

APLIKASI PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) PADA PENGASUTAN DAN PROTEKSI BINTANG (Y) - SEGITIGA (Δ) MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Reza Fakhrizal¹, Tedjo Sukmadi², Mochammad Facta²
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
email : reza_fakhrizal@yahoo.com

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan secara luas baik dalam industri besar maupun kecil dibandingkan motor jenis lain. Karakteristik motor induksi yang memerlukan penanganan khusus adalah arus pengasutan yang besar. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan sistem pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ), dimana sistem ini sangat sederhana, tidak memerlukan banyak piranti pendukung dan dapat diterapkan untuk semua jenis motor induksi tiga fasa. Tetapi tidak jarang pada metode pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) terdapat suatu permasalahan antara lain pada saat perpindahan bintang (Y) ke segitiga (Δ) ada suatu diskontinuitas. Hal ini tentunya akan berakibat banyak pada suatu sistem.

Pada Tugas Akhir ini, dibuat suatu sistem pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa berbasis Programmable Logic Controller. Pada saat sistem mengharuskan perpindahan posisi dari bintang (Y) ke segitiga (Δ), hal ini akan secara otomatis terjadi tentunya dengan mempertimbangkan agar tidak terjadi lonjakan arus yang besar. Pada Tugas Akhir ini juga dibuat sistem proteksi pada pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa yang berguna bila pada pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa nantinya terjadi suatu keadaan tidak normal (gangguan).

Hasil pengujian menunjukkan pada saat pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ), awalnya motor akan beroperasi bintang (Y), setelah motor berada dalam posisi steady state, suplai akan lepas sesaat sebelum beroperasi segitiga (Δ). Hal ini dilakukan untuk menghindari agar motor tidak beroperasi dalam posisi bintang (Y) dan segitiga (Δ) dalam waktu bersamaan. Arus asut motor menggunakan metode bintang (Y) - segitiga (Δ) sebesar 2,89 Ampere dengan waktu pengasutan 10 detik. Pengujian dengan gangguan menunjukkan bahwa sistem akan berhenti beroperasi setelah menerima input dari sensor, saat terjadi gangguan suplai lepas, satu fasa lepas, dua fasa lepas, hubung singkat dan beban lebih baik ketika motor beroperasi bintang (Y), perpindahan bintang (Y) ke segitiga (Δ) maupun ketika motor beroperasi segitiga (Δ).

Kata kunci : pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ), motor induksi tiga fasa, Programmable Logic Controller

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan secara luas baik dalam industri besar maupun kecil dibandingkan motor jenis lain. Hal ini dimungkinkan karena motor jenis ini memiliki keunggulan-keunggulan baik dari segi teknis maupun ekonomis. Meskipun memiliki keunggulan seperti di atas, motor induksi juga mempunyai kekurangan, yaitu :

- Pengaturan kecepatan sulit dilaksanakan
- Arus awal (*start*) yang besar (lima sampai tujuh kali arus normal)
- Faktor daya yang rendah terutama pada saat memikul beban ringan.

Meskipun motor induksi tiga fasa memiliki karakteristik arus awal yang besar namun hal ini dapat diatasi dengan beberapa metode pengaturan, salah satunya adalah dengan sistem pengasutan bintang (Y)-segitiga (Δ), dimana sistem ini sangat sederhana dan dapat diterapkan untuk semua jenis motor induksi tiga fasa.

Di lain pihak perkembangan teknologi industri dewasa ini menuntut sistem pengaturan yang murah, bisa dikendalikan dari jarak jauh, *real - time*, dan mudah pengawasannya. Pengaturan sistem dengan menggunakan komputer, terutama komputer jenis PC, saat ini sudah dikembangkan, dan sudah menjadi pilihan utama karena mudah, baik penanganannya maupun perawatannya.

Penulis mencoba membuat sistem pengaturan suatu *plant*, dalam hal ini adalah pengaturan pada pengasutan bintang (Y) – segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa, yang dikontrol dengan PLC. Dengan menggunakan sistem pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) diharapkan dapat mengurangi besar arus pengasutan pada saat motor *start*.

Di Tugas Akhir ini juga dibuat sistem proteksi pada pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa, sistem ini berguna bila pada pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa terjadi suatu keadaan tidak normal (gangguan), hal ini tidak akan mempengaruhi sistem.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah pembuatan prototipe sistem otomatisasi pengaturan menggunakan PLC pada sistem pengasutan dan proteksi bintang (Y) - segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa baik dalam kondisi normal maupun tidak normal (ada gangguan).

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Metode pengasutan yang digunakan adalah metode pengasutan bintang (Y) - segitiga (Δ).
- Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa 1 HP tipe sangkar tupai yang dikopel generator DC penguatan terpisah 1 HP.
- Tegangan asut yang digunakan adalah Y / Δ - 220 / 127 V.
- Programmable Logic Control (PLC) yang digunakan adalah tipe OMRON CQM1-CPU21.
- Pembuatan program bantu menggunakan CX Programmer, melalui komunikasi serial menggunakan kabel RS232.
- Penentuan tegangan referensi pada *comparator* yang digunakan pada pengujian dilakukan secara empiris.
- Sensor arus lebih menggunakan *Over Current Relay (OCR)* merk Kasuga-MH tipe RAS703B, dengan range setting arus 2 – 7 A dan range setting waktu operasi 0 – 1 detik.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

8. Sensor kegagalan fasa menggunakan *Phase Failure Relay (PFR)* merk GAE tipe RCM-50.
9. Sensor beban lebih menggunakan *Thermal Overload Relay (TOR)* merk Telemecanique tipe LRD-07, dengan range setting arus 1,6 – 2,5 Ampere.
10. Gangguan yang diujikan meliputi gangguan suplai lepas, satu fasa lepas, dua fasa lepas, hubung singkat dan beban lebih.

II. DASAR TEORI

2.1 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi terdiri dari dua bagian : stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian yang berputar, dimana kedua bagian ini dipisahkan oleh suatu celah udara. Bagian stator dihubungkan ke catu tegangan bolak-balik (AC), sedangkan bagian rotor tidak dihubungkan secara listrik ke pencatu tetapi memiliki arus yang dihasilkan oleh adanya arus induksi yang ditimbulkan dari arus stator, mirip dengan kerja suatu transformator. Oleh sebab itu, bagian stator kadang dianggap sebagai primer dan bagian rotor sebagai sekunder motor.

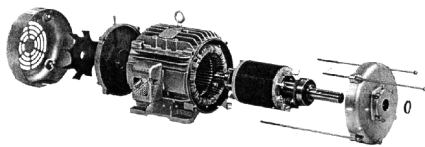
2.1.1 Stator Motor Induksi Tiga Fasa

Inti stator motor induksi terbuat dari lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Belitan motor diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Belitan fasa dapat tersambung secara segitiga (Δ) ataupun bintang (Y).

