



TUGAS AKHIR - TE 145561

KONTROL KECEPATAN PADA MESIN SENTRIFUGAL DENGAN MOTOR 3 FASA DIKENDALIKAN PLC

Riska Rizky Arisandy

NRP 2214039009

Nabella Setya Yuliani

NRP 2214039032

Dosen Pembimbing

Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng

Eko Pujiyatno Matni, S.Pd

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRONIKA INDUSTRI

Departemen Teknik Elektro Otomasi

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 145561

***SPEED CONTROLLER FOR CENTRIFUGAL MACHINE
WITH 3 PHASE MOTOR CONTROLLED BY PLC***

Riska Rizky Arisandy

NRP 2214039009

Nabella Setya Yuliani

NRP 2214039032

Supervisor

Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng

Eko Pujiyatno Matni, S.Pd

ELECTRICAL INDUSTRY ENGINEERING

Automation Electrical Engineering Department

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

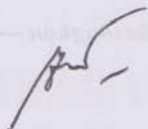
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini kami menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir kami dengan judul **“Kontrol Kecepatan Pada Mesin Sentrifugal Dengan Motor 3 Fasa Dikendalikan PLC”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang kami akui sebagai karya sendiri.

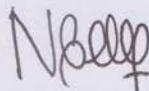
Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, kami bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Riska Rizky Arisandy
NRP 2214039009



Nabella Setya Yuliani
NRP 2214039032

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

**KONTROL KECEPATAN PADA MESIN SENTRIFUGAL
DENGAN MOTOR 3 FASA DIKENDALIKAN PLC**


TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada

Program Studi Elektronika Industri
Program Studi Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,



Ir. Josaphat Pramudijanto, M. Eng.
NIP. 19621005 199003 1 003

Dosen Pembimbing II,



Eko Pujiyatno-Matni, S.Pd.
NIP. 19710330 199403 1 002

**SURABAYA
JULI, 2017**

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

KONTROLER KECEPATAN PADA MESIN SENTRIFUGAL DENGAN MOTOR 3 FASA DIKENDALIKAN PLC

Nama Mahasiswa : Riska Rizky Arisandy
Nrp : 2214 039 009
Nama Mahasiswa : Nabella Setya Yuliani
Nrp : 2214 039 032
Pembimbing I : Ir. Josaphat Pramudijanto, M. Eng.
NIP : 19621005 199003 1003
Pembimbing II : Eko Pujiyatno Matni, S.Pd.
NIP : 19710330 199403 1002

ABSTRAK

Mesin sentrifugal digunakan untuk memisahkan kristal gula dan larutannya. Pada pabrik gula beban yang diberikan tidak selalu tetap. Oleh sebab itu, dibutuhkan kontrol kecepatan pada motor 3 fasa agar dapat mempertahankan kecepatan meskipun diberikan beban yang berbeda.

Pada Tugas Akhir ini, PLC (*Programmable Logic Controller*) digunakan untuk mengontrol operasi mesin sentrifugal. Program ditulis dengan menggunakan bahasa *ladder*. Terdapat dua modul yang digunakan yaitu QD62 yang berfungsi untuk mengolah data dari *rotary encoder* dan Q62DA yang berfungsi untuk mengeluarkan tegangan agar motor dapat berjalan. Metode kontrol yang digunakan adalah PI (*Proportional Integral*) yang memiliki nilai K_p dan K_i yang sudah ditetapkan dan tertulis pada program *ladder*. Metode yang digunakan dalam mencari nilai K_p dan K_i adalah *trial and error*. Melalui modul Q62DA, PLC akan mengeluarkan tegangan yang nantinya akan dikonversi oleh inverter menjadi frekuensi agar motor dapat berjalan. Kemudian, sensor *rotary encoder* akan membaca kecepatan motor dan dikirimkan kepada PLC. Bila kurva yang hadir tidak sesuai dengan kurva *set point* maka kontrol PI akan bekerja memperbaiki *Ess* yang ada.

Karena motor yang digunakan memiliki torsi yang besar. Maka, sulit untuk mendapatkan kecepatan yang berbeda meskipun dengan beban yang tidak homogen seberat 13 Kg. Kontroler PI digunakan untuk pengaturan kecepatan motor. Dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai K_i sebesar 6 menghasilkan *Ess* sebesar 0% yang sesuai dengan *set value* kurva sentrifugasi yang diinginkan.

Kata Kunci : Mesin Sentrifugal, PLC, *Rotary Encoder*, Kontrol PI

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

SPEED CONTROLLER FOR CENTRIFUGAL MACHINE WITH 3 PHASE MOTOR CONTROLLED BY PLC

Student Name : Riska Rizky Arisandy
ID Number : 2214 039 009
Student Name : Nabella Setya Yuliani
ID Number : 2214 039 032
Supervisor I : Ir. Josaphat Pramudijanto, M. Eng.
ID Number : 19621005 199003 1003
Supervisor II : Eko Pujiyatno Matni, S.Pd.
ID Number : 19710330 199403 1002

ABSTRACT

Centrifugal machine is used to separate the sugar crystals and the stroop. At the sugar factory, loads are given not always fixed. Therefore, it needs speed control of 3 phase motors in order to maintain speed despite being given different loads.

In this Final Project PLC (Programmable Logic Controller) used for operation of centrifugal machine. The program is written in ladder. There are two modules used that are QD62 for process data from rotary encoder and Q62DA for expend voltage so that motor can run. The control method used is PI (Proportional Integral) which has the value of K_p and K_i that has been defined and written in the ladder program. Method that used in finding the value of K_p and K_i is trial and error. Through the Q62DA module, PLC will issue a voltage that will be converted by the inverter into a frequency for the motor to run. Then, the rotary encoder sensor will read the motor propagation and transmitted to the PLC. If the curve present does not match the set point curve then the PI control will work to improve the existing Ess.

Because of the motor that used has a large torque. It is quite difficult to get a different speed even with a non-homogeneous weight of 13 Kg. PI (Proportional Integral) controller is used to setting the motor speed. With the value of K_p is 5 and the value of K_i is 6 yields Ess 0% that corresponding with the set value of the desired centrifugation curve.

Keywords : Centrifugal Machine, PLC, Rotary Encoder, PI Control

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan ridho dan rahmat-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.

Tugas Akhir dengan judul :

“Kontrol Kecepatan pada Mesin Sentrifugal dengan Motor 3 Fasa Dikendalikan PLC”

Dibuat guna memenuhi syarat kelulusan di Departemen Teknik Elektro Otomasi, bidang studi Elektro Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya yang telah diberikan selama proses pembuatan Tugas Akhir ini kepada :

1. Kedua orang tua atas dukungan baik spiritual maupun material yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Ir. Joko Susila, MT. Ketua Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi-ITS Surabaya.
3. Bapak Ir. Josaphat Pramudijanto, M Eng, sebagai Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu, pengarahan dan bimbingan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Eko Pujiyatno Matni, S.Pd. sebagai Dosen pembimbing yang telah banyak membantu dalam kelancaran Tugas Akhir ini.
5. Teman - teman di Departemen Teknik Elektro Otomasi ITS, yang telah banyak memberi bantuan dan semangat serta dukungan pada penulis.
6. Semua pihak yang telah membantu kami dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Kritik dan saran untuk perbaikan tugas akhir ini sangat diperlukan. Semoga tugas ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Laporan.....	3
1.6 Relevansi.....	3
BAB II. TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 Proses Produksi Gula.....	5
2.2 Mesin Sentrifugal.....	7
2.3 Motor Induksi 3 Fasa.....	8
2.4 <i>Inverter</i> 3 Fasa.....	10
2.4.1 <i>Inverter</i> Siemens Micromaster 420.....	11
2.4.2 Parameter Micromaster 420.....	12
2.5 <i>Operational Amplifier</i>	15
2.6 <i>Programmable Logic Controller</i> (PLC).....	16
2.6.1 PLC Mitsubishi Seri Q CPU 02.....	17
2.6.2 <i>GX Works2</i>	19
2.6.3 <i>GT Designer3</i>	19
2.7 Sensor <i>Rotary Encoder</i>	20
2.8 Kontroler Tipe-PI (<i>Proportional+Integral Controller</i>).....	22
BAB III. PERANCANGAN SISTEM.....	25
3.1 Desain Alat.....	25
3.2 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	26
3.2.1 Perancangan Mesin Sentrifugal.....	27

3.2.2	<i>Setting Parameter Inverter</i>	28
3.2.3	Panel Kontrol	29
3.3	Perancangan Elektrik.....	30
3.3.1	<i>Wiring Sensor Rotary Encoder</i>	30
3.3.2	Perancangan Rangkaian <i>Power Supply</i>	31
3.3.3	Perancangan Rangkaian <i>Operational Amplifier</i>	33
3.4	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	33
3.4.1	Konfigurasi <i>Software</i>	34
3.4.1.1	Perancangan <i>GX Works2</i>	34
3.4.1.2	Perancangan <i>GT Designer3</i>	36
3.4.2	Perancangan dan Pemrograman Kontroler PI	36
3.4.2.1	Pemrograman Modul <i>High Speed Counter</i>	37
3.4.2.2	Pemrograman Modul Q62DA	38
3.4.2.3	Perancangan PI.....	39
BAB IV. PENGUJIAN DAN ANALISA		43
4.1	Pengujian Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	43
4.1.1	Pengujian <i>Power Supply</i>	43
4.1.2	Pengujian <i>Operational Amplifier</i>	45
4.1.3	Pengujian <i>Inverter Micromaster 420</i>	46
4.1.4	Pengujian Motor Induksi 3 Fasa.....	49
4.1.5	Pengujian <i>Sensor Rotary Encoder</i>	52
4.2	Pengujian Sistem	54
BAB V. PENUTUP.....		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN A		A-1
A.1	Foto Alat dan Cara Kerja.....	A-1
A.2	Tampilan HMI.....	A-3
LAMPIRAN B		B-1
B.1	Diagram <i>Ladder Sensor Rotary Encoder</i>	B-1
B.2	Diagram <i>Ladder</i> Kontroler PI	B-3
B.3	Diagram <i>Ladder</i> Pengaturan Kecepatan.....	B-5

LAMPIRAN C	C-1
C.1 <i>Datasheet Inverter</i>	C-1
LAMPIRAN D	D-1
D.1 Data Hasil Pengukuran <i>Power Supply</i>	D-1
D.2 Data Hasil Pengukuran <i>Operational Amplifier</i>	D-3
D.3 Data Hasil Pengukuran <i>Inverter, Tachometer, Display,</i> <i>dan Korelasinya</i>	D-6
LAMPIRAN E	E-1
E.1 Hasil Pengujian Sistem Menggunakan <i>Trial and Error</i>	E-1
LAMPIRAN F	F-1
F.1 Mesin Yang Rusak	F-1
RIWAYAT PENULIS	G-1

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Produksi Gula	6
Gambar 2.2	Kurva Kecepatan Mesin Sentrifugal	7
Gambar 2.3	Mesin Sentrifugal Jenis <i>Batch</i> atau <i>Discontinue</i>	8
Gambar 2.4	Rangkaian <i>Non-Inverting Amplifier</i>	16
Gambar 2.5	Modul PLC Mitsubishi Seri Q	18
Gambar 2.6	<i>Incremental Encoder</i> dan Diagram Keluarannya	21
Gambar 2.7	Diagram <i>Output</i> Kontrol	22
Gambar 2.8	Konfigurasi Kabel <i>Output</i>	22
Gambar 2.9	Diagram Blok Kontroler <i>Proportional Integral</i>	23
Gambar 2.10	Diagram Blok Orde Pertama dengan Kontroler PI	23
Gambar 3.1	Diagram Blok Sistem	25
Gambar 3.2	Alur Sistem	26
Gambar 3.3	Pembagian Tugas	26
Gambar 3.4	Prototipe Mesin Sentrifugal	27
Gambar 3.5	Panel Bagian Depan	29
Gambar 3.6	<i>Wiring</i> pada <i>Rotary Encoder</i>	30
Gambar 3.7	Rangkaian <i>Power Supply</i>	32
Gambar 3.8	Rangkaian <i>Operational Amplifier</i>	33
Gambar 3.9	<i>Flowchart</i> Pemrograman QD62	37
Gambar 3.10	<i>Flowchart</i> Pemrograman Q62DA	38
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> Pemrograman Kontroler PI	39
Gambar 3.12	Kurva Linieritas yang Didapat	40
Gambar 3.13	Kurva <i>Unit Step</i> 0-600 RPM saat Tidak Berbeban	41
Gambar 3.14	Kurva <i>Unit Step</i> 0-600 RPM saat Berbeban 13 Kg	41
Gambar 4.1	Langkah Pengujian <i>Power Supply</i> Tanpa Beban	43
Gambar 4.2	Langkah Pengujian <i>Power Supply</i> Berbeban Lampu 15 VDC Untuk Menguji <i>Output</i> 15 V dan Lampu 24 VDC Untuk <i>Output</i> 24 V	44
Gambar 4.3	Langkah Pengujian <i>Operational Amplifier</i>	45
Gambar 4.4	Langkah Pengujian <i>Inverter</i> Micromaster 420 Tanpa Beban	47
Gambar 4.5	Langkah Pengujian <i>Inverter</i> Micromaster 420 Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg	47
Gambar 4.6	Langkah Pengujian Motor Induksi 3 Fasa Tanpa Beban	49
Gambar 4.7	Langkah Pengujian Motor Induksi 3 Fasa Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg	50
Gambar 4.8	Langkah Pengujian <i>Rotary Encoder</i> Tanpa Beban	52

Gambar 4.9	Langkah Pengujian <i>Rotary Encoder</i> Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg	53
Gambar 4.10	Program <i>Ladder</i> Kontroler PI	56
Gambar 4.11	Kurva Sentrifugasi Tanpa Kontroler	58
Gambar 4.12	Kurva Sentrifugasi Sesuai Perhitungan	58
Gambar 4.13	Kurva Sentrifugasi Menggunakan <i>Trial and Error</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Name Plate</i> Motor Induksi 3 Fasa.....	10
Tabel 2.2	Spesifikasi <i>Inverter</i> yang Digunakan	11
Tabel 2.3	Fungsi Tombol <i>Inverter</i> Micromaster 420	12
Tabel 2.4	Parameter Micromaster 420	12
Tabel 3.1	Nilai Parameter <i>Inverter</i> Micromaster 420	28
Tabel 4.1	Hasil pengujian <i>Power Supply</i> Tanpa Beban	44
Tabel 4.2	Hasil pengujian <i>Power Supply</i> dengan Berbeban	44
Tabel 4.3	Hasil Pengujian <i>Operational Amplifier</i>	46
Tabel 4.4	Hasil Pengujian <i>Inverter</i> Micromaster 420 Tanpa Beban	48
Tabel 4.5	Hasil Pengujian <i>Inverter</i> Micromaster 420 Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg	48
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Frekuensi Dengan Putaran Motor Tanpa Beban	50
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Frekuensi Dengan Putaran Motor Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg	51
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Sensor <i>Rotary Encoder</i> Tanpa Beban	53
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Sensor <i>Rotary Encoder</i> Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg	53
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Sistem	57

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan membahas tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, dan tujuan penelitian. Selain itu dijelaskan pula sistematika dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dan relevansinya.

1.1 Latar Belakang

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik yang paling sering digunakan dan mudah ditemukan disetiap aplikasi industri. Hal ini dikarenakan motor induksi tiga fasa memiliki perawatan yang lebih hemat dibandingkan motor-motor lain dan memiliki kehandalan yang baik. Salah satu aplikasinya pada industri gula adalah untuk menggerakkan mesin sentrifugal.

Mesin sentrifugal digunakan untuk memisahkan kristal gula dengan larutannya yang menggunakan proses sentrifugasi dalam saringan, sehingga antara larutan dan kristal gula akan terpisah. Larutan akan mengalir keluar saringan dan kristal gula akan mengumpul didalam *basket*. Mesin sentrifugal yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan mesin yang digunakan untuk Tugas Akhir sebelumnya. Namun mesin sentrifugal yang digunakan telah dimodifikasi dengan penambahan sensor *rotary encoder*, pembuatan *box* panel untuk kontrol, serta penggantian *basket* pada prototipe mesin sentrifugal.

Dalam proses sentrifugasi, beban yang digunakan tidak selalu dalam jumlah yang tetap. Sehingga perubahan beban akan memengaruhi kecepatan motor induksi. Perubahan kecepatan motor akan berdampak pada waktu proses sentrifugasi.

Proses sentrifugasi sendiri membutuhkan siklus operasional dengan tahapan *charging*, *spanning* dan *discharging*. Dimana, proses ini membutuhkan pengaturan kecepatan. Namun, banyak pabrik gula yang berusia tua dan kurang memiliki peralatan berstandarisasi. Yang mengakibatkan operator mesin sentrifugal harus mengecek ulang gula yang dihasilkan dalam setiap tahapannya.

Untuk itu dibutuhkan suatu kontroler yang dapat mempertahankan dan mengatur kecepatan motor. Selain untuk mengatur kecepatan motor, juga dapat untuk menghemat waktu dalam pelaksanaan proses.

1.2 Permasalahan

Dalam Tugas Akhir ini, permasalahan yang akan dibahas tentang pengaturan motor induksi 3 fasa agar dapat bekerja sesuai proses sentrifugasi. Proses sentrifugasi terhadap tiga tahapan, *charging* dengan kecepatan 400 rpm, *spinning* dengan kecepatan 600 rpm, dan *discharging* dengan rpm 300. Juga dapat mempertahankan kecepatan dengan beban yang berubah-ubah

1.3 Batasan Masalah

Dari perumusan masalah di atas, maka batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Pencatatan dan pengukuran kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan Sensor *Rotary Encoder* tipe E50S8-200-3-T-24.
2. Pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan motor induksi 3 fasa *Alliance-Italy* IEC 34-1 CE dan *inverter* Micromaster 420.
3. Beban yang digunakan tidak murni 13 kg, karena beban yang tidak homogen dan adanya penambahan beban *angular*.
4. Untuk metode PI yang digunakan yaitu *trial and error*.

1.4 Tujuan

Tujuan Riska Rizky Arisandy menuliskan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang mekanik mesin sentrifugal pada bagian motor.
2. Merancang dan membuat rangkaian elektronik mesin sentrifugal pada bagian *operational amplifier*, *inverter* dan daya.
3. Merancang dan membuat perangkat lunak untuk kontrol kecepatan.

