



**TUGAS AKHIR -TE 141599**

**HYBRID FUZZY PID KONTROLER UNTUK PENGATURAN  
KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN  
BEBAN REM MAGNETIK**

Asep Suryana Mustopa  
NRP 2213105001

Dosen Pembimbing  
Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT -TE 141599**

**HYBRID FUZZY PID CONTROLLER FOR SPEED CONTROL  
THREE PHASE INDUCTION MOTOR WITH MAGNETIC  
BRAKE LOAD**

Asep Suryana Mustopa  
NRP 2213105001

Supervisor  
Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

# **HYBRID FUZZY PID KONTROLER UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN BEBAN REM MAGNETIK**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Sepuluh Nopember**

**Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

### **Dosen Pembimbing**

**Ir. Josaphat Pramudjanto, M.Eng.**  
**NIP. 196210051990031003**



# **HYBRID FUZZY PID KONTROLER UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN BEBAN REM MAGNETIK**

**Nama** : Asep Suryana Mustopa  
**Pembimbing** : Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

## **ABSTRAK**

Suatu motor induksi bila diberi beban rem magnetik, maka torsi bebannya akan meningkat dan mengakibatkan kecepatan putaran motor tersebut menjadi turun. Agar kecepatan motor tetap konstan ketika diberikan beban, maka perlu diberikan kontroler yang mampu mengembalikan putaran nominalnya. Salah satu kontroler yang dapat menaikkan performa motor induksi yaitu kontroler *Hybrid Fuzzy PID*. *Hybrid Fuzzy PID* adalah kontroler gabungan antara kontroler *Fuzzy* dan kontroler PID. Untuk mendesain kontroler pertama harus didapatkan model matematika *pant* agar bisa menentukan parameter-parameter kontroler. Implementasi kontroler *Hybrid Fuzzy PID* menggunakan *software* Labview untuk proses kontrol dan simulasinya. Hasil implementasi kontroler didapatkan perbandingan *%error steady state* ketiga kontroler yaitu PID 0,003%, *Fuzzy* 0,057%, dan *Hybrid* 0,016%. Sedangkan *settling time* 5% masing-masing kontroler yaitu PID 0,906 detik, *Fuzzy* 1,73 detik, dan *Hybrid* 0,624 detik.

**Kata Kunci:** Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*, Labview, Rem Magnetik

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ***Hybrid Fuzzy PID Controller For Speed Control Three Phase Induction Motor With Magnetic Brake Load***

**Name** : Asep Suryana Mustopa  
**Supervisor** : Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

### ***ABSTRACT***

*An induction motor when given a magnetic brake load, then the load torque will be increase and result in the motor rotation speed will be down. In order for the motor speed remains constant when a given load, then it should be given a controller that is able to restore the nominal rotation. One of the controllers that can increase the performance of the induction motor is Hybrid Fuzzy PID controller. Hybrid Fuzzy PID controller is a combination of fuzzy controller and PID controller. To design the controller firstly must be obtained part mathematical models to be able determine the parameters of the controller. Implementation of Hybrid Fuzzy PID controller using Labview software for process control and simulation. Results obtained ratio controller implementations %steady state error for each controllers are PID 0,003%, Fuzzy 0.057%, and 0.016% Hybrid. While the 5% settling time of each controllers are PID 0.906 seconds, Fuzzy 1.73 seconds, and Hybrid 0.624 seconds.*

**Keywords:** *Hybrid Fuzzy PID Controller, Labview, Magnetic Brake*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam juga penulis sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi teladan bagi penulis.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

### ***HYBRID FUZZY PID KONTROLER UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN BEBAN REM MAGNETIK***

Dalam penggeraan Tugas Akhir ini, penulis mendapat banyak sekali bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam membimbing, orang tua, seluruh keluarga, tim, dan semua pihak yang memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan demi kemajuan Indonesia menuju negeri berteknologi mandiri.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Sistematika .....	2
1.6 Relevansi .....	3
BAB II TEORI PENUNJANG .....	5
2.1 Motor Induksi 3 Fasa .....	5
2.2 Rem Elektromagnetik.....	6
2.3 <i>Rotary Encoder</i> .....	8
2.4 <i>Inverter Siemens Micromaster 420</i> .....	9
2.5 Labview ( <i>Virtual Instrument</i> ) .....	10
2.6 <i>Data Acquisition (DAQ)</i> .....	12
2.7 Validasi Model .....	13
2.8 <i>Sensor Temperatur LM35</i> .....	13
2.9 Kontroler PID .....	14
2.10 Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	16
2.11 Kontroler <i>Hybrid Fuzzy</i> PID .....	19
BAB III PERANCANGAN SISTEM .....	21
3.1 Arsitektur Sistem Pengaturan .....	21
3.2 Perancangan Perangkat Keras .....	22
3.2.1 Mekanik <i>Plant</i> .....	22
3.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa .....	23
3.2.3 Rem Elektromagnetik .....	22
3.2.4 <i>Setting Inverter</i> .....	24
3.2.5 <i>Sensor Rotary Encoder</i> .....	26

3.2.6 Konfigurasi DAQ .....	28
3.2.7 <i>Sensor Arus</i> .....	28
3.2.8 Sensor Temperatur .....	29
3.2.9 Panel Kontrol .....	30
3.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	30
3.4 Identifikasi Sistem .....	32
3.5 Perancangan Kontroler <i>Hybrid Fuzzy PID</i> .....	34
3.5.1 Kontroler PID .....	34
3.5.2 Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	35
3.5.3 Kontroler <i>Hybrid FuzzyPID</i> .....	37
3.6 Perancangan HMI .....	39
 BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA .....	41
4.1 Pengujian Perangkat Keras Sistem .....	41
4.1.1 Pengujian DAQ dan <i>Inverter</i> .....	41
4.1.2 Pengujian <i>Encoder</i> dan Kecepatan Motor.....	42
4.1.3 Pengujian Indikator Tempratur .....	44
4.1.4 Pengujian Rem Magnetik.....	45
4.2 Pengujian Simulasi Kontroler .....	47
4.2.1 Pengujian Simulasi Kontroler PID.....	48
4.2.2 Pengujian Simulasi Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	48
4.2.3 Pengujian Simulasi Kontroler <i>Hybrid Fuzzy PID</i> .....	49
4.3 Pengujian Implementasi Kontroler .....	50
4.3.1 Pengujian Implementasi Kontroler PID .....	50
4.3.2 Pengujian Implementasi Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	51
4.3.3 Pengujian Implementasi Kontroler <i>Hybrid Fuzzy PID</i>	52
4.4 Analisa.....	53
 BAB V PENUTUP .....	55
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Fungsi Tombol MM420 .....	24
<b>Tabel 3.2</b>	Daftar Parameter <i>Quick Comissioning</i> .....	26
<b>Tabel 3.3</b>	Validasi Model .....	33
<b>Tabel 3.4</b>	Parameter-Parameter <i>Plant</i> .....	34
<b>Tabel 3.5</b>	Parameter-parameter kontroler PID .....	35
<b>Tabel 3.6</b>	<i>Rule Base</i> Aturan <i>Mack Vicar Whelan</i> .....	36
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian DAQ dan <i>Inverter</i> .....	42
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Kecepatan Motor dan <i>Encoder</i> .....	43
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengukuran Temperatur Pada Rem Magnetik .....	45
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Pengujian Rem Magnetik .....	46
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil Analisis Simuasi Kontroler PID .....	48
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Analisis Simulasi Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	49
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil Analisis Simulasi Kontroler <i>Hybrid Fuzzy</i> PID .....	50
<b>Tabel 4.8</b>	Analisis Respon Kontroler PID .....	51
<b>Tabel 4.9</b>	Analisis Respon Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	52
<b>Tabel 4.10</b>	Analisis Respon Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	53
<b>Tabel 4.11</b>	Analisis Respon Kontroler <i>Hybrid Fuzzy</i> PID.....	54

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Bentuk Motor Induksi Tiga Fasa .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Contoh Bentuk Fisik Rem Elektromagnetik .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Gaya Pergerakan Arus <i>Eddy</i> .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Kontruksi <i>Sensor Rotary Encoder</i> .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Panel <i>Operator MM420</i> .....	9
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Front Panel Labview</i> .....	10
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Window Block Diagram</i> .....	11
<b>Gambar 2.8</b>	Tombol-Tombol di <i>Toolbar</i> .....	11
<b>Gambar 2.9</b>	Modul DAQ Advantech USB 4716 .....	12
<b>Gambar 2.10</b>	IC <i>sensor LM35</i> .....	14
<b>Gambar 2.11</b>	Kontroler PID .....	14
<b>Gambar 2.12</b>	Inferensi Mamdani .....	17
<b>Gambar 2.12</b>	Kontroler <i>Fuzzy PD</i> dan Kontroler <i>Fuzzy PI</i> .....	17
<b>Gambar 2.13</b>	Struktur Kontroler <i>Fuzzy</i> tipe PID .....	18
<b>Gambar 2.14</b>	Struktur Kontroler <i>Hybrid Fuzzy</i> PID .....	19
<b>Gambar 3.1</b>	Arsitektur Sistem .....	21
<b>Gambar 3.2</b>	Blok Sistem Kontrol Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa .....	21
<b>Gambar 3.3</b>	Perancangan Plant .....	23
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Name Plate</i> Motor .....	23
<b>Gambar 3.5</b>	Bentuk Rem Magnetik .....	24
<b>Gambar 3.6</b>	Parameter <i>Quick Comissioning</i> Pada <i>Name Plate</i> Motor .....	25
<b>Gambar 3.7</b>	Spesifikasi <i>Sensor Rotary Encoder</i> .....	27
<b>Gambar 3.8</b>	Konfigurasi <i>Sensor Rotary Encoder</i> .....	27
<b>Gambar 3.9</b>	Pengkabelan <i>Sensor Rotary Encoder</i> .....	27
<b>Gambar 3.10</b>	Konfigurasi DAQ .....	28
<b>Gambar 3.11</b>	Skema Perancangan <i>Sensor Temperatur</i> .....	29
<b>Gambar 3.12</b>	Perancangan Panel Kontrol .....	30
<b>Gambar 3.13</b>	Blok Diagram Dan <i>Pallet Labview</i> .....	31
<b>Gambar 3.14</b>	<i>Setting Input Dan Output</i> DAQ .....	32
<b>Gambar 3.15</b>	Konfigurasi Identifikasi <i>Plant</i> .....	32
<b>Gambar 3.16</b>	Fuzzifikasi Sinyal <i>Error</i> .....	35
<b>Gambar 3.17</b>	Fuzzifikasi Sinyal Delta <i>Error</i> .....	36
<b>Gambar 3.18</b>	Metode Defuzzifikasi.....	36
<b>Gambar 3.19</b>	Fuzzifikasi Sinyal Kontrol .....	37

<b>Gambar 3.20</b>	Kontroler <i>Hybrid Fuzzy PID</i> .....	38
<b>Gambar 3.21</b>	Tampilan <i>Overview Panel</i> .....	39
<b>Gambar 3.22</b>	Tampilan HMI Dengan Labview 2013.....	40
<b>Gambar 4.1</b>	Pengujian DAQ dan <i>Inverter</i> .....	41
<b>Gambar 4.2</b>	Konfigurasi Pengujian <i>Encoder</i> dan Kecepatan Motor.....	43
<b>Gambar 4.3</b>	Hubungan Kecepatan Motor Dengan Frekuensi <i>Ecoder</i> .....	44
<b>Gambar 4.4</b>	Pengukuran Temperatur Pada Rem Magnetik.....	45
<b>Gambar 4.5</b>	Penurunan Kecepatan Motor .....	46
<b>Gambar 4.6</b>	Blok Diagram Simulasi Kontroler .....	47
<b>Gambar 4.7</b>	Blok Diagram <i>Front Panel</i> Simulasi Kontroler .....	47
<b>Gambar 4.8</b>	Simulasi Kontroler PID .....	48
<b>Gambar 4.9</b>	Simulasi Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	49
<b>Gambar 4.10</b>	Simulasi Kontroler <i>Hybrid Fuzzy PID</i> .....	50
<b>Gambar 4.11</b>	Respon Implementasi Kontroler PID .....	51
<b>Gambar 4.12</b>	Respon Implementasi Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	52
<b>Gambar 4.13</b>	Reson Implementasi Kontroler <i>Hybrid Fuzzy PID</i> .....	53

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada Bab ini akan dibahas mengenai latar belakang pembuatan Tugas Akhir, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan relevansi.