2.1.2 Rotor Motor Induksi Tiga Fasa

Rotor dari motor induksi tiga fasa dibedakan menjadi 2 tipe yaitu:

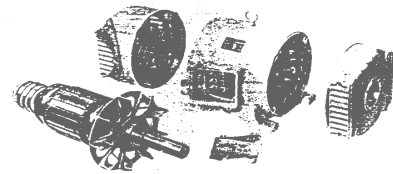
1. Rotor sangkar tupai (*squirrel-cage rotor*)
Inti dari rotor motor induksi tipe sangkar tupai terdiri dari lapisan-lapisan konduktor yang dipasang sejajar dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktor tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan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



Gambar 2.1 Motor tipe rotor sangkar tupai (*Squirrel-cage rotor*)

2. Rotor belitan (*wound rotor*)

Wound rotor adalah tipe motor yang memiliki rotor terbuat dari lilitan. Lilitan rotor tersebar secara seragam pada slot-slot dan secara umum dihubungkan secara wye, ketiga terminal tersebut dihubungkan dengan *slip-ring* kemudian dihubungkan dengan sikat yang diam (*stationary brushes*), dengan demikian maka motor bisa diberi resistor dari luar sehingga kecepatan motor dapat diatur dengan mengubah-ubah nilai tahanan resistor luar.



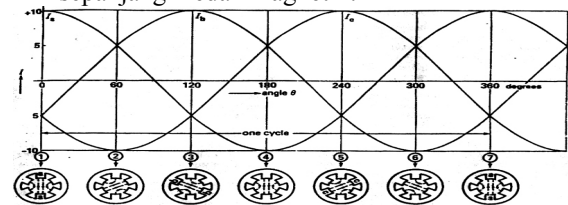
Gambar 2.2 Motor tipe rotor belitan (*wound rotor*)

2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa didasarkan pada hukum Faraday (tegangan induksi akan ditimbulkan oleh perubahan induksi magnetik pada suatu lilitan) dan hukum Lorentz. (perubahan magnetik akan menimbulkan gaya).

Prinsip dasar dapat dijelaskan sebagai berikut

1. Tegangan induksi akan timbul pada setiap konduktor diakibatkan oleh medan magnet yang memotong konduktor (hukum Faraday).
2. Karena konduktor dihubungkan menjadi satu, membuat tegangan induksi menghasilkan arus yang mengalir dari konduktor ke konduktor lain.
3. Karena terjadi arus diantara medan magnet maka akan timbul gaya (hukum Lorentz).
4. Gaya akan selalu menarik konduktor untuk bergerak sepanjang medan magnetik.



Gambar 2.3 Prinsip kerja motor

Kecepatan motor induksi tiga fasa sangat dipengaruhi oleh jumlah kutub pada stator dan frekuensi sumber tegangan yang dirumuskan sebagai berikut.

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

dimana :

- n_s = kecepatan sinkron (rpm)
- f = frekuensi (Hz)
- P = jumlah kutub

Selisih antara kecepatan rotor dan kecepatan sinkron disebut slip. Slip dapat dinyatakan dalam putaran permenit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kecepatan sinkron. Slip dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

- s = Slip
- n_s = Kecepatan Sinkron (putaran/menit)
- n = Kecepatan rotor (putaran/menit)

2.3 Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa

Pada motor induksi yang diam apabila tegangan normal diberikan ke stator maka akan ditarik arus yang besar oleh belitan primernya. Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk mengurangi besarnya arus pengasutan pada motor, ada

beberapa metoda pengasutan motor induksi yang biasa digunakan, yaitu :

- Pengasutan dengan *primary resistors* (rheostat)
- Pengasutan dengan auto-transformator
- Pengasutan bintang - segitiga (Y - Δ)
- Pengasutan dengan tahanan rotor (rheostat), khusus untuk motor tipe rotor belitan.

Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Metode Bintang-Segitiga (Y- Δ)

Sistem pengasutan bintang segitiga adalah metode pengasutan dengan pengurangan tegangan. Sebuah motor induksi dengan hubungan bintang - segitiga memiliki enam buah terminal sehingga dapat diswitch, baik untuk hubungan bintang atau segitiga. Motor dihubungkan bintang (Y) pada waktu pertama kali di-start, dan ketika motor telah mendekati kecepatan normal, hubungan diubah menjadi hubungan segitiga (Δ).

Saat terhubung bintang, tegangan masing-masing fasa dikurangi sebesar $1/\sqrt{3}$ (57,7 % tegangan saluran) karena itu torsi yang timbul menjadi $1/3$ dari apabila motor langsung terhubung delta. Arus saluran dikurangi sebesar $1/3$.

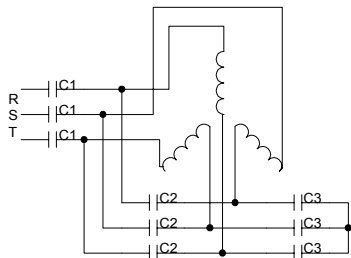
$$I_{st} \text{ per fasa} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{sc} \text{ per fasa} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

I_{sc} = arus start bila motor terhubung Δ
 I_{st} = arus start bila motor terhubung Y

Prinsip Kerja Rangkaian Pengasutan Bintang - Segitiga

Pengasutan Y - Δ bekerja sesuai dengan Gambar 2.4, yaitu apabila motor di-start maka kontaktor C_1 dan C_3 ON, sehingga motor akan terhubung ke jala-jala secara bintang. Setelah beberapa saat kontaktor C_3 OFF dan kontaktor C_2 ON, sehingga motor akan terhubung ke jala-jala dengan hubungan segitiga.



Gambar 2.4 Pengasutan Bintang - Segitiga

2.4 Sekilas Tentang PLC

Programmable Logic Control (PLC) adalah suatu peralatan elektronika digital yang dapat memprogram memori untuk menyimpan instruksi-instruksi dan melaksanakan fungsi khusus seperti logika, sekuensial, timer, counter dan aritmatika untuk kontrol mesin dan proses.

Programmable Logic Control (PLC) merupakan tipe sistem kontrol yang memiliki *input device* yang disebut sensor, kontroller serta *output device*. Peralatan yang dihubungkan pada PLC yang berfungsi mengirim sebuah sinyal ke PLC disebut *input device*. Lalu PLC akan mengirimkan sinyal output ke *output device*.

Konsep PLC

Sesuai dengan namanya, konsep PLC dapat dijelaskan sebagai berikut :

- *Programmable*

menunjukkan kemampuannya yang dapat dengan mudah diubah-ubah sesuai program yang dibuat dan kemampuannya dalam hal memory program yang telah dibuat.