Tujuan Nabella Setya Yuliani menuliskan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang mekanik mesin sentrifugal pada bagian *rotary encoder*.
2. Merancang dan membuat rangkaian elektronik mesin sentrifugal pada bagian *push button*, *rotary encoder* dan daya.
3. Merancang dan membuat perangkat lunak untuk pengukuran kecepatan.

1.5 Sistematika Laporan

Pada Tugas Akhir ini akan disusun dengan kerangka pembahasan sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini menguraikan latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, sistematika laporan, dan relevansi. Yang mana, telah dikelompokkan sesuai pada porsi tugas masing-masing.

Bab 2 : Teori Penunjang

Bab ini menjelaskan tentang proses produksi gula, mesin sentrifugal, motor induksi 3 fasa, *inverter* 3 fasa, sensor *rotary encoder*, *Programmable Logic Controller* (PLC), dan Kontroler Tipe-PI (*Proportional+Integral Controller*). Dimana, pembahasan akan dilakukan sesuai pada porsi tugas masing-masing.

Bab 3 : Perancangan Sistem

Bab ini berisi tentang perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan elektrik, dan perancangan perangkat lunak (*software*) sesuai dengan porsi tugas masing-masing

Bab 4 : Pengujian Dan Analisa

Bab ini berisi mengenai hasil pengujian alat serta hasil respon motor yang diatur kecepatannya dengan metode PI pada PLC.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

1.6 Relevansi

Setelah mesin sentrifugal ini berhasil dibuat maka kami berharap mesin ini dapat berguna bagi industri kecil. Dengan kontroler PI yang digunakan, dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa yang ingin melakukan pengembangan pada alat ini.

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada bab ini menjelaskan tentang teori dasar untuk kontrol kecepatan pada mesin sentrifugal dengan motor 3 fasa dikendalikan PLC yang terdiri dari 7 subbab, yaitu proses produksi gula, mesin sentrifugal, motor induksi 3 fasa, *inverter* 3 fasa, sensor *rotary encoder*, *operational amplifier*, *Programmable Logic Controller* (PLC), dan kontroler tipe-PI (*Proportional+Integral Controller*). Dimana, pembahasan akan dilakukan sesuai pada porsi tugas masing-masing.

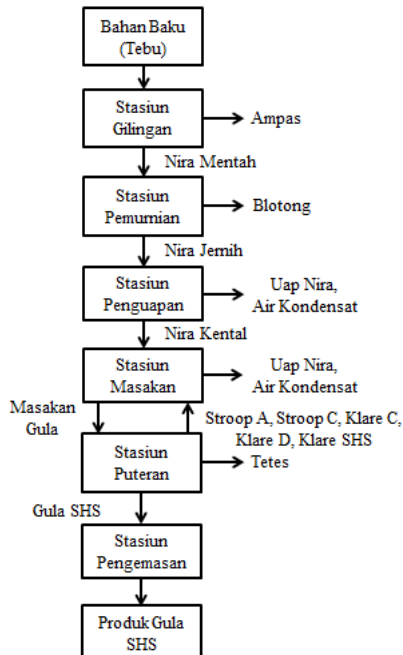
Pada subbab Proses Produksi Gula dibutuhkan oleh Riska dan Nabella.

2.1 Proses Produksi Gula [1]

Proses produksi gula terbagi dalam beberapa proses, yaitu: penggilingan, pemurnian, penguapan, pemasakan, puteran, pengeringan, pengemasan, dan penyimpanan. Pada PG. Gempolkrep proses terbagi dalam beberapa stasiun, yaitu: stasiun gilingan, stasiun pemurnian, stasiun penguapan, stasiun masakan, stasiun puteran, dan stasiun pengemasan serta penyimpanan. Proses produksi pabrik gula dapat dilihat pada Gambar 2.1. Berikut merupakan fungsi dari masing-masing stasiun :

- a. Stasiun Gilingan
Stasiun gilingan adalah suatu proses untuk mencacah tebu menjadi kecil dan memerah tebu tersebut sampai menghasilkan nira sebanyak-banyaknya.
- b. Stasiun Pemurnian
Stasiun pemurnian adalah suatu proses yang bertujuan memisahkan nira dengan kotoran seperti tanah atau kotoran lain yang tidak dibutuhkan pada proses pembuatan gula yang berasal dari proses penggilingan.
- c. Stasiun Penguapan
Stasiun penguapan bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada nira sebanyak-banyaknya, dan mengentalkan nira.

- d. Stasiun Masakan
Stasiun masakan adalah proses-proses pengkristalan gula, proses ini bertujuan untuk memperbesar kristal sesuai dengan ukuran kristal yang ditetapkan oleh pabrik.
- e. Stasiun Putaran
Stasiun ini bertujuan untuk memisahkan kristal-kristal gula dari larutan induk (stroop) kristal tersebut. Pemisahan ini disebut juga proses sentrifugasi, yang dilakukan dengan cara memasukkan masakan ke dalam alat pemutar yang dilengkapi saringan pada dindingnya.
- f. Stasiun Pengemasan
Stasiun ini bertujuan untuk menyelesaikan hasil kerja stasiun puteran yaitu mengemas gula yang dihasilkan.

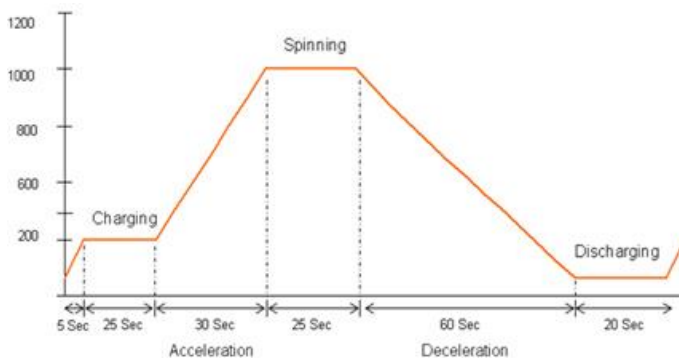


Gambar 2.1 Proses Produksi Gula

Pada subbab Mesin Sentrifugal dibutuhkan oleh Riska dan Nabella.

2.2 Mesin Sentrifugal [2] [3]

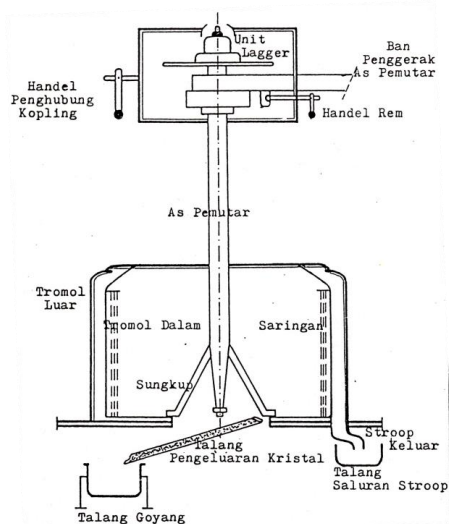
Mesin sentrifugal merupakan salah satu bagian yang penting di pabrik gula. Mesin sentrifugal berguna untuk memutar gula agar mendapatkan kristal gula yang sesuai standart. Proses sentrifugal adalah suatu proses yang relatif sulit karena adanya pengaturan percepatan dan perlambatan dari beban yang memiliki inerti yang tinggi dan berubah pada setiap tahapan dalam satu siklus operasional sebuah mesin sentrifugal. Terdapat tiga tahapan dalam satu siklus operasional mesin sentrifugal. Tahapan tersebut adalah *charging*, *spinning* dan *discharging*. Pada pabrik gula, *charging* merupakan tahapan dimana gula tersebut ditambahkan bahan kimia. Lalu pada tahapan *spinning* gula akan diputar dengan kecepatan tinggi yang bertujuan untuk mengeringkan gula. Dan pada tahapan *discharging*, gula akan berputar dengan kecepatan rendah yang bertujuan untuk dapat melanjutkan ke proses selanjutnya. Yang dapat di lihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut :



Gambar 2.2 Kurva Kecepatan Mesin Sentrifugal

Pada awalnya alat pemutar gula hanya ada satu macam, yaitu jenis *batch* atau *discontinus*. Mesin sentrifugal jenis *batch* yang dipakai pada stasiun puteran pabrik gula hampir sebagian besar masih bersifat manual atau semi otomatis dengan pengendali berbasis kontaktor, relai-relai, dan pengendali drum serta penggerak

motor yang diatur kecepatannya dengan mengatur jumlah kutub seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mesin Sentrifugal Jenis *Batch* Atau *Discontinue*

Mesin penggerakannya masih berupa mesin uap melalui poros panjang dan menggunakan *van belt*. Bahkan ada yang digerakkan oleh turbin air untuk setiap mesin pemutar gula. Dengan kemajuan teknologi yang baru, pemutar *batch* dapat dioperasikan secara otomatis dan kapasitasnya yang semula hanya sekitar 250 kg hingga 650 kg tiap siklus.

Pada subbab Motor Induksi 3 Fasa digunakan oleh Riska.

2.3 Motor Induksi 3 Fasa [4]

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, atau dapat dikatakan putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut *slip*. Motor induksi, merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatan, stabil ketika

berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Motor induksi adalah motor (AC) yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Motor induksi ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Motor induksi tiga fasa berputar pada kecepatan yang pada dasarnya adalah konstan, mulai dari tidak berbeban sampai mencapai keadaan beban penuh. Kecepatan putaran motor ini dipengaruhi oleh frekuensi, dengan demikian pengaturan kecepatan tidak dapat dengan mudah dilakukan terhadap motor ini. Walaupun demikian, motor induksi tiga fasa memiliki beberapa keuntungan, yaitu sederhana, konstruksinya kokoh, harganya relatif murah, mudah dalam melakukan perawatan, dan dapat diproduksi dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan industri.

Keuntungan motor induksi tiga fasa:

- a. Motor induksi tiga fasa sangat sederhana dan kuat.
- b. Biayanya murah dan dapat diandalkan.
- c. Motor induksi tiga fasa memiliki efisiensi yang tinggi pada kondisi kerja normal, karena tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
- d. Perawatannya mudah, waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron

Kerugian motor induksi tiga fasa:

- a. Kecepatannya tidak bisa bervariasi tanpa merubah efisiensi.
- b. Kecepatannya tergantung beban, kecepatan akan menurun seiring bertambahnya beban.
- c. Pada torsi *start* memiliki kekurangan.

Prinsip kerja motor induksi :

- a. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasangkan pada lilitan stator timbullah medan putar dengan kecepatan.
- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
- c. Akibat dari medan putar pada lilitan rotor timbul induksi gaya gerak listrik (GGL).

- d. Karena lilitan rotor merupakan rangkaian yang cukup tertutup, GGL akan menghasilkan arus.
- e. Adanya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya pada rotor.
- f. Bila torsi mulai yang dihasilkan oleh gaya pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

Motor induksi 3 fasa yang dipakai pada Tugas Akhir kali ini adalah motor induksi 3 fasa *Alliance-Italy* IEC 34-1 CE. Pada motor induksi 3 fasa ini menggunakan hubungan *wye*. Motor induksi berfungsi untuk menggerakkan mesin sentrifugal. Kecepatan putar dari motor induksi ini diatur oleh *inverter*. Karena motor yang dipakai adalah motor induksi, maka akan ada *slip* dari motor tersebut. Sehingga kecepatan yang diinginkan tidak dapat sesuai karena adanya *slip* motor. *Name plate* Motor Induksi 3 Fasa ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 2.1 *Name plate* Motor Induksi 3 Fasa

Alliance – Italy		IEC 34-1 CE	
TYPE AY 71 – LA		No. 02030688	
0,37 KW	0,5 HP	1,93 / 1,12 A	
220/380 V	1330 r/min	LW 55 dB(A)	
CONN Δ/Y	PROT GRADE 55	50 Hz	6,3 Kg
JB/T8680, 1-1998	Work Rule S1	INS Class F	DATE 08

Pada subbab *Inverter* 3 fasa digunakan oleh Riska.

2.4 Inverter 3 Fasa [5]

Inverter atau yang disebut *variable frequency drive* (VFD) dan *variable speed drive* (VSD) merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Pada tugas akhir kami, *inverter* akan mendapatkan *input* tegangan DC dari *operational amplifier*. Tegangan DC tersebut akan diubah menjadi tegangan AC. Tegangan AC tersebut akan menggerakkan motor induksi 3 fasa. Spesifikasi *inverter* yang digunakan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Inverter* yang Digunakan

SIEMENS	
MICROMASTER 420	6SE6420-2UC13-7AA1
Serial No : XATO11-001071	E-Stand (version) : B06/1,18
Input : 200-24 (+)10% (-)10%	1/3ØAC 4,6/2,7 A 47-63 Hz
Output : 0 - INPUT V	3ØAC 2,3 A 0-650 Hz
Motor : 0,37 kW	
Protection : IP20	Duty Class II
Temp Range : (-)10 - (+) 50 C	Weight : 0,9 kg/ 2,0 lbs

2.4.1 *Inverter* Siemens Micromaster 420 [3]

Inverter yang dipakai dipakai pada Tugas Akhir kali ini adalah *inverter* Siemens Micromaster 420. Agar *inverter* bekerja dapat bekerja sesuai dengan apa yang diinginkan, maka dibutuhkan parameter *setting*. Parameter *setting* berfungsi sebagai batasan operasional pengaman *inverter* serta *mode* operasional *inverter*. Sehingga ketika motor mulai bekerja dan berhenti dapat dikendalikan. *Inverter* ini membutuhkan tegangan *input* antara 0 – 10 Volt.

Untuk mengatur parameter *inverter* harus menggunakan *Basic Operator Panel* (BOP) yang terpasang pada muka *inverter*. Dengan BOP maka sinyal kontrol dan kecepatan referensi dengan mudah dapat diatur dengan menekan tombol relevan pada BOP tersebut. BOP terdapat beberapa tombol fungsi, yang masing-masing memiliki kegunaan untuk menjalankan *inverter* Siemens Micromaster 420. Tombol-tombol tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Fungsi Tombol *Inverter* Micromaster 420 [3]

Panel/ Buton	Fungsi	Keterangan
	Status Indikasi	LCD menampilkan pengaturan saat inverter digunakan.
	Start Motor	Tombol untuk menjalankan motor (Start) saat inverter dihidupkan, dan diSetting pada P0001=1
	Stop Motor	Tombol ini digunakan untuk menghentikan motor disaat motor dijalankan melalui inverter
	Change Direction	Tombol ini untuk mengubah arah rotasi; dari motor. Reserve ditunjukkan dengan tanda minus (-) atau titik desimal berkedip.
	Jog motor	Tombol ini digunakan untuk menjalankan motor sesuai dengan jogging present. Dan berhenti disaat tombol ini tidak ditekan.
	Functions	Tombol ini bisa digunakan untuk melihat informasi tambahan. Dengan menekan tombol disaat operasi maka : 1. DC Link Tegangan (ditunjukkan dengan d (V) 2. Tegangan output (ditunjukkan dengan o (V) 3. Output frekuensi (Hz) Fungsi Lompat : Dari Parameter (rxxxx atau Pxxxx) menekan tombol Fn akan melompat ke r0000, maka dapat merubah parameter yang diperlukan.
	Access Parameter	Tombol ini digunakan untuk mengakses ke parameter.
	Increase value	Tombol ini digunakan untuk menaikkan nilai yang ditampilkan
	Decrease value	Tombol ini digunakan untuk menurunkan nilai yang ditampilkan.

2.4.2 Parameter Micromaster 420 [3]

Quick commissioning merupakan cara untuk mengkonfigurasi secara optimal Micromaster 420 *inverter*. Untuk parameter yang digunakan dapat disesuaikan dengan spesifikasi motor. Berikut merupakan tabel tata cara pengaturan *quick commissioning* untuk memasukan parameter dari motor ke *inverter* agar motor dapat dikendalikan melalui *inverter* yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Parameter Micromaster 420 [3]

Parameter	Nama dan Fungsi	Nilai
P0010	<i>Start Quick Commissioning Setting</i> <i>Start Quick Commissioning setting</i> untuk memulai mengubah parameter dari <i>inverter</i> sesuai dengan karakteristik motor. Dengan cara tekan tombol “P” yang ada di <i>inverter</i> .	0 = <i>Ready to Run</i> 1 = <i>Quick Commissioning</i> 2 = <i>Factory Setting</i>

Parameter	Nama dan Fungsi	Nilai
P0100	<i>Operation for Europe / America setting</i> <i>Operation for Europe / America setting</i> untuk memilih frekuensi yang akan digunakan untuk menggerakkan motor.	0 = Power in kW; f default 50 Hz 1 = Power in HP; f default 60 Hz 2 = Power in kW; f default 60 Hz
P0304	Nilai Tegangan Motor Nilai Tegangan Motor untuk menentukan nilai tegangan dari motor, nilai tegangan motor dapat dilihat dari <i>name plate</i> motor.	10 – 2000 Volt
P0305	Nilai Arus Motor Nilai Arus Motor untuk menentukan nilai arus dari motor, nilai arus motor dapat dilihat dari <i>name plate</i> motor.	0.01 – 3.25 Ampere
P0307	Nilai Daya Motor Nilai Daya Motor untuk menentukan nilai daya dari motor, nilai daya motor dapat dilihat dari <i>name plate</i> motor.	0,12 – 3,0 kW (0,16 – 4,02 HP)
P0310	Nilai Frekuensi Motor Nilai Frekuensi Motor untuk menentukan nilai frekuensi dari motor, nilai frekuensi motor dapat dilihat dari <i>name plate</i> motor.	12 – 650 Hz
P0311	Nilai Kecepatan Motor Nilai Kecepatan Motor untuk menentukan nilai kecepatan dari motor, nilai kecepatan motor dapat dilihat dari <i>name plate</i> motor.	0 – 4000/ min

Parameter	Nama dan Fungsi	Nilai
P0700	Pemilihan sumber perintah Pemilihan sumber perintah adalah <i>setting</i> untuk pemilihan sumber perintah.	1 = <i>Basic Operator Panel (BOP)</i> 2 = <i>Terminal / Digital input</i> 3 = <i>USS interface (USS variant only)</i>
P1000	Pemilihan titik tetapan frekuensi Pemilihan titik tetapan frekuensi adalah <i>setting</i> untuk menentukan pengontrolan frekuensi <i>inverter</i> .	1 = <i>BOP frequency control</i> 2 = <i>Analog (Analog Variant only)</i> 3 = frekuensi tetap 4 = <i>USS Interface (USS variant Only)</i>
P1080	Minimum Frekuensi Motor Minimum Frekuensi Motor untuk menentukan nilai minimal frekuensi dari motor.	0 – 650 Hz
P1082	Maksimum Frekuensi Motor Maksimum Frekuensi Motor untuk menentukan nilai maksimum frekuensi dari motor.	0 – 650 Hz
P1120	<i>Ramp – Up Time</i> <i>Ramp Up Time</i> adalah waktu yang dibutuhkan oleh motor dari keadaan diam sampai frekuensi motor maksimum.	0.00 – 650.00 detik
P1121	<i>Ramp – Down Time</i> <i>Ramp – Down Time</i> adalah waktu yang dibutuhkan oleh motor untuk mengurangi kecepatan motor pada saat frekuensi motor maksimum sampai berhenti	0.00 – 650.00 detik

Parameter	Nama dan Fungsi	Nilai
P3900	<i>End Quick Commissioning</i> <i>End Quick Commissioning</i> adalah <i>setting</i> untuk mengakhiri dan menyimpan parameter yang telah diubah sebelumnya.	0 = <i>No Quick Commissioning</i> 1 = <i>End Quick Commissioning</i> dengan me-reset semua pengaturan pabrik 2 = <i>End Quick commissioning</i> dengan me-reset pengaturan I/O pabrik 3 = <i>End Quick Commissioning</i> tanpa me-reset semua pengaturan pabrik.

