, dan apabila besi lunak lepas, maka input akan terhubung dengan pin 2. Cara kerja relay elektromagnetik adalah memanfaatkan gaya elektromagnetik terhadap logam besi.

Tabel. 1. Alat

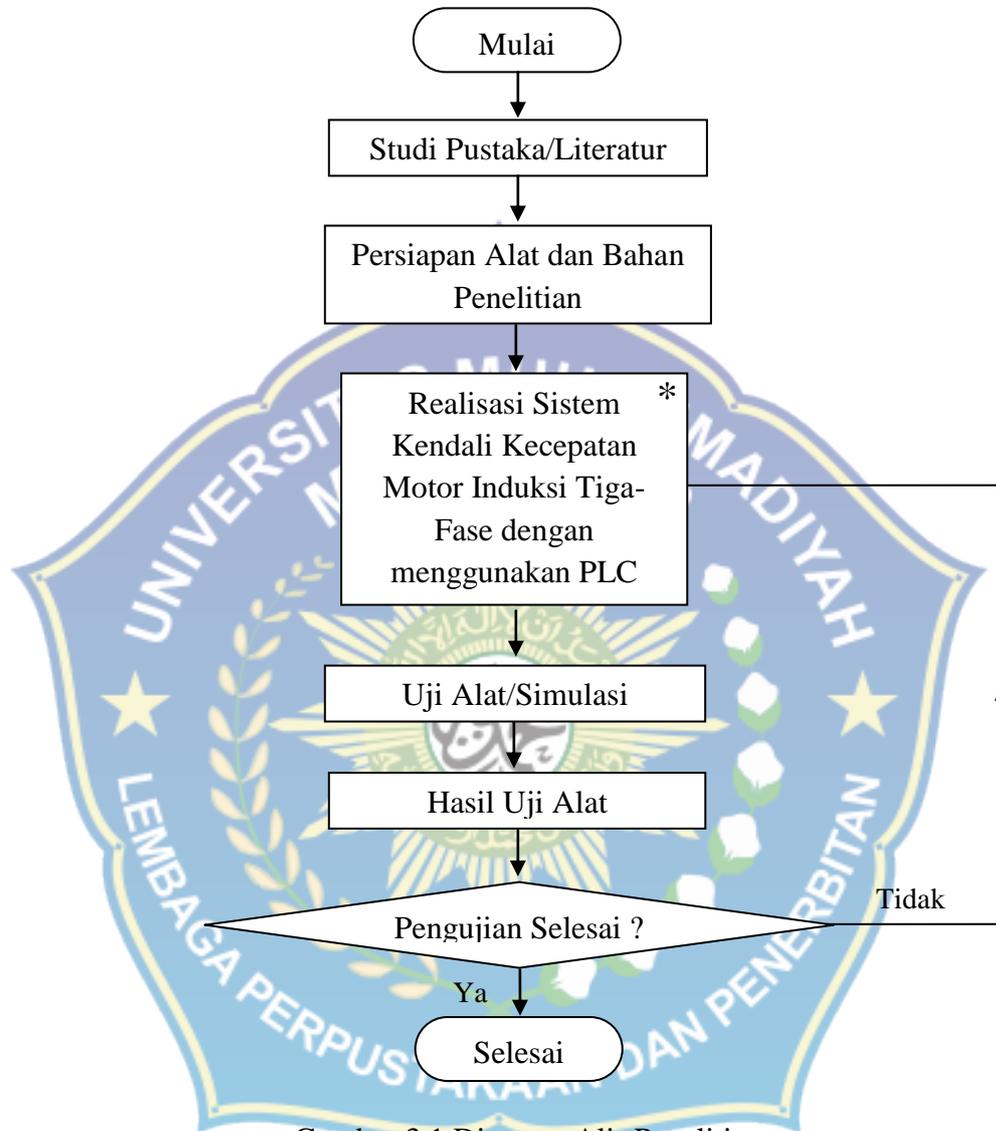
Alat	Fungsi
Tang kombinasi	Memotong dan mengupas kabel rangkaian
Obeng Plus Minus	Menguatkan dan melepaskan baut rangkaian
Alat pengukur Tachometer	Mengukur putaran motor
Multimeter	Mengukur tegangan dan hambatan
Tang Ampere	Mengukur arus AC

Tabel. 2. Bahan

Bahan	Fungsi
3 jenis warna Kabel NYA	Penghubung dan penyalur arus listrik
1 buah PLC Omron CP1E	Menghidupkan atau mematikan keluarannya
2 buah Kontaktor Magnet tipe SN10	Saklar magnet berupa pemutus dan penyambung arus
1 buah Motor Induksi Tiga-Fase	Sebagai penggerak
<i>Box Panel</i>	Tempat dudukan alat realisasi alat
Sekrup	Penguat dari alat pada realisasi alat
1 buah Terminal sambungan	Penyambung rangkaian ke alat penggerak
1 buah <i>Inverter Drive</i>	Pengubah tegangan satu-fase ke tiga-fase
1 buah Relay	Mengendalikan output sirkuit/rangkaian listrik
1buah <i>Thermal Overload Relay</i>	Motor listrik dari beban lebih
2 buah MCB 1F dan 1 buah MCB 3F	Pengaman beban lebih

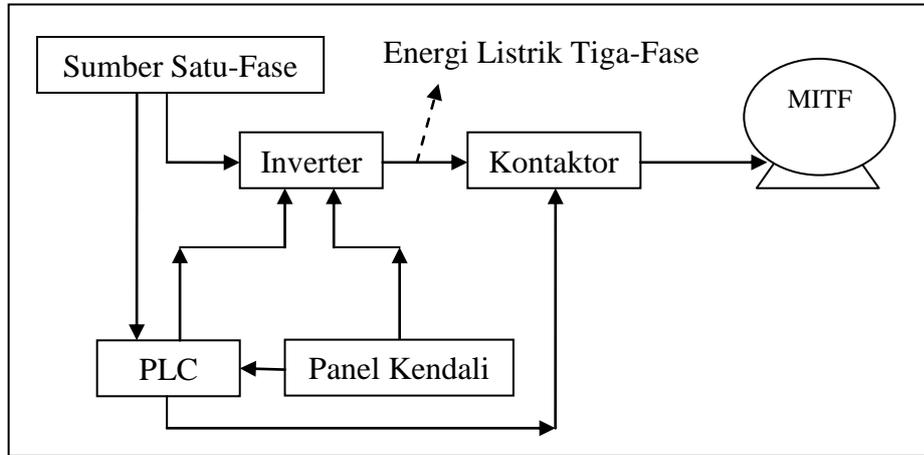


C. Langkah-Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

* Skema Sistem Kendali MITF

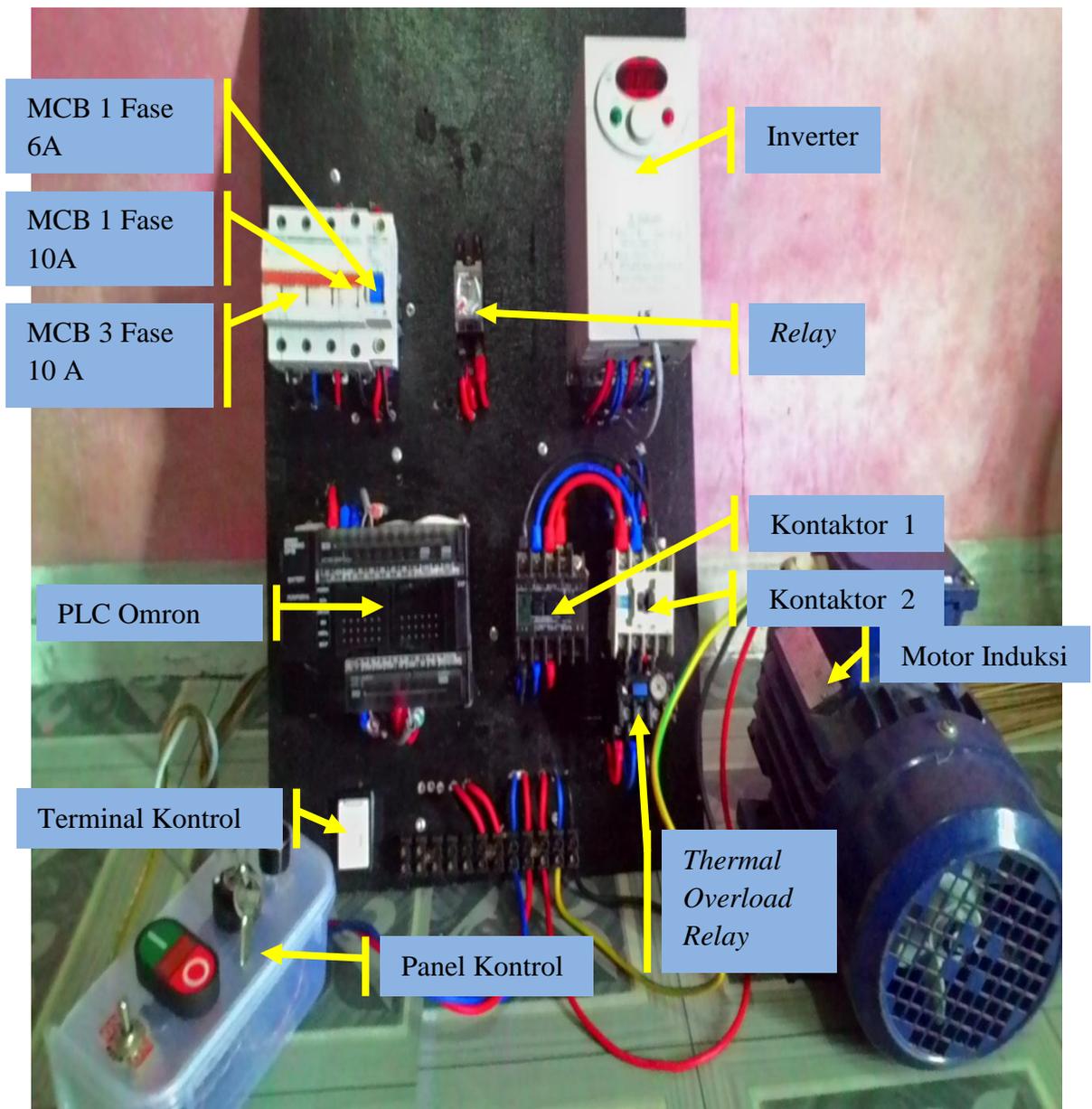


Gambar 3.2 Diagram Skema Sistem Kendali MITF



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Realisasi Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase (MITF)