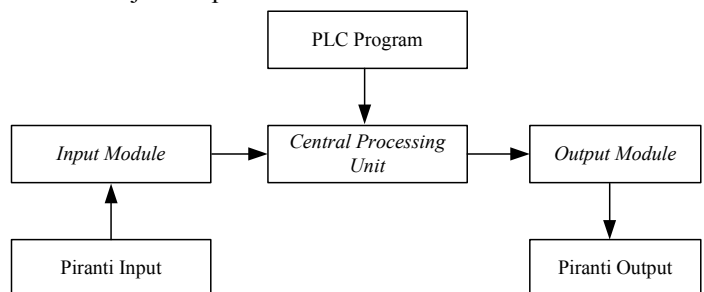
- *Logic*
menunjukkan kemampuannya dalam memproses input secara aritmatik (ALU), yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi, mengurangi, dan negasi.
- *Controller*
menunjukkan kemampuan dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan output yang diinginkan.

Fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. Kontrol Sekuensial. PLC memproses input sinyal biner menjadi output yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (sekuensial), disini PLC menjaga agar semua langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut kepada operator.

Komponen PLC

PLC atau biasa disebut PC (*Programmable Controller*) adalah suatu perangkat yang dapat dengan mudah diprogram yang digunakan untuk mengontrol peralatan. PLC sederhana mempunyai komponen utama berupa CPU (*Central Processing Unit*), *Unit I/O*, *Programming Console*, *Rack* atau *Mounting Assembly* dan *power supply*. Sistem dari sebuah PLC ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sistem dari suatu PLC

2.5 Gangguan dan Proteksi Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Gangguan ini dapat mengakibatkan kerusakan atau mempengaruhi sistem, antara lain :

1. Terjadi gangguan yang tidak normal dari batas yang diijinkan yang akan menyebabkan arus yang besar mengalir pada saluran.
2. Gangguan dapat menurunkan, menghilangkan atau menaikkan sistem tegangan diluar batas yang diijinkan.
3. Gangguan dapat menyebabkan sistem daya tiga phase menjadi tidak simetris atau tidak seimbang.
4. Gangguan dapat menghalangi aliran daya.
5. Gangguan dapat mengakibatkan sistem tidak stabil dan menghentikan aliran daya sistem tenaga listrik.

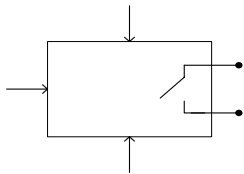
- Gangguan hubung singkat akan menimbulkan arus gangguan yang sangat besar yang dapat dengan cepat merusak peralatan generator, motor maupun transformator.

Seluruh sistem tenaga listrik pasti membutuhkan proteksi. Pilihan sistem proteksi tergantung dari beberapa aspek seperti tipe, dan rating dari peralatan yang diproteksi, kegunaan peralatan tersebut, lokasi, kondisi abnormal, biaya, dan sebagainya. Suatu sistem proteksi akan merasakan keadaan yang abnormal pada bagian dari sistem tenaga dan memberikan peringatan atau mengisolasi keadaan tersebut dari sistem yang sehat.

2.5.1 Relay Arus Lebih (Over Current Relay)

Relay arus lebih (*Over Current Relay* disingkat OCR) berfungsi untuk memproteksi peralatan listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat 2 fasa atau 3 fasa.

Relay arus lebih memiliki input tunggal dalam bentuk arus bolak – balik. Output dari relay adalah kontak yang normal terbuka, yang berubah menjadi tertutup ketika relay trip. Relay ini mempunyai dua buah setting, yaitu setting waktu dan *plug* setting. Setting waktu memutuskan waktu operasi dari relay sementara *plug* setting dibutuhkan bagi relay untuk *pick up*. Nama *plug* setting diambil dari relay elektromekanik. Pada relay ini, kita harus memasukan sebuah *plug* yang pendek dalam jembatan *plug* setting, sehingga untuk mengubah sejumlah lilitan dari koil operasi untuk mendapatkan nilai *pick up* yang khusus. Blok diagram dari OCR ditunjukkan oleh gambar 2.6.

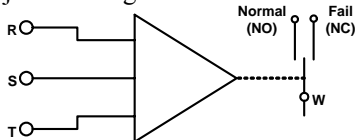


Gambar 2.6 Blok diagram dari OCR

2.5.2 Relay Kegagalan Fasa (Phase Failure Relay)

Relay kegagalan fasa (*Phase Failure Relay* disingkat PFR) berfungsi untuk memproteksi peralatan listrik terhadap gangguan yang disebabkan oleh lepasnya satu, dua atau tiga fasa serta gangguan keseimbangan fasa dari suatu sistem.

Relay arus lebih memiliki input tunggal dalam bentuk arus bolak – balik. Output dari relay adalah kontak yang normal terbuka, yang berubah menjadi tertutup ketika relay trip. Relay ini mempunyai setting *unbalance*. Blok diagram dari OCR ditunjukkan oleh gambar 2.7.

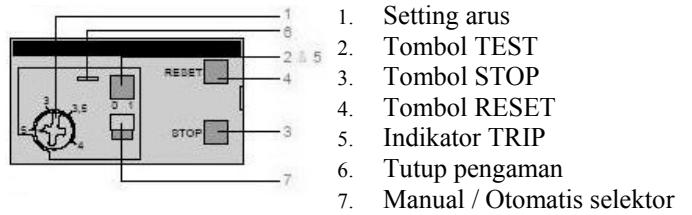


Gambar 2.7 Blok diagram dari PFR

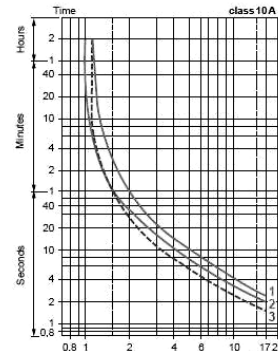
2.5.3 Relay Beban Lebih (Overload Relay)

Untuk melindungi peralatan seperti motor induksi terhadap kerusakan akibat beban lebih (*overload*) diperlukan suatu pengamanan *overload relay* atau biasa disebut Thermal Overload Relay (TOR). Pemanfaatan TOR salah satunya digunakan untuk mengetahui arus lebih yang ditimbulkan oleh beban, sehingga nantinya TOR akan trip sesuai dengan besarnya arus yang ditimbulkan oleh beban. Semakin besar

arus yang ditimbulkan maka semakin cepat pula TOR akan trip. Apabila penyebab dari beban lebih masih terjadi, maka rele akan trip kembali dan reset pada interval waktu yang ditentukan. Proteksi dilakukan dengan melalui fungsi kontrolnya (tidak ada pemutusan daya langsung pada pengamanan beban lebihnya). Blok diagram dari TOR ditunjukkan oleh gambar 2.8.



Gambar 2.8 Blok Diagram TOR



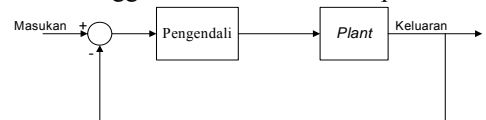
Gambar 2.9 Kurva trip TOR LDR-07

2.6 Konsep Dasar Sistem Kontrol

Sistem kendali merupakan hubungan timbal balik antara unsur-unsur yang membentuk suatu sistem untuk memberikan hasil yang dikehendaki yang disebut dengan tanggapan. Berdasarkan ada tidaknya acuan untuk melakukan aksi kendali terhadap proses, maka sistem kendali dapat dibedakan menjadi dua sistem yaitu sistem *loop* terbuka (*open loop*) dan sistem *loop* tertutup (*close loop*). Pada Tugas Akhir ini digunakan sistem kendali *loop* tertutup (*close loop*).