Pada subbab *Operational Amplifier* digunakan oleh Riska.

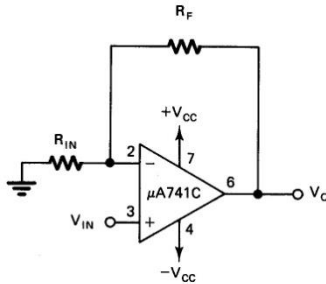
2.5 Operational Amplifier [2]

Operational amplifier adalah suatu penguat berpenguatan tinggi yang terintegrasi dalam sebuah *chip* IC yang memiliki dua *input inverting* dan *non-inverting* dengan sebuah terminal *output*. Pada dasarnya *operasional amplifier* merupakan suatu penguat diferensial yang memiliki 2 *input* dan 1 *output*.

Dengan sinyal *input* yang diberikan pada terminal *input non-inverting*, maka besarnya penguatan tegangan rangkaian penguat tak membalik tergantung pada harga R_{in} dan R_f yang dipasang. Sesuai dengan perhitungan secara matematis pada Persamaan 2.1 berikut:

$$A_v = \left(\frac{R_f}{R_{in}} \right) + 1 \dots \dots \dots (2.1)$$

Rangkaian *operational amplifier* ini digunakan sebagai penguat tegangan *output* dari PLC 0-5 Volt menjadi 0-10 Volt sesuai tegangan yang diperlukan *inverter*. Rangkaian *operational amplifier* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Rangkaian *Non-Inverting Amplifier*

Pada subbab *Programmable Logic Controller* (PLC) digunakan oleh Riska dan Nabella.

2.6 *Programmable Logic Controller* (PLC) [5]

Programmable Logic Controller (PLC) adalah sebuah rangkaian elektronik yang dapat mengerjakan berbagai fungsi-fungsi kontrol pada level-level yang kompleks. PLC dapat diprogram, dikontrol, dan dioperasikan oleh operator yang tidak berpengalaman dalam mengoperasikan komputer. PLC merupakan suatu sistem elektronika digital yang dirancang agar dapat mengendalikan mesin dengan proses mengimplementasikan fungsi nalar kendali sekuensial, operasi pewaktuan (*timing*), pencacahan (*counting*), dan aritmatika. Sebagai kontrol yang canggih PLC mempunyai fungsi:

- a. Operasi aritmatika.
- b. Penanganan informasi.
- c. Kontrol analog (suhu, tekanan, dan lain-lain).
- d. PID (*Proporsional-Integral-Diferensial*).
- e. Kontrol motor.

PLC mempunyai fungsi utama yaitu, menjalankan instruksi *logic* program, menyimpan hasil proses dan menerima data dari luar dan mengeluarkan hasil dari proses tersebut. PLC terdiri dari unsur-unsur utama sebagai berikut:

- a. CPU (*Central Processing Unit*)
CPU (*Central Processing Unit*) terdiri dari 3 komponen yang *Processor*, Memori Sistem dan *Power Supply*.
 1. *Processor* berfungsi mengatur semua tugas sistem PLC, melakukan berbagai operasi seperti eksekusi

- program, menyimpan dan mengambil data dari memori, membaca nilai *input* dan pengaturan nilai *output*, dan berkomunikasi dengan perangkat lain.
2. Sistem Memori adalah daerah di CPU PLC bahwa tempat data dan program yang disimpan dan dieksekusi oleh *processor*.
 3. *Power Supply* digunakan untuk memberikan sumber untuk semua komponen PLC. Sebagian besar PLC dapat bekerja dengan catu daya 24 VDC atau 220 VAC.

b. Perangkat *Input* dan *Output*

Perangkat *input* dan *output* adalah penghubung antara PLC dengan *hardware input* dan *output*.

PLC bekerja berdasarkan pemrograman dan eksekusi instruksi logika yang dibuat. PLC beroperasi dengan cara memeriksa *input* dari sebuah proses untuk mengetahui statusnya, kemudian sinyal *input* ini diproses berdasarkan instruksi logika yang telah diprogram dalam memori. Dan sebagai hasilnya adalah berupa sinyal *output*. Sinyal *output* inilah yang dipakai untuk mengendalikan peralatan atau mesin. Antarmuka (*interface*) yang terpasang di PLC memungkinkan PLC dihubungkan secara langsung ke aktuator atau transduser tanpa memerlukan *relay*.

2.6.1 PLC Mitsubishi Seri Q CPU 02 [3]

PLC Mitsubishi Seri Q pada Gambar 2.5 merupakan PLC dengan bentuk modular. Tipe *Q - Series* ini paling banyak digunakan di industri - industri. Hal ini disebabkan karena beberapa keunggulan-keunggulannya yang meliputi :

1. *Program Memory* yang lebih banyak sehingga lebih banyak *points* (I/O) yang dapat disimpan dalam memori.
2. Desain lebih kecil daripada tipe sebelumnya (*A-Series*).
3. *Easy Maintenance* (mudah dalam perawatan).
4. *Basic Intruction Processing Speed* sangat cepat.



Gambar 2.5 Modul PLC Mitsubishi Seri Q

Pada Tugas Akhir ini menggunakan modul PLC Mitsubishi Seri Q CPU 02. Komponen pada modul PLC Mitsubishi Seri Q CPU 02 terdiri dari enam modul, yaitu: modul *power supply*, CPU, *digital input*, *digital output*, *analog input*, *analog output*, dan modul *High Speed Counter*. Spesifikasi dari modul-modul yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Power Supply* (Q61P)
Masukan *power supply* (100 – 240 VAC), keluaran 5 VDC (6A).
2. CPU (Q02HCPU)
Kapasitas program (28 kstep), kecepatan pemrosesan (0,034 μ sec), tipe memori (standar ROM). *Digital input* QX42 terdiri dari 64 *point*, 32 *point* dan 32 *common*, dengan tegangan 24 VDC *input* (4mA), dan tipe pengkabelannya menggunakan *sink type*.
3. *Digital Output* (QY42P)
Terdiri dari 64 *point*, 32 *point* dan 32 *common*, dengan tegangan 12 to 24 VDC, Dan sudah didukung dengan perlindungan termal dan *short circuit* serta tegangan kejut.
4. *Analog Input* (Q64AD)
Total *channel analog* (4 *channel*), *range* konversi dari *analog* ke *digital* adalah 0 – 5 V DC linier dengan nilai digital 0 – 4000.
5. *Analog Output* (Q62DA)
Total *channel analog* (2 *channel*), *range* konversi dari *digital* ke *analog* adalah 0 – 5 VDC linier dengan nilai digital 0 – 4000.

6. *High Speed Counter* (QD62)

Modul *high speed counter* merupakan suatu modul yang dapat membaca perubahan masukan *digital* dengan cara *increment* atau *decrement* dalam frekuensi yang tinggi.

Total *channel* (2 CH), *range* pembacaan pulsa secara inc/dec antara -2147483648 hingga 2147483647, frekuensi maksimum berbentuk pulsa yang dapat dibaca sebesar 200 kilo *pulse* per *seconds*. Untuk modul QD62 memiliki masukan berupa *DC input* dan keluaran *sink output*.

2.6.2 *GX Works2* [2]

GX Works terdiri dari berbagai komponen yang berbeda yang membantu untuk menyederhanakan penciptaan dan pemeliharaan proyek tugas. Sebuah konsol desain sistem yang memungkinkan proyek yang akan dibuat pada tahap gambaran sistem telah ditambahkan. Selain itu, bahasa pemrograman utama yang didukung dan label mereka (variabel) dibagi, lebih menyederhanakan pemrograman. Berbagai *debug* dan pemeliharaan fitur juga disertakan.

Sebelum *GX Works2* muncul, pemrograman PLC Mitsubishi Seri Q bisa dilakukan dengan *software GX Works2*. *GX Works2* merupakan sebuah program aplikasi dari modul PLC Mitsubishi yang dikeluarkan oleh Mitsubishi yang berbasis *Windows* seperti *windows 98*, *XP* ataupun *Windows7*.

2.6.3 *GT Designer3* [2]

GT Designer3 merupakan *software HMI (Human Machine Interface)* yang memiliki lisensi dari *Mitsubishi Electric*. *Human Machine Interface* merupakan piranti yang berfungsi sebagai media komunikasi antara operator dengan mesin, dalam hal ini PLC. Untuk menjalankan *HumanMachine Interface* secara *real time*, *software* yang digunakan adalah *software runtime license Mitsubishi Electric* tipe *GT16**-X(1024 x 768) v1.40S*.

Sebelum menjalankannya, yang harus dilakukan terlebih dahulu yaitu mengetahui spesifikasi *Human Machine Interface*, spesifikasi konektivitas pengendali, spesifikasi media komunikasi, spesifikasi *driver* komunikasi dan daftar *device* pada tampilan *Human Machine Interface*.

1. Spesifikasi *Human Machine Interface*
Spesifikasi *Human Machine Interface* digunakan untuk mengetahui tipe dari *Graphic Operation Terminal (GOT)*, resolusi yang digunakan untuk tampilan dan *setting-an* warna yang digunakan.
2. Spesifikasi Konektivitas Pengendali
Spesifikasi konektivitas pengendali digunakan untuk inisialisasi pabrikasi yang digunakan karena *GT Designer* tidak hanya digunakan untuk *brand* Mitsubishi saja karena bisa juga untuk *Allen Bradley, Siemens, Yokogawa* dsb. Selain itu spesifikasi konektivitas pengendali juga digunakan untuk inisialisasi CPU yang digunakan.
3. Spesifikasi Media Komunikasi
Spesifikasi komunikasi digunakan untuk inisialisasi komunikasi data yang digunakan, bisa menggunakan *ethernet, RS-232* dsb, sesuai dengan media komunikasi yang digunakan.
4. Spesifikasi *Driver* Komunikasi
Spesifikasi *driver* komunikasi digunakan untuk inisialisasi *driver* komunikasi yang digunakan, supaya nantinya PLC bisa terhubung dengan *Human Machine Interface* agar bisa di kontrol, di monitor dan *data record* dari sistem yang dirancang.

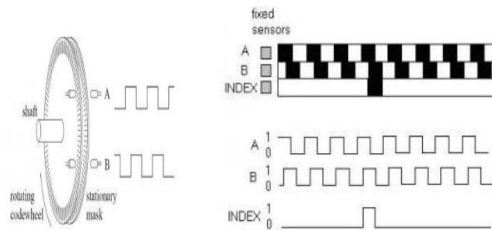
Pada subbab Sensor *Rotary Encoder* digunakan oleh Nabella.

2.7 Sensor *Rotary Encoder* [3]

Rotary encoder merupakan sensor kecepatan yang dapat memonitor putaran motor. *Rotary encoder* adalah suatu komponen elektro mekanis yang memiliki fungsi untuk memonitoring posisi *angular* pada suatu poros yang berputar. Dari perputaran benda tersebut data yang termonitoring akan diubah ke dalam bentuk data digital oleh *rotary encoder* berupa lebar pulsa kemudian akan dihubungkan ke kontroler. Berdasarkan data yang di dapat berupa posisi *angular* (sudut) kemudian dapat diolah oleh kontroler sehingga mendapatkan data berupa kecepatan, arah, dan posisi dari perputaran porosnya.

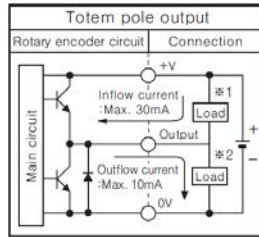
Ada 2 jenis *rotary* yang umum beredar di pasaran yaitu *incremental rotary encoder* dan *absolute rotary encoder*. Pada kali

ini akan menggunakan *incremental rotary encoder* agar dapat memonitoring kecepatan motor. *Incremental rotary encoder* biasanya memiliki tiga buah sinyal keluaran, yaitu sinyal A, sinyal B, dan sinyal Z. Untuk sinyal A dan sinyal B, masing-masing sinyal keluaran tersebut saling *quadrature* yang berarti terjadi pergeseran fasa 90 derajat satu sama lain. Hubungan antara sinyal A dan sinyal B adalah bahwa pergeseran fasa satu sama lain antara kedua sinyal tersebut harus berada dalam batas toleransi yang dapat diterima biasanya tidak melebihi 90 derajat. Ketika poros berputar, pulsa akan muncul di masing-masing *channel* pada frekuensi yang proporsional dengan kecepatan putar sedangkan hubungan fasa antara *channel* A dan B menghasilkan arah putaran. *Incremental rotary encoder* menggunakan pembacaan *biner code* yang dapat membaca dengan dua kondisi sekaligus sehingga dapat membaca dari dua arah yang berbeda. *Incremental encoder* dan diagram keluarannya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



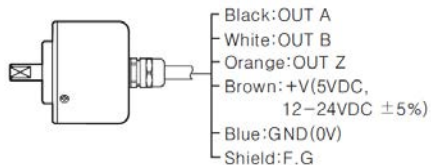
Gambar 2.6 *Incremental Encoder* dan Diagram Keluarannya

Sensor kecepatan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *rotary encoder* berjenis *incremental encoder*. *Rotary encoder* yang kami gunakan memiliki *type* E50S8-200-3-T-24. Spesifikasi dari sensor ini adalah memiliki *shaft type* Ø50 mm. Dengan *shaft* diameter Ø8 mm. Memiliki resolusi 200 ppm hal tersebut berarti sensor ini dapat membaca 200 pulsa dalam sekali putaran. Memiliki 3 fasa yaitu fasa A, B dan Z. Tipe *output* ini adalah *Totempole Output*. Dapat *disupply* dengan tegangan 12-24 VDC dengan toleransi $\pm 5\%$. Diagram *output* kontrol dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram *Output* Kontrol

Poros *rotary encoder* ini akan dikopel dengan poros mesin sentrifugal yang nantinya juga akan dikopel dengan Motor AC 3 fasa yang digunakan. Sehingga ketika motor AC 3 fasa berputar maka *rotary encoder* akan ikut berputar dan mulai menghitung *pulse*. Konfigurasi kabel *output* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Konfigurasi Kabel *Output*

Rotary encoder ini dijadikan umpan balik pada *Programmable Logic Controller* (PLC). Umpan balik tersebut terbaca oleh modul *High Speed Counter*. Jadi selanjutnya data tersebut akan dijadikan acuan untuk mengatur kecepatan Motor AC 3 fasa pada mesin sentrifugal tersebut.

Pada subbab Kontroler Tipe-PI (*Proportional+Integral Controller*) digunakan oleh Riska.

2.8 Kontroler Tipe-PI (*Proportional+Integral Controller*) [2]

Kontroler proporsional ditambah integral merupakan kontroler yang aksi kontrolnya mempunyai sifat proporsional dan integral terhadap sinyal kesalahan. Untuk kontroler proporsional ditambah integral, sinyal kesalahan $e(t)$ merupakan masukan kontroler sedangkan keluaran kontroler adalah sinyal kontrol $\mu(t)$. Hubungan

antara masukan kontroler $e(t)$ dan keluaran kontroler $\mu(t)$ terdapat pada Persamaan 2.2 :

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) E(s) \dots \dots \dots (2.2)$$

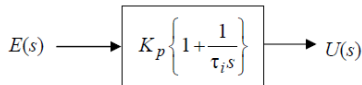
atau pada Persamaan 2.3 yaitu dalam besaran transformasi *Laplace* dimana K_p :

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Penguatan proporsional dan τ_i adalah waktu *integral*. Parameter K_p dan τ_i keduanya dapat ditentukan. Sehingga seperti Persamaan 2.4 fungsi alih kontroler proporsional ditambah *integral* adalah:

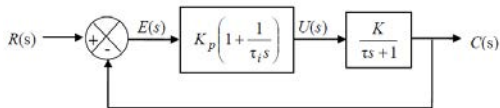
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left\{ 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right\} \dots \dots \dots (2.4)$$

Diagram blok kontroler proporsional ditambah *integral* dapat dilihat pada Gambar 2.9 sebagai berikut :



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler *Proportional Integral*

Jika kontroler proporsional ditambah *integral* diterapkan pada *plant* orde pertama dalam suatu sistem pengaturan maka diagram bloknya dapat dilihat pada Gambar 2.10 sebagai berikut :



Gambar 2.10 Diagram Blok Orde Pertama Dengan Kontroler PI

Langkah–langkah desain kontroler PI antara lain:

1. Menentukan fungsi alih dari *plant* orde pertama
 Bisa didapatkan melalui identifikasi pendekatan orde pertama atau penurunan model matematik dengan pengukuran parameter.
2. Menentukan spesifikasi performansi yang diinginkan
 Spesifikasi performansi yang diinginkan dapat berupa :
 - a. Spesifikasi respon orde pertama dengan konstanta waktu tertentu (τ^*).
 - b. Spesifikasi respon orde kedua dengan frekuensi alami tak teredam tertentu (ω_n^*) atau rasio peredaman tertentu (ξ^*).
3. Menentukan K_p dan τ_i
 - a. Jika spesifikasi performansi yang diinginkan berupa respon orde pertama dengan τ^* tertentu, ada pada Persamaan 2.5, Persamaan 2.6, Persamaan 2.7, dan Persamaan 2.8.

$$a. \quad K = \frac{Y_{SS}}{X_{SS}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$b. \quad \tau_i = \tau \dots \dots \dots (2.6)$$

$$c. \quad \tau^* = \frac{\tau_i}{K.K_p} \leftrightarrow K_p = \frac{\tau_i}{K.\tau^*} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$d. \quad K_i = \frac{K_p}{\tau_i} \dots \dots \dots (2.8)$$

- b. Jika spesifikasi performansi yang diinginkan berupa respon orde kedua dengan ξ^* atau ω_n^* tertentu, ada pada Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8.

$$a. \quad K_p = \frac{1}{K} (2\xi^* \omega_n^* \tau - 1) \dots \dots \dots (2.9)$$

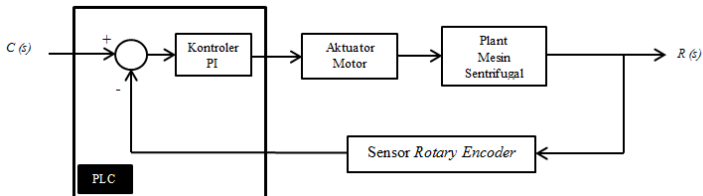
$$b. \quad \tau_i = \frac{K_p.K}{(\omega_n^* \tau)^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini menjelaskan tentang perancangan sistem secara keseluruhan. Perancangan sistem dibagi menjadi 3 tahapan yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan elektrik, dan perancangan perangkat lunak (*software*).