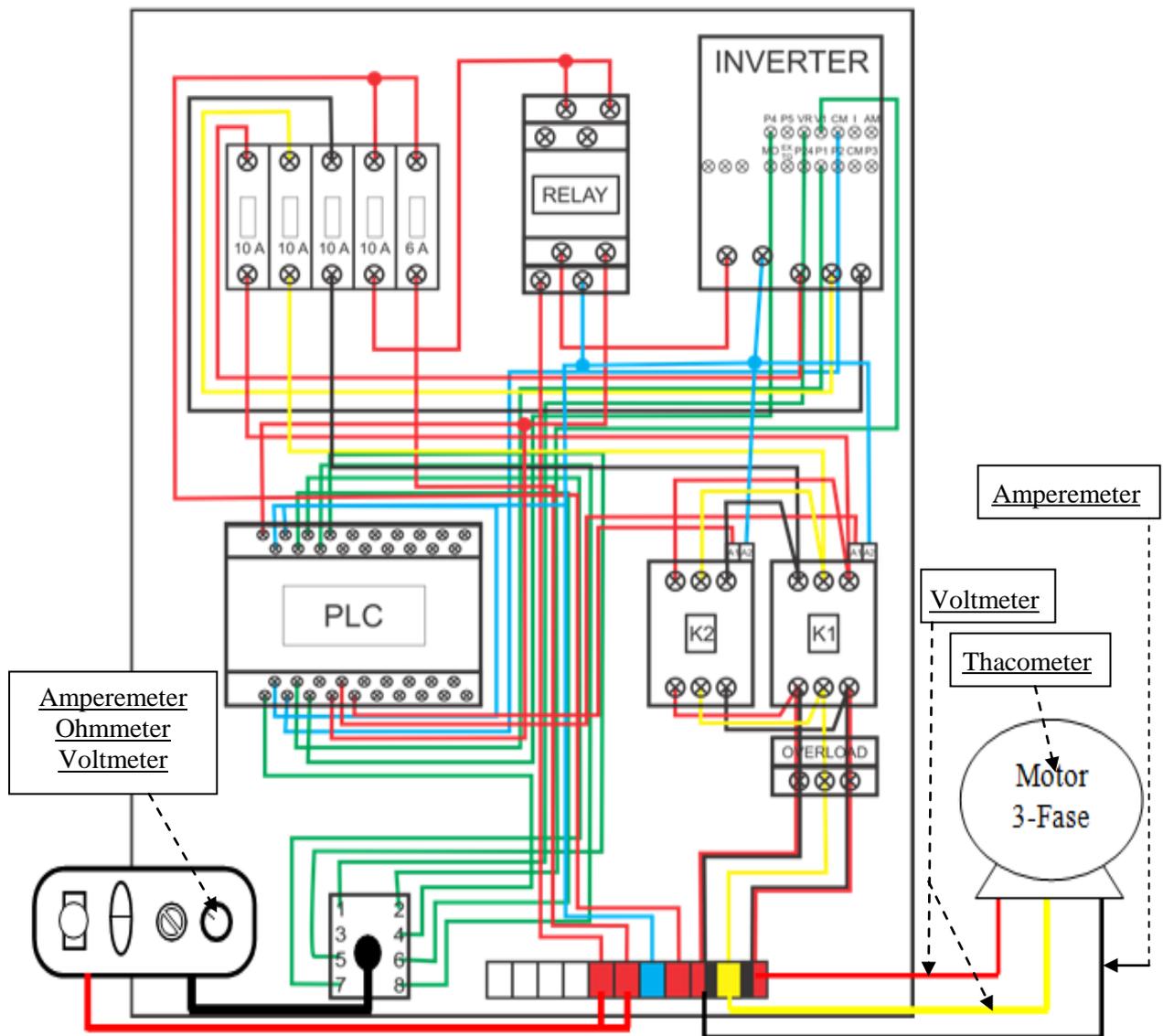
Gambar 4.1 Foto Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase yang telah direalisasikan.

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 masing-masing gambar dan diagram memperlihatkan hasil realisasi sistem kendali MITF yang menggunakan PLC. Sistem tersebut terdiri dari empat bagian inti, yang terdiri dari Panel Kontrol, PLC (*Programmable Logic Control*), Inverter, dan MITF. Sistem kendali ini berfungsi untuk mengendalikan MITF dalam operasi : start/stop, pembalikan arah putaran serta variasi kecepatan.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 semua alat saling terhubung dan menjalankan fungsinya sebagai sistem yang saling mendukung. Pada panel kendali terdapat komponen-komponen yaitu *forward* dan *reverse*, tombol *run/start* dan *stop/reset*, pengunci, serta ada pula kendali kecepatan (potensio) yaitu komponen yang dapat mengubah kecepatan atau memvariasikan kecepatan dari kecepatan minimum sampai kecepatan maksimum.

PLC memiliki peranan penting di dalam sistem ini sebagai penghubung sinyal masukan dan sinyal keluaran, dimana sinyal masukan dari panel kendali diterima dan diolah sehingga menghasilkan sinyal keluaran sesuai dengan sistem rangkaian pada *Software CX-Programming* yang telah dirangkai sesuai dengan kebutuhan untuk mengendalikan *Inverter Drive* dan Kontaktor.

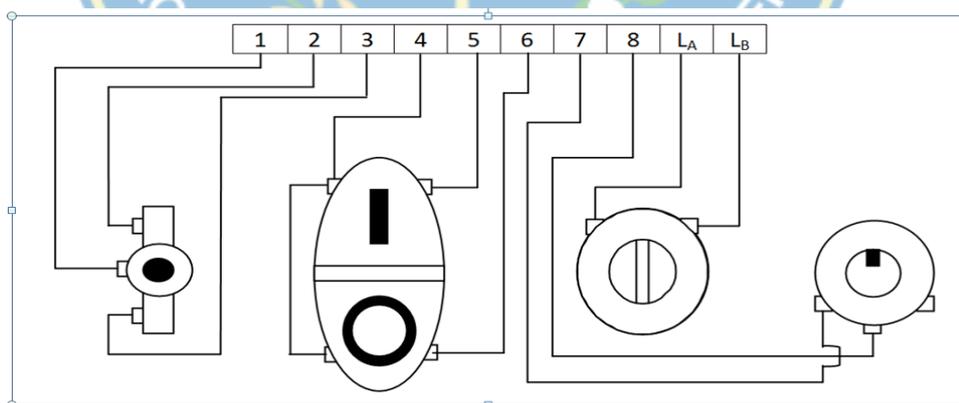
Inverter menerima perintah dari PLC dan Kontrol untuk menghasilkan daya yang berubah-ubah nilai frekuensinya untuk disalurkan ke motor tiga-fase, berubah-ubahnya frekuensi inilah yang menyebabkan perubahan kecepatan putaran pada motor tiga-fase.



Gambar 4.2 Rangkaian Pengawatan Sistem Kendali MITF

Gambar 4.2 menunjukkan jalur rangkaian pengawatan pada aplikasi kendali kecepatan motor induksi tiga fase berbasis PLC Omron CP1E. Dalam rangkaian tersebut terdapat alat berupa satu buah motor induksi tiga-fase, satu buah inverter, satu buah IR *relay box*, satu buah PLC, dua buah kontaktor, satu buah *thermal overload relay*, dan tiga buah MCB yaitu MCB satu fase 6A, MCB satu fase 10A, MCB tiga fase 10A.

PLC yang digunakan pada rangkaian aplikasi kendali motor tersebut yaitu PLC Omron CP1E dimana PLC tersebut berisi instruksi berupa program. Dalam rangkaian tersebut terdapat Inverter LS iC5 yang selain dapat mengubah tegangan AC ke DC atau sebaliknya juga dapat mengontrol kecepatan melalui potensiometer yang terdapat pada inverter tersebut. Kontaktor bermerek Mitsubishi model S-N10 dan INS model S-K12 dimana kontaktor ini digunakan untuk melakukan fungsi *forward* dan *reverse*. MCB satu fase 6A bermerek CHNT, MCB satu fase 10A bermerek Schneider, dan MCB tiga fase 10A bermerek Schneider dimana MCB tersebut sebagai pemutus arus dan sebagai pengaman hubung singkat. Terdapat IR *Relay Box* bermerek Omron LY2N yang berfungsi untuk mengontrol atau mengendalikan output rangkaian. Dalam rangkaian tersebut juga terdapat *Thermal Overload Relay* bermerek Mitsubishi model TH-N12 sebagai pengaman motor listrik dari beban lebih. Adapun motor yang digunakan yaitu motor induksi tiga-fase dengan daya input 220V dengan frekuensi 50Hz.



Gambar 4.3 Gambar Panel Kendali

Gambar 4.3 menunjukkan jalur rangkaian kontrol pada aplikasi kendali kecepatan motor induksi tiga-fase berbasis PLC Omron CP1E. Dalam rangkain

tersebut terlihat beberapa sambungan dari alat-alat yang terdapat pada panel kontrol. Pada kotak kontrol itu sendiri terdapat tombol *forward* dan *reverse*, tombol *run/start* dan *stop/reset*, pengunci, serta ada pula potensiometer.