Sistim kendali loop tertutup (Close Loop)

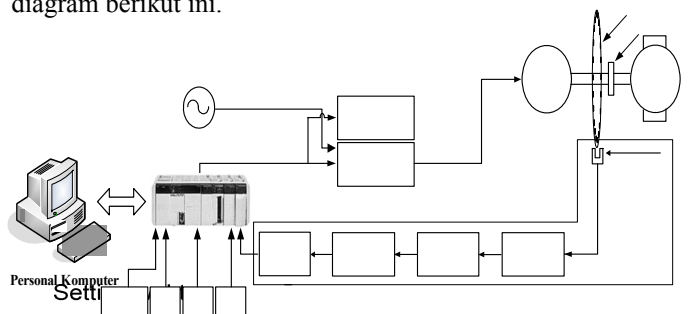
Sistem kendali *loop* tertutup merupakan sistem kendali yang menggunakan keluaran sebagai pembanding dengan acuan sehingga aksi kontrol yang keluar dari controller akan berpengaruh terhadap *error*. sistem ini mengacu pada suatu sistem yang mempunyai gangguan, dimana sistem akan cenderung mengurangi perbedaan yang terjadi pada masukan dan keluaran sehingga kestabilan akan tercapai.



Gambar 2.10 Diagram blok sistem pengendali loop tertutup

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Gambaran umum tentang alat dapat dilihat pada blok diagram berikut ini.



Gambar 3.1 Blok diagram

Penjelasan secara umum dari blok sistem pengasutan dan proteksi bintang (Y) – segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa dengan PLC diatas adalah sebagai berikut :

- **Motor Induksi Tiga Fasa**
Sebagai plant sistem yang dikendalikan. Motor induksi tiga fasa yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa 1 HP rotor sangkar tupai dengan tegangan kerja Y / Δ 220 / 127 V.
- **Generator DC 1 HP Penguatan Terpisah**
Befungsi sebagai beban yang dikopelkan ke motor induksi tiga fasa.
- **Sistem Sensor Kecepatan**
Befungsi untuk mengetahui kecepatan motor induksi tiga fasa dan sebagai umpan balik dari sistem kendali. Menggunakan piringan sensor dengan 360 lubang, rangkaian optokopler, rangkaian F to V, rangkaian pengkondisi sinyal, rangkaian pembanding (*comparator*), serta rangkaian driver rele.
- **Personal Komputer**
Befungsi sebagai piranti untuk membuat program PLC. Antara komputer dengan PLC dihubungkan oleh kabel serial RS232.
- **PLC**
Digunakan sebagai kontroler motor induksi tiga fasa. Yang menentukan operasi yang akan dilakukan motor induksi apabila terjadi gangguan dari program yang dibuat. Antara PLC dengan panel kontrol dihubungkan dengan tiga *header* 10 pin, satu untuk input dan dua untuk output.
- **Panel Kontrol**
Befungsi untuk mengontrol motor induksi melalui tombol *on*, tombol *off*, tombol gangguan dan tombol *reset* yang terdapat pada blok TOMBOL INPUT. Pada panel kontrol juga terdapat blok lampu LAMPU INDIKATOR yang akan mengindikasikan operasi dan gangguan yang sedang terjadi pada motor induksi tiga fasa serta blok RANGKAIAN TENAGA yang terdiri dari kontaktor 3 fasa yang telah dirangkai sesuai dengan diagram pengawatan pengasutan dan proteksi bintang (Y) – segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa.

3.1 Spesifikasi dan Motor Induksi Tiga Fasa dan Generator DC Penguat Terpisah

Adapun untuk perancangan pengaturan kecepatan motor DC penguatan terpisah ini dibutuhkan data spesifikasi yang lengkap. Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi dari motor induksi tiga fasa yang dikopel dengan generator DC penguatan terpisah yang digunakan :

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa dan Generator DC Penguatan Terpisah

Motor Induksi Tiga Fasa	Generator DC Penguatan Terpisah
Tegangan Output : 380 / 220 V	Daya : 1 HP
Arus : 2,0 / 3,45 A	Tegangan Medan : 198 VDC
Daya : 1 HP / 0,75 KW	Tegangan Jangkar : 190 VDC
Rpm : 1380	Frame : 90 B
Frekuensi : 50 Hz	Tahun : 1994
Merk : MEZ Mohelnice	Rpm maks : 1750

Sesuai dengan spesifikasi seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dari *plant* yang digunakan berupa motor induksi tiga fasa 1 HP, dapat ditentukan tegangan kerja yang

digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu sebesar 220 V_{AC}. Penentuan setting tegangan kerja ini dengan mempertimbangkan tegangan kerja maksimal motor pada kondisi segitiga (Δ) adalah 220 V.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

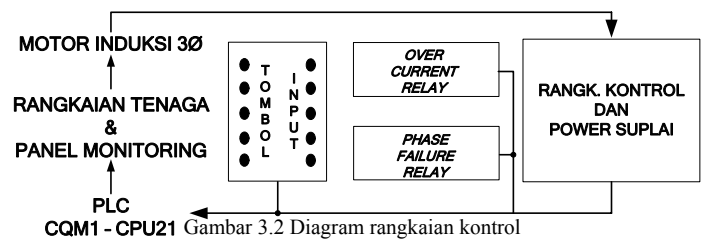
Perancangan perangkat keras (*hardware*) terdiri atas perancangan setiap blok yang menyusun sistem kontrol secara keseluruhan.

3.2.1 Perancangan Blok Rangkaian Kontrol

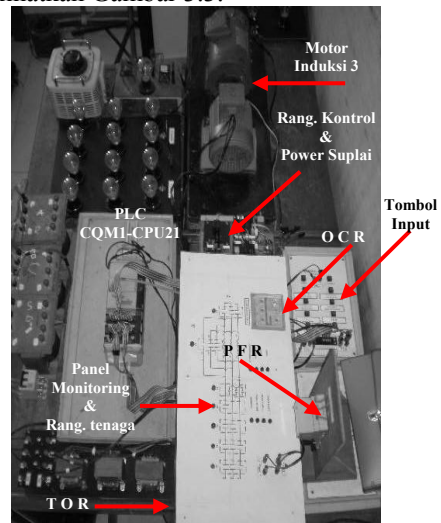
Blok rangkaian kontrol terdiri dari *frequency to voltage converter* (f to v), *operational amplifier*, rangkaian pembanding (*comparator*), dan driver rele.