### 1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang penggunaannya paling banyak digunakan di industri maupun di rumah tangga. Kegunaannya sangat diandalkan karena motor induksi memiliki keunggulan dari segi kontruksi yang sederhana dan juga kokoh, perawatannya mudah, dan harganya yang murah. Namun disamping itu motor induksi juga memiliki kelemahan yaitu kecepatan putaran rotornya tidak konstan ketika terjadi perubahan torsi beban. Maka dari itu untuk menaggulangi permasalahan tersebut perlu ditambahkan rangkaian kontroler agar kecepatan motor tetap konstan walau terjadi perubahan torsi beban. Keberadaan kontroler untuk motor induksi menjadi semakin dipertimbangkan karena sifatnya yang dapat mengatur kecepatan motor agar tetap konstan saat terjadi perubahan torsi beban. Salah satu kontroler yang mampu menjaga putaran motor induksi menjadi konstan adalah kontroler *Hibrid Fuzzy PID*.

Kontroler *Hybrid Fuzzy PID* merupakan kontroler gabungan antara mekanisme kontroler *fuzzy* dan kontroer PID. Kontroler *Hybrid Fuzzy PID* merupakan salah satu kontroler yang mampu memberikan respon *plant* yang cepat karena memiliki sifat dari kontroler *fuzzy* yang menerapkan kemampuan kecerdasan manusia dalam bentuk aturan “jika-maka” (*If-Then Rule*) sehingga proses kontrol akan mengikuti pendekatan secara linguistik dan memiliki *error* yang kecil karena memiliki sifat dari kontroler PID yang menghasilkan *output error steady state* yang kecil.

Pada tugas akhir ini digunakan motor induksi tiga fasa dengan beban rem elektromagnetik sebagai *plant* yang akan dikontrol dengan kontroler *Hibrid Fuzzy PID*. Pada motor induksi tiga fasa, perubahan kecepatan dapat diatur dengan cara mengubah-ubah besarnya frekuensi yang diberikan pada motor. Perancangan dan pembuatan algoritma kontrolernya menggunakan komputer dengan *software Labview 2013*.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Motor induksi jika terjadi perubahan beban yang tidak linier (fluktuatif) dan parameter motor yang berubah-ubah bila kecepatan berubah, maka motor induksi tiga fasa menjadi sukar untuk dikontrol dengan kontroler konvensional, sehingga dirumuskan cara mengendalikan kecepatan putaran motor agar tetap konstan dan memiliki *setting time* yang cepat saat motor *starting* dan terjadi perubahan beban yang bervariasi.

## **1.3 Batasan masalah**

Dari perumusan masalah di atas, ada beberapa hal yang perlu dibatasi sehingga penelitian yang dilakukan dapat tercapai. Batasan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Pembebasan diberikan dengan menggunakan rem elektromagnetik yang dieksitasi oleh *variac* dengan *range* tegangan sebesar 140-220VDC.
2. Daya magnet yang digunakan oleh rem magnetik tidak diperhitungkan secara matematis.
3. Penelitian ini merupakan modifikasi dari penelitian sebelumnya dan dikerjakan secara berkelompok dengan kesepakatan tirik kerja setiap anggota kelompok berbeda-beda.
4. Modifikasi *plant* dari kelompok sebelumnya hanya menambahkan *sensor* temperatur dan *sensor* arus pada rem magnetik.
5. Algoritma kontroler *Hybrid Fuzzy PID* dibuat menggunakan *software* Labview dengan menggunakan komputer.

Dengan adanya batasan masalah ini diharapkan hasil akhir dari Tugas Akhir ini dapat tercapai.

## **1.4 Tujuan**

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem kontrol dengan menggunakan kontroler *Hybrid Fuzzy PID* sehingga menjaga kecepatan motor induksi tiga fasa tetap konstan walau terjadi perubahan torsi beban.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari lima bab yaitu pendahuluan, teori penunjang, perancangan sistem, implementasi dan analisa, dan kesimpulan.

**BAB I PENDAHULUAN**

Pada Bab ini, akan dibahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika penulisan dan relevansi.

**BAB II TEORI PENUNJANG**

Dasar pemikiran dan pengetahuan dari sistem yang akan dirancang seperti teori motor induksi tiga fasa, *Digital Aquisition Module, inverter*, dan kontroler akan dibahas pada Bab ini.

**BAB III PERANCANGAN SISTEM**

Bab ini membahas tentang perancangan sistem yang akan dibangun, yang terbagi menjadi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa, perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), identifikasi sistem, dan perancangan kontroler *Hybrid Fuzzy PID*.

**BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA**

Bab ini membahas pengujian sistem hasil implementasi dan analisa hasil dari implementasi.

**BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan akhir dari penelitian ini dan saran-saran untuk kemungkinan pengembangan penelitian lebih lanjut.

**1.6 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan *software* Labview. Selain itu penelitian ini dapat menjadi perbandingan metode pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dimasa yang akan datang.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II

# TEORI PENUNJANG

Pada Bab ini akan dibahas mengenai materi dasar dalam penyusunan Tugas Akhir. Beberapa hal yang dibahas meliputi tinjauan pustaka mengenai motor induksi tiga fasa, rem magnetik, *incremental rotary encoder*, *inverter* tiga fasa, Labview, data *acquisition* (DAQ), identifikasi sistem, kontroler, *sensor* temperatur.

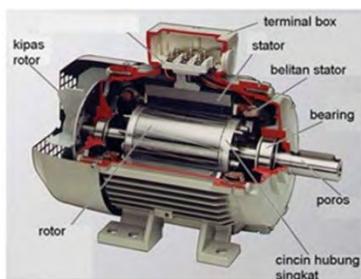
### 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa[1]

Motor induksi adalah motor arus bolak-balik (AC) yang paling umum digunakan dalam aplikasi di dunia industri. Penggunaan motor induksi di industri maupun umum cukup banyak digunakan, hal ini karena motor induksi mempunyai keuntungan sebagai berikut:

1. Bentuknya sederhana, kontruksinya cukup kuat.
2. Biayanya murah.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan nominal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan yang minimum.

Namun disamping hal diatas, perlu juga diperhatikan faktor-faktor yang tidak menguntungkan sebagai berikut:

1. Pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan akan berkurang bila bebananya bertambah.
3. Torsi mulanya lebih rendah daripada motor DC parallel.



**Gambar 2.1** Bentuk Motor Induksi Tiga Fasa

Kontruksi motor induksi sangatlah sederhana, pada umumnya motor memiliki dua bagian yaitu bagian rotor yaitu bagian yang berputar dan bagian stator yaitu bagian yang diam. Stator motor induksi terbuat dari gulungan kawat tembaga yang dialiri listrik arus bolak-balik tiga fasa sehingga terjadi medan magnet yang memutarkan rotor. Sedangkan bagian rotor dari motor induksi tidak memiliki kumparan kawat tembaga, namun disusun oleh batang tembaga yang dihubung singkat menyerupai sangkar tupai dan ditutup oleh lapisan besi. Kontruksi motor induksi tiga fasa seperti terlihat pada Gambar 2.1.

## 2.2 Rem Elektromagnetik[2]

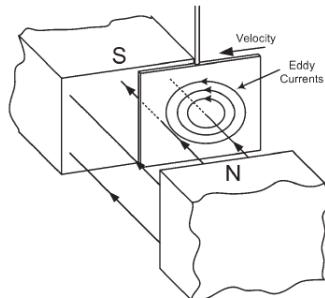
Rem adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan suatu aksi yang akan menurunkan kecepatan dalam selang waktu yang ditentukan. Tipe rem yang umum digunakan adalah rem yang menggunakan gaya gesek untuk memberikan gaya lawan terhadap gaya gerak. Sistem penggereman elektromagnetik menggunakan gaya elektromagnetik untuk memperlambat suatu gerakan. Sebuah piringan dengan bahan logam *non-feromagnetik* terpasang dengan poros yang berputar. Piringan tersebut diapit oleh sisi stator berupa sistem lilitan elektromagnetik yang dapat membangkitkan medan magnet dari aliran listrik.

Arus listrik menimbulkan medan magnet pada lilitan dan logam piringan yang memotong medan magnet tersebut akan menimbulkan arus *eddy* pada piringan itu sendiri. Arus *eddy* ini akan menimbulkan medan magnet yang arahnya berlawanan dengan medan magnet sebelumnya, sehingga menghambat gerakan putar dari poros tersebut. Rem elektromagnetik akan optimal untuk memberikan penurunan kecepatan, bukan untuk menghentikan gerak suatu objek. Sehingga Rem ini sering diaplikasikan untuk sistem penggereman pada *roller coaster*, kereta api dan juga digunakan pada alat *dinamometer* untuk pengukuran torsi suatu mesin. Contoh dari bentuk fisik dari rem elektromagnetik ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Arus *eddy* yang melingkar menyebabkan medan magnet induksi melawan arah medan magnet mula-mula. Hal ini menyebabkan gaya penggereman yang melawan arah kecepatan konduktor yang bergerak memotong medan magnet dari kedua solenoid.