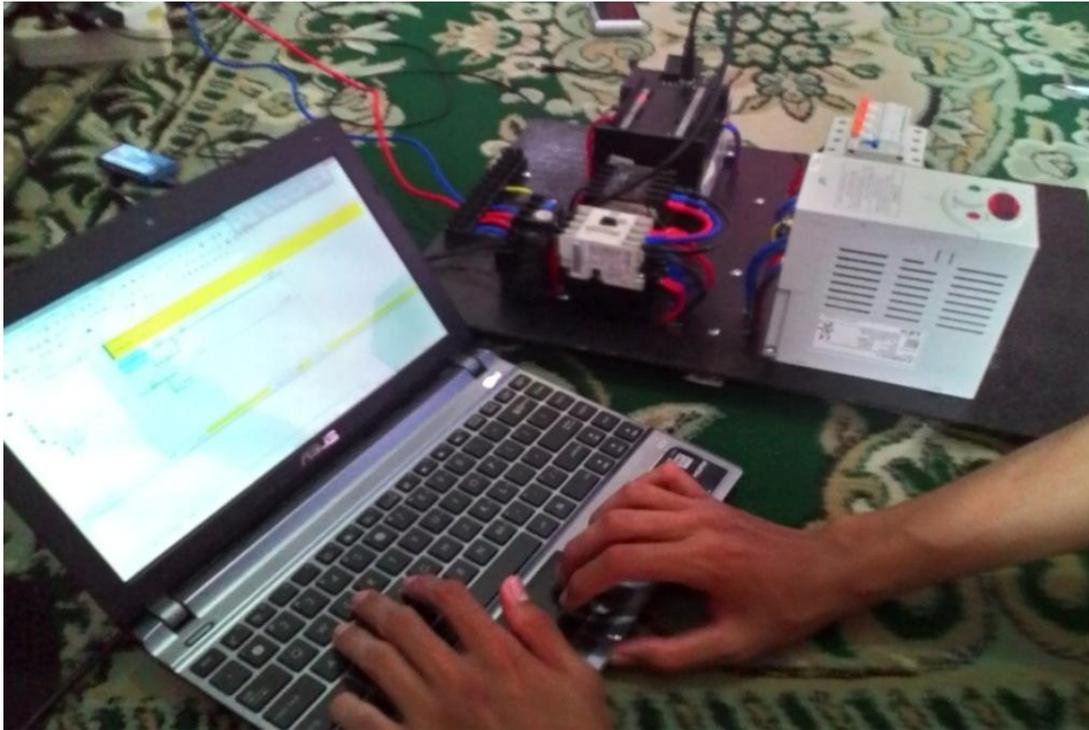
Satu buah tombol *forward* dan *reverse*, berfungsi untuk menjalankan perintah *forward* dan *reverse*. Tombol *run/start* berfungsi untuk memulai menjalankan mesin untuk berputar dan *stop/reset* berfungsi untuk memberhentikan jalannya mesin secara teratur sampai berhenti. Pengunci yang terdapat pada *controller* dimaksudkan sebagai pengaman atau mesin tidak akan aktif jika tidak di kunci terlebih dahulu. Adapun alat yang terdapat pada *controller* tersebut yaitu potensiometer yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan cara di putar.

B. Program Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase (MIFT)

1. Pembuatan Program Kendali PLC untuk Realisasi Sistem Kendali Motor Induksi Tiga-Fase (MIFT)

Program PLC secara umum merupakan gabungan dari logika-logika sederhana diantaranya adalah logika AND, logika OR maupun Inverse-nya serta pengunci. Logika AND merupakan instruksi yang harus selalu didahului sekurang-kurangnya satu kontak yang lain. Pada ladder diagram logika AND dapat dijelaskan sebagai kontak NO (*Normally Open*) dalam rangkaian seri dengan kontak-kontak sebelumnya. Instruksi AND memungkinkan banyaknya masukan dari sinyal-sinyal kondisi. Bila semua sinyal kondisi bernilai benar ("1" / "*true*") maka baris program tersebut akan dijalankan dan selain itu tidak dijalankan.

Program dimaksudkan/berfungsi untuk member intruksi ke PLC untuk melakukan fungsi *start/stop* dan *forward/reverse*. Pembuatan program dilakukan agar fungsi alat seperti kontaktor dapat bekerja secara otomatis.

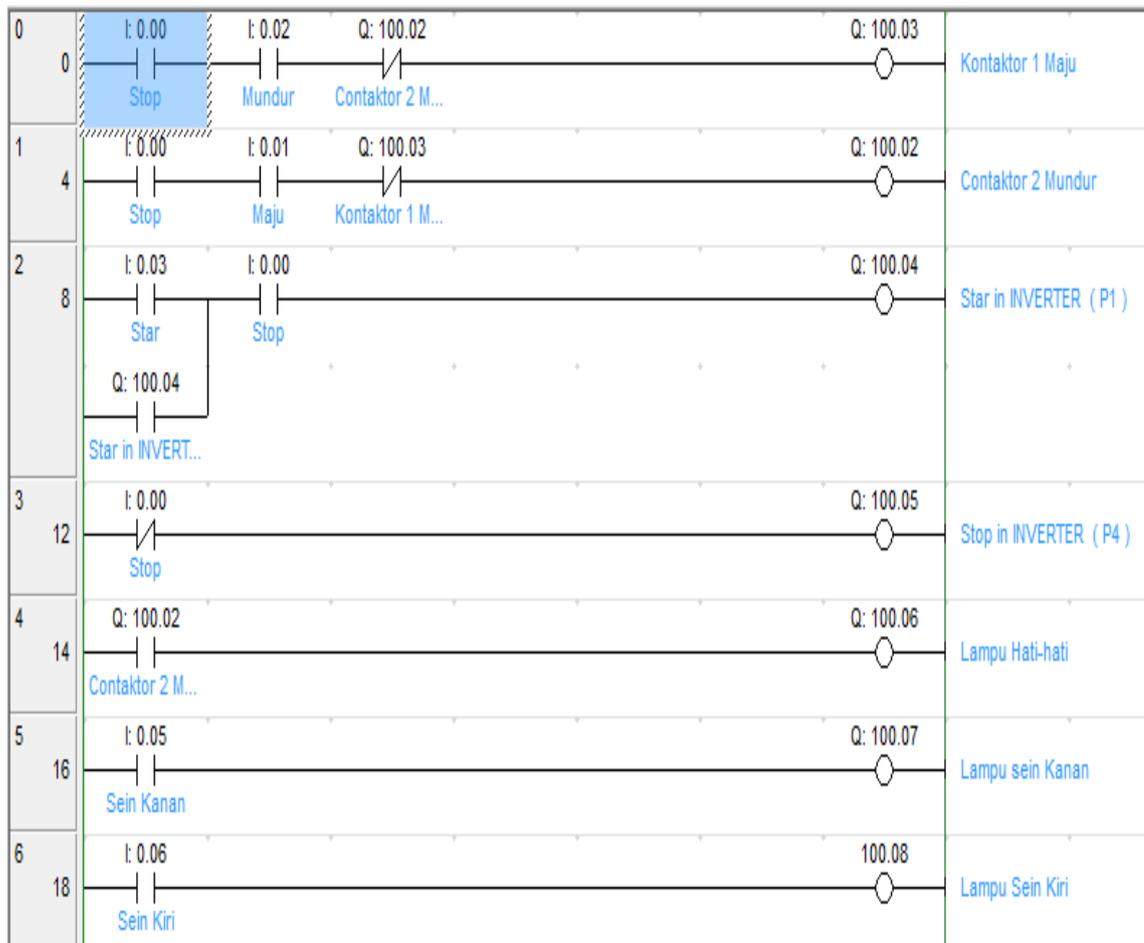


Gambar 4.4 Pembuatan Program Aplikasi Kendali Kecepatan MITF

Pembuatan program digunakan laptop yang dihubungkan ke PLC menggunakan kabel serial USB dimana kabel ini sebagai penghubung antara laptop ke PLC. Program yang digunakan merupakan *Software CX-Programmer* yang dikhususkan untuk PLC jenis Omron, untuk laptop yang digunakan menggunakan *Software window seven* yang sudah sangat *familiar* digunakan untuk berbagai keperluan.

2. Program PLC Omron Sysmac CP1E

Desain program yang terdapat pada PLC Omron Sysmac CP1E.



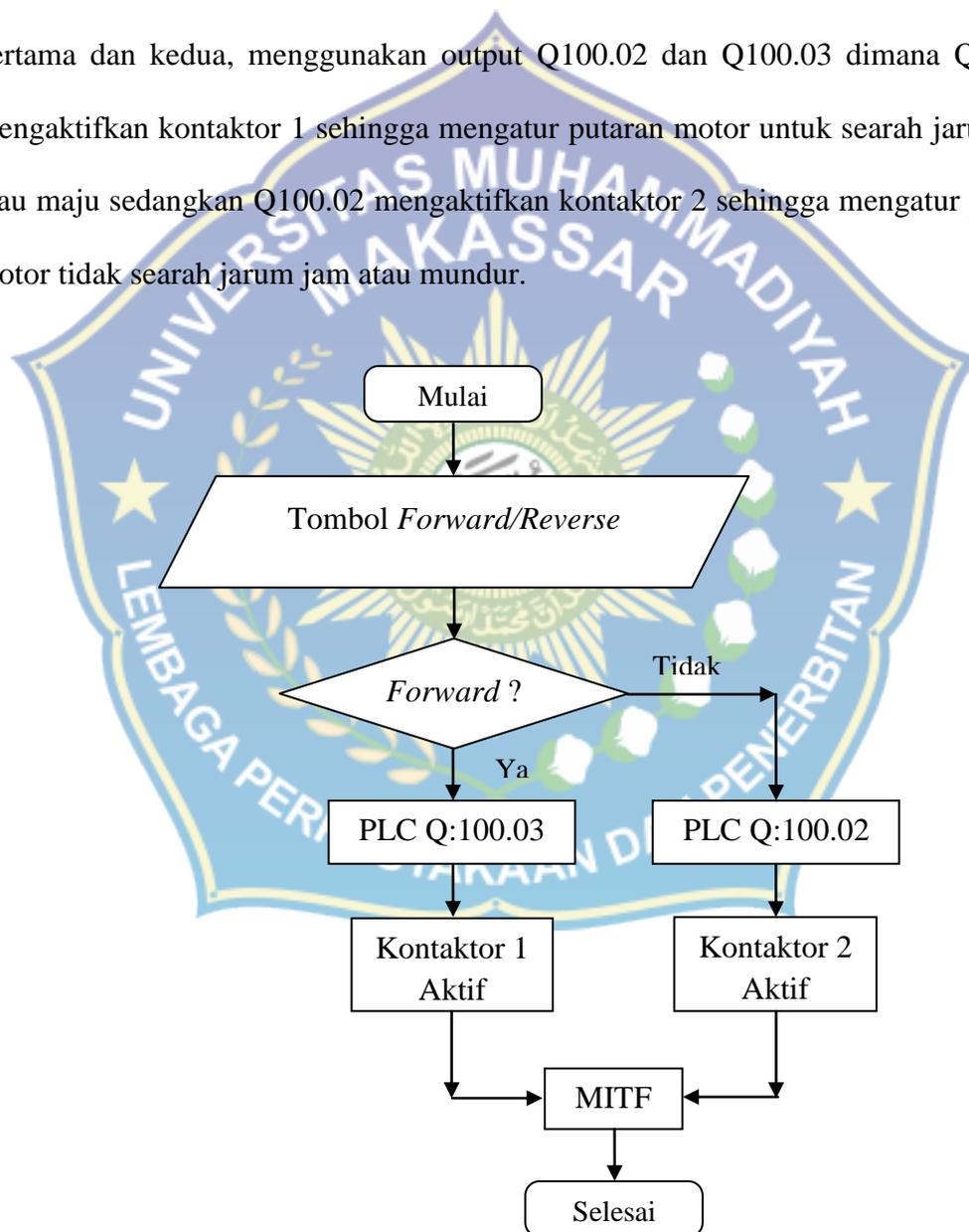
Gambar 4.5 Diagram Ladder Program Sistem Kendali MITF pada PLC

Gambar 4.5 menunjukkan bentuk program pada PLC (*ladder diagram*) yang telah dirangkai menggunakan Cx-Programmer dan diupload ke PLC. Pada program tersebut terdapat rangkaian untuk mengendalikan kontaktor dan inverter drive. Dimana *output* PLC difungsikan sebagai pengendali kontaktor dan inverter.