Sedangkan pada blok *power supply*, *power supply* 24 Volt digunakan sebagai suplai PLC dan suplai lampu indikator. *Power supply* 5 Volt digunakan untuk menyuplai *input optocoupler*. *Power supply* 12 Volt digunakan untuk menyuplai *input F to V*. *Power supply* +/-15 Volt digunakan untuk menyuplai *input operational amplifier* dan *comparator*.

Penjelasan tiap blok rangkaian kontrol diperlihatkan Gambar 3.2.



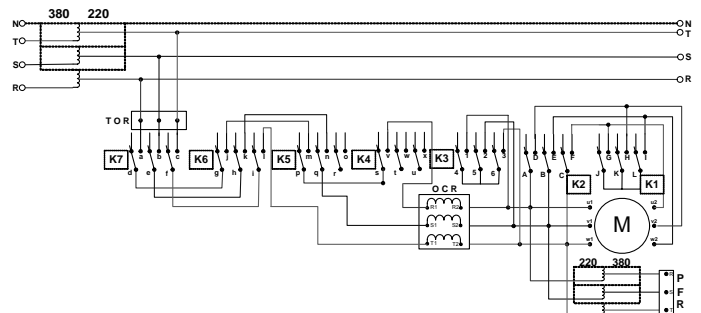
Blok rangkaian kontrol yang telah mengalami proses *wiring* diperlihatkan Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok rangkaian kontrol setelah proses *wiring*

3.2.2 Perancangan Rangkaian Tenaga

Diagram pengawatan rangkaian tenaga diperlihatkan Gambar 3.4.

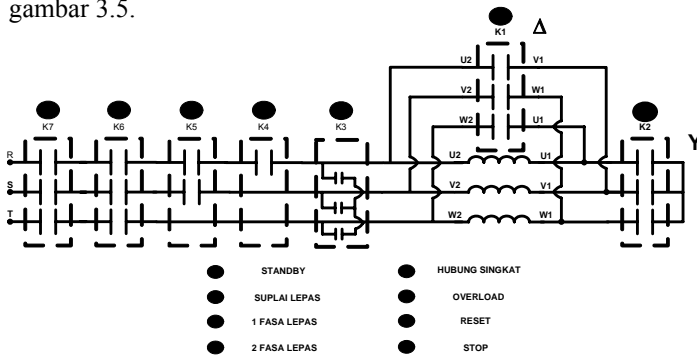


Gambar 3.4 Diagram pengawatan rangkaian tenaga

Dari gambar 3.4 dapat dijelaskan, K1 merupakan kontaktor yang berfungsi sebagai tanda kalau motor siap dioperasikan, dengan kata lain motor dalam keadaan *standby*. K2 merupakan kontaktor yang digunakan saat simulasi gangguan suplai lepas, K3 digunakan pada saat simulasi gangguan dua fasa lepas, K4 digunakan pada gangguan satu fasa lepas, K5 digunakan untuk gangguan hubung singkat, KΔ digunakan saat motor akan beroperasi dalam keadaan Δ (segitiga) dan KY digunakan saat motor beroperasi dalam keadaan Y (bintang).

3.2.3 Perancangan Panel Monitoring

Perancangan Panel Monitoring diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Panel Monitoring

Panel monitoring bertujuan untuk memudahkan pengamatan ketika proses sedang berlangsung. Lampu hijau digunakan sebagai indikator bila kontaktor yang terhubung dengan lampu tersebut aktif, sedangkan lampu merah digunakan sebagai indikator operasi motor, baik ketika dalam keadaan normal maupun terjadi gangguan.

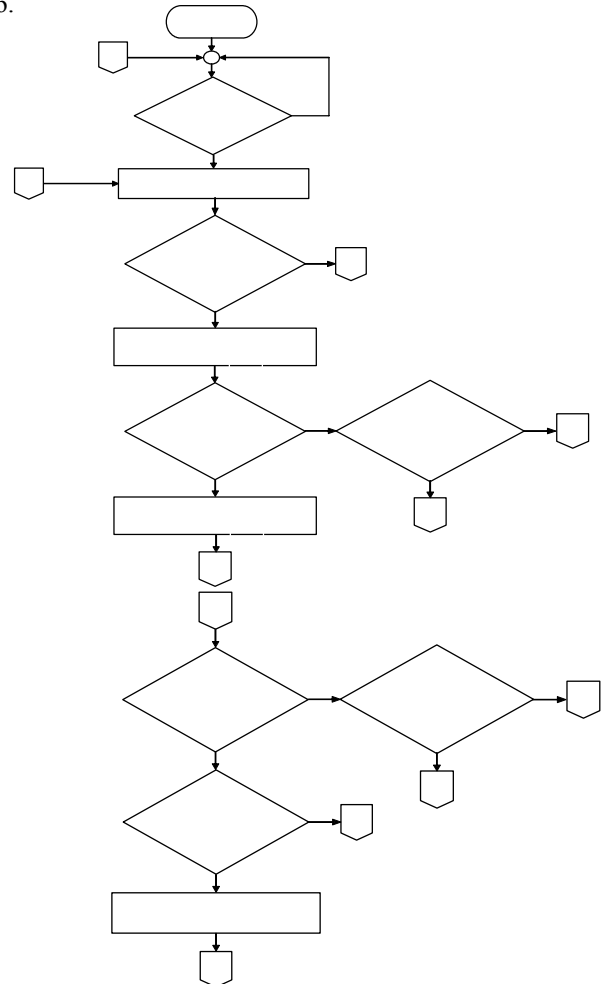
3.3 Perancangan Program

Penjelasan dari *flowchart* program adalah sebagai berikut, pada saat motor induksi siap dinyalakan terdapat 2 pilihan, yaitu apakah tombol *start* ditekan. Pilihan pertama tombol *start* tidak ditekan, maka motor induksi tidak akan bekerja dan menunggu sampai tombol *start* ditekan. Pilihan kedua tombol *start* ditekan, maka motor induksi siap dioperasikan. Lalu terdapat pilihan lagi yaitu apakah tombol Y – Δ normal ditekan. Pilihan pertama tombol Y – Δ normal tidak ditekan, maka motor induksi dalam kondisi siap untuk dioperasikan. Pilihan kedua tombol Y – Δ normal ditekan, maka motor induksi akan beroperasi dalam keadaan Y selama n detik. Pada saat motor induksi beroperasi dalam keadaan Y, terdapat 2 pilihan, apakah tombol gangguan ditekan. Pilihan pertama, apabila yang ditekan adalah tombol gangguan suplai lepas, maka motor induksi kembali ke keadaan siap dinyalakan atau dalam keadaan mati. Apabila yang ditekan tombol gangguan 1 fasa lepas, maka PLC akan menunggu masukan dari PFR untuk mematikan motor induksi, bila tidak maka apakah yang ditekan tombol gangguan 2 fasa lepas, bila iya maka PLC akan menunggu masukan dari PFR untuk mematikan motor induksi. Apabila gangguan berupa tombol gangguan hubung singkat yang ditekan, maka PLC akan menunggu masukan dari OCR untuk mematikan motor induksi, bila tidak maka PLC akan mematikan motor induksi. Pilihan kedua adalah, PLC menunggu selama n detik masukan dari driver transistor. Dalam proses menunggu masukan dari driver transistor terdapat 2 pilihan, apakah