**Gambar 2.2** Contoh Bentuk Fisik Rem Elektromagnetik

Gaya penggereman yang dihasilkan oleh arus melingkar *eddy* ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Medan magnet yang arahnya menjauhi pengamat. Kemudian sebuah konduktor memotong medan magnet tersebut dengan kecepatan (besar dan arah) tertentu. Berdasarkan hukum faraday, apabila terjadi perubahan medan magnet, maka akan timbul ggl pada konduktor. Pada konduktor, bidang yang mengalami perubahan fluks magnet hanya pada kedua sisinya, yang pertama adalah saat keluar dari medan maget (fluks magnet yang lewat pada konduktor berkurang) dan yang kedua adalah saat memasuki medan magnet (fluks magnet yang melewati konduktor bertambah). Sedangkan bagian tengah konduktor tidak mengalami perubahan fluks magnet sehingga tidak timbul lagi. Dengan artian, gaya lawan hanya dihasilkan apabila permukaan tersebut memiliki kecepatan. Semakin tinggi kecepatan maka gaya lawan yang dihasilkan juga semakin besar. Namun semakin rendah kecepatan, maka gaya lawan akan semakin kecil.[2]



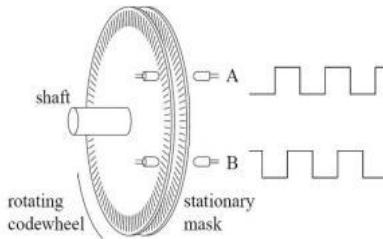
**Gambar 2.3** Gaya Penggereman Arus *Eddy*

Medan magnet yang arahnya menjauhi pengamat. Kemudian sebuah konduktor memotong medan magnet tersebut dengan kecepatan (besar dan arah) tertentu. Berdasarkan hukum faraday, apabila terjadi perubahan medan magnet, maka akan timbul ggl pada konduktor. Pada konduktor, bidang yang mengalami perubahan fluks magnet hanya pada kedua sisinya, yang pertama adalah saat keluar dari medan magnet (fluks magnet yang lewat pada konduktor berkurang) dan yang kedua adalah saat memasuki medan magnet (fluks magnet yang melewati konduktor bertambah). Sedangkan bagian tengah konduktor tidak mengalami perubahan fluks magnet sehingga tidak timbul lagi. Dengan artian, gaya lawan hanya dihasilkan apabila permukaan tersebut memiliki kecepatan. Semakin tinggi kecepatan maka gaya lawan yang dihasilkan juga semakin besar. Namun semakin rendah kecepatan, maka gaya lawan akan semakin kecil.

### 2.3 *Rotary Encoder*[3]

*Rotary encoder* adalah suatu *sensor* yang digunakan untuk mengukur kecepatan, umumnya *sensor rotary encoder* memiliki dua *channel* yaitu *chanel A* dan *channel B* yang masing-masing berbeda  $90^\circ$ . *Rotary encoder* menggunakan *sensor optik* untuk menghasilkan pulsa yang dapat dikonversi menjadi frekuensi, kecepatan putar, maupun posisi dan arah. Sehingga perubahan sudut dari benda yang berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder*.

*Rotary encoder* terdiri dari dua *track* atau *single track* dan dua *sensor* yang disebut *channel A* dan *channel B*. Ketika poros berputar, deretan pulsa akan muncul di masing-masing *channel* pada frekuensi yang proposional dengan kecepatan putar, dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan, maka kecepatan putar dapat dideteksi. Sedangkan hubungan antara *channel A* dan *B* menghasilkan arah putaran. *Channel A* dan *B* berbeda fasa  $90^\circ$  atau seperempat putaran (*quadrature signal*). Untuk mengetahui arah putaran adalah dengan mengetahui *channel* yang *leading* terhadap *channel* yang lain. Susunan piringan pada *incremental rotary encoder* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4 Kontruksi Sensor Rotary Encoder**

## 2.4 Inverter Siemens Micromaster 420 (MM420)[4]

Untuk mengendalikan kecepatan motor induksi tiga phasa diperlukan pengaturan tegangan sumber dan frekuensi agar didapatkan kecepatan yang bervariasi, sehingga kecepatan motor dapat diatur.

*Inverter Siemens Micromaster 420* adalah suatu alat yang bekerja dengan cara mengubah listrik dengan arus bolak-balik (AC) menjadi listrik arus searah (DC), kemudian listrik dengan arus searah tersebut dikonversi kembali menjadi tegangan arus bolak-balik namun dengan frekuensi yang bervariasi sehingga menghasilkan kecepatan putaran motor yang bervariasi pula.

Pada *inverter Micromaster 420* terdapat *port input analog* untuk mengatur besarnya keluaran frekuensi yang diinginkan berupa tegangan atau arus. Dengan demikian frekuensi keluaran ini akan berpengaruh terhadap kecepatan putaran motor.

*Inverter micromaster 420* mempunyai sebuah panel operator yang terdapat beberapa tombol. Gambar panel operator dapat dilihat pada Gambar 2.5.

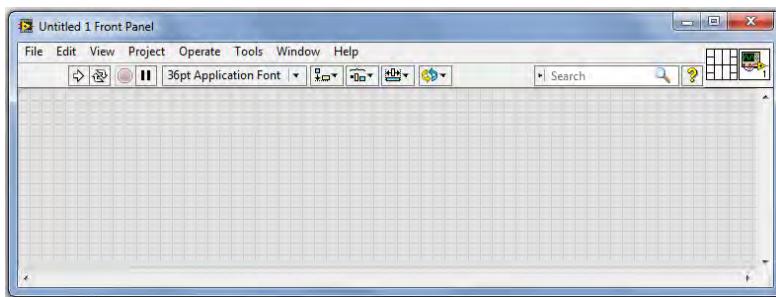


**Gambar 2.5 Panel Operator MM420**

## 2.5 Labview [5]

*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (LabVIEW) merupakan bahasa pemrograman yang memiliki fleksibilitas seperti bahasa pemrograman yang lain yaitu C++, Fortran, atau Basic, yang diproduksi oleh National Instrument. Labview menggunakan *icon* yang dihubungkan bersama untuk mempresentasikan fungsinya dan menjelaskan aliran data dalam program. Hal ini sejenis dengan membangun *flowchart* kode sesuai dengan yang diinginkan. Program Labview dikenal dengan sebutan VI atau *Virtual Instruments* karena program ini berbasis grafis atau blok diagram sehingga tampilan dan operasinya dapat meniru sebuah *instrument*.

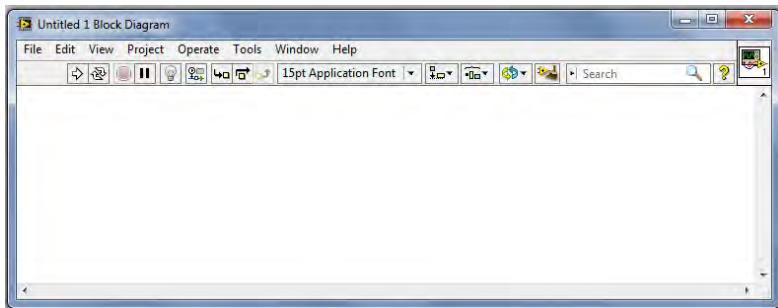
*Virtual Instrument* tersusun oleh dua *window* yaitu *front panel* dan *block diagram*. *Window front panel* merupakan *window* yang digunakan untuk menampilkan hasil dari program simulasi dan implementasi yang telah dibuat seperti tampilan grafik, lampu, tombol *stop*, maupun proses *input output* terhadap program yang telah dibuat. Sedangkan pada *window block diagram* digunakan untuk membuat program yang telah dirancang algoritmanya yang merupakan kumpulan dari beberapa fungsi yang dapat dirancang untuk suatu program sehingga dapat ditampilkan pada *front panel*.



Gambar 2.6 *Front Panel* Labview

Gambar 2.6 adalah gambaran dari *front panel* Labview, proses, indikator, *process chart*, kurva, dan alat ukur pada sistem semua dapat ditampilkan di bagian *front panel*. Sedangkan algoritma dan proses kontrol didesain pada *window block diagram*. Algoritma proses kontrol

diletakan antara *input* proses dan *output* proses. Gambar *window block* diagram dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Window Blok Diagram

Labview mempunyai banyak fungsi-fungsi untuk analisa numerik, desain dan menggambarkan hasil data, juga mempunyai beberapa *toolkit* dan modul untuk analisa dan desain kontrol, pengolahan sinyal, identifikasi sistem, matematika, simulasi, dan lain-lain.

Labview 2013, dijalankan dengan menggunakan tombol-tombol yang ada di *toolbar*, seperti pada Gambar 2.8



**Gambar 2.8.** Tombol-Tombol di *Toolbar*

Berikut ini adalah penjelasan dari setiap tombol dengan urutan dari kiri ke kanan:[6]

1. Tombol *Run*, digunakan untuk menjalankan program. Tombol berwarna putih jika program berhenti dan berwarna hitam jika program dijalankan. Jika program terdapat kesalahan, program tidak akan berjalan, tombol akan berwarna abu-abu dan kelihatan patah.
2. Tombol *Run Continuously*, digunakan untuk tujuan percobaan jika ingin menjalankan program berulang-ulang kali.
3. Tombol *Abort*, digunakan untuk membatalkan program yang sedang berjalan.

4. Tombol *Pause*, digunakan untuk menghentikan sementara program yang sedang berjalan. Jika menekan tombol *Pause* lagi maka program akan berjalan lagi.
5. Tombol *text string*, digunakan untuk mengubah bentuk huruf, ukuran, perataan, dan warna pada *text*.
6. Tombol *align objects*, digunakan untuk menata posisi beberapa objek supaya rata, termasuk rata kiri, rata kanan, rata atas, dan rata bawah.
7. Tombol *distribute objects*, digunakan untuk menata posisi antar objek dengan spasi yang sama.
8. Tombol *resize objects* digunakan untuk membesarkan dan mengecilkan ukuran objek
9. Tombol *reorder* digunakan untuk menempatkan objek didepan atau dibelakang objek lain.

## 2.6 Data Acquisition (DAQ)[7]

Akuisisi data merupakan bagian dari proses pengambilan *sample* dari kondisi *real* untuk menghasilkan data yang dapat dimanipulasi oleh komputer. Sistem akuisisi *data* (DAQ) biasanya mengubah gelombang *analog* menjadi *digital*. Komponen pada sistem akuisisi data meliputi:

1. *Sensor*, untuk mengkonversi parameter fisik menjadi sinyal listrik.
2. Rangkaian *signal conditioning*, untuk mengkonversi sinyal *sensor* menjadi bentuk yang dapat dikonversi ke nilai *digital*.
3. *Analog to Digital converter*, untuk mengkonversi sinyal *analog* menjadi sinyal *digital*.

*Hardware DAQ* biasanya berupa modul yang dapat dihubungkan ke *port* komputer (*parallel*, *serial*, dan *USB*). Salah satunya *product* DAQ yang dipakai untuk Tugas Akhir ini adalah modul DAQ dari Advantech yaitu Advantech USB 4716 seperti pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Modul DAQ Advantech USB 4716

## 2.7 Validasi Model[2]

Setelah mengidentifikasi *plant* serta mendapatkan model matematika dari *plant*, proses selanjutnya adalah melakukan validasi dari model-model matematika *plant* tersebut. Tujuan dilakukan validasi model adalah untuk mendapatkan model identifikasi yang mendekati atau memenuhi persyaratan pemodelan menurut kriteria (objektif) dari pendekatan pemodelan yang terbaik. Model matematika yang didapat perlu diverifikasi agar dapat dilihat seberapa tepat dengan sistem asli pada kondisi riil. Pada Tugas Akhir ini menggunakan metode validasi *Integral Square Error* (ISE).