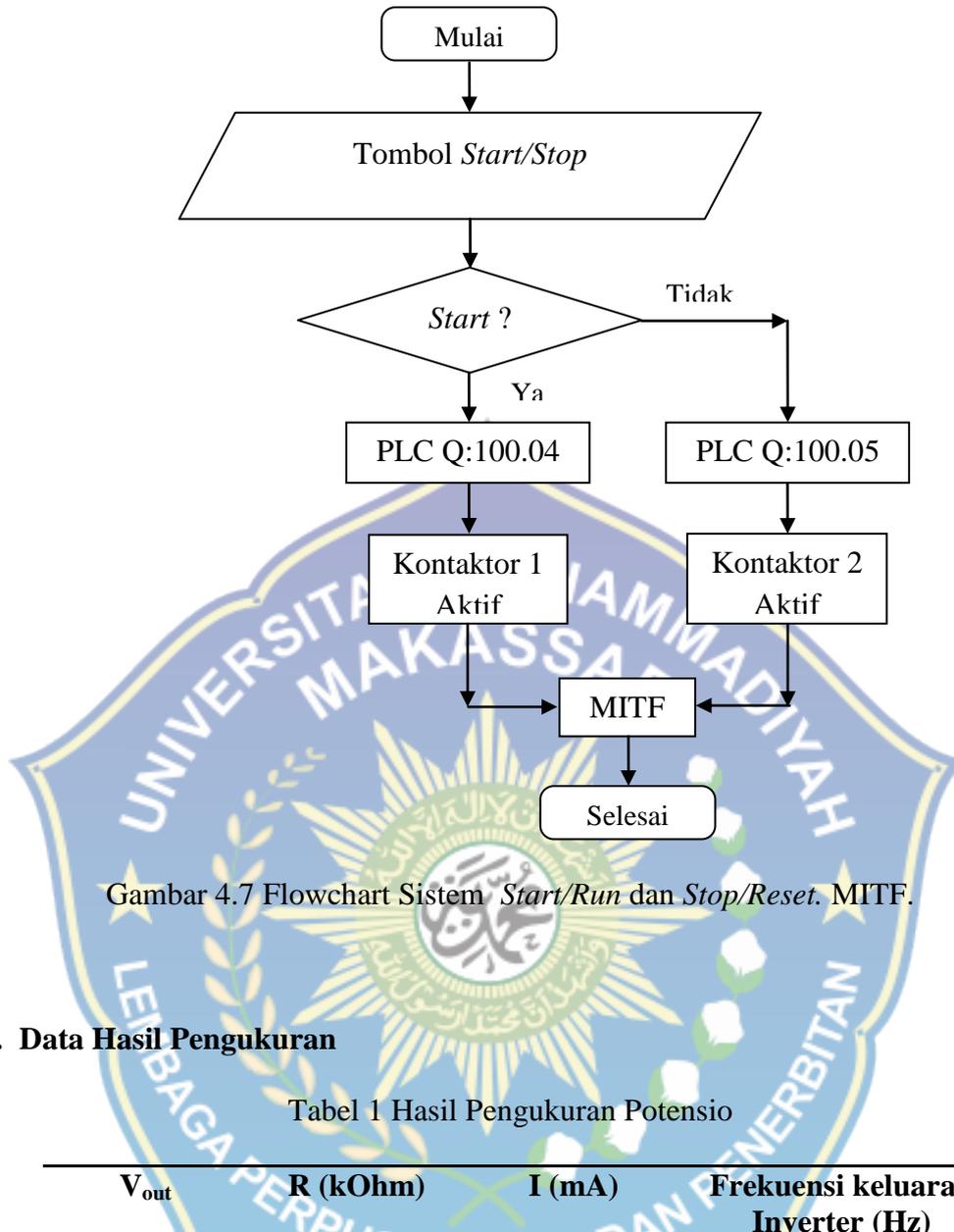
Gambar 4.5 rangkaian pengendali inverter yaitu *start* dan *stop*, terdapat pada baris kedua dan ketiga, menggunakan output Q100.04 dan Q100.05, dimana

Q100.04 sebagai start inverter untuk memulai mengalirkan daya untuk menggerakkan motor tiga-fase. Dan Q100.05 sebagai stop inverter untuk menghentikan daya yang mengalir, sehingga motor berhenti dikarenakan tidak mendapatkan daya.

Rangkaian pengendali kontaktor yaitu maju dan mundur terdapat pada baris pertama dan kedua, menggunakan output Q100.02 dan Q100.03 dimana Q100.03 mengaktifkan kontaktor 1 sehingga mengatur putaran motor untuk searah jarum jam atau maju sedangkan Q100.02 mengaktifkan kontaktor 2 sehingga mengatur putaran motor tidak searah jarum jam atau mundur.



Gambar 4.6 Flowchart Sistem *Forward/Reverse* MITF,



Gambar 4.7 Flowchart Sistem *Start/Run* dan *Stop/Reset*. MITF.

C. Data Hasil Pengukuran

Tabel 1 Hasil Pengukuran Potensio

V_{out}	R (kOhm)	I (mA)	Frekuensi keluaran Inverter (Hz)
0	100	0	0
10,88	99,1	0,11	5,8
10,19	51,3	0,20	10
9,45	29,6	0,32	15
8,61	19,4	0,44	20
7,8	13,5	0,58	25
6,96	9,4	0,74	30
6,16	6,3	0,98	35
5,35	5,5	0,97	40
4,52	4,3	1,05	45
3,71	2,9	1,28	50
2,89	2,1	1,38	55
2,04	1,4	1,46	60

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran pada potensio. Dalam table tersebut terdapat tiga hal yang terukur yaitu V_{out} , R (kOhm), dan I (mA). Alat yang digunakan dalam pengukuran tersebut yaitu multimeter.

Saat frekuensi yang terlihat pada inverter menunjukkan 15Hz maka V_{out} -nya menjadi 9,45 V, resistansi menjadi 29,6 kOhm, dan arusnya yaitu 0,32 mA. Ketika frekuensi yang terlihat pada inverter menunjukkan 40Hz, maka V_{out} -nya menjadi 5,35 V, resistansi menjadi 5,5 kOhm, dan arusnya yaitu 0,97 mA. Ketika frekuensi yang terlihat pada inverter menunjukkan 60Hz, maka V_{out} -nya menjadi 2,04 V, resistansi menjadi 1,4 kOhm, dan arusnya yaitu 1,46 mA.

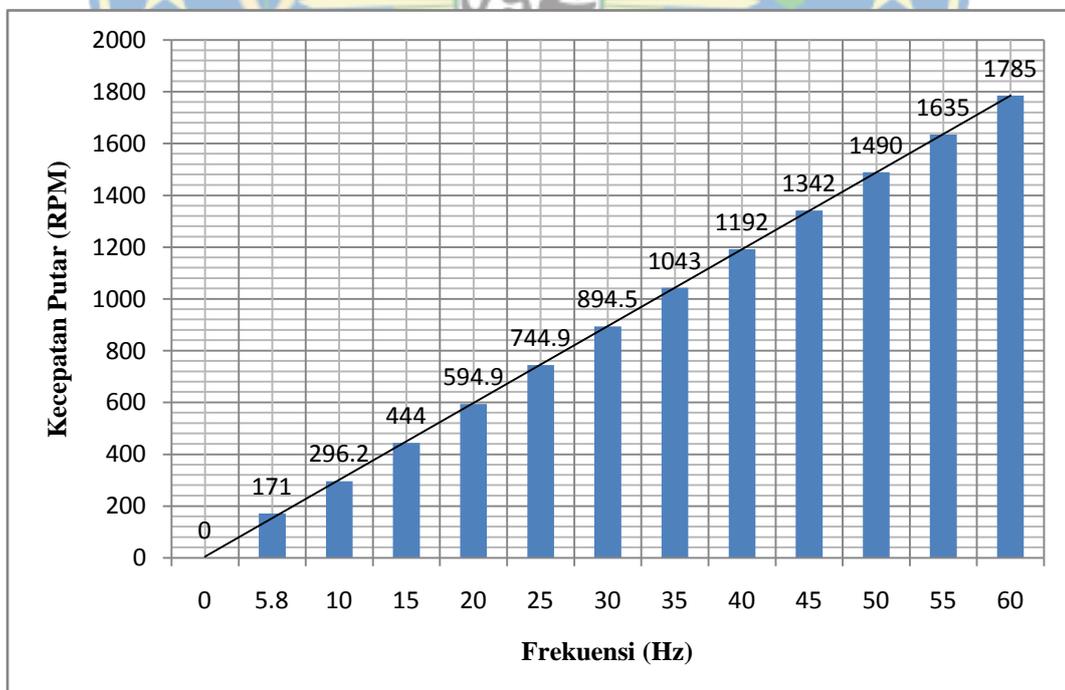
Tabel 2 Hasil Pengukuran Kendali Putaran MITF dalam Arah *Reverse*