tombol gangguan ditekan. Pilihan pertama, apabila yang ditekan adalah tombol gangguan suplai lepas, maka motor induksi kembali ke keadaan siap dinyalakan atau dalam keadaan mati. Apabila yang ditekan tombol gangguan 1 fasa lepas, maka PLC akan menunggu masukan dari PFR untuk mematikan motor induksi, bila tidak maka apakah yang ditekan tombol gangguan 2 fasa lepas, bila iya maka PLC akan menunggu masukan dari PFR untuk mematikan motor induksi. Apabila gangguan berupa tombol gangguan hubung singkat yang ditekan, maka PLC akan menunggu masukan dari OCR untuk mematikan motor induksi, bila tidak maka PLC akan mematikan motor induksi. Apabila mempunyai logika '1' maka motor akan beroperasi dalam kondisi Δ. Sedangkan bila mempunyai logika '0' maka motor induksi akan dalam kondisi siap dinyalakan. Setelah motor induksi beroperasi Δ terdapat 2 pilihan, apakah tombol gangguan ditekan. Pilihan pertama, apabila yang ditekan adalah tombol gangguan suplai lepas, maka motor induksi kembali ke keadaan siap dinyalakan atau dalam keadaan mati. Apabila yang ditekan tombol gangguan 1 fasa lepas, maka PLC akan menunggu masukan dari PFR untuk mematikan motor induksi, bila tidak maka apakah yang ditekan tombol gangguan 2 fasa lepas, bila iya maka PLC akan menunggu masukan dari PFR untuk mematikan motor induksi. Apabila gangguan berupa tombol gangguan hubung singkat yang ditekan, maka PLC akan menunggu masukan dari OCR untuk mematikan motor induksi, bila tidak maka PLC akan mematikan motor induksi. Apabila dalam keadaan beroperasi Δ, motor induksi mendapatkan beban yang berlebih, maka PLC akan mendapat masukan dari TOR untuk mematikan motor induksi. Proses akan berhenti jika tombol *stop* ditekan.

Flowchart dari program dapat dilihat pada Gambar

3.6.



4.1.5 Pengujian Tegangan Input, Output dan Tegangan Pembanding Comparator

Pengujian terhadap *input* dan tegangan pembanding *comparator* dilakukan dengan cara mengukur tegangan yang merupakan tegangan DC.

Tabel 4.5 Hasil pengujian tegangan *input*, *output* dan tegangan pembanding *comparator*

Comparator	Tegangan yang dibutuhkan	Tegangan hasil pengukuran
Input	+15 Volt	15.07 Volt
	-15 Volt	- 15.77 Volt
Tegangan pembanding	2,5 Volt	2,502 Volt

Sedangkan untuk pengukuran tegangan *output* dilakukan pada saat *comparator* mendeteksi tegangan konversi dari *frequency to voltage* (F to V) yang telah ditentukan sehingga mempunyai logika '1' atau *high*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil pengujian tegangan *input*, *output* dan tegangan pembanding *comparator*

Comparator	Tegangan minimal saat mendeteksi tegangan konversi dari <i>frequency to voltage</i> (F to V) yang telah ditentukan
Output	2.513 Volt

4.2 Pengujian Software

Pengujian *software* meliputi pengujian program PLC terhadap kerja dari rangkaian kontrol motor induksi yang telah dibuat.

4.2.1 Pengujian Start

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kerja sistem apabila tombol *start* dan *stop* ditekan. Apabila tombol START ditekan maka akan menghidupkan rele K7 dan lampu indikator K7 serta lampu keterangan STANDBY untuk waktu tertentu.

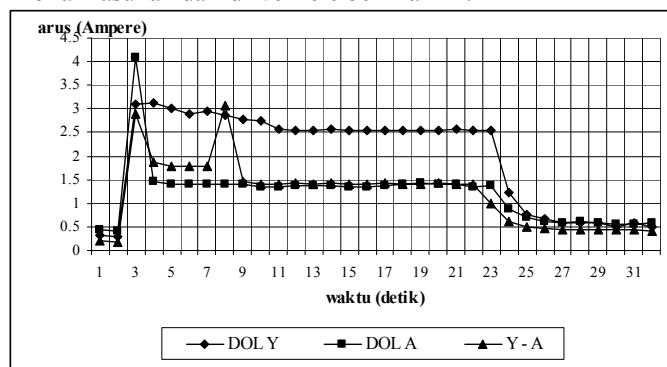
Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa jika tombol *start* belum ditekan maka motor induksi belum siap beroperasi. Sedangkan penekanan tombol *stop* akan membuat sistem berhenti beroperasi.

4.2.2 Pengujian Start Bintang (Y) – Segitiga (Δ)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kerja sistem apabila tombol *Y-Δ Normal* ditekan.

Motor akan beroperasi dalam keadaan Y, selang beberapa detik suplai akan lepas, setelah itu motor akan beroperasi dalam keadaan Δ.

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol *Y-Δ Normal* akan membuat motor induksi beroperasi dalam keadaan Y, selang beberapa detik, motor akan melepas suplai, lalu akan beroperasi lagi dalam keadaan Δ bila masukan dari driver rele bernilai '1'.



Gambar 4.2 Kurva Perbandingan Arus – Waktu Bintang (Y) – Segitiga (Δ), DOL Bintang (Y), dan DOL Segitiga (Δ)

Tabel 4.7 Perbandingan Arus Asut dan Waktu Asut metode DOL Y, DOL Δ, dan Y - Δ

Keterangan	Arus Pengasutan (Ampere)		
	DOL Y	DOL Δ	Y - Δ
Arus Asut (Ampere)	3.11	4.1	2.89
Waktu Start (detik)	11	15	10

4.2.3 Pengujian Keadaan Tidak Normal (Terjadi Gangguan)

4.2.3.1 Pengujian Gangguan Suplai Lepas

Dalam pengujian ini, berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem apabila terjadi gangguan yang berupa lepasnya suplai tiga fasa, baik ketika motor beroperasi dalam keadaan Y, motor dalam keadaan perpindahan operasi dari Y – Δ, maupun ketika motor beroperasi dalam keadaan Δ.

Ketika motor sedang beroperasi, baik dalam keadaan apapun, lalu tiba-tiba terjadi gangguan yaitu lepasnya suplai, maka sistem secara otomatis akan memerintahkan untuk kembali dalam keadaan awal atau *reset*.

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol hubung singkat akan menyebabkan kontaktor K6 OFF, sehingga menyebabkan kerja sistem terganggu karena lepasnya suplai sehingga membuat motor induksi kembali ke keadaan awal.