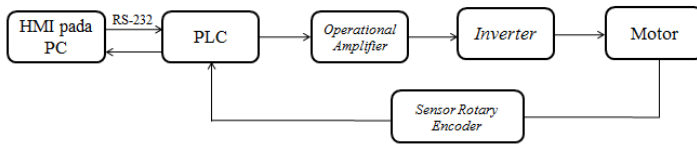
3.1 Desain Alat

Alat yang dirancang merupakan alat yang dapat mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa pada *plant* sentrifugal. Ada tiga proses kecepatan yang motor induksi 3 fasa operasikan yaitu, *charging*, *spinning* dan *discharging*. Namun, jika *plant* sentrifugal diberi beban maka kecepatan motor cenderung menurun. Alat ini dirancang agar motor induksi memiliki kecepatan yang konstan. Sehingga motor induksi tidak mengalami penurunan kecepatan jika ada beban maupun tanpa beban. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

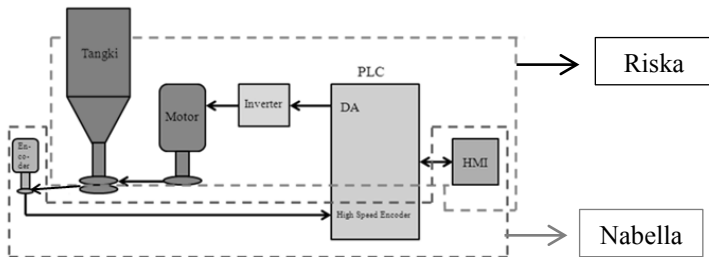
HMI yang terdapat pada PC menggunakan *software* *GT Designer3* yang dihubungkan ke PLC menggunakan kabel *serial RS-232*. *Output* dari PLC akan masuk ke *input* rangkaian *operational amplifier*. Yang mana menggunakan sinyal *conditioning* untuk mengubah tegangan dari DA ke tegangan yang dibutuhkan *inverter* untuk menggerakkan motor. Motor induksi dikopel dengan *sensor rotary encoder* sehingga dapat terbaca oleh PLC. Dan diproses menggunakan kontroler PI yang ditampilkan dalam HMI (*Human Machine Interface*). Alur sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alur Sistem

3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras dari Tugas Akhir ini diperlihatkan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pembagian Tugas

Dari Gambar 3.3, dibagi penugasan pengerjaan Tugas Akhir ini menjadi dua yaitu, kontrol kecepatan motor induksi 3 fasa dikerjakan oleh Riska, sedangkan pengukuran kecepatan dikerjakan oleh Nabella.

Pada Gambar 3.3, *Human Machine Interface* (HMI) akan ditampilkan oleh sebuah PC. HMI digunakan untuk monitoring nilai *setpoint*, *present value*, *error*, dan parameter kontrol. Kecepatan motor 3 fasa akan diatur kontrol PI yang terdapat pada program PLC. Tegangan yang keluar dari PLC sebesar 0 – 5 VDC akan masuk ke *inverter* melewati rangkaian *operational amplifier*.

Rangkaian *operational amplifier* merupakan rangkaian penguat dua kali agar tegangan keluaran dari PLC mencapai 0 – 10 VDC. Tegangan yang terbaca di *inverter* menjadi 0 – 10 VDC dengan *range* frekuensi 0 Hz – 50 Hz. dengan adanya frekuensi, maka motor induksi 3 fasa dapat bekerja. poros pada motor induksi 3 fasa akan dikopel dengan *sensor rotary encoder*. Dengan begitu sensor dapat mendeteksi putaran motor tersebut dengan mengonversikan

jumlah pulsa pada setiap putaran motor. Lalu akan diproses dengan modul *High Speed Counter* pada PLC.

Pada subbab ini membahas tentang perancangan mesin sentrifugal, *setting* parameter *inverter* dan panel kontrol.

Pada sub-subbab Perancangan Mesin Sentrifugal dikerjakan oleh Riska dan Nabella.

3.2.1 Perancangan Mesin Sentrifugal

Perancangan mesin sentrifugal yang digunakan pada Tugas Akhir kali ini menggunakan mesin sentrifugal yang telah ada. Mesin sentrifugal yang dipakai yaitu Mesin Sentrifugal AuToBOB-1/2-200 yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. AuToBOB merupakan nama rekayasa, 1/2 merupakan daya maksimal dari motor induksi 3 fasa yang digunakan, dan 200 adalah jumlah pulsa per putaran dari *rotary encoder* yang digunakan.

Bagian utama dari mesin sentrifugal ialah tangki sentrifugal, motor induksi 3 fasa, dan sensor *rotary encoder*. Pada tangki sentrifugal, terdapat *basket* dan tangki. Pada *basket* terbuat dari pelat dengan lubang-lubang kecil yang berguna sebagai saringan. Sedang tangki terbuat dari pelat yang tidak berlubang dan memiliki ukuran yang lebih besar daripada *basket*. Hal itu berfungsi untuk menampung cairan dari padatan gula. Dalam proses sentrifugasi, bagian yang berputar ialah *basket*.



Gambar 3.4 Prototipe Mesin Sentrifugal

Pada sub-subbab *Inverter* 3 Fasa dikerjakan oleh Riska.

3.2.2 *Setting Parameter Inverter*

Setelah mengetahui fungsi tombol-tombol pada *inverter*, *setting* parameter dapat dilakukan dengan cara *setting* sesuai dengan spesifikasi motor. Adapun langkah-langkah untuk mengatur nilai parameter dapat disesuaikan dengan spesifikasi motor yang terdapat pada Tabel 3.1.

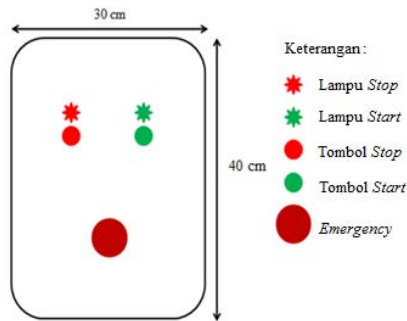
Tabel 3.1 Nilai Parameter *Inverter* Micromaster 420

No	Parameter	Nilai yang Dipilih
1	P0003 (Level Akses Pengguna)	1
2	P0010 (Memulai <i>Comissioning</i>)	0
3	P0100 (Frekuensi <i>Power supply</i>)	0
4	P0304 (Tegangan Nominal Motor)	380 (<i>name plate</i>)
5	P0305 (Arus Nominal Motor)	1,93 (<i>name plate</i>)
6	P0307 (Daya Motor)	0,37 (<i>name plate</i>)
7	P0310 (Frekuensi Motor)	50 (<i>name plate</i>)
8	P0311 (Kecepatan Motor)	1350 (<i>name plate</i>)
9	P0700 (Pemilihan Sumber Perintah)	1
10	P1000 (Pemilihan <i>Setpoint</i> Frekuensi)	2
11	P1080 (Frekuensi Minimum Motor)	0
12	P1082 (Frekuensi Maksimum Motor)	50
13	P1120 (<i>Ramp-Up Time</i>)	10
14	P1121 (<i>Ramp-Down Time</i>)	10
15	P3900 (<i>End of Quick Comissioning</i>)	1

Pada sub-subbab Panel Kontrol dikerjakan oleh Riska dan Nabella.

3.2.3 Panel Kontrol

Komponen elektrik digabungkan dalam satu *box* yang dinamakan panel kontrol. Dengan bagian depan panel kontrol yang terdapat pada Gambar 3.5. Di dalam panel kontrol terdapat rangkaian *non-inverting amplifier*, *inverter*, *power supply*, *relay* dan MCB. *Non-inverting amplifier* berfungsi untuk menguatkan tegangan menjadi dua kali lipat. Karena tegangan *output* DA dari *Programmable Logic Controller* adalah antara 0 – 5 VDC dan *inverter* membutuhkan *range* tegangan 0 – 10 VDC. Lalu *inverter* digunakan sebagai pengonversi DC to AC. *Power supply* digunakan untuk memberi tegangan pada *rotary encoder* dan memberi tegangan kerja untuk *operational amplifier*. *Relay* digunakan sebagai *interlock* tombol. Ketika tombol *start* ditekan lalu dilepas, maka mesin akan tetap berjalan. Dan akan berhenti saat tombol *stop* ditekan. Serta MCB sebagai *on-off* sistem dan pengaman sistem.



Gambar 3.5 Bagian Depan Panel Kontrol

Pada bagian depan panel kontrol terdapat dua *pilot lamp* yaitu berwarna merah sebagai indikator *off* dan berwarna hijau sebagai indikator *on*. Kemudian terdapat dua *push button* yaitu berwarna merah sebagai tombol *stop* dan berwarna hijau sebagai tombol *start*. Serta *emergency button* yang digunakan sebagai tombol untuk mematikan sistem ketika terjadi keadaan darurat.

3.3 Perancangan Elektrik

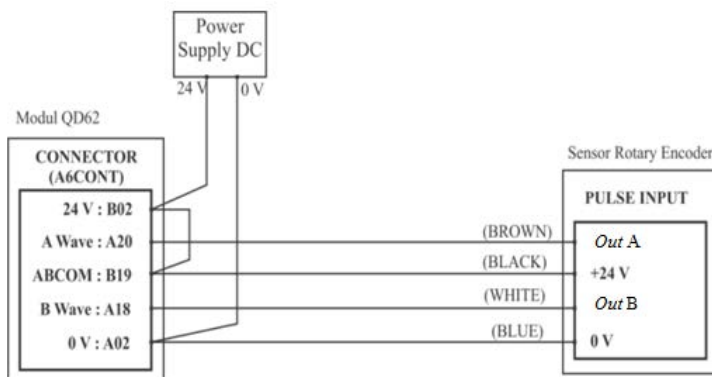
Pada perancangan elektrik ini meliputi *wiring* sensor *rotary encoder* di modul QD62 PLC, *power supply* yang diletakkan pada panel kontrol, dan *operational amplifier* yang juga diletakkan pada panel kontrol.

Pada sub-subbab *Wiring Sensor Rotary Encoder* dikerjakan oleh Nabella.

3.3.1 Wiring Sensor Rotary Encoder

Rotary encoder yang digunakan adalah tipe E50S8-200-3-T-24. Sensor ini memiliki 5 kabel yaitu, kabel 2 *input* dan 3 kabel *output*. Masing-masing kabel memiliki warna yang berbeda. Setiap warna memiliki fungsinya sendiri. Kabel berwarna hitam berfungsi untuk *out A*, kabel berwarna putih berfungsi untuk *out B*, kabel berwarna oranye berfungsi untuk *out Z*, kabel berwarna coklat berfungsi untuk +V, dan kabel berwarna biru berfungsi untuk 0 V.

Pada kali ini kami hanya menggunakan 3 kabel, yaitu *out A*, +V, dan 0 V. *Wiring* sensor *rotary encoder* dapat terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Wiring* pada Sensor *Rotary Encoder*

Sensor *rotary encoder* akan bekerja jika mendapatkan tegangan DC sebesar 24 V. Dari Gambar 3.6, diketahui bahwa *rotary encoder* yang digunakan memiliki tiga *output*, yaitu *out A*, B dan Z. *Output*

tersebut akan membangkitkan gelombang pulsa. Kali ini kami menggunakan sensor dengan *out A* dan *out B*.

Kabel dari sensor *rotary encoder* tersebut disambungkan ke PLC menggunakan konektor A6CON1. Kabel tersebut akan disolder dengan konektor sesuai dengan *datasheet*.

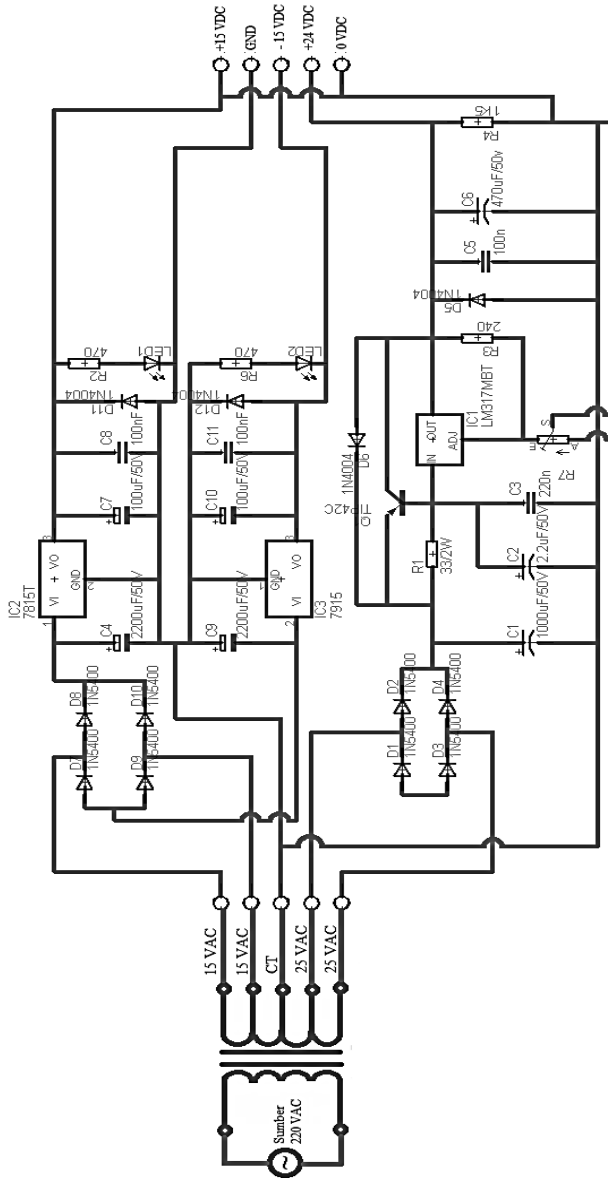
Pada sub-subbab Perancangan Rangkaian *Power Supply* dikerjakan oleh Nabella.

3.3.2 Perancangan Rangkaian *Power Supply*

Pada Tugas Akhir ini rangkaian *power supply* digunakan sebagai pemberi tegangan *input* pada beberapa komponen. Komponen yang membutuhkan *power supply* adalah rangkaian *operational amplifier* dan sensor *rotary encoder*. *Power supply* yang dibuat merupakan *power supply* yang memiliki *double output*. Hal ini dikarenakan tegangan yang dibutuhkan rangkaian *operational amplifier* dan sensor *rotary encoder* berbeda. Rangkaian *operational amplifier* membutuhkan tegangan *input* -15 V dan +15 V, sedang sensor *rotary encoder* membutuhkan tegangan *input* 24 V.

Untuk *power supply* -15 V dan +15 V membutuhkan dua buah kapasitor *elco* sebesar 2200 μ F/50V, dua buah kapasitor *elco* 100 μ F/50V, dan dua buah kapasitor non-polar sebesar 100nF. Rangkaian ini juga menggunakan empat buah dioda 1N5400 dan menggunakan dua buah dioda 1N4004, dua buah LED sebagai indikator, dua buah resistor bernilai 470 Ω , serta IC regulator 7915 untuk -15 V dan IC regulator 7815 untuk +15 V.

Untuk *power supply* 24 V membutuhkan empat buah dioda 1N5400, dua buah dioda 1N4004, satu buah *elco* 1000 μ F/50V, satu buah *elco* 2,2 μ F/50V, satu buah *elco* 470 μ F/50V. Menggunakan LM317 sebagai IC regulatornya. Membutuhkan kapasitor non-polar 220nF dan 100nF. Juga resistor dengan resistansi 33 Ω /2W, 220 Ω / $\frac{1}{4}$ W, 1,5K Ω / $\frac{1}{4}$ W dan *variable* resistor 50K Ω . Rangkaian *power supply* dapat dilihat pada Gambar 3.7.

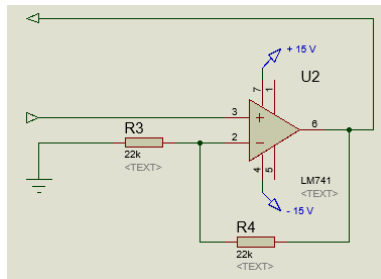


Gambar 3.7 Rangkaian Power Supply

Pada sub-subbab Perancangan Rangkaian *Operational Amplifier* dikerjakan oleh Riska.

3.4.3 Perancangan Rangkaian *Operational Amplifier*

Rangkaian yang digunakan pada *operational amplifier* menggunakan IC LM741. Sinyal *input* akan diberikan ke terminal *input non-inverting*, sehingga besar penguatan tegangan rangkaian tergantung pada nilai R_3 dan R_4 yang dipasang. Rangkaian *operational amplifier* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian *Operational Amplifier*

Rangkaian *operational amplifier* ini menggunakan nilai resistor R_3 dan R_4 yang sama, yaitu sebesar $22K\Omega$. Sehingga besar penguatan tegangan dihitung secara matematis seperti pada Persamaan 3.1.

$$V_{out} = \left(\frac{22k}{22k} + 1 \right) V_{in} \Leftrightarrow V_{out} = (1+1) V_{in} \Leftrightarrow V_{out} = 2 V_{in} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dari Persamaan 3.1, maka didapatkan bahwa keluaran dari *operational amplifier* sebesar 2 kali nilai V_{in} .