ISE adalah pengukuran akurasi pada nilai deret waktu secara statistik. Kriteria ISE ini telah digunakan secara luas karena kemudahan perhitungan *integral* baik secara analitis maupun eksperimental. Formulasi dasar ISE dapat dilihat pada Persamaan 2.1.

$$ISE = \int_0^{\infty} e_i^2 \quad (2.1)$$

dimana batas atas  $\infty$  dapat diganti dengan n jumlah data sebanyak yang diambil dan i adalah urutan data. Sedangkan  $e$  adalah kesalahan data hasil dari permodelan terhadap hasil pengukuran seperti yang dirumuskan pada Persamaan 2.2.[2]

$$\begin{aligned} e_i &= y_A - y_M \\ i &= 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (2.2)$$

dimana  $y_A$  adalah nilai data asli hasil pengukuran, dan  $y_M$  adalah nilai data hasil permodelan.

## 2.8 Sensor Temperatur LM35[8]

*Sensor* temperatur adalah suatu *sensor* yang bisa mengkonversi perubahan energi *thermal* suatu objek menjadi energi listrik. *Sensor* temperatur banyak jenis dan tipenya, pemilihan jenis dan tipe *sensor* temperatur tergantung dari jenis objek yang akan diukur temperaturnya, berdasarkan skala batasan temperatur yang akan diukur, kebutuhan respon yang cepat atau lambat, dan keakurasi pengukuran.

IC *sensor* LM35 merupakan *sensor* temperatur yang memiliki kelinearan yang sangat tinggi, perubahan tegangan sebesar 10mV/°C, kalibrasi dalam skala *celcius*, impedansi *output* yang kecil, harga yang

murah. Berikut adalah gambar sensor temperatr berupa IC sensor LM35 seperti pada Gambar 2.10.

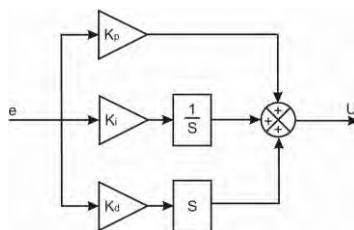


Gambar 2.10 IC Sensor LM35[9]

## 2.9 Kontroler PID[10]

Keberadaan kontroler dalam suatu proses kontrol memiliki kontribusi sangat besar karena tugasnya kontroler yang mampu mereduksi sinyal *error* yang diakibatkan perbedaan antara sinyal *setting* dengan sinyal aktual dari umpan balik.

Kontrol PID dapat dijumpai hampir pada setiap industri yang bergerak dalam bidang proses. Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatarbelakangi beberapa hal. Kontrol PID mempunyai struktur kontrol yang sederhana, dimana terdapat tiga parameter utama yang harus diatur (*tuning*), yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Pengaruh perubahan setiap parameternya terhadap perubahan dinamika pengontrolan mudah dipahami oleh operator secara mudah.



Gambar 2.11 Kontroler PID

Persamaan sinyal kontrol PID merupakan penjumlahan dari masing-masing elemen proposional, integral, dan derivatif yang dikalikan dengan sinyal *error*-nya. Persamaanya dirumuskan pada Persamaan 2.3 berikut.

$$U_{PID} = K_p(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (2.3)$$

Bila nilai  $K_p$  dikalikan dengan masing-masing konstanta PID, maka didapatkan persamaan seperti pada Persamaan 2.4.

$$U_{PID} = K_p e(t) + \frac{K_p}{\tau_i} \int e(t) dt + K_p \tau_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Dimana nilai  $K_i$ , dan  $K_d$  didapatkan sebagai berikut:

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i} \quad (2.5)$$

$$K_d = K_p \tau_d \quad (2.6)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6 kedalam Persamaan 2.4, maka didapatkan persamaan sinyal kontrol PID menjad seperti pada Persamaan 2.7 berikut:

$$U_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \dot{e}(t) \quad (2.7)$$

Perancangan kontroler PID pada dasarnya adalah menentukan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  agar respon sistem hasil perancangan sesuai dengan spesifikasi performansi yang diinginkan. Pada perancangan kontroler PID secara analitik terdapat beberapa tahapan, yaitu:

1. Menentukan model matematika *plant*. Orde dari model matematika tersebut adalah orde II. Jika model matematika yang didapatkan memiliki orde tinggi (lebih dari dua), maka model matematika yang digunakan adalah model reduksi dalam bentuk orde II.
2. Menentukan spesifikasi performansi yang diinginkan. Perancangan ini merupakan perancangan dengan pendekatan respon waktu, maka ukuran kualitas respon yang digunakan

adalah ukuran kualitas respon waktu, yaitu *Settling Time* ( $t_s$ ), % *Over-shoot*, dan % *Error Steady State*.

3. Menentukan  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ .

Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pemilihan konstanta  $K_p$ ,  $\tau_i$ , dan  $\tau_d$  akan mengakibatkan dominasi dari sifat masing-masing elemen. Konstanta dan dominan itulah yang akan memberikan kontribusi besar pada respon sistem secara keseluruhan.

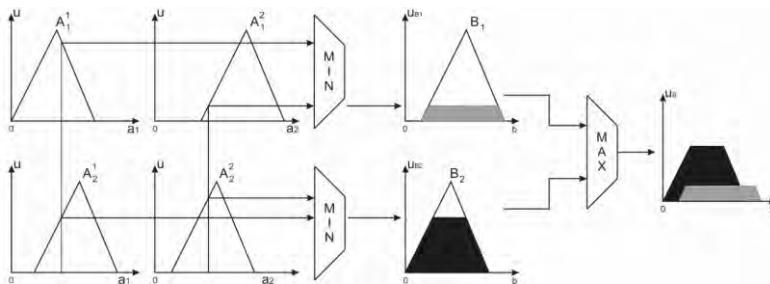
## 2.10 Kontroler Fuzzy[11]

Dalam sistem kontrol *fuzzy* terdapat empat proses yaitu meliputi fuzzifikasi, *rule base*, *Fuzzy inference*, dan defuzzifikasi. Berikut adalah keterangan masing-masing proses:

1. Fuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan sinyal *input* yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke himpunan *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Himpunan *fuzzy* yang umum digunakan adalah berbentuk segitiga sama kaki. Berikut pada persamaan 2.8 merupakan persamaan untuk mendapatkan sinyal fuzzifikasi dengan himpunan pendukung berupa segitiga samakaki.

$$\mu_{\text{segitiga}}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.8)$$

2. *Rule base fuzzy* berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah *input* dan *output* dan menyusunnya dalam perangkat aturan kontrol.
3. *Inference Fuzzy* merupakan inti dari logika *fuzzy* yang mempunyai kemampuan seperti kecerdasan manusia dalam mengambil keputusan. Aksi pengaturan *fuzzy* disimpulkan dengan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme inferensi *fuzzy*. Mekanisme inferensi *fuzzy* ada beberapa macam, namun yang umum digunakan adalah inferensi aturan mamdani atau sering disebut dengan inferensi *max-min* karena proses penarikan kesimpulannya berupa max-min metode. Inferensi mamdani digambarkan pada Gambar 2.12 berikut.

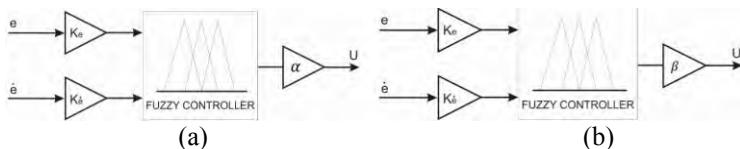


**Gambar 2.12** Inferensi Mamdani

- Defuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi kontrol yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Metode defuzzifikasi terdapat beragam jenis, namun defuzzifikasi yang digunakan adalah jenis *center of area* (COA) untuk inferensi mamdani. Berikut adalah Persamaan 2.9 yang menjelaskan perhitungan defuzzifikasi *center of area*.

$$CoA = \frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) \cdot x dx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) dx} \quad (2.9)$$

Tipe kontroler logika *fuzzy* terdapat bermacam-macam jenisnya, berikut merupakan salah satu kontroler kontroler *fuzzy* yaitu *Fuzzy PD* dan *Fuzzy PI* seperti terlihat pada Gambar 2.13



**Gambar 2.13** (a) Kontroler *Fuzzy PD*, (b) Kontroler *Fuzzy PI*[12]

Dengan persamaan sinyal kontrol untuk kontroler *fuzzy* PD pada Persamaan 2.10

$$U_{PD-FLC} = \alpha[(\hat{e}(t) + \dot{\hat{e}})] \quad (2.10)$$

Dengan sinyal *input* berupa sinyal *error* dan *delta error* dan penguatan *input error*  $K_e$  dan penguatan *delta error*  $K_d$  serta penguatan sinyal *output* adalah  $\alpha$ , maka Persamaan sinyal kontrol kontroler *fuzzy* PD pada Persamaan 2.10 dapat dituliskan menjadi Persamaan 2.11.

$$U_{PD-FLC} = \alpha[K_e e(t) + K_d \dot{e}] \quad (2.11)$$

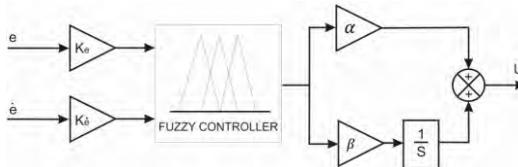
Sedangkan persamaan sinyal *output* kontroler *fuzzy* PI dapat dituliskan pada Persamaan 2.12.

$$U_{PI-FLC} = \beta \int [(\hat{e}(t) + \dot{\hat{e}})] \quad (2.12)$$

Dengan *input* berupa sinyal *error* dan *delta error* sedangkan penguatan *input error*  $K_e$  dan penguatan *delta error*  $K_d$  serta penguatan sinyal *output* adalah  $\beta$  dengan integral sinyal output, maka Persamaan 2.12 dapat dituliskan seperti pada Persamaan 2.13.

$$U_{PI-FLC} = \beta \int [K_e e(t) + K_d \dot{e}] \quad (2.13)$$

Bila kontroler *Fuzzy* PD dengan kontroler *Fuzzy* PI memiliki *rule base* yang sama, maka kedua kontroler tersebut dapat digabungkan menjadi *Fuzzy* tipe PID seperti terlihat pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Struktur Kontroler *Fuzzy* tipe PID

Sehingga persamaan sinyal output kontroler *fuzzy* tipe PID merupakan gabungan sinyal kontrol *fuzzy* PD dan sinyal kontrol *fuzzy* PI seperti pada Persamaan 2.14.