4.2.3.2 Pengujian Gangguan Satu Fasa Lepas

Dalam pengujian ini, berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem apabila terjadi gangguan yang berupa lepasnya salah satu fasa, baik ketika motor beroperasi dalam keadaan Y, motor dalam keadaan perpindahan operasi dari Y – Δ, maupun ketika motor beroperasi dalam keadaan Δ.

Ketika motor sedang beroperasi, baik dalam keadaan apapun, lalu tiba-tiba terjadi gangguan yaitu lepasnya salah satu fasa, maka sistem secara otomatis akan memerintahkan untuk kembali dalam keadaan awal atau *reset* setelah mendapat masukan dari *Phase Fault Relay* (PFR).

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol hubung singkat akan menyebabkan kontaktor K4 OFF, sehingga menyebabkan kerja sistem terganggu karena lepasnya salah satu fasa sehingga membuat motor induksi kembali ke keadaan awal.

4.2.3.3 Pengujian Gangguan Dua Fasa Lepas

Dalam pengujian ini, berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem apabila terjadi gangguan yang berupa lepasnya dua fasa, baik ketika motor beroperasi dalam keadaan Y, motor dalam keadaan perpindahan operasi dari Y – Δ, maupun ketika motor beroperasi dalam keadaan Δ.

Ketika motor sedang beroperasi, baik dalam keadaan apapun, lalu tiba-tiba terjadi gangguan yaitu dua fasa lepas, maka sistem secara otomatis akan memerintahkan untuk kembali dalam keadaan awal atau *reset* setelah mendapat masukan dari *Phase Fault Relay* (PFR).

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol hubung singkat akan menyebabkan kontaktor K5 OFF, sehingga menyebabkan kerja sistem terganggu karena gangguan dua fasa lepas sehingga membuat motor induksi kembali ke keadaan awal.

4.2.3.4 Pengujian Gangguan Hubung Singkat

Dalam pengujian ini, berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem apabila terjadi gangguan yang berupa gangguan hubung singkat antar fasa, baik ketika motor beroperasi dalam keadaan Y, motor dalam keadaan

perpindahan operasi dari Y – Δ, maupun ketika motor beroperasi dalam keadaan Δ.

Ketika motor sedang beroperasi, baik dalam keadaan apapun, lalu tiba-tiba terjadi gangguan yaitu hubung singkat antar, maka sistem secara otomatis akan memerintahkan untuk kembali dalam keadaan awal atau *reset* setelah mendapat masukan dari *Over Current Relay* (OCR).

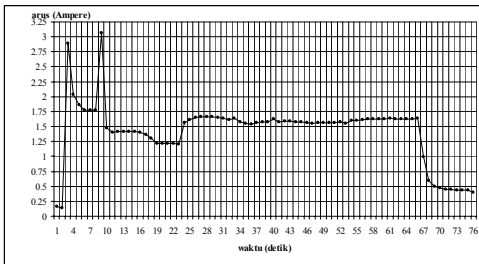
Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol hubung singkat akan menyebabkan kontaktor K3 OFF, sehingga menyebabkan kerja sistem terganggu karena gangguan hubung singkat antar fasa sehingga membuat motor induksi kembali ke keadaan awal.

4.2.3.5 Pengujian Gangguan Beban Lebih

Dalam pengujian ini, berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem apabila terjadi gangguan yang berupa gangguan beban lebih, baik ketika motor beroperasi dalam keadaan Y, motor dalam keadaan perpindahan operasi dari Y – Δ, maupun ketika motor beroperasi dalam keadaan Δ.

Ketika motor sedang beroperasi, baik dalam keadaan apapun, lalu terjadi gangguan yaitu beban lebih, maka sistem secara otomatis akan memerintahkan untuk kembali dalam keadaan awal atau *reset* setelah mendapat masukan dari *Thermal Overload Relay* (TOR).

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa aktifnya *Thermal Overload Relay* (TOR) akan membuat motor induksi kembali ke keadaan awal dengan mematikan semua kontaktor.



Gambar 4.7 Kurva Arus – Waktu saat simulasi Gangguan Beban Lebih

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, seperti terlihat pada gambar 4.7, TOR akan trip setelah 50 detik, hal ini sudah sesuai dengan kurva trip dari TOR yang dipakai, yaitu ketika TOR dengan range 1,6 – 2,5 A yang di-setting pada arus 1,6 A akan trip setelah 40 – t – 60 detik apabila mendeteksi arus 1,89 Amp.

4.2.3.6 Pengujian Gangguan Delay Y – Δ Terlalu Lama

Dalam pengujian ini, berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem apabila terjadi gangguan yang berupa *time delay* yang terlalu lama dari sistem ketika motor dalam keadaan perpindahan operasi dari Y – Δ.

Motor akan beroperasi dalam keadaan Y, selang beberapa detik suplai akan lepas, setelah itu motor akan menunggu masukan dari *driver rele* agar dapat beroperasi dalam keadaan Δ. Apabila waktu tunggu terlalu lama, maka sistem secara otomatis akan memerintahkan untuk kembali dalam keadaan awal atau *reset* karena sistem tidak mendapat masukan yang telah ditentukan dari *driver rele* agar motor dapat beroperasi pada keadaan Δ.

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol Y – Δ *DELAY LAMA* akan menyebabkan kerja sistem terganggu karena sistem tidak mendapat masukan dari *driver rele*, sehingga membuat motor induksi kembali ke keadaan awal.

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol *Y-Δ delay lama* akan membuat motor induksi kembali ke keadaan awal, karena masukan dari driver rele bernilai '0'.

4.2.4 Pengujian Reset

Pengujian ini untuk mengetahui penggunaan tombol *reset* yang ditekan secara manual, maupun *reset* otomatis yang dilakukan oleh sistem.

Dalam keadaan gangguan apapun, secara otomatis rangkaian akan melakukan reset. Reset juga dapat dilakukan secara manual di keadaan lain apabila memang diperlukan.

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa penekanan tombol *reset* baik secara manual atau apabila terjadi gangguan apapun akan membuat motor induksi kembali ke keadaan awal.

4.2.5 Pengujian Stop

Apabila tombol STOP ditekan maka akan mematikan semua kontaktor dan menghidupkan lampu keterangan STOP.

Hasil pengujian ini sesuai dengan algoritma bahwa jika tombol *start* belum ditekan maka motor induksi belum siap beroperasi. Sedangkan penekanan tombol *stop* akan membuat sistem berhenti beroperasi.