3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada perancangan perangkat lunak ini akan membahas tentang konfigurasi *software*, yaitu membuat program *ladder diagram* untuk pembacaan kecepatan sensor. Jika PLC dapat membaca sensor, maka dibuat program kontroler PI. Setelah membuat program kontroler PI, dibuat program untuk mengontrol kecepatan mesin

sentrifugal. Jika telah membuat *ladder* pembacaan sensor dan kontrol kecepatan, selanjutnya membuat HMI sebagai *interface* antara manusia dan mesin.

3.4.1 Konfigurasi Software

Pada konfigurasi *software* yang digunakan adalah *GX Works2* dan *GT Designer*. *GX Works2* digunakan untuk membuat program *ladder* yang selanjutnya *upload* ke PLC. Sedang *GT Designer3* digunakan untuk membuat tampilan *interface* dari PLC ke PC.

Pada anak sub-subbab *GX Works2* dikerjakan oleh Riska dan Nabella.

3.4.1.1 Perancangan GX Works2

GX Works2 merupakan salah satu *software* pemrograman PLC Mitsubishi. *GX Works2* memiliki beberapa kelebihan antara lain, mempermudah pengguna untuk mengelompokkan beberapa jenis program yang berbeda dalam sejumlah *tab* dalam satu *window*, lebih cepat dalam *transfer* program ke PLC, serta dilengkapi dengan *predictive command*.

1. Membuat Project Menggunakan GX Works2

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menjalankan *software GX Works2* yaitu :

- a. Klik *project* lalu pilih *new*.
- b. Setelah itu pilih *simple project*.
- c. Pilih seri PLC apa yang digunakan. Klik QCPU (Q Mode).
- d. Dan pilih Q02 / Q02H untuk CPU PLC yang digunakan.
- e. Pilih *ladder* sebagai bahasa pemrograman yang digunakan.

Untuk *setting* modul QD62 dikerjakan oleh Nabella.

2. Setting Modul QD62 (High Speed Counter)

High Speed Counter merupakan salah satu modul yang memiliki fungsi khusus yang terdapat di PLC Mitsubishi *Q Series*. Modul ini digunakan untuk menghitung jumlah pulsa secara cepat dari *rotary encoder*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk *setting* modul QD62 yaitu :

- a. Klik *project* lalu pilih *Intelligent Function Module*, dan *new module*.
- b. Setelah itu atur pengaturan modul dengan mengisi parameter sebagai berikut:
 - *Module Type* : *Counter Module*
 - *Module Name* : QD62
 - *Mounted Slot* : 4
 - *XY Address* : 00A0
- c. Jika sudah, klik *switch setting* pada *navigation window*. Dan atur batas keluaran CH1 sebagai berikut:
 - *Pulse Input Mode* : *2-phase multiple of 1*
 - *Counting Speed Setting* : 200kpps
 - *Counter Format* : *Ring Counter*
- d. Jika sudah, klik *Main* untuk membuat *ladder*.

Untuk *setting* modul QD62 dikerjakan oleh Riska.

3. *Setting Modul Q62DA (Digital to Analog Converter)*

Modul ini merupakan salah satu modul yang memiliki fungsi khusus, yaitu mengkonversi data *digital* menjadi *analog*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk *setting* modul QD62DA yaitu :

- a. Klik *project* lalu pilih *Intelligent Function Module*, dan *new module*.
- b. Setelah itu atur pengaturan modul dengan mengisi parameter sebagai berikut:
 - *Module Type* : *Analog Module*
 - *Module Name* : Q62DA
 - *Mounted Slot* : 3
 - *XY Address* : 0090
- c. Jika sudah, klik *switch setting* pada *navigation window*. Dan atur batas keluaran CH1 menjadi 0 – 5 V, untuk CH2 tidak diubah, karena yang dipakai hanya *channel 1*.
- d. Jika sudah, klik parameter pada *navigation window*. Dan atur *D/A conversion* CH1 menjadi *enable* sedang CH2 *disable*.
- e. Jika sudah, klik *auto refresh* pada *navigation window*. Dan nilai *digital* untuk modul ini adalah D1060.

- f. Jika sudah, klik *main* untuk membuat *ladder*.

Pada anak sub-subbab *GT Designer3* dikerjakan oleh Riska dan Nabella.

3.4.1.2 Perancangan *GT Designer3*

GT Designer3 merupakan salah satu *software* untuk membuat tampilan HMI. Sebelum memulai *project* baru, harus ditentukan terlebih dahulu spesifikasi yang diinginkan. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat program pada *GT Designer3* yaitu :

- a. Klik *new project* lalu pilih *next* pada *starting new project*.
- b. Isilah tipe dari GOT (*Graphic Operation Terminal*), di mana GOT merupakan resolusi yang digunakan untuk tampilan dan pengaturan warna yang digunakan.
- c. Klik *next*, lalu isilah spesifikasi komunikasi kontroler sebagai berikut,
 - *Manufacturer* : Mitsubishi
 - *Controller Type* : Melsec-QnA/Q/QS , MELDAS C6*
- d. Klik *next*, RS-232 merupakan media komunikasi yang dipakai.
- e. Isi spesifikasi *driver* komunikasi agar PLC dapat terhubung dengan *Human Machine Interface*.
 - *Comunication Driver* : A/QnA/L/QCPU , LJ71C24, QJ71C24
- f. Klik *next*, untuk memilih layar yang digunakan dapat diisi seperti berikut,
 - *Base Screen* : GD100
 - *Overlap Window* : GD101
- g. Klik *next* dan *finish*. *GT Designer3* siap digunakan.
- h. Jika akan mengoneksikan dengan PLC, klik *tool*, pilih simulator, lalu pilih *set* dan CPU yang dipakai.

3.4.2 Perancangan dan Pemrograman Kontroler PI

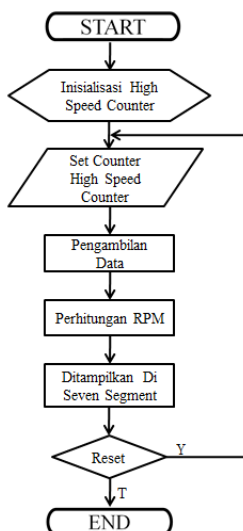
Perancangan program PI membutuhkan beberapa program pada *GX Works2*. Program tersebut dibagi menjadi program pembacaan kecepatan, program kontroler PI, dan program pengaturan kecepatan. Untuk program pembacaan kecepatan membutuhkan

modul *High Speed Counter*. Sedangkan untuk program kontroler PI dan pengaturan kecepatan membutuhkan modul *Digital to Analog Converter*.

Pada anak sub-subbab pemrograman modul *High Speed Counter* dikerjakan oleh Nabella.

3.4.2.1 Pemrograman Modul *High Speed Counter*

Pemrograman modul *High Speed Counter* digunakan untuk pembacaan kecepatan dari motor induksi oleh sensor *rotary encoder*. Pemrograman untuk membaca kecepatan motor dari sensor *rotary encoder* dibagi menjadi pembacaan jumlah pulsa dari *rotary encoder* dan konversi jumlah pulsa dari *rotary encoder* menjadi kecepatan (RPM). Untuk mempermudah pemrograman maka dibutuhkan *flowchart* seperti yang tertera pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Flowchart* Pemrograman QD62

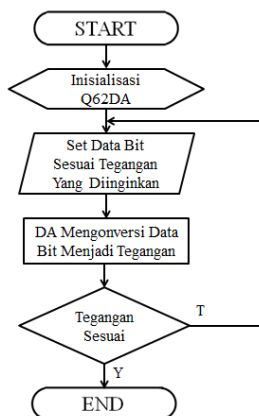
Pemrograman modul *High Speed Counter* menggunakan *software GX Works2* dan menggunakan bahasa *ladder*. Untuk

program pembacaan kecepatan dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran B.1.

Pada anak sub-subbab pemrograman modul Q62DA dikerjakan oleh Riska.

3.4.2.2 Pemrograman Modul Q62DA (*Digital to Analog Converter*)

Pemrograman modul Q62DA digunakan untuk mengonversi nilai *Digital to Analog*. Tegangan yang dikeluarkan modul Q62DA PLC akan menjadi *input* bagi *operational amplifier* yang *outputnya* akan diolah oleh *inverter* dan dijadikan frekuensi sehingga motor dapat bergerak. Modul ini dibutuhkan untuk program kontroler PI sebagai pengatur kecepatan. Setelah mendapatkan nilai kecepatan dari modul *High Speed Counter*, akan diolah oleh kontroler PI sehingga menjadi kecepatan yang diinginkan sesuai *set value*. Program pengaturan kecepatan akan mengatur *output* kecepatan agar sesuai dengan kurva sentrifugasi. Untuk mempermudah pemrograman maka dibutuhkan *flowchart* seperti yang tertera pada Gambar 3.10.

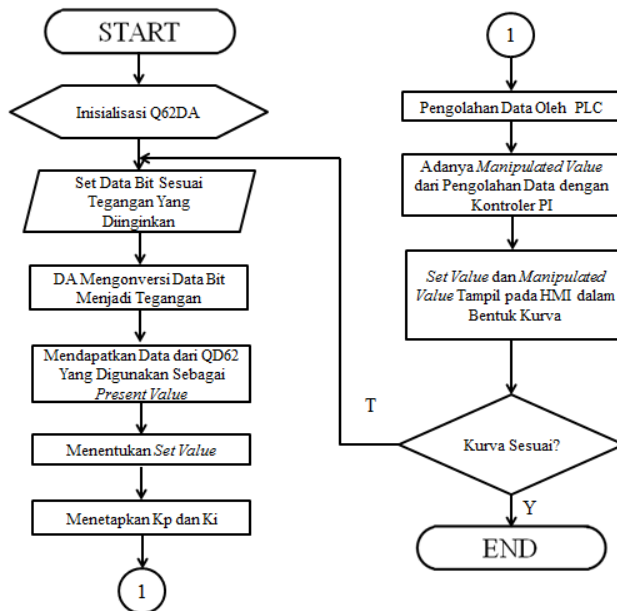


Gambar 3.10 *Flowchart* Pemrograman Kontroler PI

Pemrograman modul *High Speed Counter* menggunakan *software GX Works2* dan menggunakan bahasa *ladder*.

3.3.2.3 Perancangan PI

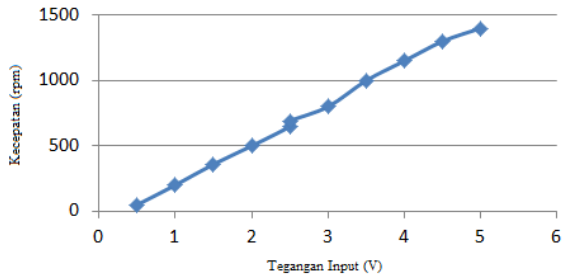
Dalam perancangan program PI di dalam PLC ada beberapa istilah, antara lain SV (*Set Value*) dan PV (*Present Value*). SV (*Set Value*) merupakan nilai *input/output* yang ditetapkan sedangkan PV (*Present Value*) adalah nilai yang dibaca oleh sensor. Untuk mempermudah pembuatan *ladder* kontroler PI dan pengaturan kecepatan, maka diperlukan *flowchart*. *Flowchart* dapat dilihat pada Gambar 3.11. Dan untuk program kontroler PI dan pengaturan kecepatan dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran B.2 dan Lampiran B.3.



Gambar 3.11 *Flowchart* Pemrograman Kontroler PI

Pada Tugas Akhir ini, kami merancang kontroler PI dengan melakukan identifikasi. Di mana identifikasi yang dilakukan dengan menggunakan respon *step*. Namun, sebelum menggunakan respon *step* pada *plant*, kami mencari daerah linieritas saat *plant* beroperasi. Khususnya dalam kondisi berbeban. Prototipe mesin sentrifugal ini

dapat menampung beban hingga 13 Kg. Dengan catatan beban tidak homogen.



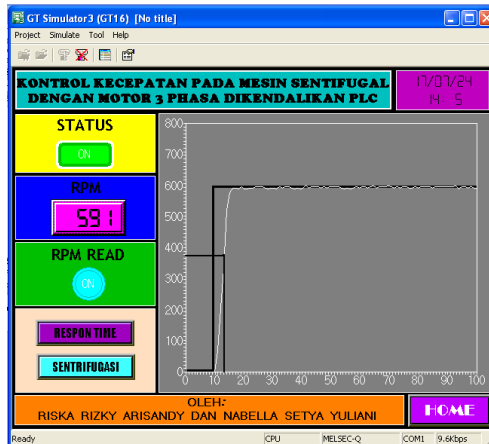
Gambar 3.12 Kurva Linieritas yang Didapat

Dengan adanya kurva linieritas, maka akan didapat kurva daerah kerja. Dari Gambar 3.12 dapat disimpulkan bahwa *plant* mampu beroperasi dengan baik saat diberikan tegangan 0,5 V sampai 2,5 V atau 3 V sampai dengan 5 V. Kurva sentrifugasi ditentukan dengan melihat daerah kerja kurva linieritas yang didapat. Karena kami mempertimbangkan mekanik mesin sentrifugal yang rusak sebelumnya ketika diberi tegangan 3 V (dapat dilihat Lampiran F.1), maka kami membuat kurva sentrifugasi dengan tegangan 0,5 V sampai 2,5 V.

Setelah mendapatkan tegangan kerja kurva sentrifugasi, selanjutnya melakukan pengujian *unit step*. Pengujian *unit step* ini dilakukan berdasarkan nilai maksimum *set value* yang akan digunakan. Menurut data yang telah diambil pada lampiran D.3, motor yang digunakan memiliki sedikit penyimpangan pada saat tegangan 2,5 V yaitu ketika sensor *rotary encoder* membaca kecepatan antara 600-700 RPM. Sehingga kami memutuskan untuk menguji *unit step* dengan range 0-600 RPM.

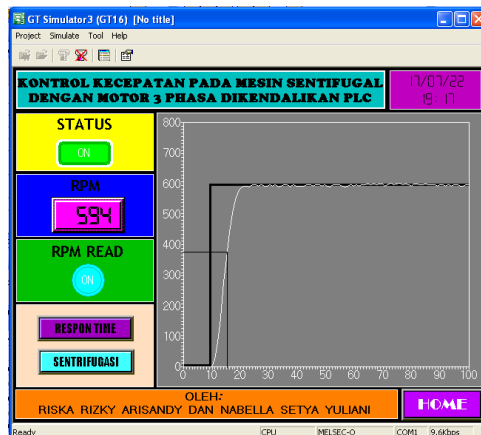
1. Tanpa Beban

Adapun kurva yang dihasilkan dari pengujian *unit step* dengan *range* 0-600 RPM keadaan tidak berbeban dapat atau dalam keadaan *basket* kosong dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Kurva *Unit Step* 0-600 RPM Saat Tidak Berbeban

2. Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 Kg
Adapun kurva yang dihasilkan dari pengujian *unit step* dengan *range* 0-600 RPM keadaan berbeban atau dalam keadaan *basket* terisi gula seberat 13 Kg dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Kurva *Unit Step* 0-600 RPM Saat Berbeban Tidak Homogen 13 Kg

Dari kurva respon *step* pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14, didapat bahwa tidak ada osilasi dari data *step* responnya. Maka dari itu, kami menggunakan orde satu.

Pada Tugas Akhir ini kami menggunakan kontroler PI. Karena pada dasarnya kontroler PI dapat memperbaiki respon. Untuk pembuatan *ladder* kontroler PI membutuhkan pengaturan SV dan PV dengan parameter K_p , K_i , τ_i , dan τ^* . Nilai parameter K_p , K_i , τ_i , dan τ^* harus ditentukan agar kontroler PI menghasilkan respon yang sesuai dengan spesifikasi performansi yang diinginkan.

Pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14 respon *step* 0-600 RPM, tanpa beban dan berbeban memiliki perbedaan pada nilai τ . Nilai τ adalah 63,2% dari keadaan *steady state*. Saat keadaan tanpa beban, nilai τ yang didapat sebesar 3 s, sedangkan keadaan berbeban 13 Kg memiliki nilai τ sebesar 5 s.

Dengan begitu didapat nilai untuk parameter-parameternya. Dari Persamaan 2.5 didapat nilai τ^* merupakan nilai yang diinginkan yaitu sebesar 3 s. Dari Persamaan 2.4 didapat nilai untuk K sebesar 320,25. Dari Persamaan 2.5 didapat nilai untuk τ_i sebesar 5 s. Dari Persamaan 2.6 didapat nilai untuk K_p sebesar 0,00520. Dan dari Persamaan 2.7 didapat nilai untuk K_i sebesar 0,00104.

Dengan kontroler PI, dapat diatur kurva sentrifugasi yang digunakan. Karena kurva sentrifugasi hanya digunakan pada pabrik gula. Kurva sentrifugasi pada dasarnya tidak memiliki kecepatan *standart*, karena bergantung dari material mesin yang digunakan. Dari kurva tersebut diperlukan 3 nilai *set point*. Yang mana masing-masing nilai *set point* harus berada di daerah linier (seperti terlihat pada Gambar 3.12. Sehingga kami menggunakan *set point* sebesar 400 RPM untuk *charging*, 600 RPM untuk *spinning*, dan 300 RPM untuk *discharging*.

BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil pengujian dan analisa dari pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa pada mesin sentrifugal yang dikendalikan PLC.

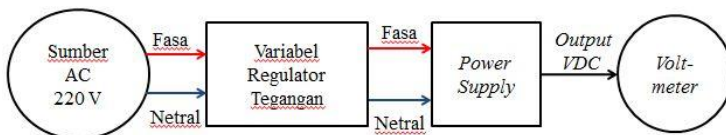
4.1 Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

Untuk dapat melakukan pengaturan motor, mula-mula harus memastikan *hardware* dapat bekerja sebagaimana mestinya. Dengan itu, dibutuhkan pengujian tegangan *output power supply*, tegangan *output operational amplifier*, frekuensi yang dihasilkan *inverter*, pembacaan sensor *rotary encoder*, dan pengujian kecepatan yang dihasilkan melalui *inverter*.

Pada subbab Pengujian *Power Supply* dikerjakan oleh Nabella.