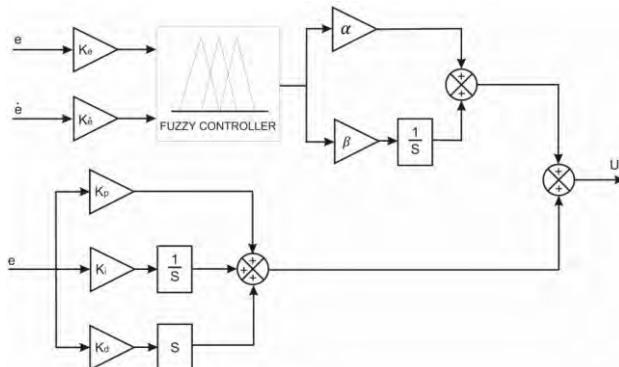
$$U_{PID-FLC} = U_{PI-FLC} + U_{PD-FLC} \quad (2.14)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan 2.11 dan Persamaan 2.13 ke Persamaan 2.14, maka akan didapatkan persamaan sinyal output kontroler *fuzzy* tipe PID pada Persamaan 2.15.

$$U_{PID-FLC} = (\beta K_c + \alpha K_p e(t) + (RK_i + K_v) \int e(t) dt + (K_d + K_v) \dot{e})^2 \quad (2.15)$$

## 2.11 Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*[12]

*Hybrid Fuzzy PID* adalah metode pengontrolan yang menggabungkan dua buah kontroler yaitu kontroler *fuzzy* dan kontroler PID sehingga dinamakan sebagai *Hybrid Fuzzy PID*. Kontroler ini memiliki masukan sinyal *error* dan sinyal  $\Delta_e$  (*delta error*). Struktur kontroler *Hybrid Fuzzy PID* ditampilkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Struktur Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

Dengan persamaan sinyal output kontroler dapat dituliskan pada persamaan 2.16

$$U_{HYBRID} = U_{FUZZY} + U_{PID} \quad (1.16)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.15 ke Persamaan 2.16 sehingga didapatkan persamaan sinyal output kontroler *Hybrid Fuzzy PID* pada Persamaan 2.17

$$U_{HYBRID} = (\beta K_c + \alpha K_p e(t) + (RK_i + K_v) \int e(t) dt + (K_d + K_v) \dot{e})^2 \quad (2.17)$$

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

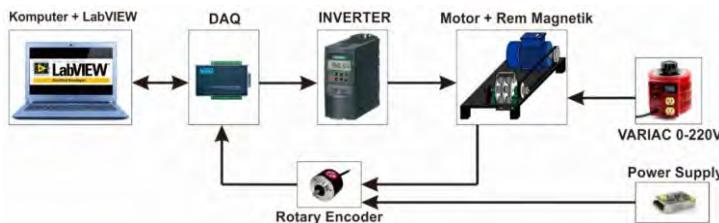
### **BAB III**

## **PERANCANGAN SISTEM**

Pada Bab ini dibahas mengenai perancangan sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan beban rem magnetik, yaitu perancangan perangkat keras, perangkat lunak, identifikasi sistem, dan perancangan kontroler.

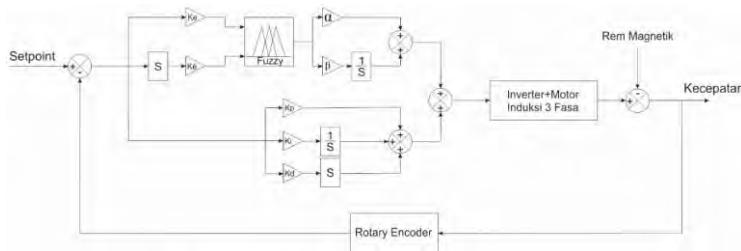
### **3.1 Arsitektur Sistem Pengaturan**

Spesifikasi sistem yang diharapkan tercapai pada perancangan Tugas Akhir ini adalah respon kecepatan motor mampu mengikuti *set point* baik pada saat diberikan beban minimum ataupun maksimum. Struktur sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1.** Arsitektur Sistem

Sedangkan blok diagram sistem yang akan dirancang dapat dilihat pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2** Blok Sistem Kontrol Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

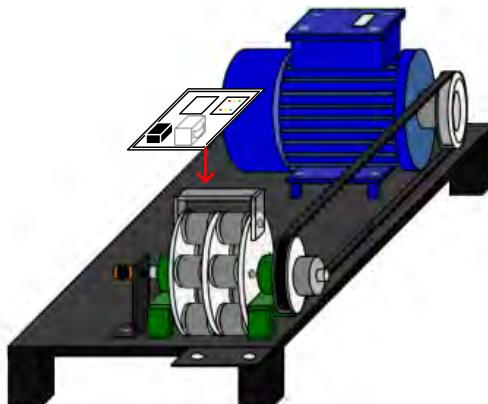
Komputer dengan Labview digunakan sebagai proses kontrol dan sebagai HMI untuk operator memonitoring kecepatan putaran motor. Kontroler *Hybrid Fuzzy PID* dirancang dengan menggunakan *software* Labview 2013 dengan dan keluaran sinyal kontrol dikirim melalui *analog output DAQ Advantech USB-4716*, sinyal keluaran DAQ berupa sinyal *analog* dengan *range* antara 0-10 VDC. Sinyal keluaran dari DAQ digunakan untuk men-drive *inverter*, kemudian *inverter* mengkonversinya menjadi perubahan fekuensi sehingga putaran motor induksi menjadi dapat dikendalikan. *Sensor rotary encoder* berfungsi untuk mendeteksi kecepatan motor (rpm) dengan cara mengkonversi jumlah pulsa yang dihasilkan *rotary encoder* oleh DAQ.

## 3.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan mekanik *plant* motor induksi tiga fasa dengan beban rem magnetik, *setting inverter*, dasain rangkaian *rotary encoder*, konfigurasi DAQ, dan desain rangkaian *sensor* temperatur.

### 3.2.1 Mekanik *Plant*

*Plant* yang dirancang dalam Tugas Akhir ini adalah *plant* yang digunakan pada Tugas Akhir kelompok rem magnetik sebelumnya. *Plant* yang digunakan sekarang telah dimodifikasi dengan memberikan tambahan *sensor* arus dan *sensor* temperatur untuk mendeteksi panas di bagian piringan magnet, sehingga bisa diketahui jika piringan mulai panas, maka proses pengujian harus diberhentikan, karena panas pada piringan magnet menyebabkan gaya tarik magnet berkurang dan membuat pengereman menjadi tidak berfungsi. Rancangan *plant* yang telah dimodifikasi secara keseluruhan dapat dilhat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Perancangan Plant**

### 3.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa yang dipakai adalah produksi dari *Alliance-Italy* IEC 34-CE dengan tipe AY 638-4. Motor ini mempunyai daya 0,18 KW atau 0,25 HP dan mempunyai kecepatan nominal 1330 rpm pada frekuensi 50 Hz. Motor tersebut dihubung bintang (Y) pada sumber tiga fasa. Untuk spesifikasi yang lebih jelas dapat dilihat pada *name plate* Gambar 3.4.

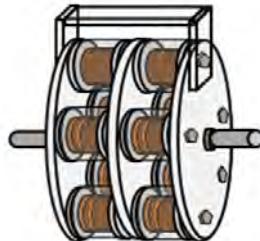
<b>Alliance – Italy</b>		<b>IEC 34 CE</b>	
TYPE AY 638-4		No. 02030688	
0,18 KW	0,25 HP	1,07 / 1,12 A	
220/380 V	1330 r/min	LW 55 dB(A)	
CONN Δ/Y	PROT GRADE 55	50 Hz	6,3 Kg
JB/T8680, 1-1998	Work Rule S1	INS Class F	DATE 08

**Gambar 3.4 Name Plate Motor**

### 3.2.3 Rem Magnetik

Rem elektromagnetik ditempatkan di kedua sisi piringan (*disk*) yang melekat di tengah *shaft* motor. Rem elektromagnetik ini terdiri dari 10 buah kumparan dan diletakkan masing-masing 5 kumparan pada setiap sisi serta saling berhadapan. Ukuran kawat tembaga yang digunakan untuk setiap kumparan adalah 0,3. Setiap kumparan memiliki ukuran kawat tembaga (*Coil*) dan arah lilitan yang identik. Keseluruhan

dari kumparan dihubungkan secara seri. Konfigurasi dari rem magnetik ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Bentuk Rem Magnetik

Rem magnetik ini di-supply dengan tegangan 0-220VDC yang berasal dari *variac* dengan tegangan *output variac* 0-240VAC yang disearahkan oleh komponen *bridge dioda*. Kumparan yang dialiri tegangan tersebut akan menimbulkan *arus eddy* sehingga muncul medan magnet yang dapat melawan laju putaran piringan. Semakin besar tegangan yang diberikan oleh *variac* maka semakin besar pula gaya lawan yang melawan arah putaran *non ferromagnetik*.

### 3.2.4 Setting Inverter

Pada tugas akhir ini digunakan *inverter Siemens Micromaster 420* (MM420) sebagai pengatur frekuensi untuk kecepatan putar motor AC tiga fasa. Untuk mengoperasikan *inverter* diperlukan mengetahui fungsi-fungsi dari tombol yang ada pada panel *inverter*. Penjelasan setiap fungsi-fungsi seperti terlihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Fungsi Tombol MM420

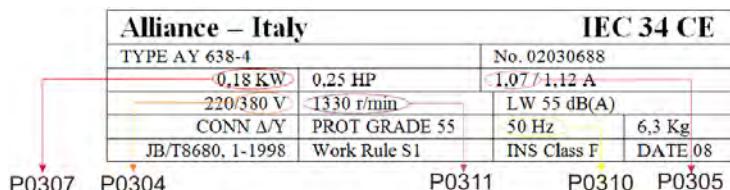
Tombol	Fungsi	Keterangan
	<i>Start Inverter</i>	Tombol untuk menjalankan motor
	<i>Stop Inverter</i>	Tombol untuk memberhentikan motor
	<i>Change Direction</i>	Tombol untuk mengubah arah putaran motor
	<i>Function</i>	Tombol untuk menampilkan informasi tambahan.

Tombol	Fungsi	Keterangan
(jog)	Jog Motor	Tombol untuk menjalankan motor sesuai <i>jogging present</i> . Motor berputar selama tombol ditahan
(P)	Access Parameter	Tombol untuk mengakses parameter sesuai level akses pengguna
(▲)	Increase Value	Tombol untuk menaikkan nilai yang ditampilkan
(▼)	Decrease Value	Tombol untuk menurunkan nilai yang ditampilkan

Sebelum digunakan, *inverter* harus dikonfigurasi terlebih dahulu, yaitu dengan cara *Quick commissioning*. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara memasukkan setiap parameter-parameter yang terdapat pada motor pada *inverter*. Langkah dan cara mengakses nilai parameter yang dibutuhkan sebagai berikut:

1. Tekan tombol (P) untuk mengakses parameter.
2. Tekan tombol (▲) sampai menunjukkan parameter yang akan diakses. Misal: P0010.
3. Tekan (P) untuk mengakses parameter, kemudian (▲) tekan atau (▼) untuk memilih nilai.
4. Tekan kembali (P) untuk konfirmasi sekaligus menyimpan nilai yang di-setting.
5. Setting nilai parameter berikutnya dengan cara yang sama.

Setelah men-set nilai parameter P0010 di *inverter*, selanjutnya yaitu memasukan nilai parameter-parameter spesifikasi yang sesuai dengan *name plate* pada motor seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan setting parameter lain seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.