Tabel 4.8 Unjuk Kerja I/O PLC

TOMBOL INPUT	KONTAKTOR - LAMP. INDIKATOR						LAMPU INDIKATOR								
	K1	K2	K3	K4	K5	KΔ	KY	STN D BY	SUP LLPS	1Ø LPS	2Ø LPS	HS	OL	RST	STO P
START	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Y – Δ NORM															
saat Y	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
saat Y – Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
saat Δ	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUPL. LPS															
saat Y	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
saat Y – Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
saat Δ	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1Ø LEPAS															
saat Y	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
saat Y – Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
saat Δ	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2Ø LEPAS															
saat Y	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
saat Y – Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
saat Δ	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
HGB. SGKT															
saat Y	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
saat Y – Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
saat Δ	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
OVERLOAD															
saat Y	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
saat Y – Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
saat Δ	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
RESET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
STOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

**BAB V
PENUTUP**

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Motor induksi tiga fasa yang digunakan pada Tugas Akhir ini beroperasi pada tegangan kerja Y / Δ – 220 / 127 V, hal ini ditentukan berdasarkan pada kondisi terakhir operasi yaitu pada saat motor beroperasi segitiga (Δ).

2. Rangkaian kontrol pengasutan dan proteksi bintang (Y) – segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa berbasis PLC dapat bekerja dengan baik.
3. Arus pengasutan motor induksi menggunakan metode pengasutan bintang (Y) – segitiga (Δ) adalah 2,89 Ampere dengan waktu asut 10 detik, sedangkan arus pengasutan menggunakan metode *Direct On Line* bintang (DOL Y) sebesar 3,11 Ampere dengan waktu asut 11 detik dan menggunakan metode *Direct On Line* segitiga (DOL Δ) sebesar 4,1 Ampere dengan waktu asut 15 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pengasutan motor induksi menggunakan metode bintang (Y) – segitiga (Δ) dapat mengurangi tingginya arus pengasutan saat motor induksi mulai beroperasi.
4. Rangkaian monitoring manual, yang terdiri dari lampu indikator kontaktor yang beroperasi dan lampu keterangan ketika motor dalam keadaan beroperasi normal maupun mengalami gangguan yang dibuat dengan menggunakan PLC dapat bekerja dengan baik.
5. Tegangan minimal sebagai masukan *comparator* saat sensor *optocoupler* saat mendeteksi adanya putaran yang telah ditentukan agar motor dapat beroperasi dalam keadaan Δ adalah 2,513 V_{DC} , sedangkan tegangan minimal *output* saat mendeteksi adanya putaran yang telah ditentukan agar motor dapat beroperasi dalam keadaan Δ adalah $\geq 2.513 V_{DC}$.
6. Tegangan *input* pada F to V saat mendeteksi adanya putaran adalah 2,513 V_{DC} dan *output* pada pengkondisi sinyal setelah mendapat masukan dari F to V saat mendeteksi adanya putaran adalah 9,87 V_{DC} .
7. *Reset* dilakukan secara otomatis bila sistem mengalami gangguan baik berupa gangguan suplai lepas, satu fasa lepas, dua fasa lepas, hubung singkat, *overload* maupun ketika *time delay* perpindahan Y – Δ terlalu lama. *Reset* juga dapat dilakukan secara manual bila memang diperlukan.
8. Prototipe sistem yang dibuat pada Tugas Akhir ini dapat menghindari kerugian yang ditimbulkan apabila sistem mengalami gangguan atau ketika sistem berjalan tidak normal.

5.2 Saran

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Kontroler PLC yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat diganti dengan menggunakan mikrokontroler untuk pengembangan lebih lanjut.
2. Penggunaan *plant* motor induksi tiga fasa pada Tugas Akhir ini dapat diganti dengan menggunakan jenis motor yang lain, seperti motor DC.
3. Sistem monitoring yang ada pada Tugas Akhir ini dapat dibuat dengan bahasa pemrograman, agar kerja dari sistem ini mencerminkan suatu hubungan *Human-Machine Interface* (HMI).
4. Sensor gangguan yang digunakan dapat ditambah agar sistem semakin akurat dan teliti dalam mendeteksi adanya gangguan yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muslimin, M. "*Teknik Tenaga Listrik*". Bandung: Armico, 1979.
- [2] Theraja, B.L. "*Technology Electrical. Volume II. AC & DC Machines*". New Delhi: Nirja Construction & Development Co, 1994.
- [3] Sumanto, Drs. "*Motor Listrik Arus Bolak Balik*". Yogyakarta: Andi Offset, 1993.
- [4] Suryatmo, F. "*Teknik Listrik Motor & Generator Arus Bolak-Balik*". Bandung: Alumni, 1984.
- [5] Fitzgerald, A.E. "*Mesin-Mesin Listrik. Edisi Keempat*". Jakarta: Erlangga, 1997.
- [6] Suhendar. "*PLC Dalam Dasar-dasar Sistem Kendali Motor Listrik Induksi*". Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [7] Budiyanto, M. "*Pengenalan Dasar-Dasar PLC*". Yogyakarta: Gaya Media, 2003.
- [8] Harahap, Ronald Hamonangan. "*Aplikasi Intelution Fix Untuk Sistem Pengawasan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis PLC*". Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2002.
- [9] Azhardiaz. "*Sistem Kontrol Legnan Robot Pemindah Obyek Menggunakan PLC Dengan Sistem Monitoring Intellution Fix*". Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro. 2004.
- [10] Soelaiman, Prof. Ts. Mrd. "*Mesin Tak Serempak Dalam Praktek*". Jakarta: PT. Dainippon Gitakarya Printing, 1984.
- [11] Kadir, Abdul. "*Mesin Tak Serempak*". Eindhoven: Djambatan, 1980.
- [12] Wildi, Theodore. "*Electrical Machines, Drives, and Power Systems*". Prentice-Hall International, 1997.
- [13] Zuhail. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", Jakarta: PT. Gramedia, 2000.
- [14]....., "*CQMI Programmable Controller : Programming Manual*", OMRON, 1993
- [15]....., "*Programmable Logic Controller*", Jakarta: FESTO Didactic, 2001.
- [16] S.Rao, Sunil. "*Switchgear And Protection*". Delhi: Khanna Publishers, 1996.
- [17] Wright, A. "*Electrical Power System Protection*". India: Chapman & Hall. 1993.
- [18] E.Kissel, Thomas. "*Modern Industrial/Elevtrical Motor Controls*". New Jersey: Prentice Hall. 1990.
- [19] Titarenko, M. "*Protective Relaying in Electric Power Systems*". Moscow: Peace Publishers.
- [20] McIntyre, Robert L. "*Industrial Motor Control Fundamentals*". McGraw Hill. 1991.

Reza Fakhrizal



Lahir dan besar di Semarang yang terkenal dengan panasnya di musim kemarau dan rob serta banjir di musim hujan. Selepas lulus dari SMA 3 Semarang tahun 2001 menghabiskan lebih dari 6 tahun hidupnya di Teknik Elektro UnDip dengan konsentrasi **POWER**. *“Budidayaning Manungso Ora Biso Ngungguli Garising Kuwasa. Amarga Manungso Mung Sakderma Nglakoni Kadyo Wayang Ono Dhalange”*.

Menyetujui ,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Tedjo Sukmadi, MT
NIP. 132 125 670

Mochammad Facta, ST. MT
NIP. 132 231 134