4.1.1 Pengujian *Power Supply*

Pengujian pada *power supply* digunakan untuk mengukur kestabilan *output power supply*. Pengujian dilakukan dengan keadaan tanpa beban dan keadaan berbeban. Pengukuran dilakukan dari mengukur *output* dari *power supply* menggunakan *Vmeter* dengan *input* tegangan AC sebesar 190 V, 200 V, 210 V, 220 V, dan 230 V menggunakan variabel regulator tegangan. Langkah pengujian ada pada Gambar 4.1. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.1 Langkah Pengujian *Power Supply*

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Power Supply* Tanpa Beban

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)		
		(+) 15 V	(-) 15 V	24 V
1	190 V	15,13 V	14,81 V	23,35 V
2	200 V	15,14 V	14,81 V	23,50 V
3	210 V	15,14 V	14,80 V	23,50 V
4	220 V	15,14 V	14,80 V	23,50 V
5	230 V	15,14 V	14,80 V	23,51 V

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Power Supply* Berbeban Lampu 15 VDC Untuk Menguji *Output* 15 V dan Lampu 24 VDC Untuk *Output* 24 V

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)		
		(+) 15 V	(-) 15 V	24 V
1	190 V	15,14 V	14,81 V	23,41 V
2	200 V	15,13 V	14,80 V	23,51 V
3	210 V	15,15 V	14,80 V	23,50 V
4	220 V	15,15 V	14,80 V	23,50 V
5	230 V	15,15 V	14,80 V	23,50 V

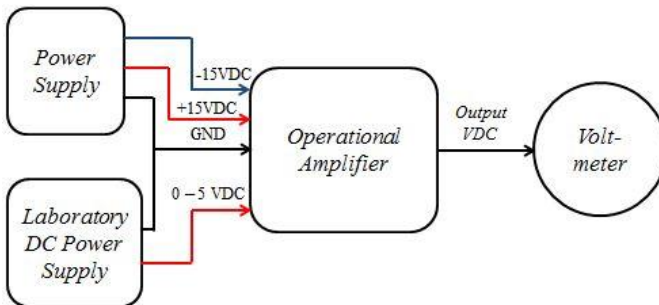
Tabel 4.2 merupakan pengujian *power supply* berbeban menggunakan lampu 15 VDC untuk menguji *output* 15 V dan menggunakan lampu 24 VDC untuk *output* 24 V. Beban dipasang secara paralel dengan pin *output* dari *power supply*.

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 didapatkan dengan tegangan *input* AC 190 V, 200 V, 210 V, 220 V, dan 230 V memiliki *output* pada tegangan +15 V, -15 V, dan 24 V yang cukup stabil. Meskipun *power supply* dihubungkan beban maupun tidak. Sehingga pada tegangan *output* +15 V dan -15 V dapat digunakan sebagai *input* untuk rangkaian *operational amplifier*. Dan tegangan *output* 24 V dapat digunakan untuk mengaktifkan *relay* dan *rotary encoder*. Untuk hasil pengujian selengkapnya, terdapat pada Lampiran D.1.

Pada subbab Pengujian *Operational Amplifier* dikerjakan oleh Riska.

4.1.2 Pengujian *Operational Amplifier*

Pada tahap ini dilakukan pengujian pada rangkaian *operational amplifier* untuk memastikan bahwa rangkaian tersebut telah menguatkan tegangan sebesar dua kali. Karena *output* dari modul DA pada PLC hanya 0 – 5 V sedangkan tegangan yang dibutuhkan oleh *inverter* sebesar dua kalinya yaitu 0 – 10 V. Langkah pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Langkah Pengujian *Operational Amplifier*

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan *input* dari *power supply* kepada kaki IC LM 741 nomor 3. Dan mengukur tegangan *output* pada rangkaian tersebut menggunakan *Vmeter digital*. Hasil pengujian *operational amplifier* dapat dilihat seperti Tabel 4.11.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Operational Amplifier*

No	Tegangan Input V_{in} (V)	Tegangan Output V_{out} (V)
1	0 V	-5,5 mV
2	0,1 mV	-6 mV
3	0,508 V	1,009 V
4	1,001 V	1,995 V
5	1,510 V	3,013 V

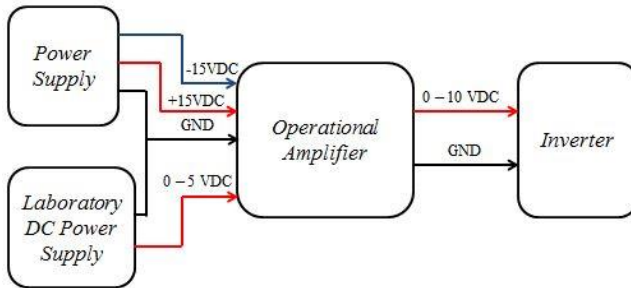
No	Tegangan <i>Input</i> V_{in} (V)	Tegangan <i>Output</i> V_{out} (V)
6	2,004 V	4,010 V
7	2,500 V	5,000 V
8	3,006 V	6,000 V
9	3,504 V	7,000 V
10	4,030 V	8,080 V
11	4,540 V	9,060 V
12	5,010 V	10,00 V

Dari tabel diatas didapat bahwa tegangan *output* yang keluar mencapai 2 kali dari tegangan *input*. Sehingga *operational amplifier* ini dapat digunakan. Untuk hasil pengujian selengkapnya, terdapat pada Lampiran D.2.

Pada subbab Pengujian *Inverter* Micromaster 420 dikerjakan oleh Riska.

4.1.3 Pengujian *Inverter* Micromaster 420

Pengujian *inverter* Micromaster 420 dilakukan untuk mengetahui besarnya frekuensi yang dihasilkan dengan tegangan *input* yang berasal dari hasil penguatan *operational amplifier*. Tegangan *output* dari *operational amplifier* masuk ke *inverter* melalui *terminal* 3 sebagai *Analog Input* (+) atau ADC (+) dan *terminal* 4 sebagai *Analog Input* (-) atau ADC (-). Hasil frekuensi dapat dilihat pada layar *inverter* Micromaster 420. Langkah pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.3 Langkah Pengujian *Inverter* Micromaster 42

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Inverter* Micromaster 420 Tanpa Beban

No	Tegangan Masukan Penguat (V)	Frekuensi (Hz)
1	0,501 V	2,88 Hz
2	1,000 V	5,48 Hz
3	1,500 V	10,28 Hz
4	2,000 V	15,08 Hz
5	2,500 V	20,08 Hz
6	3,000 V	25,58 Hz
7	3,500 V	32,78 Hz
8	4,040 V	37,68 Hz
9	4,500 V	42,08 Hz
10	5,000 V	47,28 Hz

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Inverter* Micromaster 420 Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Tegangan Masukan Penguat (V)	Frekuensi (Hz)
1	0,502 V	2,88 Hz
2	1,000 V	5,88 Hz
3	1,500 V	10,38 Hz
4	2,007 V	15,58 Hz
5	2,500 V	20,08 Hz

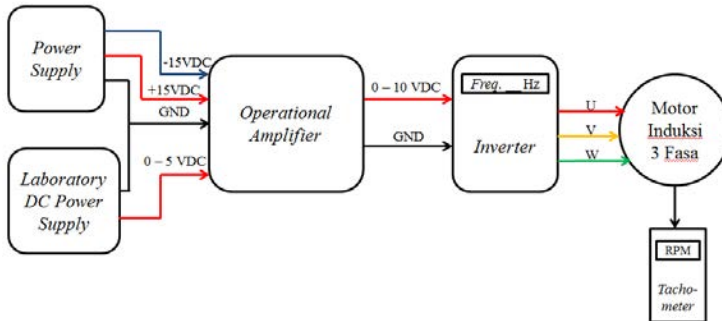
No	Tegangan Masukan Penguat (V)	Frekuensi (Hz)
6	3,002 V	25,88 Hz
7	3,503 V	32,28 Hz
8	4,020 V	37,58 Hz
9	4,510 V	42,28 Hz
10	5,010 V	47,28 Hz

Dari Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 diketahui bahwa hasil pengujian *inverter* tanpa beban maupun dengan beban tidak homogen seberat 13 kg memiliki hasil yang hampir sama. Untuk hasil pengujian selengkapnya, terdapat pada Lampiran D.3.

Pada subbab Pengujian Motor Induksi 3 Fasa dikerjakan oleh Riska.

4.1.4 Pengujian Motor Induksi 3 Fasa

Pengujian motor induksi dilakukan dengan menghubungkan motor induksi dengan *inverter*. Lalu mengatur frekuensi pada *inverter* dengan cara memberikan *input* tegangan pada *operational amplifier* dari *power supply* dan dari modul DA *output* PLC Mitsubishi sebagai pembandingnya. Langkah pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Langkah Pengujian Motor Induksi 3 Fasa

Hasil pengujian frekuensi dengan putaran motor ada pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7. Tabel 4.6 didapatkan dengan nilai frekuensi yang terdapat pada layar di *inverter* dan kecepatan motor didapatkan dengan nilai yang terdapat pada *display seven segment* Y4F-Y40 di PLC . Tabel 4.7 didapatkan dengan menambahkan beban tidak homogen 13 kg pada *basket* mesin sentrifugal. Nilai frekuensi yang terdapat pada layar di *inverter* dan kecepatan motor didapatkan dengan nilai yang terdapat pada *display seven segment* Y4F-Y40 di PLC .

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Frekuensi dengan Putaran Motor Tanpa Beban

No	Frekuensi <i>Inverter</i> (Hz)	Kecepatan Motor (RPM)
1	2,88 Hz	42 RPM
2	5,48 Hz	156 RPM
3	10,28 Hz	312 RPM
4	15,08 Hz	468 RPM
5	20,08 Hz	609 RPM
6	25,58 Hz	810 RPM
7	32,78 Hz	1005 RPM
8	37,68 Hz	1170 RPM
9	42,08 Hz	1305 RPM
10	47,28 Hz	1455 RPM

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Frekuensi dengan Putaran Motor Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Frekuensi <i>Inverter</i> (Hz)	Kecepatan Motor (RPM)
1	2,88 Hz	45 RPM
2	5,88 Hz	153 RPM
3	10,38 Hz	327 RPM
4	15,58 Hz	480 RPM
5	20,08 Hz	621 RPM
6	25,88 Hz	813 RPM

No	Frekuensi <i>Inverter</i> (Hz)	Kecepatan Motor (RPM)
7	32,28 Hz	1008 RPM
8	37,58 Hz	1163 RPM
9	42,28 Hz	1302 RPM
10	47,28 Hz	1437 RPM

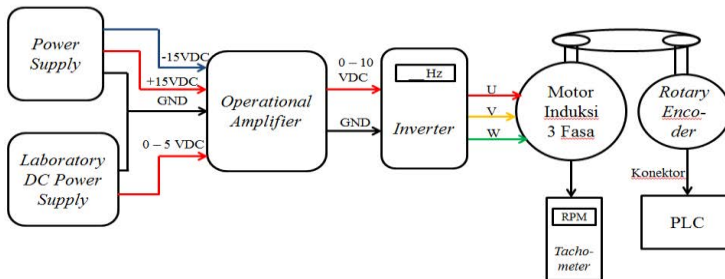
Dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 didapat bahwa hasil pengujian frekuensi dengan putaran motor tanpa beban maupun dengan beban tidak homogen seberat 13 kg memiliki hasil yang hampir sama. Meskipun beban yang tidak homogen ini menyebabkan mesin bergetar. Karena ketika berputar masih ada cela pada peletakan beban sehingga menjadikan adanya pertambahan beban *angular*. Untuk hasil pengujian selengkapnya, terdapat pada Lampiran D.3.

Pada subbab Pengujian Sensor *Rotary Encoder* dikerjakan oleh Nabella.

4.1.5 Pengujian Sensor *Rotary Encoder*

Rotary encoder digunakan sebagai sensor untuk membaca kecepatan motor. Dengan cara menghitung jumlah putaran per menit yang dihasilkan oleh motor induksi 3 fasa dari prototipe mesin sentrifugal. Nantinya data tersebut akan dikirim ke PLC sebagai *feedback*.

Data yang dihasilkan berupa pulsa-pulsa yang akan diolah oleh PLC. Data tersebut akan dikonversi menjadi jumlah rotasi per menit (RPM) dari motor. Langkah pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Langkah Pengujian *Rotary Encoder*

Setelah itu akan dibandingkan dengan pembacaan RPM pada *tachometer*. *Infrared tachometer* disorotkan pada *pulley* mesin sentrifugal. Pengujian dilakukan dengan membandingkan angka yang tertera pada layar *tachometer* dan nilai yang terdapat pada *display seven segment* Y4F-Y40 di PLC. Sehingga diperoleh hasil seperti Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Sensor *Rotary Encoder* Tanpa Beban

No	Jumlah RPM <i>Tachometer</i>	Jumlah RPM dari PLC
1	39 RPM	42 RPM
2	154 RPM	156 RPM
3	290 RPM	312 RPM
4	433 RPM	468 RPM
5	568 RPM	609 RPM
6	757 RPM	810 RPM
7	934 RPM	1005 RPM
8	1091 RPM	1170 RPM
9	1171 RPM	1305 RPM
10	1355 RPM	1455 RPM

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sensor *Rotary Encoder* dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Jumlah RPM <i>Tachometer</i>	Jumlah RPM dari PLC
1	41 RPM	45 RPM
2	142 RPM	153 RPM
3	311 RPM	327 RPM
4	448 RPM	480 RPM
5	578 RPM	621 RPM
6	758 RPM	813 RPM
7	939 RPM	1008 RPM
8	1090 RPM	1163 RPM
9	1213 RPM	1302 RPM

No	Jumlah RPM <i>Tachometer</i>	Jumlah RPM dari PLC
10	1333 RPM	1437 RPM

Dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 didapat bahwa kalibrasi dari sensor *encoder* sudah cukup baik. Karena memiliki kolerasi sebesar 0,999582 tanpa beban dan memiliki korelasi sebesar 0,99997 dengan beban tidak homogen seberat 13 kg. Korelasi tersebut didapat dengan cara memasukkan data ke *Microsoft Excel*. Kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam rumus $=CORREL(RPM\ Tachometer; RPM\ PLC)$. Diketahui pula bahwa kecepatan motor ketika berbeban dan tanpa beban tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk hasil pengujian selengkapnya, terdapat pada Lampiran D.3.

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem merupakan uji coba alat secara keseluruhan. Ketika MCB dinyalakan, mesin belum bekerja. Dan akan bekerja saat PB *ON* ditekan. Hal tersebut dapat dilihat melalui lampu indikator yang ada. Lampu merah menandakan mesin belum bekerja dan lampu hijau menandakan mesin telah bekerja.

Modul Q62DA dari PLC akan memberikan tegangan ke rangkaian *operational amplifier*. Rangkaian tersebut akan menguatkan tegangan sebesar dua kali yang nantinya akan menjadi *input* pada *inverter*. *Inverter* menghasilkan frekuensi, yang nantinya akan membuat motor 3 fasa berputar. Kecepatan motor (RPM) yang telah diukur oleh sensor *rotary encoder* akan ditampilkan di HMI.

Sebelum kami melakukan pengujian menggunakan kontroler, kami melakukan pengujian tanpa kontroler dengan hasil pengujian terletak pada Tabel 4.10 No. 1 dan Gambar 4.7. Lalu, melakukan pengujian dengan kontroler yang hasilnya terletak pada Tabel 4.10 No. 2 hingga 24, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Lampiran E.1.

Gambar 4.6 merupakan potongan program dari *ladder* kontroler PI. Dimana, ketika X2 diaktifkan, maka akan membandingkan nilai tampilan pada BCD. Tampilan pada BCD terletak pada D800. Jika nilai kecepatan yang dihasilkan lebih besar sama dengan 300 RPM dan lebih kecil daripada 600 RPM, maka EMOV mengonversikan nilai *integer* 5 kedalam D2300 sebagai nilai K_p dan EMOV

mengonversikan nilai *integer* 6 kedalam D2400 sebagai nilai K_i . Untuk program selengkapnya ada pada Lampiran B.2.

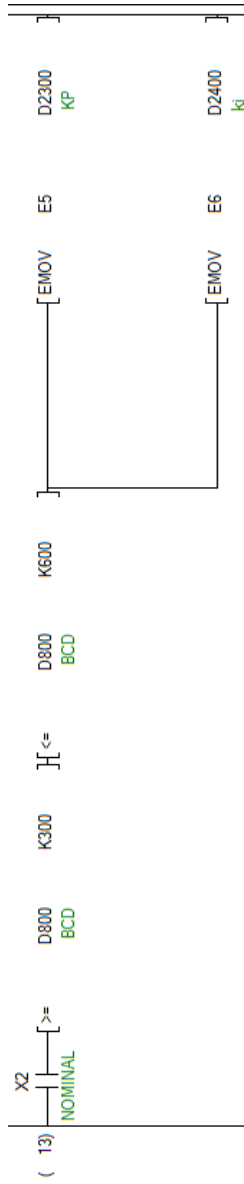
Kami menggunakan parameter-parameter untuk mendapatkan model matematikanya. Namun, dikarenakan mekanik mesin yang tidak dapat bekerja dengan baik. Maka, kami menggunakan *trial and error* untuk mendapatkan grafik yang sesuai. Tidak sesuaianya mesin mekanik dengan parameter dapat dihitung dari nilai *error*. Nilai *error* didapat dari selisih *set value* dan *present value*. Untuk pengujian sistem dengan *trial and error* dengan nilai K_p dan K_i yang berbeda, dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Dari Tabel 4.10 didapat bahwa jika menggunakan nilai K_p dan K_i sesuai perhitungan, maka nilai *error* semakin besar dibanding nilai *error* tidak menggunakan kontroler. Dengan menggunakan metode *trial and error*, didapat nilai K_p dan K_i yang mendekati *set value* dengan K_p sebesar 5, K_i sebesar 6 memiliki *error steady state* 1 sebesar 0 %, *error steady state* 2 sebesar 0 %, dan *error steady state* 3 sebesar 0 %. Hasil grafik kurva sentrifugasi dapat dilihat pada Gambar 4.9. Untuk hasil grafik kurva sentrifugasi selengkapnya terdapat pada Lampiran E.1.

Pada Gambar 4.7 merupakan kurva sentrifugasi tanpa menggunakan kontroler. *Error steady state* 1 pada kurva Gambar 4.7 sebesar 20 %, *error steady state* 2 pada kurva Gambar 4.7 sebesar 10,5 %, dan *error steady state* 3 pada kurva Gambar 4.7 sebesar 13,3 %.

Pada Gambar 4.8 merupakan kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 0,00520 dan nilai untuk K_i sebesar 0,00104 sesuai perhitungan. *Error steady state* 1 pada kurva Gambar 4.8 sebesar 43,75 %, *error steady state* 2 pada kurva Gambar 4.8 sebesar 30 %, dan *error steady state* 3 pada kurva Gambar 4.8 sebesar 36,6 %.