Alliance – Italy		IEC 34 CE	
TYPE AY 638-4		No. 02030688	
0,18 KW	0,25 HP	1,07	/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

P0307    P0304    P0311    P0310    P0305

Gambar 3.6 Parameter *Quick Comissioning* Pada Name Plate Motor

**Tabel 3.2** Daftar Parameter *Quick Comissioning*

Parameter	Opsi	Nilai yang dipilih
P0003 ( <i>Level</i> akses pengguna)	1 = Standart 2 = Extended 3 = Expert	1
P0010 (Memulai Comissioning)	0 = Ready 1 = Quick Comissioning 30 = Factory Setting	1
P0100 (Frekuensi Supply)	0 = [kW]; 50 Hz 1 = [HP]; 60 Hz 2 = [kW]; 60 Hz	0
P0700 (Pemilihan Sumber Perintah)	0 = Factory default setting 1 = BOP keypad 2 = Terminal 4 = USS BOP link 5 = USS COM link	1
P1000 (Pemilihan Setpoint Frekuensi)	1 = MOP Setpoint 2 = Analog Setpoint 3 = Fixed Frequency	2
P1080 (Frekuensi Minimum Motor yang diinginkan)	0 – 650 Hz	0 (saturasi)
P1082 (Frekuensi Maksimum Motor yang diinginkan)	0 – 650 Hz	50 (saturasi)
P1120 ( <i>Ramp-up Time</i> )	0,00 – 650,00 detik	4
P1121 ( <i>Ramp-down Time</i> )	0,00 – 650,00 detik	4
P3900 ( <i>End of Quick Comissioning</i> )	0 = No Quick Comissioning 1 = End Quick Comissioning with factory reset 2 = End Quick Comissioning with I/O factory reset 3 = End Quick Comissioning without factory reset	1

### 3.2.5 Sensor Rotary Encoder

Sensor kecepatan yang digunakan dalam prmbuatan Tugas Akhir ini adalah *sensor Rotary Encoder* salah satu dari produk Autonics dengan type E30S4-100-3-N-5. Spesifikasi tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 3.7.

<b>E30S</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>N</b>	<b>5</b>
Diameter 30mm, <i>Shaft</i> type	Diameter <i>shaft</i> 4mm	Pulsa per rotasi (ppr)	<i>Output</i> fasa A, B, Z	<i>Output</i> NPN <i>open</i> <i>collector</i>	Tegangan <i>supply</i>

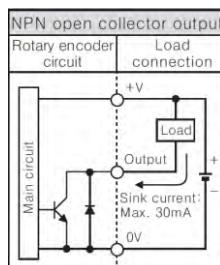
**Gambar 3.7 Spesifikasi Sensor Rotary Encoder**

Spesifikasi yang digunakan pada Tugas Akhir ini berjenis *incremental encoder* dengan tipe E30S-4-100-3-N-5 ini berarti *encoder* memiliki dimensi 30mm dengan *shaft* sebagai porosnya, memiliki *shaft* dengan diameter 4mm, pulsa per rotasi yang dibangkitkan sebanyak 100 pulsa, dengan 3 *channel* output yaitu *channel A*, *channel B*, dan *channel Z*, konfigurasi *output* berupa NPN *open collector* sehingga perlu dipasang resistor *pull-up* agar sinyal dapat terbangkit, dan *supply* tegangan sebesar 5VDC dengan toleransi  $\pm 5\%$ .

Pada Tugas Akhir ini *rotary encoder* yang digunakan hanya satu *channel* saja, yaitu *channel A* untuk dihubungkan ke terminal EXT\_IN pada DAQ. Konfigurasi dari *sensor rotary encoder* dapat dilihat pada Gambar 3.8. Sedangkan pengkabelan *sensor rotary encoder* ke DAQ dapat dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.8 Konfigurasi Sensor Rotary Encoder**

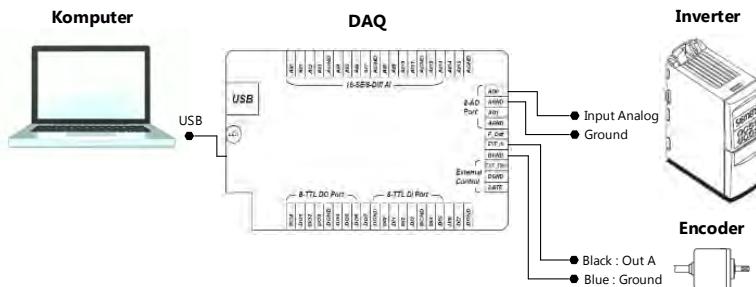


**Gambar 3.9 Pengkabelan Sensor Rotary Encoder**

Dari Gambar 3.9 dapat diketahui bahwa *rotary encoder* yang digunakan harus diberi *power supply* dari luar sebesar 5VDC, kemudian agar menghasilkan pulsa, maka perlu dipasang resistor *pull-up* sebesar 1K $\Omega$  dari *channel A* ke VCC, sehingga *channel A* dapat menghasilkan pulsa yang dapat dibaca oleh DAQ.

### 3.2.6 Konfigurasi DAQ

Modul *Data Acquisition* (DAQ) yang dipakai adalah salah satu produk dari *Advantech* dengan type *Portable DAQ* USB-4716 yang memiliki 16 *channel Input Analog*, 2 *channel Output Analog*, 8 *channel I/O digital*, serta 1 frekuensi *counter* dan PWM. Pada tugas akhir ini modul DAQ digunakan untuk membaca sinyal pulsa dari *encoder* yang masuk melalui terminal *EXT\_IN* dan *ground*, *analog output* untuk mendrive *Inverter* melalui terminal *AO1* dan *ground*, serta pembacaan *sensor arus* melalui terminal *AI0* dan *ground*. Konfigurasi rancangannya seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Konfigurasi DAQ

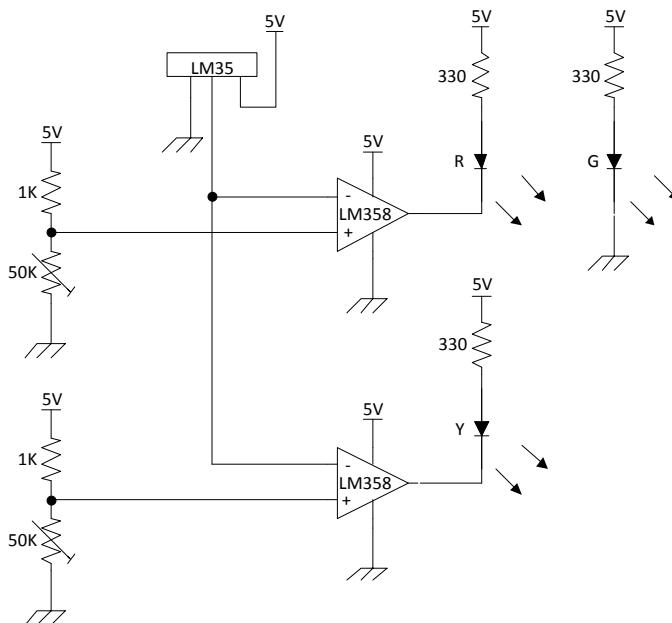
### 3.2.7 Sensor Arus

*Sensor arus* yang dipakai pada Tugas Akhir ini adalah *sensor arus* dengan type ACS712 dengan kemampuan maksimum 5Amp. *Sensor arus* digunakan untuk mengkonversi arus yang mengalir ke rem magnetik dan dikonversi ke tegangan untuk diolah ke DAQ.

### 3.2.8 Sensor Temperatur

Untuk mengetahui kondisi rem magnet dalam keadaan panas atau tidak, maka perlu diasangkan *sensor* temperatur agar kondisi rem dapat terpantau sehingga tidak terjadi *overheat* yang menyebabkan rem kehilangan daya cengkramnya karena medan magnet yang dihasilkan berkurang akibat pans.

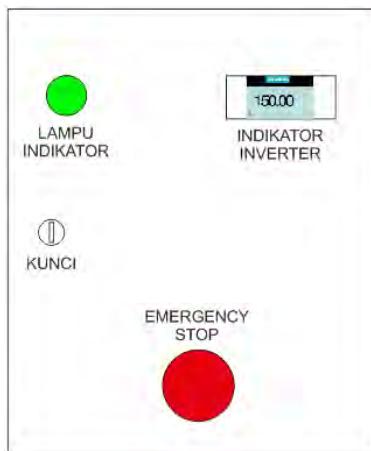
Pada Tugas Akhir ini digunakan *sensor* temperatur LM35 yang dipasang di bagian kiri dan kanan piringan rem magnetik. Terdapat tiga warna indikator yang mengindikasikan *level* panas dari piringan magnet tersebut. Warna hijau menandakan panas antara *range*  $0^{\circ}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ , warna kuning menandakan panas antara *range*  $40^{\circ}$  sampai  $60^{\circ}\text{C}$ , warna merah menandakan panas telah melebihi batas  $60^{\circ}\text{C}$  dan juga mengindikasikan untuk segera menghentikan penggeraman karena pada kondisi ini rem magnet sudah tidak bekerja secara *optimal*. Berikut skema rancangan dari *sensor* temperatur pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skema Perancangan *Sensor* Tempertatur

### 3.2.9 Panel Kontrol

Panel kontrol berfungsi sebagai tempat komponen-komponen yang digunakan untuk men-drive motor induksi tiga fasa agar dapat dikontrol. Pada panel kontrol terdapat *inverter*, *power supply* ( $\pm 12\text{VDC}$  dan  $+5\text{VDC}$ ), DAQ, *pilot lamp*, MCB, tombol *emergency*, dan beberapa *port* untuk I/O dan USB *port*. Berikut merupakan rancangan panel kontrol seperti pada Gambar 3.12.



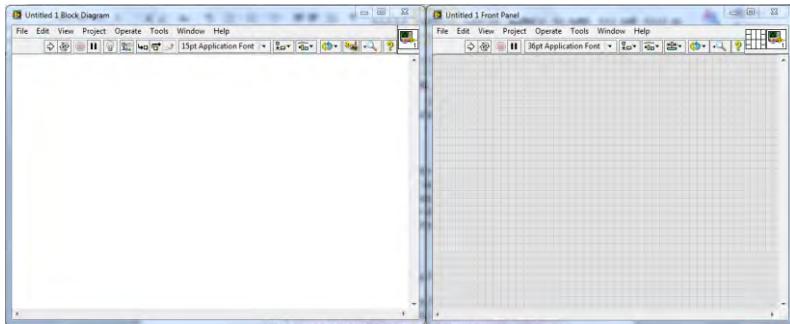
Gambar 3.12 Perancangan Panel Kontrol

### 3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak ini akan dibahas mengenai pemrograman Labview 2013 sebagai kontroler dan tampilan HMI sebagai *interface*-nya alat dengan operator.