Tegangan Potensio (V)	V_{in}	V_{out}			Arus (A)				Frekuensi (Hz)	Kec. Putar (RPM)
		Fase R-S	Fase S-T	Fase T-R	I_{in}	I_R	I_S	I_T		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,88	191	31	31	31	2,8	0,4	0,4	0,4	5,8	171
10,19	191	51	51	51	3	2,2	2,2	2,2	10	296,2
9,45	191	57	57	57	3,4	4	4	4	15	444
8,61	191	70	70	70	3,8	5,2	5,2	5,2	20	594,9
7,8	191	79	79	79	4,2	5,8	6	5,8	25	744,9
6,96	191	96	96	96	4,6	6,6	6,4	6,6	30	894,5
6,16	191	107	107	107	5,4	6,8	6,8	6,8	35	1043
5,35	191	120	120	120	5,8	7	7	7,2	40	1192
4,52	191	127	127	127	6,4	7,2	7,2	7,2	45	1342
3,71	191	139	139	139	6,8	7,4	7,4	7,4	50	1490
2,89	191	160	160	160	7,4	7,4	7,6	7,6	55	1635
2,04	191	175	175	175	8,2	7,6	7,9	7,9	60	1785

Tabel 2 merupakan hasil pengukuran kendali putaran MITF dalam arah *reverse*. Dalam table tersebut dapat dilihat data-data hasil pengukuran dengan

menggunakan alat ukur berupa tachometer dan multimeter. Di mulai dari Tegangan input (V_{in}), Tegangan output (V_{out}), Arus (A), dan RPM.

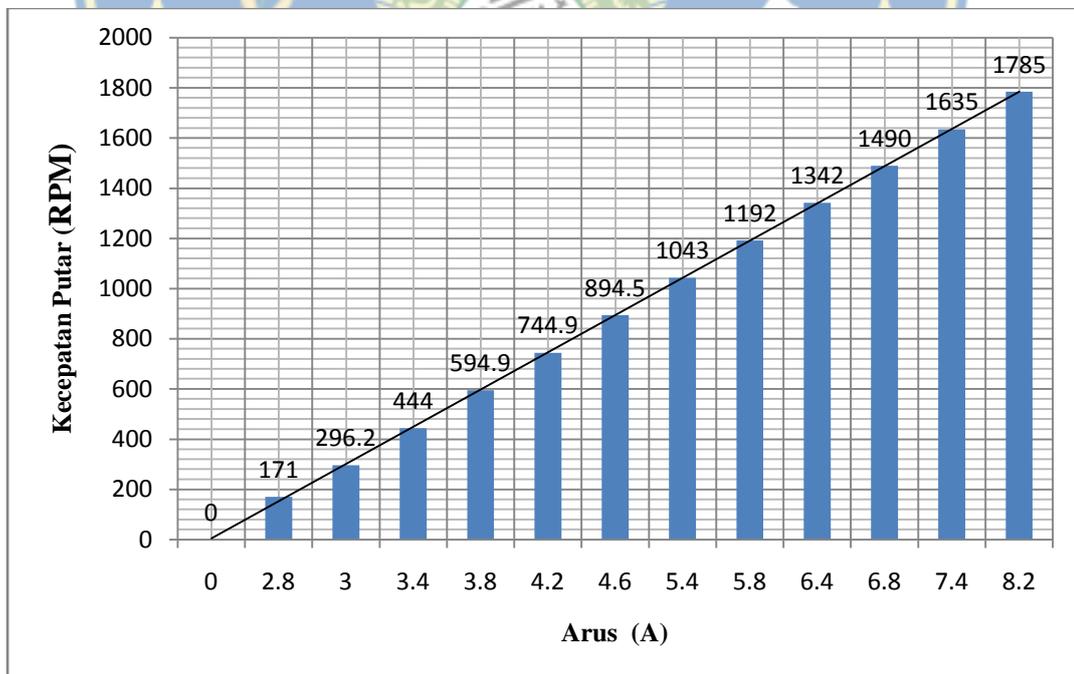
Saat frekuensinya 5,8 Hz, tegangan input sebesar 191 V, tegangan output disetiap fasenya yaitu 31 V, arus inputnya yaitu 2,8 A, arus disetiap fasenya yaitu 0,4 A dan kecepatan motor yang berputar mencapai 171 RPM. Begitu pula ketika frekuensinya 35 Hz, tegangan input sebesar 191 V, tegangan output disetiap fasenya yaitu 107 V, arus inputnya yaitu 5,4 A, arus disetiap fasenya yaitu 6,8 A dan kecepatan motor yang berputar mencapai 1043 RPM. Saat frekuensinya mencapai 60 Hz, tegan inputnya yaitu 191 V, tegangan output disetiap fasenya yaitu 175, arus inputnya 8,2 A, arus disetiap fasenya yaitu 7,9 A dan kecepatan motor yang berputar mencapai 1785 RPM.



Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Ferkuensi

Gambar 4.7 menunjukkan grafik antara kecepatan putar (RPM) MITF dan frekuensi. Kecepatan putar (RPM) berada pada posisi vertikal dan Frekuensi berada pada posisi horizontal pada grafik tersebut. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kenaikan yang bertahap dari kecepatan putar (RPM) sebanding dengan frekuensi sumber.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika frekuensi berada pada titik 0 Hz maka kecepatannya juga berada pada titik 0 RPM. Saat frekuensi berada pada titik 30 Hz maka kecepatan meningkat dan berada pada titik 894,5 RPM antara 800 RPM dan 1000 RPM pada grafik. Saat frekuensi berada pada titik 60 Hz maka kecepatan mencapai maksimum yaitu 1785 RPM antara 1600 RPM dan 1800 RPM

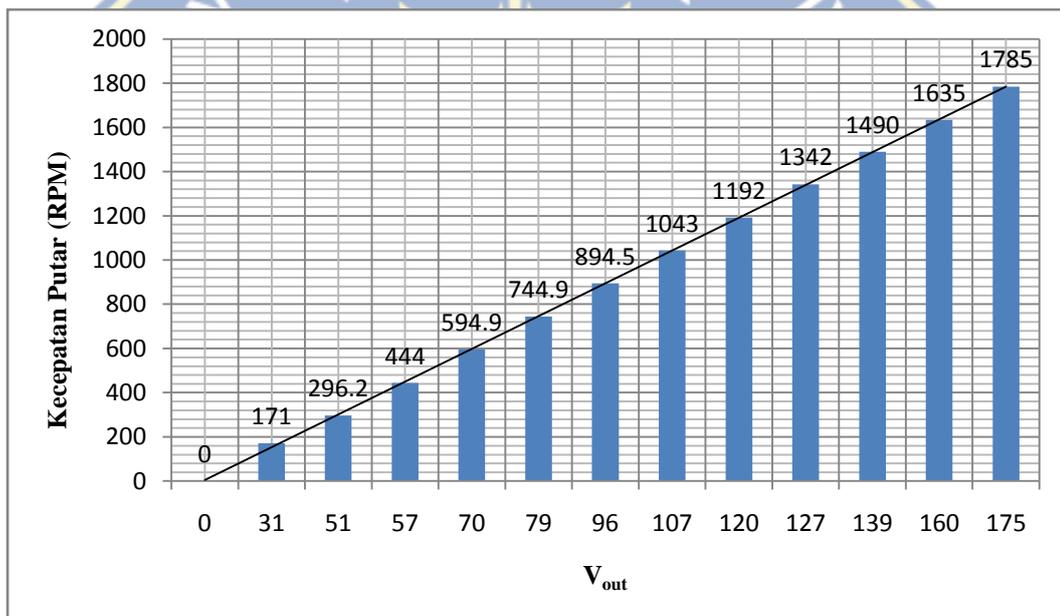


Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Arus (A)

Gambar 4.8 menunjukkan grafik antara kecepatan putar (RPM) MITF dan Arus. Kecepatan putar (RPM) berada pada posisi vertikal dan Arus berada pada

posisi horizontal pada grafik tersebut. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kenaikan yang bertahap dari kecepatan putar (RPM) sebanding dengan arus.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika arus berada pada titik 0 A maka kecepatannya juga berada pada titik 0 RPM. Saat arus berada pada titik 4,6 A maka kecepatan meningkat dan berada pada titik 894,5 RPM antara 800 RPM dan 1000 RPM pada grafik. Saat arus berada pada titik 8,2 A maka kecepatan mencapai maksimum yaitu 1785 RPM antara 1600 RPM dan 1800 RPM



Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan V_{out}

Gambar 4.9 menunjukkan grafik antara kecepatan putar (RPM) MITF dan V_{out} . Kecepatan putar (RPM) berada pada posisi vertikal dan V_{out} berada pada posisi horizontal pada grafik tersebut. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kenaikan yang bertahap dari kecepatan putar (RPM) sebanding dengan V_{out} .