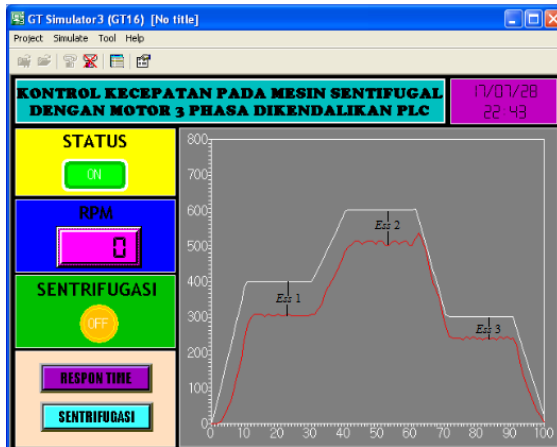
Pada Gambar 4.9 merupakan kurva sentrifugasi dengan K_p sebesar 5 dan Nilai untuk K_i sebesar 6 menggunakan *trial and error*. *Error steady state* 1 pada kurva Gambar 4.9 sebesar 0 %, *error steady state* 2 pada kurva Gambar 4.9 sebesar 0 %, dan *error steady state* 3 pada kurva Gambar 4.9 sebesar 0 %.



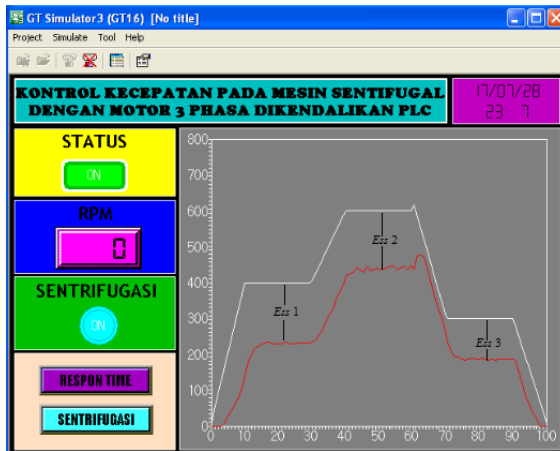
Gambar 4.6 Program *Ladder* Kontroler PI

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sistem

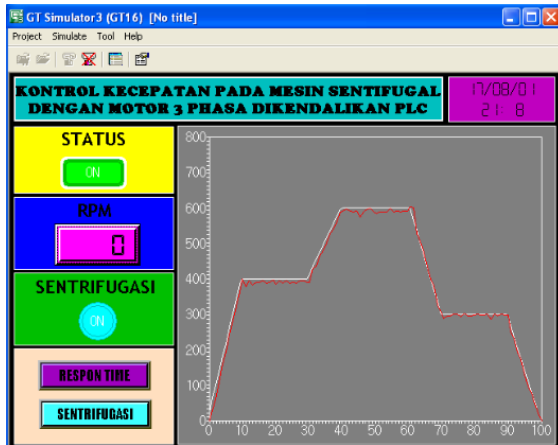
No	K_p	K_i	<i>Error Steady State 1 (%)</i>	<i>Error Steady State 2 (%)</i>	<i>Error Steady State 3 (%)</i>
1	0	0	20 %	10,5 %	13,3 %
2	0,00520	0,00104	43,75 %	30 %	36,6 %
3	1	0	17,5 %	9 %	10 %
4	1,5	0	15 %	7,5 %	6,67 %
5	2	0	13,75 %	7 %	5 %
6	2,5	0	12,5 %	6,5 %	4 %
7	3	0	10 %	6 %	3,33 %
8	3,5	0	7,5 %	5,5 %	2,33 %
9	4	0	6,25 %	4,5 %	1,67 %
10	4,5	0	5 %	4 %	0,66 %
11	5	0	3 %	4 %	0,66 %
12	5	0,5	3,75 %	3,5 %	0,33 %
13	5	1	2,75 %	2,8 %	0 %
14	5	1,5	2,5 %	2,5 %	0 %
15	5	2	2,5 %	2 %	0 %
16	5	2,5	2 %	1,5 %	0 %
17	5	3	1,75 %	1,3 %	0 %
18	5	3,5	1,25 %	1 %	0 %
19	5	4	0,5 %	0,83 %	0 %
20	5	4,5	0,5 %	0,5 %	0 %
21	5	5	0 %	0,33 %	0 %
22	5	5,5	0 %	0,16 %	0 %
23	5	6	0 %	0 %	0 %
24	5	6,5	0 %	1,3 %	0 %



Gambar 4.7 Kurva Sentrifugasi Tanpa Kontroler



Gambar 4.8 Kurva Sentrifugasi Sesuai Perhitungan



Gambar 4.9 Kurva Sentrifugasi Menggunakan *Trial and Error*

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

BAB V

PENUTUP

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan alat serta pengujian dan analisa, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran dari kegiatan yang telah dilakukan untuk pengembangan tugas akhir ini.

5.1 Kesimpulan

Dari tahapan secara keseluruhan yang sudah dilaksanakan pada penyusunan Tugas Akhir ini mulai dari studi literatur, perancangan dan pembuatan sampai dengan pengujian alat, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Prototipe mesin sentrifugal memiliki kekurangan pada bagian mekanik karena as yang terpasang kurang proporsional.
2. Motor yang digunakan memiliki torsi yang cukup besar sehingga tidak ada perbedaan pada saat tanpa beban dan dengan beban tidak homogen 13 kg.
3. Didapatkan nilai K_p sebesar 5, nilai K_i sebesar 6, dan nilai *error* sebesar 0 % untuk kontroler PI prototipe mesin sentrifugal.
4. Terdapat *slip* pada motor yang menyebabkan kecepatan motor berubah-ubah sehingga mempengaruhi kurva sentrifugasi yang dibuat.

5.2 Saran

Untuk lebih memperbaiki dan menyempurnakan kinerja dari alat ini, maka perlu disarankan antara lain:

1. Penggantian as yang digunakan pada mekanik mesin sentrifugal agar dapat bekerja lebih aman.
2. Motor yang digunakan harus memiliki torsi yang lebih kecil, agar terdapat perbedaan kecepatan antara tanpa beban dan berbeban.
3. Peletakan beban harus lebih merata agar tidak terjadi *slip* pada motor.

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pupawa Nandra Adika dan Riska Rizky Arisandy, "Sistem Otomatisasi Pada Stasiun Gilingan Dan Stasiun Puteran HGF *Discontinue*", **Laporan On The Job Training**, Jurusan D3 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [2] Listyawan, Bagus Wisnu Candra dan Masluchi Aidil Fais, "Kontroler PI Untuk Kecepatan Mesin Sentrifugal", **Tugas Akhir**, Jurusan D3 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [3] Peristaferi, Trio Yus, "Pengaturan Kecepatan Motor Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode PID *Fuzzy*", **Tugas Akhir**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [4] Kuswoyo, Didit Very, "Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Dari Gangguan Tidak Seimbang Dan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroler", **Tugas Akhir**, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2016.
- [5] Kurniawan, Mahendra, "Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa Pada Mesin Sentrifugal Dengan Menggunakan Kontroler Logika *Fuzzy* ", **Jurnal Teknik POMITS**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014
- [6] Krisdianto, "Perancangan Prototipe Sensor Radiasi Matahari Menggunakan Photodiode", **Tugas Akhir**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Riau, 2014.

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

LAMPIRAN A

A.1 Foto Alat dan Cara Kerja

Prototipe Mesin Sentrifugal



Panel Kontrol



Cara Kerja

1. Manual

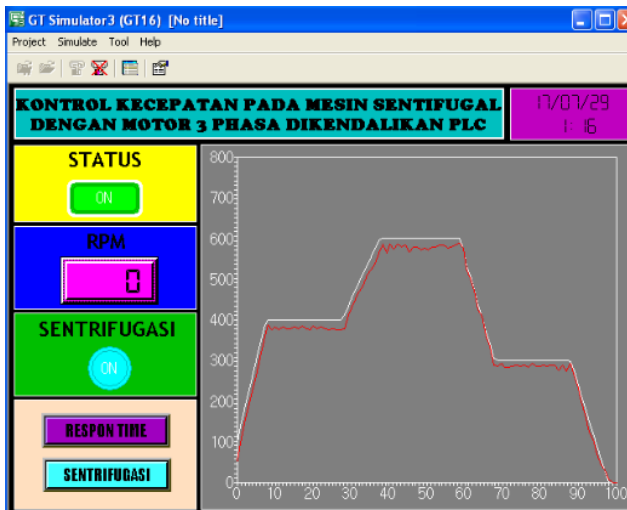
Ketika MCB dinyalakan, lampu indikator merah juga menyala. Itu menandakan mesin belum bekerja. Mesin akan bekerja jika PB ON ditekan. Jika PB ON ditekan maka lampu indikator hijau akan menyala. Modul Q62DA dari PLC akan memberikan tegangan kerangkaian *Operational Amplifier*. Rangkaian tersebut akan menguatkan tegangan sebesar dua kali yang nantinya akan menjadi *input* pada *inverter*. *Inverter* menghasilkan frekuensi, yang nantinya akan membuat motor 3 phasa berputar. Kecepatan motor (rpm) yang telah diukur oleh sensor *rotary encoder* akan ditampilkan pada *seven segment* di PLC.

2. Otomatis

Dijalankan dengan *GT Designer3*, ketika MCB dinyalakan, lampu indikator merah juga menyala. Itu menandakan mesin belum bekerja. Klik tombol status, maka lampu indikator hijau akan menyala. Jika ingin menjalankan mesin klik tombol kontroler. Modul Q62DA dari PLC akan memberikan tegangan kerangkaian *Operational Amplifier*. Rangkaian tersebut akan menguatkan tegangan sebesar dua kali yang nantinya akan menjadi *input* pada *inverter*. *Inverter* menghasilkan frekuensi, yang nantinya akan membuat motor 3 phasa berputar. Kecepatan motor (rpm) yang telah diukur oleh sensor *rotary encoder* akan ditampilkan pada kolom Rpm dan grafik di *GT Designer3*.

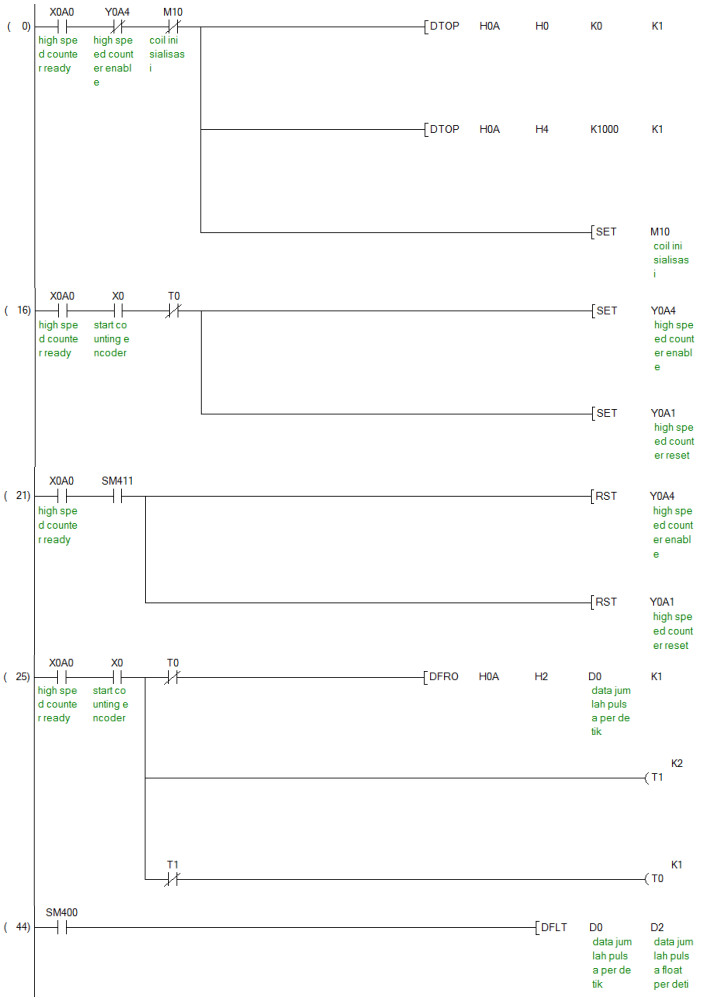
A.2 Tampilan HMI

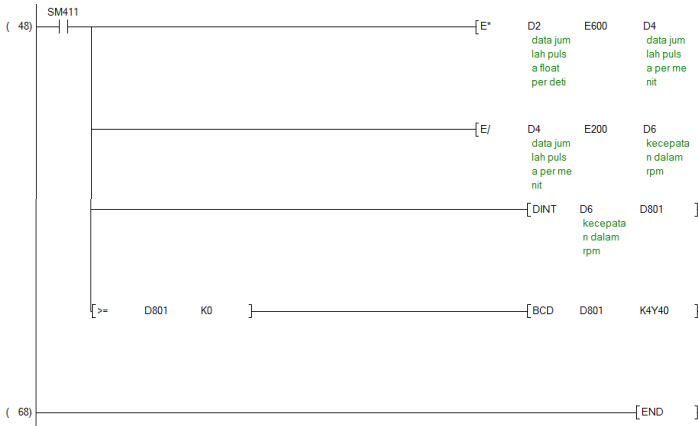
Tampilan HMI



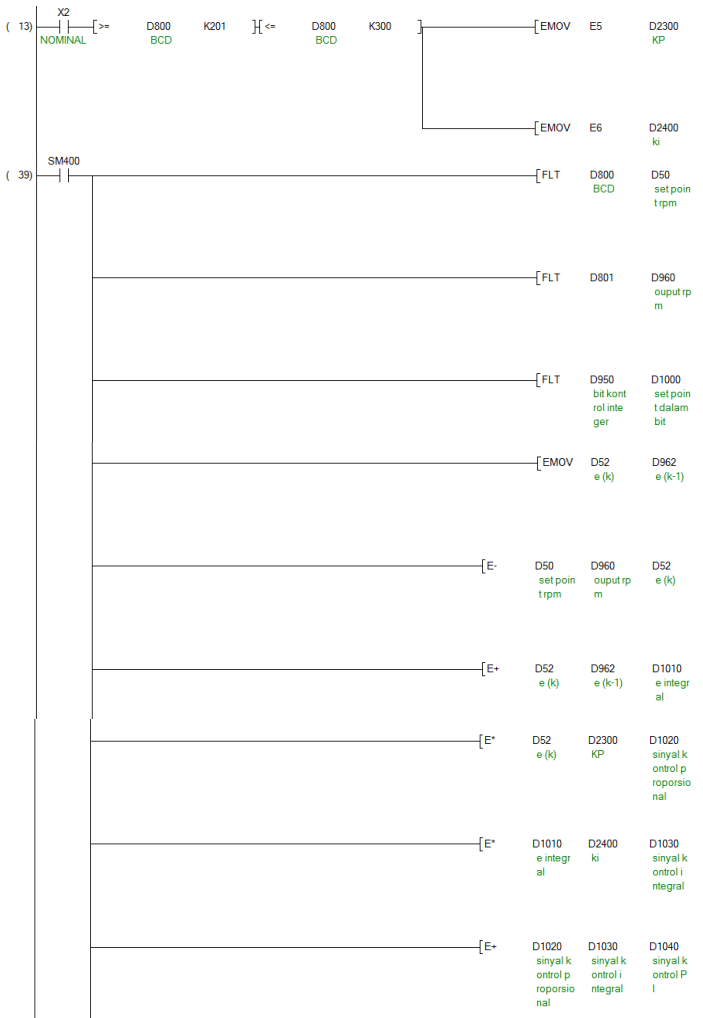
LAMPIRAN B

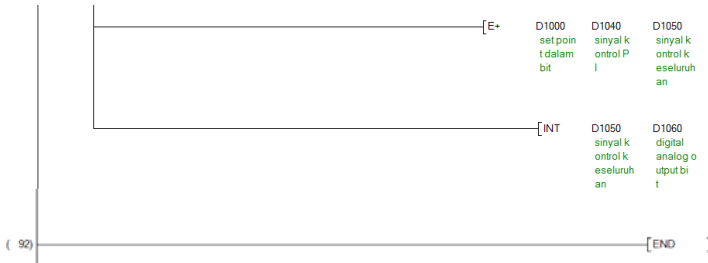
B.1 Diagram *Ladder Sensor Rotary Encoder*