Untuk membuat program pada Labview 2013 sebagai kontroler *Hybrid Fuzzy PID* serta sebagai HMI untuk mengontrol kecepatan motor induksi tiga fasa berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Membuka *pallet* baru di labview dengan cara mengklik *Blank VI*, maka akan muncul *pallet* serta blok diagram seperti pada Gambar 3.13



Gambar 3.13 Blok Diagram dan Pallet Labview

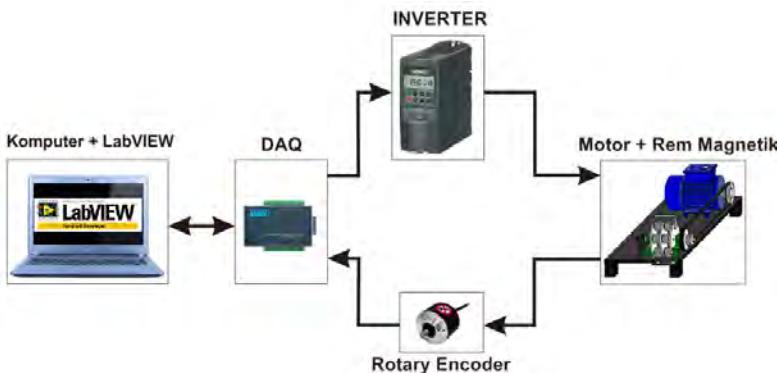
2. Buat *while loop* untuk mengeksekusi komponen-komponen yang berada di dalam *loop* sehingga program dapat terus-menerus dieksekusi. Kemudian desain *input* dan *output* dari DAQ sebagai sarana komunikasi labview dengan DAQ menggunakan DAQ Navi Assistant, kemudian akan muncul window baru DAQ Navi Assistant Advantech, kemudian pertama pilih sebagai *output analog* untuk sinyal kontrol, pilih *Static AO*, selanjutnya pilih *Device USB-4716*, kemudian pilih *range* tegangan untuk semua *channel* 0~10Volt, kemudian *next* untuk pilih *scan channel*, *next* kembali untuk melihat *preview* settingan yang dipilih, kemudian klik *Finish*. Untuk DAQ Navi Assistant kedua pilih sebagai *Frequency Counter* yaitu dengan menset sebagai *Counter*, kemudian pilih *Frequency measurement* untuk sinyal *feedback* dari *sensor rotary encoder*, selanjutnya klik *next* untuk melihat *channel* dan *period*, pilih *channel* 0, kemudian klik *Next* untuk melihat *Overview* dari hasil *setting*, kemudian klik *Finish*. Gambar hasil *setting-an input* dan *output* DAQ seperti terlihat pada Gambar 3.14



**Gambar 3.14 Setting Input dan Output DAQ**

### 3.4 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem merupakan proses yang penting dalam siklus perancangan sistem pengaturan. Hal tersebut diperlukan untuk mendapatkan model matematika dari sistem. Proses identifikasi sistem adalah identifikasi dinamis yang dilakukan secara *open loop* dengan memberikan sinyal uji PRBS dengan *setpoint* antara 6-7Volt dari Labview. Konfigurasi identifikasi *plant* motor dengan beban rem magnetik dapat dilihat pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15 Konfigurasi Identifikasi *Plant***

Pengambilan data dilakukan lima kali pada kondisi yang sama dengan tujuan untuk mendapatkan model matematika plant yang mendekati plant, pengambilan data menggunakan *software* Labview dan pengambilan data dilakukan setiap 0,06 detik yang disimpan di dalam *.txt file* untuk kemudian diolah.

Identifikasi dinamis menggunakan sinyal *pseudo random binary sequence* (PRBS) yang dibangkitkan dari Labview sebagai sinyal inputnya, sinyal *input* dan *output* yang dihasilkan disimpan kedalam *.txt file* untuk selanjutnya diolah menggunakan *toolbox identification software* dari Matlab. Sinyal *input* dan *output* kemudian diolah ke dalam *workspace* Matlab dan dibentuk ke *Process Models* (PM) pada *toolbox*. Setelah didapatkan model matematika dari *plant*, selanjutnya melakukan validasi kesalahan dengan *integral square error* (ISE) tujuan dilakukan validasi agar model matematika plant hasil identifikasi yang didapatkan mendekati dengan model plant aslinya. Berikut adalah hasil pemodelan dengan pengujian lima kali pengambilan data pada Tabel 3.3

**Tabel 3.3** Validasi Model

Data ke-	Model matematika	ISE
1	$\frac{-1,776e^{-15}S + 66,54}{S^2 + 15,28S + 58,35}$	1681
2	$\frac{5,711}{S^2 + 4,484S + 5,026}$	12400
3	$\frac{-1,776e^{-15}S + 56,24}{S^2 + 14,02S + 49,14}$	1354
4	$\frac{-1,776e^{-15}S + 5,72}{S^2 + 4,469S + 4,994}$	15270
5	$\frac{-3,553e^{-15}S + 62,07}{S^2 + 14,71S + 54,1}$	1824

Dari hasil perbandingan validasi model pada Tabel 3.3 didapatkan model yang ke-3 dengan nilai ISE terkecil. Sehingga model yang digunakan untuk perancangan kontroler dapat dilihat pada Persamaan 3.1.

$$G(s) = \frac{-1,776e^{-15}S + 56,24}{S^2 + 14,02S + 49,14} \quad (3.1)$$

Model matematika yang didapat merupakan model orde II, namun terdapat konstanta di numerator yang bernilai sangat kecil sekali sehingga nilai konstanta tersebut dapat diabaikan, sehingga persamaannya menjadi:

$$G(s) = \frac{56,24}{S^2 + 14,02S + 49,14} \quad (3.2)$$

### 3.5 Perancangan Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

Perancangan Kontroler *Hybrid Fuzzy PID* adalah penggabungan antara kontroler PID dengan kontroler *Fuzzy*. Metode *Hybrid* ini memanfaatkan kelebihan masing-masing dari kontroler untuk saling menutupi dari kelemahan masing-masing kontroler *Fuzzy* dan PID.

#### 3.5.1 Kontroler PID

Parameter dari model matematika Persamaan 3.2 dapat dilihat pada Tabel 3.4:

**Tabel 3.4** Parameter-Parameter *Plant*

Parameter	Nilai
K	1,14449
$\omega_n$	7,00999
$\zeta$	0,99928

Pada Tugas Akhir ini ditentukan spesifikasi performansi respon sistem setelah ditambah dengan kontroler PID, yaitu  $t_s (\pm 5\%)$  sekitar 1 detik dan  $e_{ss} = 0$  (*zero offset*). Dengan menggunakan metode analitik untuk menentukan parameter-parameter PID, sehingga didapatkan hasil parameter kontroler PID dapat dilihat pada Tabel 3.5.

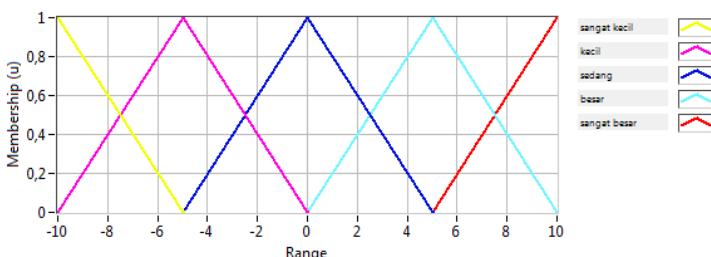
**Tabel 3.5 Parameter-Parameter Kontroler PID**

Parameter	Nilai
$K_p$	0,74732
$\tau_i$ (detik)	0,28531
$\tau_d$ (detik)	0,07137
$K_i$	2,61932
$K_d$	0,05333

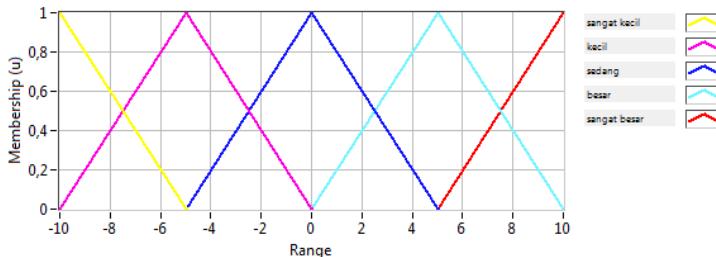
Hasil perhitungan parameter kontroler tersebut selanjutnya digunakan untuk simulasi dan implementasi dari kontroler.

### 3.5.2 Kontroler *Fuzzy*

Diagram blok kontrol *Fuzzy* yang digunakan pada Tugas Akhir ini seperti pada Gambar 2.14 di Bab sebelumnya. Proses perancangan kontroler *Fuzzy* ini pertama Fuzzifikasi dengan lima himpunan keanggotaan, sinyal yang difuzzifikasi adalah sinyal *error* dan *delta error*. Kemudian *Rule base* yang digunakan yaitu mengikuti aturan *Mack Vicar Whelan*. Selanjutnya defuzzifikasi menggunakan *Center Of Area* (COA). Semua desain kontroler *Fuzzy* ini di desain di *software* Labview 2013. Pembuatan fuzzyifikasi, *Rule base*, dan defuzzifikasi pertama-tama dengan mengklik *Tools* pada *toolbar*, kemudian pilih *Control Design and Simulations*, kemudian pilih *Fuzzy System Designer*. Desain kontroler *Fuzzy* pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.16 sampai dengan Gambar 3.20.



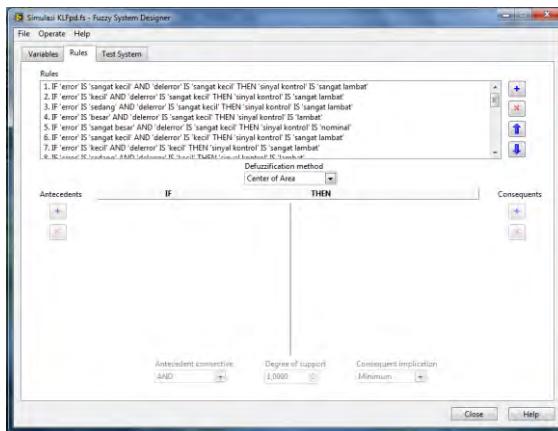
**Gambar 3.16** Fuzzyifikasi Sinyal *Error*



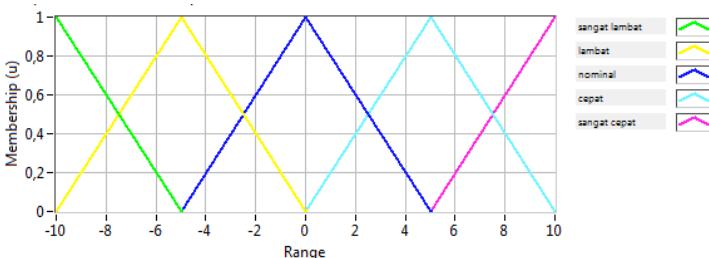
Gambar 3.17 Fuzzyifikasi Sinyal *Delta Error*

Tabel 3.6 Rule Base Aturan Mack Vicar Whelan

$\Delta error \setminus error$	SK	K	S	B	SB
<b>SK</b>	SL	SL	SL	L	N
<b>K</b>	SL	SL	L	N	C
<b>S</b>	SL	L	N	C	SC
<b>B</b>	L	N	C	SC	SC
<b>SB</b>	N	C	SC	SC	SC



Gambar 3.18 Metode Defuzzifikasi

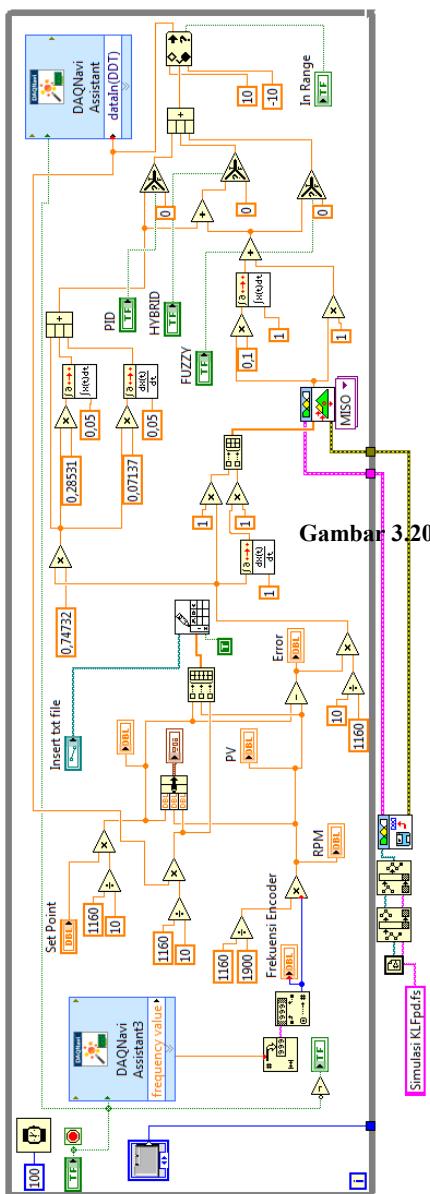


**Gambar 3.19** Fuzzyifikasi Sinyal Kontrol

Parameter parameter *gain* dari kontroler *Fuzzy* didapatkan dengan *tunning* memasukan angka sampai didapat sinyal kontrol yang bagus. Dari hasil *tunning* didapat nilai  $K_e = 1$   $K_{\dot{e}} = 1$   $\alpha = 10$  dan  $\beta = 0,1$ .