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika V_{out} berada pada titik 0 V maka kecepataannya juga berada pada titik 0 RPM. Saat V_{out} berada pada titik 96 V maka kecepatan meningkat dan berada pada titik 894,5 RPM antara 800 RPM dan 1000 RPM pada grafik. Saat V_{out} berada pada titik 175 V maka kecepatan mencapai maksimum yaitu 1785 RPM antara 1600 RPM dan 1800 RPM

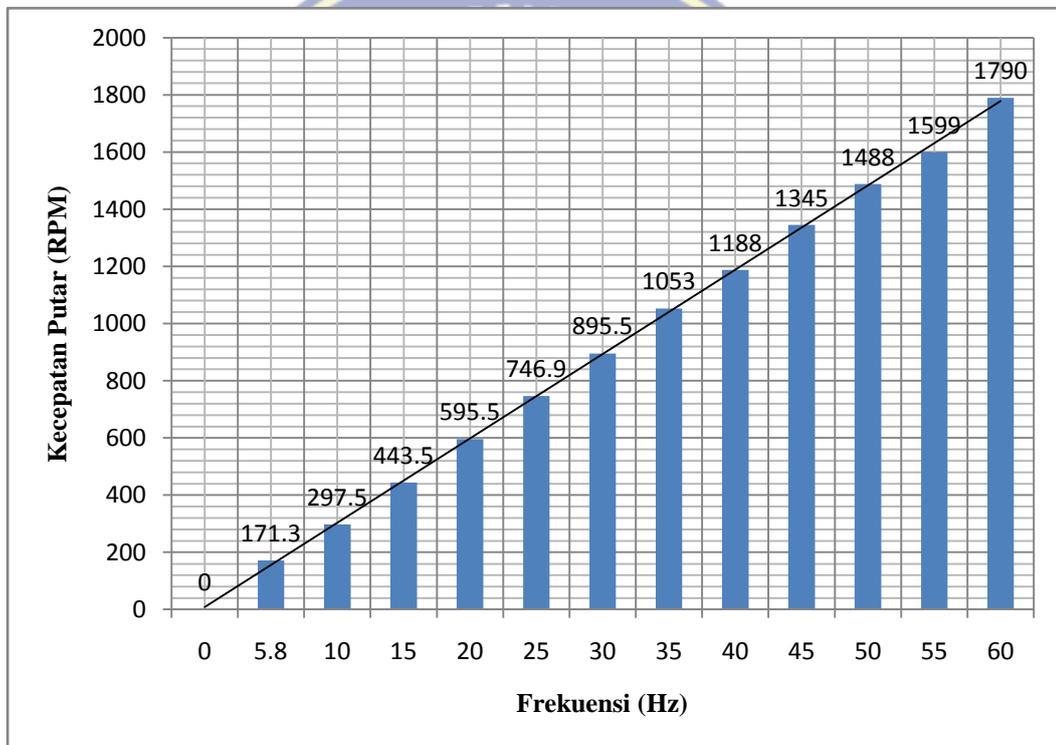
Tabel 3 Hasil Pengukuran Kendali Putaran MITF dalam Arah *Forward*

Tegangan Potensio (V)	V_{in}	Volt (V)			Arus (A)				Frekuensi (Hz)	Kec. Putar (RPM)
		Fase S-R	Fase T-S	Fase R-T	I_{in}	I_R	I_S	I_T		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,88	191	30	30	30	2,7	0,3	0,3	0,3	5,8	171.3
10,19	191	52	52	52	3,2	2,3	2,3	2,3	10	297.5
9,45	191	56	56	56	3,5	4,2	4,1	4,1	15	443.5
8,61	191	71	71	71	3,9	5	5,2	5	20	595.5
7,8	191	78	78	78	4,3	5,7	6,1	5,7	25	746.9
6,96	191	95	95	95	4,5	6,5	6,3	6,5	30	895.5
6,16	191	106	106	106	5,5	6,7	6,7	6,7	35	1053
5,35	191	122	122	122	5,7	7,1	7,1	7,3	40	1188
4,52	191	126	126	126	6,3	7,3	7,2	7,4	45	1345
3,71	191	140	140	140	6,6	7,5	7,5	7,5	50	1488
2,89	191	159	159	159	7,3	7,5	7,7	7,7	55	1599
2,04	191	174	174	174	8,3	7,7	7,9	7,9	60	1790

Tabel 3 merupakan hasil pengukuran kendali putaran motor induksi tiga-fase dalam arah *forward*. Dalam table tersebut dapat dilihat data-data hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur berupa tachometer dan multimeter. Di mulai dari Tegangan input (V_{in}), Tegangan output (V_{out}), Arus (A), dan RPM.

Saat frekuensinya 5,8 Hz, tegangan input sebesar 191 V, tegangan output disetiap fasenya yaitu 30 V, arus inputnya yaitu 2,7 A, arus disetiap fasenya yaitu 0,3 A dan kecepatan motor yang berputar mencapai 171,3 RPM. Begitu pula ketika

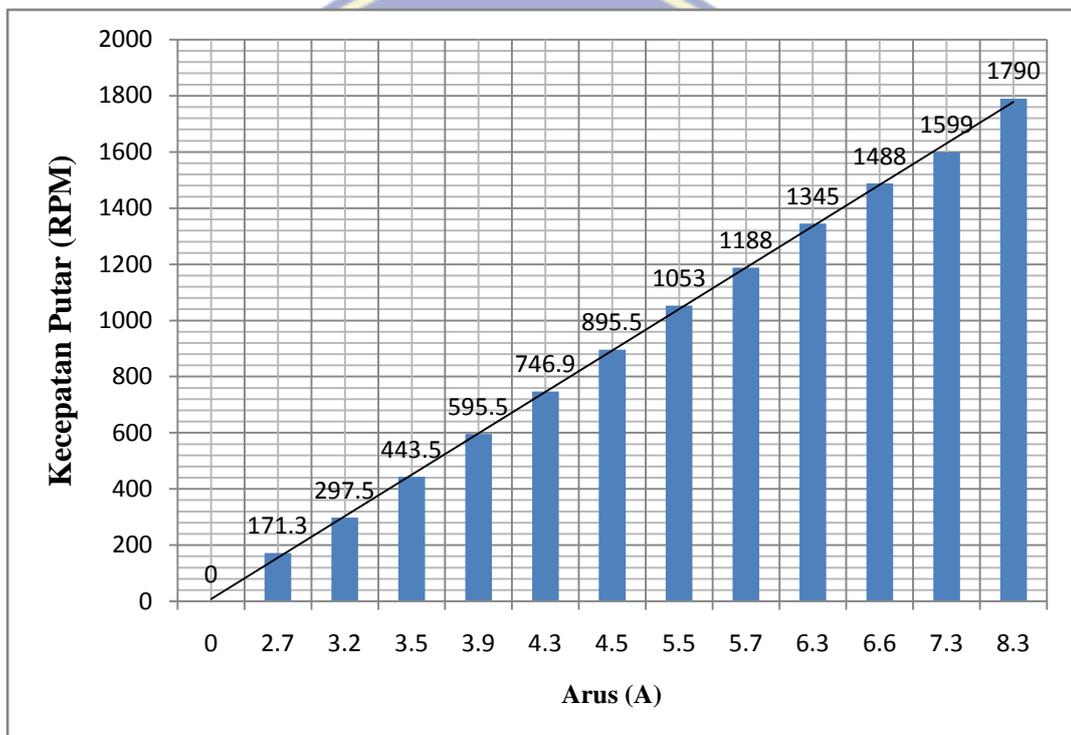
frekuensinya 35 Hz, tegangan input sebesar 191 V, tegangan output disetiap fasenya yaitu 106 V, arus inputnya yaitu 5,5 A, arus disetiap fasenya yaitu 6,7 A dan kecepatan motor yang berputar mencapai 1053 RPM. Saat frekuensinya mencapai 60 Hz, tegan inputnya yaitu 191 V, tegangan output disetiap fasenya yaitu 174, arus inputnya 8,3 A, arus disetiap fasenya yaitu 7,9 A dan kecepatan motor yang berputar mencapai 1790 RPM.



Gambar 4.10 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Ferkuensi

Gambar 4.10 menunjukkan grafik antara kecepatan putar (RPM) MITF dan frekuensi. Kecepatan putar (RPM) berada pada posisi vertikal dan Frekuensi berada pada posisi horizontal pada grafik tersebut. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kenaikan yang bertahap dari kecepatan putar (RPM) sebanding dengan frekuensi sumber.

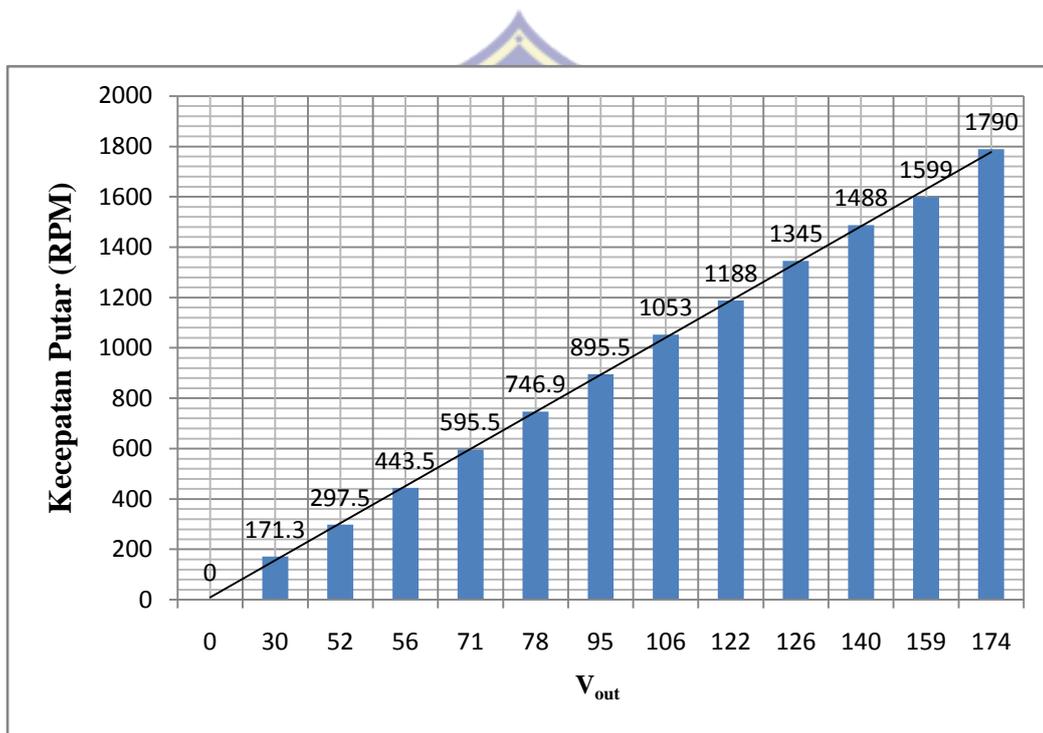
Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika frekuensi berada pada titik 0 Hz maka kecepatannya juga berada pada titik 0 RPM. Saat frekuensi berada pada titik 30 Hz maka kecepatan meningkat dan berada pada titik 895,5 RPM antara 800 RPM dan 1000 RPM pada grafik. Saat frekuensi berada pada titik 60 Hz maka kecepatan mencapai maksimum yaitu 1790 RPM antara 1600 RPM dan 1800 RPM



Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan Arus (A)

Gambar 4.11 menunjukkan grafik antara kecepatan putar (RPM) MITF dan Arus. Kecepatan putar (RPM) berada pada posisi vertikal dan Arus berada pada posisi horizontal pada grafik tersebut. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kenaikan yang bertahap dari kecepatan putar (RPM) sebanding dengan arus.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika arus berada pada titik 0 A maka kecepataannya juga berada pada titik 0 RPM. Saat arus berada pada titik 4,6 A maka kecepatan meningkat dan berada pada titik 895,5 RPM antara 800 RPM dan 1000 RPM pada grafik. Saat arus berada pada titik 8,3 A maka kecepatan mencapai maksimum yaitu 1790 RPM antara 1600 RPM dan 1800 RPM.



Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Putar (RPM) dan V_{out}

Gambar 4.12 menunjukkan grafik antara kecepatan putar (RPM) MITF dan V_{out} . Kecepatan putar (RPM) berada pada posisi vertikal dan V_{out} berada pada posisi horizontal pada grafik tersebut. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kenaikan yang bertahap dari kecepatan putar (RPM) sebanding dengan V_{out} .

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika V_{out} berada pada titik 0 V maka kecepataannya juga berada pada titik 0 RPM. Saat V_{out} berada pada titik 95 V maka

kecepatan meningkat dan berada pada titik 895,5 RPM antara 800 RPM dan 1000 RPM pada grafik. Saat V_{out} berada pada titik 174 V maka kecepatan mencapai maksimum yaitu 1790 RPM antara 1600 RPM dan 1800 RPM.



BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penulis dapat menyimpulkan bahwa :

1. Telah terealisasinya alat yang penulis rancang sesuai dengan judul skripsi yaitu “Realisasi Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga-Fase Berbasis PLC Omron CP1E”.
2. Terdapat empat alat utama dalam perancangan tersebut yaitu : Motor Listrik Tiga-Fase, PLC, *Inverter Drive*, dan *Relay*. Selain itu juga terdapat Kontaktor, MCB, dan *Thermal Overload Relay*.
3. Di bagian kontrol terdapat tombol *forward* dan *reverse*, tombol *run/start* dan *stop/reset*, pengunci dan potensiometer.
4. Perubahan arah putaran motor dari *reverse* dan *forward* telah berhasil dilakukan dengan kontrol tombol *reverse* dan *forward*.
5. *Start* dan *stop* motor telah berhasil direalisasikan pada penelitian ini dengan menekan tombol *start* untuk memulai memutar motor dan tombol *stop* untuk menghentikan putaran motor.
6. Variasi kecepatan motor dilakukan dengan mengubah/memutar potensio untuk mendapatkan kecepatan sesuai dengan keinginan dan telah terealisasikan pada alat tersebut.

B. Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan yaitu :

1. Meningkatkan kewaspadaan ketika melakukan pengukuran agar alat ukur yang digunakan tidak mengalami kerusakan.
2. Memperhatikan secara seksama data hasil penelitian agar tidak ada kekeliruan.
3. Berhati-hati dalam menggunakan alat-alat tersebut terutama PLC dan *Inverter Drive* karena alat tersebut memiliki sensitifitas yang tinggi.
4. Dalam penelitian tersebut, masih banyak yang dapat dikembangkan untuk mengoptimalkan penggunaan PLC seperti sensor cahaya, sensor panas, dan lain-lain sehingga bisa menjadi mobil listrik yang memudahkan penggunaannya.



DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Zuriman, ST., MT. *Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 1, No. 1;2011*
- Drs. Kismet Fadillah, Drs Wurdono. 1999. *Instalasi Motor-motor Litrik*. Penerbit Angkasa. Bandung.
- Hamdani,“Aplikasi Smart System Pada Gedung Perkantoran Dengan Menggunakan PLC FX0s-30MR-ES”, Tugas Akhir, Program S1 TeknikElektro FTE-USU, Medan, 2008.
- M. Khairul Amri Rosa, MT - “Electric Machinery Fundamentals”, Stephen J. Chapman, 4th ed, 2005.
- Rongmei, P.L., Shimi S.L, Dr. S. Chatterji, Vinod K. Sharma, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 6, 2012*
- Setiawan, Irawan,Programmable Logic Conttroller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol,Andi , Yogyakarta, 2006.
- Yulianto, Anang, Panduan Praktis Belajar PLC (Programmable Logic Controller), Elex Media Komputindo, Jakarta, 2006.