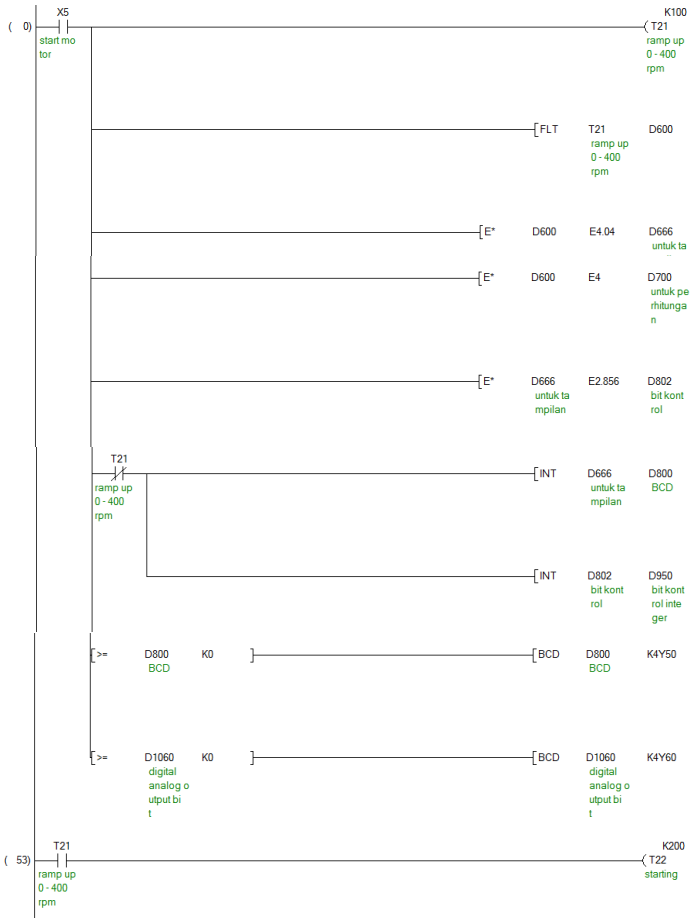


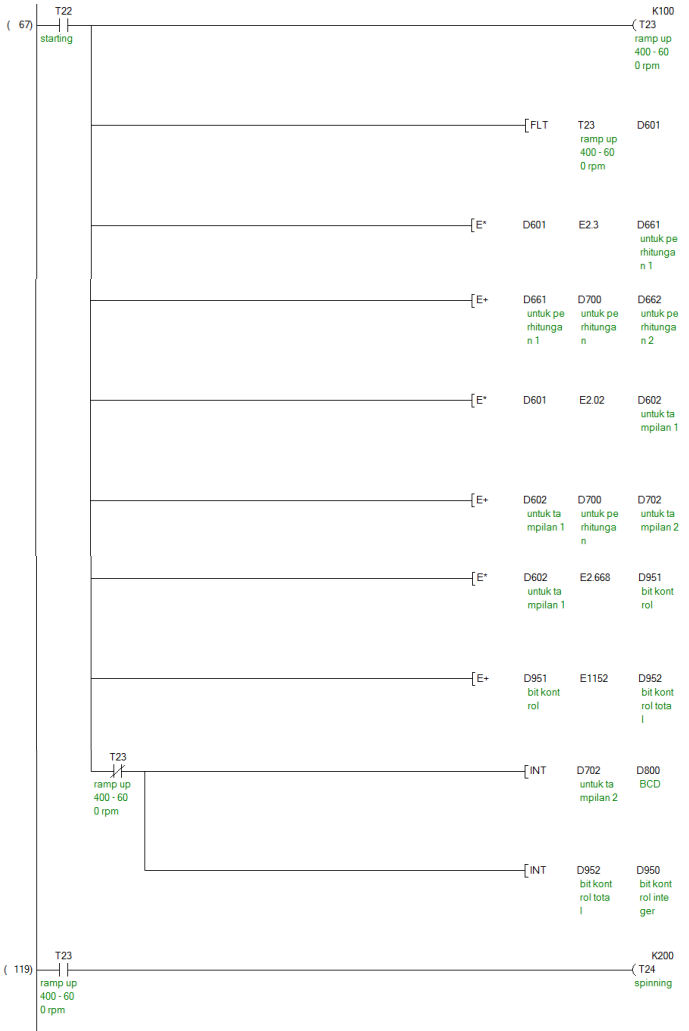
B.2 Diagram *Ladder* Kontroler PI

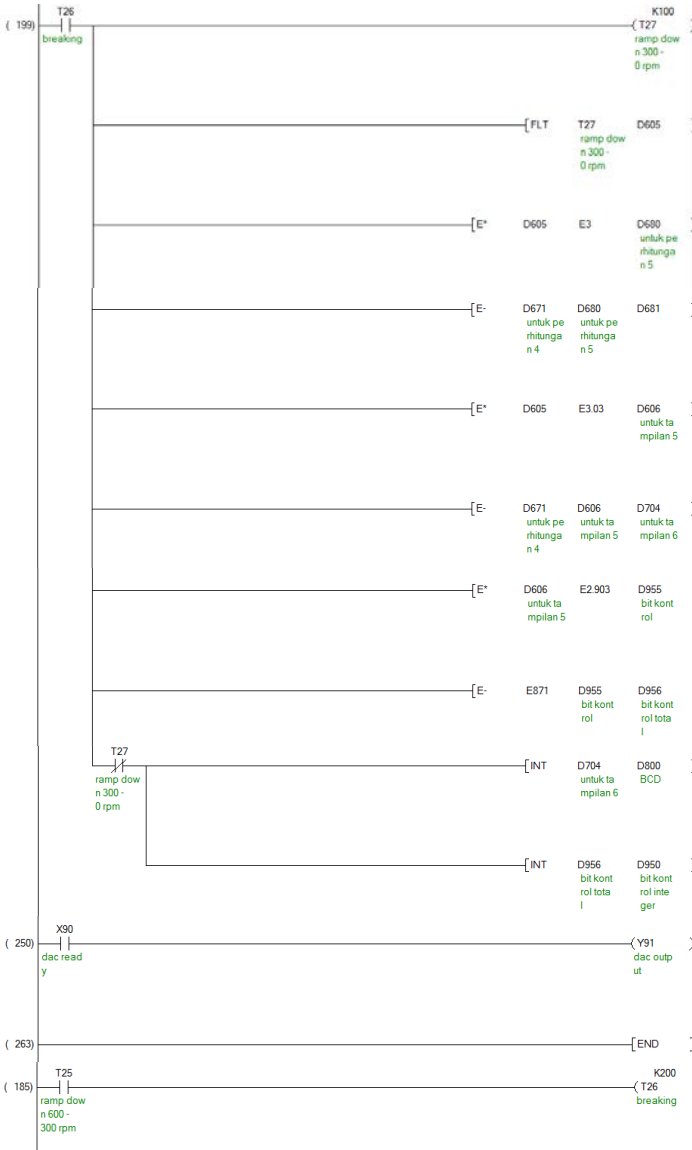




B.3 Diagram *Ladder* Pengaturan Kecepatan







LAMPIRAN C

C.1 Datasheet Inverter

2.4 Block diagram

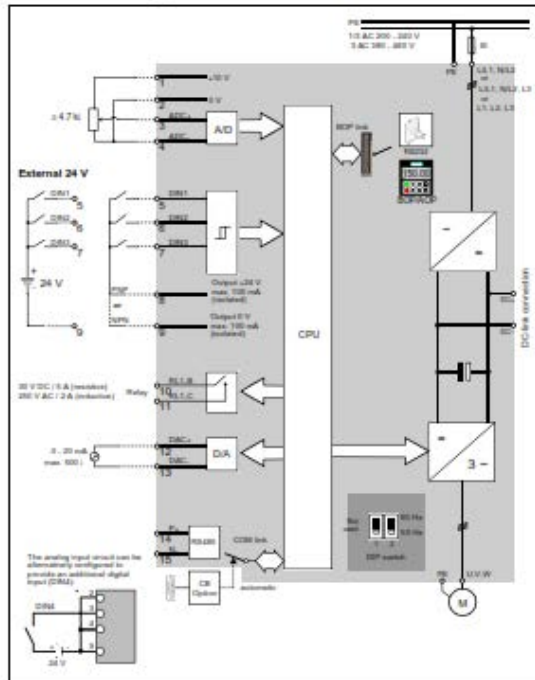


Fig. 2-3 Inverter block diagram

5.2 Changing parameters using as an example P0003 "Access level"

Step		Result on display
1	Press 2 to access parameters	r.0000
2	Press 2 until P0003 is displayed	F0003
3	Press 2 to access the parameter value level	1
4	Press 2 or 3 to the required value (example: 3)	3
5	Press 2 to confirm and store the value	F0003
6	Now access level 3 is set and all level 1 to level 3 parameters are visible to the user	

LAMPIRAN D

D.1 Data Hasil Pengukuran *Power Supply*

1.1 Hasil pengujian *Power Supply* Tanpa Beban

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)		
		(+) 15 V	(-) 15 V	24 V
1	190 V	15,13 V	14,81 V	23,30 V
2	200 V	15,14 V	14,80 V	23,50 V
3	210 V	15,15 V	14,81 V	23,51 V
4	220 V	15,16 V	14,80 V	23,50 V
5	230 V	15,16 V	14,80 V	23,50 V

1.2 Hasil pengujian *Power Supply* Tanpa Beban

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)		
		(+) 15 V	(-) 15 V	24 V
1	190 V	15,13 V	14,81 V	23,35 V
2	200 V	15,14 V	14,81 V	23,50 V
3	210 V	15,14 V	14,81 V	23,50 V
4	220 V	15,16 V	14,80 V	23,50 V
5	230 V	15,16 V	14,80 V	23,51 V

1.3 Hasil pengujian *Power Supply* Berbeban

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)		
		(+) 15 V	(-) 15 V	24 V
1	190 V	15,14 V	14,80 V	23,35 V
2	200 V	15,14 V	14,79 V	23,51 V
3	210 V	15,14 V	14,79 V	23,53 V
4	220 V	15,16 V	14,77 V	23,53 V
5	230 V	15,16 V	14,77 V	23,53 V

1.4 Hasil pengujian *Power Supply* Berbeban

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)		
		(+) 15 V	(-) 15 V	24 V
1	190 V	15,13 V	14,81 V	23,35 V
2	200 V	15,14 V	14,79 V	23,50 V
3	210 V	15,14 V	14,79 V	23,54 V
4	220 V	15,16 V	14,77 V	23,54 V
5	230 V	15,16 V	14,77 V	23,54 V

D.2 Data Hasil Pengukuran *Operational Amplifier*

1.1 Hasil Pengukuran *Operational Amplifier*

No	Tegangan <i>Input</i> V_{in} (V)	Tegangan <i>Output</i> V_{out} (V)
1	0	-5,9 mV
2	-6,4 mV	-18,8 mV
3	0,500	1,002
4	1,005	2,003
5	1,504	3,001
6	2,000	4,000
7	2,502	5,000
8	3,006	6,000
9	3,502	7,000
10	4,010	8,000
11	4,510	9,000
12	5,060	10,11

1.2 Hasil Pengukuran *Operational Amplifier*

No	Tegangan <i>Input</i> V_{in} (V)	Tegangan <i>Output</i> V_{out} (V)
1	0	-5,6 mV
2	5,2 mV	4,4 mV
3	0,501	1,000
4	1,003	2,000
5	1,503	3,000
6	2,004	4,010
7	2,507	5,010
8	3,004	6,000
9	3,501	7,000
10	4,050	8,080
11	4,510	9,010
12	5,020	10,02

D.3 Data Hasil Pengukuran *Inverter*, *Tachometer*, *Display*, dan korelasinya

1.1 Hasil Pengukuran Tanpa Beban

No	V _{in} (V)	<i>Inverter</i> (Hz)	<i>Tachometer</i> (Rpm)	<i>Display</i> PLC (Rpm)
1	0,504	2,88	40	42
2	1,000	5,88	136	150
3	1,506	10,68	303	324
4	2,002	15,58	448	480
5	2,503	20,88	580	621
6	3,030	25,88	758	810
7	3,504	32,28	940	1008
8	4,020	37,58	1090	1170
9	4,520	42,68	1229	1317
10	5,000	47,58	1359	1458
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,999983	

1.2 Hasil Pengukuran Tanpa Beban

No	V _{in} (V)	<i>Inverter</i> (Hz)	<i>Tachometer</i> (Rpm)	<i>Display</i> PLC (Rpm)
1	0,502	2,88	40	42
2	1,002	5,88	139	150
3	1,502	10,58	300	321
4	2,000	15,48	444	477
5	2,504	22,48	654	702
6	3,000	25,98	758	810
7	3,502	32,48	946	1014
8	4,030	37,58	1090	1170
9	4,500	42,38	1226	1311
10	5,000	47,58	1359	1458
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,999994	

1.3 Hasil Pengukuran Tanpa Beban

No	V _{in} (V)	<i>Inverter</i> (Hz)	<i>Tachometer</i> (Rpm)	<i>Display</i> PLC (Rpm)
1	0,504	2,88	36	42
2	1,000	5,88	128	138
3	1,505	10,48	285	303
4	2,000	15,88	432	462
5	2,504	20,68	573	612
6	3,001	25,68	807	754
7	3,503	32,48	933	1002
8	4,040	37,68	1092	1170
9	4,530	42,68	1233	1317
10	5,000	47,28	1356	1455
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,997543	

1.4 Hasil Pengukuran Tanpa Beban

No	V _{in} (V)	<i>Inverter</i> (Hz)	<i>Tachometer</i> (Rpm)	<i>Display</i> PLC (Rpm)
1	0,503	2,88	37	42
2	1,000	5,88	121	132
3	1,502	10,28	288	312
4	2,005	15,08	437	468
5	2,500	20,28	650	696
6	3,001	25,88	757	813
7	3,502	32,08	938	1005
8	4,020	37,58	1081	1170
9	4,520	42,28	1224	1314
10	5,000	47,28	1356	1455
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,999966	

1.5 Hasil Pengukuran Tanpa Beban

No	V _{in} (V)	<i>Inverter</i> (Hz)	<i>Tachometer</i> (Rpm)	<i>Display</i> PLC (Rpm)
1	0,504	2,88	35	42
2	1,002	5,58	121	132
3	1,505	10,88	283	306
4	2,001	15,88	425	462
5	2,501	20,88	647	693
6	3,004	25,68	757	810
7	3,506	32,08	931	1005
8	4,030	37,58	1092	1170
9	4,570	42,18	1220	1305
10	5,000	47,28	1355	1455
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,99998	

1.6 Hasil Pengukuran Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	V _{in} (V)	<i>Inverter</i> (Hz)	<i>Tachometer</i> (Rpm)	<i>Display</i> PLC (Rpm)
1	0,500	2,88	43	45
2	1,002	5,88	155	168
3	1,501	10,88	313	333
4	2,003	15,88	457	489
5	2,505	20,98	594	633
6	3,004	26,28	776	819
7	3,502	32,58	942	1008
8	4,020	37,58	1084	1161
9	4,510	42,58	1217	1302
10	5,000	47,58	1355	1431
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,999984	

1.7 Hasil Pengukuran Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Vin (V)	Inverter (Hz)	Tachometer (Rpm)	Display PLC (Rpm)
1	0,504	2,88	41	45
2	1,000	5,88	148	159
3	1,502	10,88	312	336
4	2,000	15,88	456	486
5	2,502	22,58	658	705
6	3,003	26,28	766	819
7	3,505	32,68	949	1017
8	4,040	37,88	1091	1170
9	4,510	42,68	1226	1317
10	5,000	47,58	1355	1431
Korelasi Tachometer dan Display			0,998099	

1.8 Hasil Pengukuran Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Vin (V)	Inverter (Hz)	Tachometer (Rpm)	Display PLC (Rpm)
1	0,504	2,88	38	42
2	1,003	5,88	141	153
3	1,501	10,68	301	324
4	2,002	15,58	446	480
5	2,501	20,28	583	624
6	3,000	25,28	760	816
7	3,505	32,28	943	1008
8	4,010	37,28	1086	1158
9	4,510	42,58	1221	1305
10	5,000	47,28	1332	1430
Korelasi Tachometer dan Display			0,999987	

1.9 Hasil Pengukuran Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Vin (V)	Inverter (Hz)	Tachometer (Rpm)	Display PLC (Rpm)
1	0,501	2,88	41	42
2	1,002	5,28	140	150
3	1,502	10,68	300	324
4	2,003	15,98	445	477
5	2,506	26,18	665	702
6	3,030	25,28	765	819
7	3,503	32,28	945	1011
8	4,000	37,28	1079	1158
9	4,500	42,28	1218	1302
10	5,000	47,28	1332	1430
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,999969	

1.10 Hasil Pengukuran Dengan Beban Tidak Homogen Seberat 13 kg

No	Vin (V)	Inverter (Hz)	Tachometer (Rpm)	Display PLC (Rpm)
1	0,500	2,88	40	45
2	1,004	5,28	140	150
3	1,500	10,98	295	321
4	2,000	15,98	445	474
5	2,503	22,48	655	699
6	3,003	26,18	765	819
7	3,507	32,28	942	1008
8	4,020	37,28	1084	1161
9	4,550	42,88	1235	1314
10	5,000	47,28	1333	1437
Korelasi <i>Tachometer</i> dan <i>Display</i>			0,997636	

LAMPIRAN E

E.1 Hasil Pengujian Sistem Menggunakan *Trial and Error*

1. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 1 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



2. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 1,5 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



3. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 2 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



4. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 2,5 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



5. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 3 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



6. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 3,5 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



7. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 4 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



8. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 4,5 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



- Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 0.



- Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 0,5.



11. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 1.



12. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 1,5.



13. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 2.



14. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 2,5.



15. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 3.



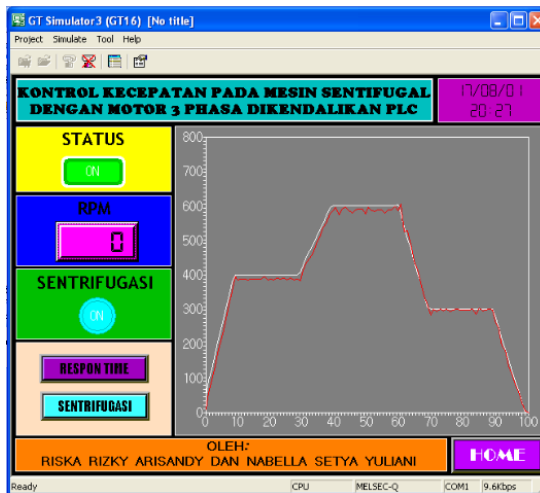
16. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 3,5.



17. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 4.



18. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 4,5.



19. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 5.



20. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 5,5.



21. Kurva sentrifugasi dengan nilai K_p sebesar 5 dan nilai untuk K_i sebesar 6,5.



LAMPIRAN F

F.1 Mesin yang Rusak



Mesin yang rusak saat diberi tegangan 3 V dengan beban 14 kg.

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

RIWAYAT PENULIS



Nama : Riska Rizky Arisandy
TTL : Mojokerto, 21 Maret 1997
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat Rumah : Jl.Merpati No. 6 Puskopad,
Sooko, Mojokerto
Telp/HP : 085257823757
E-mail : *riska_riski19@yahoo.com*

RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2003 – 2009 : SDN Sooko 1 Mojokerto
- 2009 – 2012 : SMPN 1 Mojokerto
- 2012 – 2014 : SMAN 1 Puri Mojokerto
- 2014 – 2017 : Program Studi D3 Teknik Elektro, ITS -
Disnaker Bidang Studi Elektro Industri.

PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di PLN Area Mojokerto, Mojokerto (Juni - Juli 2015)
- Kerja Praktek di Pabrik Gula Gempolkrep (Juni - Juli 2016)

PENGALAMAN ORGANISASI

- Staf Departemen Hubungan Luar HIMAD3TEKTRO 2015/2016
- Staf Departemen PSDM PSM ITS 2015/2016
- Kepala Biro Departemen PSDM PSM ITS 2016/2017

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

RIWAYAT PENULIS



Nama : Nabella Setya Yuliani
TTL : Sidoarjo, 21 Juli 1996
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat Rumah: Jalan Mbah Nanggulaini RT
6 RW 2 Siwalan Panji
Telp/HP : 087856508244
E-mail : *nabella.setya@gmail.com*

RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2002 – 2008 : SDN Siwalan Panji
- 2008 – 2011 : SMPN 3 Sidoarjo
- 2011 – 2014 : SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo
- 2014 – 2017 : Program Studi D3 Teknik Elektro, ITS -
Disnaker Bidang Studi Elektro Industri.

PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di PT. Alter Trade Indonesia
- Kerja Praktek di PT. PLN Persero Rayon Embong Wungu

PENGALAMAN ORGANISASI

- Staf Departemen PSDM HIMAD3TEKTRO 2015/2016

--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---