Lampiran



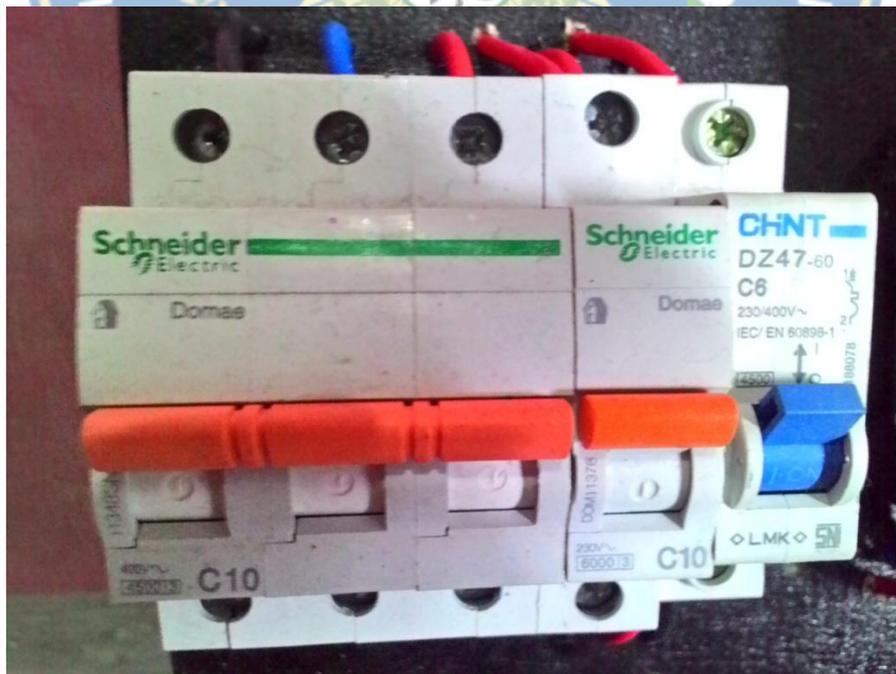
Gambar Inverter



Gambar Motor Induksi Tiga-Fase



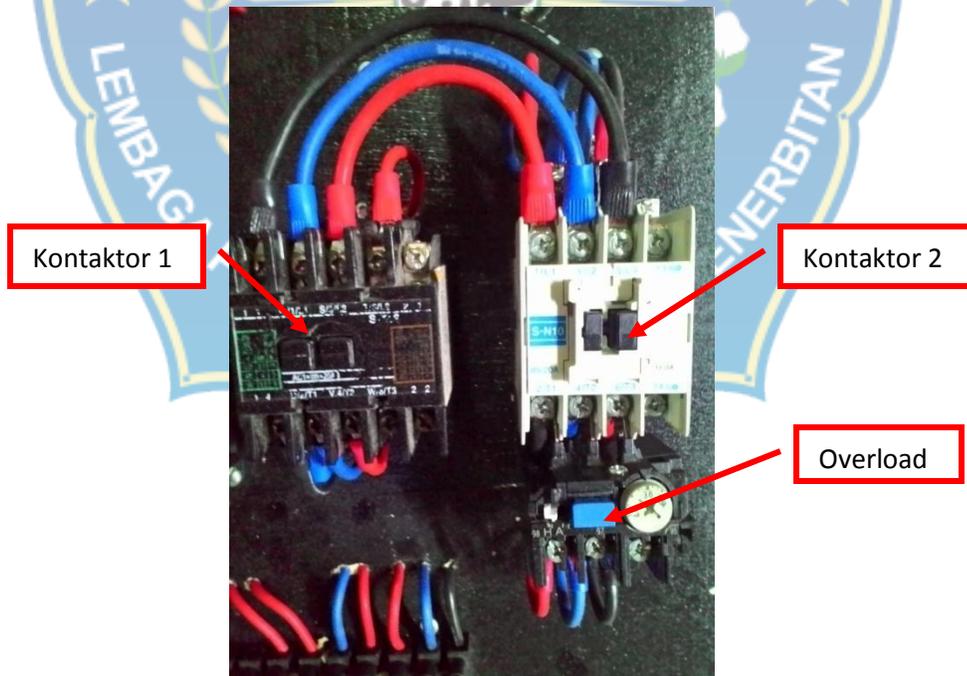
Gambar Relay Omron LY2N



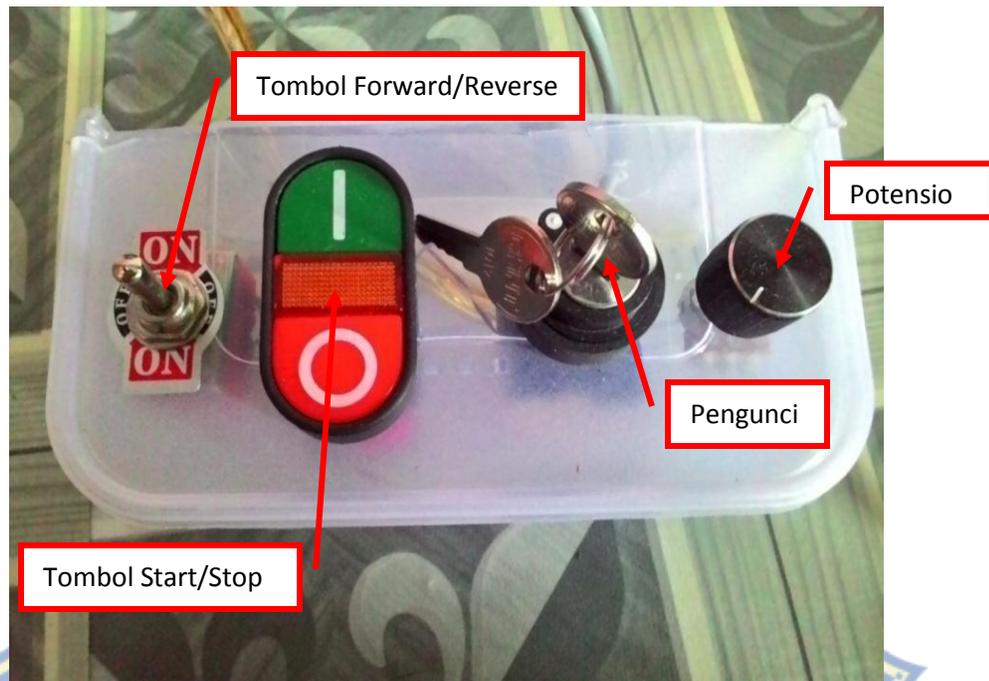
Gambar MCB



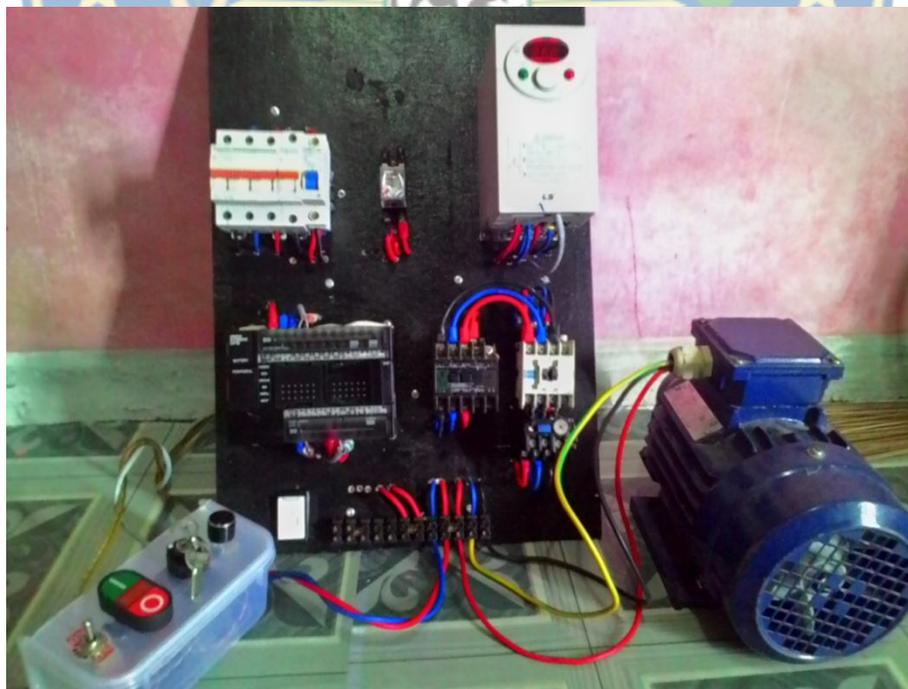
Gambar PLC Omron Sysmac CP1E



Gambar Kontaktor dan Overload

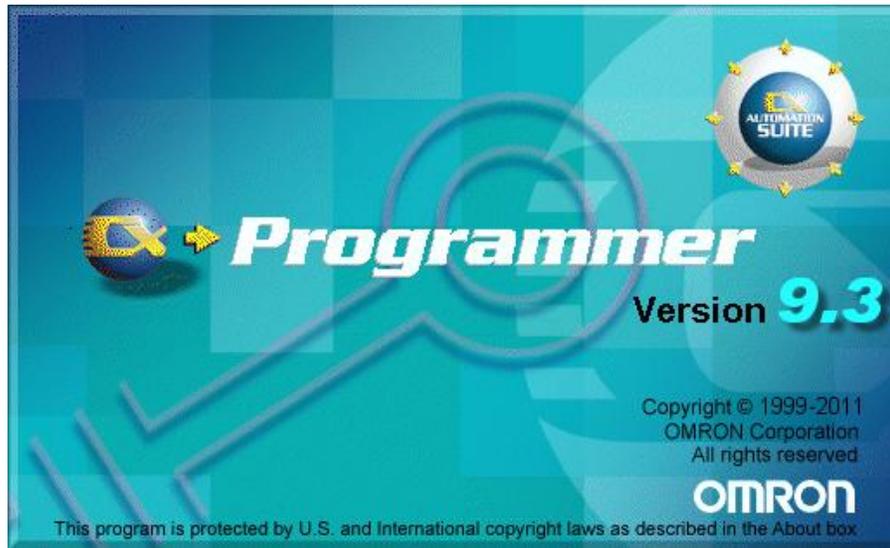


Gambar Panel Kontrol

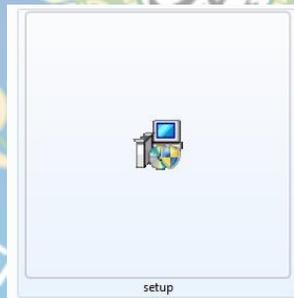


Manual Book PLC

1. Meng-instal aplikasi/driver PLC Omron Sysmac CP1E



a. Meng-klik *icon* seperti pada gambar dibawah ini



b. Setelah Meng-klik *icon* di atas, kemudian akan muncul kotak dialog seperti pada gambar kemudian klik “OK”



c. Pilih “*I accept the terms of the license agreement*”, kemudian klik “*Next*”.



d. Memasukkan nama user dan company, kemudian memasukkan number license.



e. Setelah muncul kotak dialog dibawah ini, pilih “Japan” kemudian klik “Next”.



f. Klik “Next”



- g. Kemudian akan muncul kotak dialog seperti pada gambar dibawah ini, kemudian pilih “Complete” dan klik “Next”.



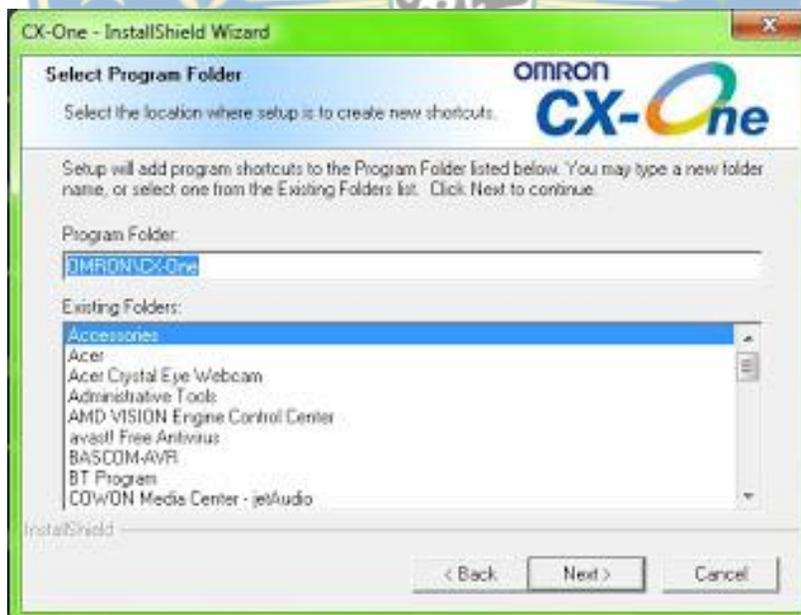
- h. Klik “Next”



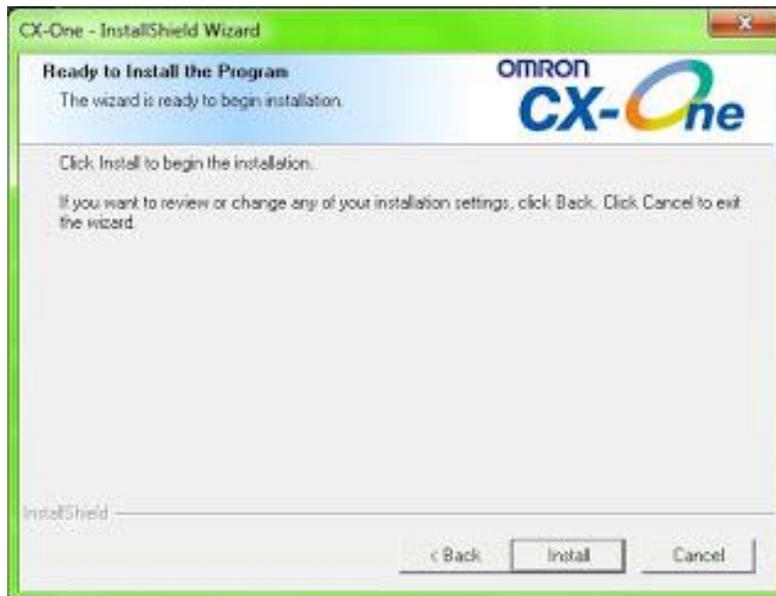
i. Pilih “Complete” dan klik “Next”



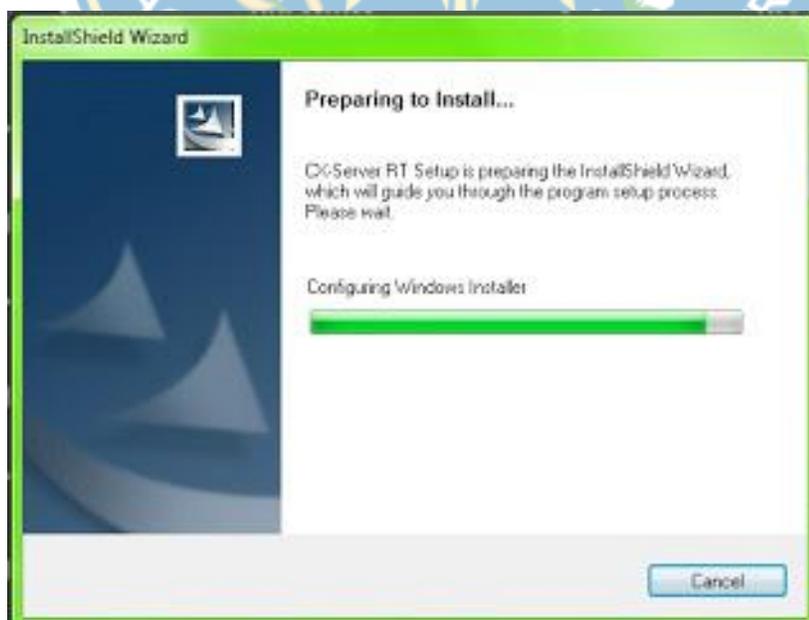
j. Pilih “Accessories” dan klik “Next”



k. Kemudian pilih dan klik *“Install”*



l. Akan muncul kotak dialog seperti pada gambar di bawah ini dan tunggu sampai proses install selesai seperti pada gambar dibawah ini.



m. Proses instal sementara berjalan.



n. Proses install telah selesai kemudian klik “Finish”