### 3.5.3 Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

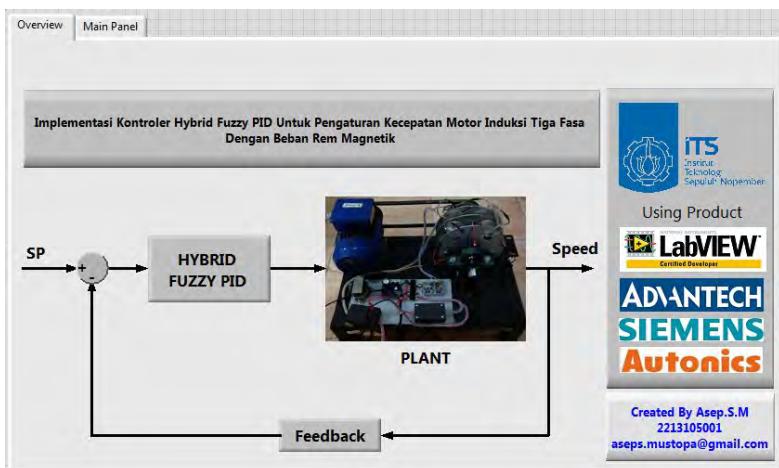
Secara garis besar kontroler *Hybrid Fuzzy PID* adalah gabungan antara kontroler logika *Fuzzy* dengan kontroler PID. Parameter-parameter kontroler *Fuzzy* dan PID menggunakan parameter-parameter yang telah diperhitungkan sebelumnya pada perancangan kontroler *Fuzzy* dan kontroler PID. Berikut adalah desain kontroler *Hybrid Fuzzy PID* yang telah dibuat menggunakan program Labview 2013 pada Gambar 3.21. Untuk gambar blok diagram lebih jelas lagi dilampirkan pada Lampiran 2



Gambar 3.20 Kontroler Hybrid Fuzzy PID

### 3.6 Perancangan HMI

Dalam merancang HMI menggunakan *software* Labview, desain tampilan sudah *include* didalam *software* tersebut. Untuk tampilan HMI digunakan *slider* sehingga memungkinkan operator mengganti kecepatan referensi, kemudian tambahan tampilan kurva untuk memudahkan operator memonitori kecepatan putaran motor, serta tombol *stop* untuk menghentikan proses secara keseluruhan. Indikator-indikator berupa indikator *stop* atau *start*, *in range* sinyal kontrol, dan *hybrid mode*. Untuk desain tampilan *Overview panel* dan HMI bisa terlihat pada Gambar 3.21 dan Gambar 3.22.



Gambar 3.21 Tampilan *Overview Panel*



**Gambar 3.22** Tampilan HMI Dengan Labview 2013

## BAB IV

# PENGUJIAN DAN ANALISA

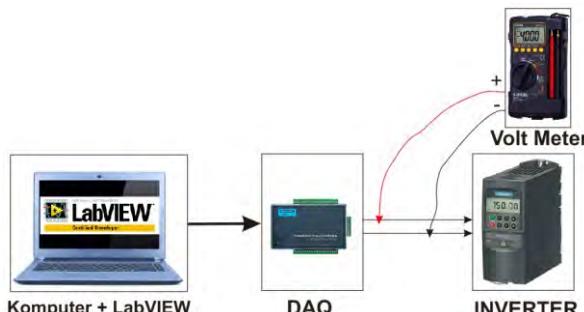
Pada Bab ini dibahas tentang pengujian dan analisa sistem yang telah dibuat. Pengujian dan analisa meliputi pengujian perangkat keras sistem, pengujian sistem tanpa kontroler, pengujian simulasi dan implementasi.

### 4.1 Pengujian Perangkat Keras Sistem

Pengujian perangkat keras bertujuan untuk mengetahui perangkat keras yang dirancang telah berfungsi baik, dan mengetahui performa dari perangkat tersebut. Pengujian tersebut meliputi pengujian *inverter*, Pengujian DAQ, pengujian *sensor rotary encoder* dan kecepatan motor, dan pengujian indikator temperatur.

#### 4.1.1 Pengujian DAQ dan *Inverter*

Pengujian DAQ dan *inverter* dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan analog *output* DAQ yang berasal dari Labview, tegangan keluaran DAQ juga digunakan untuk men-drive *inverter* sehingga tegangan ini dikonversi menjadi perubahan frekuensi dari *inverter*. Besarnya *range* tegangan dari analog *output* DAQ adalah 0-10VDC, sedangkan *range* tegangan sinyal *input* *inverter* adalah 0-10VDC dan *range* frekuensi keluaran *inverter* adalah 0-50Hz. Skema pengujian DAQ dan *Inverter* terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengujian DAQ dan *Inverter*

Hasil pengujian DAQ dan *inverter* tersebut disajikan dalam tabel hasil pengujian pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian DAQ dan *Inverter*

<b>Setpoint Labview</b>	<b>Tegangan AO DAQ (V)</b>	<b>Frekuensi Inverter (Hz)</b>
0	0,000	0,00
1	0,994	4,78
2	1,989	9,78
3	2,984	14,78
4	3,979	19,78
5	4,980	24,78
6	5,980	29,78
7	6,980	34,78
8	7,980	39,78
9	8,980	44,78
10	9,980	49,78

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan *output* dari DAQ mengikuti tegangan *setpoint* dari Labview, tetapi terdapat penurunan tegangan sebesar 0,02 Volt, dan besarnya *drop* frekuensi dari *inverter* sebesar 0,22 Hz pada setiap titik coba. Dari percobaan ini dapat diambil kesimpulan bahwa pengujian ini berhasil dan DAQ serta *inverter* dapat digunakan untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa.

#### 4.1.2 Pengujian *Encoder* dan Kecepatan Motor

Pengujian *encoder* dengan kecepatan motor adalah untuk mengetahui nilai frekuensi keluaran dari *encoder* dengan hasil pengukuran kecepatan motor menggunakan *tacho* meter, sehingga dapat dilakukan kalibrasi yang menghasilkan persamaan konversi dari frekuensi ke kecepatan (rpm). Berikut adalah konfigurasi pengujian *encoder* dan kecepatan motor pada Gambar 4.2, sedangkan data hasil pengujianya ditampilkan pada Tabel 4.2.

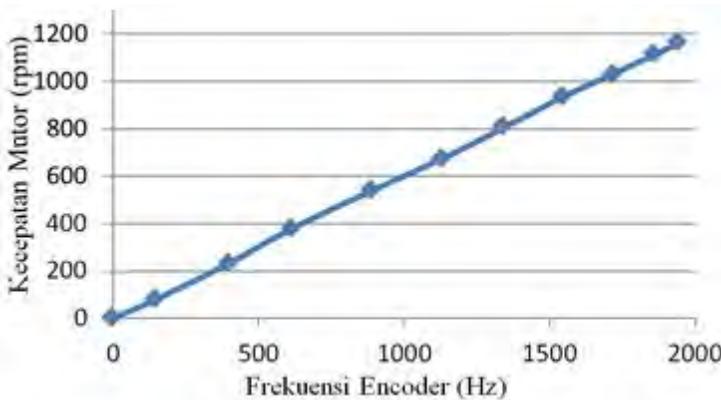


**Gambar 4.2** Konfigurasi Pengujian *Encoder* dan Kecepatan Motor

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Kecepatan Motor dan *Encoder*

Tegangan Input (Volt)	Kecepatan Motor (rpm)	Output <i>Encoder</i> (Hz)
0	0	0
1	80	147
2	230	394
3	378	613
4	538	887
5	676	1134
6	807	1346
7	933	1542
8	1030	1715
9	1113	1860
10	1160	1942

Dari Tabel 4.2 didapat kecepatan dan frekuensi *encoder* minimal saat tegangan *input* 0 Volt yaitu 0 rpm dan 0 Hz, kecepatan dan frekuensi maksimal pada saat tegangan input 10 Volt adalah 1160 rpm dan 1942 Hz. Hubungan antara frekuensi *encoder* dengan kecepatan motor digambarkan pada Gambar 4.3.



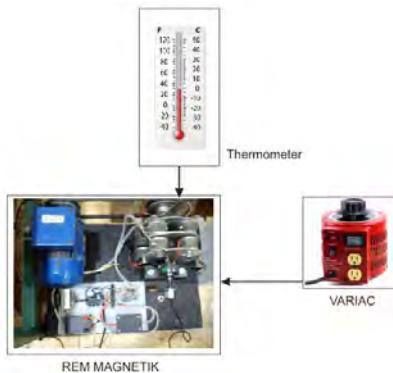
**Gambar 4.3** Hubungan Kecepatan Motor Dengan Frekuensi *Encoder*

Dari Gambar 4.3 dapat dibuat persamaan kecepatan motor terhadap perubahan frekuensi *encoder* pada persamaan 4.1.

$$Kec = \frac{1160}{1942} \text{ Frekuensi} \quad (4.1)$$

#### 4.1.3 Pengujian Indikator Temperatur

Pengujian indikator temperatur dilakukan untuk menguji nyala lampu indikator pada saat batasan-batasan temperatur yang diinginkan. Pertama-tama rem magnetik dialiri tegangan 220VDC dengan tegangan maksimal dan waktu yang lama, rem magnetik akan mengalami pemanasan sehingga temperaturnya naik. Pengukuran dibandingkan dengan *thermometer celcius* sehingga diketahui pada temperatur berapa derajat celcius LED menyala. Berikut cara pengukuran temperatur pada rem magnetik digambarkan pada Gambar 4.4, sedangkan data hasil pengujinya dituliskan dalam Tabel 4.3.



**Gambar 4.4** Pengukuran Temperatur Pada Rem Magnetik

**Tabel 4.3** Hasil Pengukuran Temperatur Pada Rem Magnetik

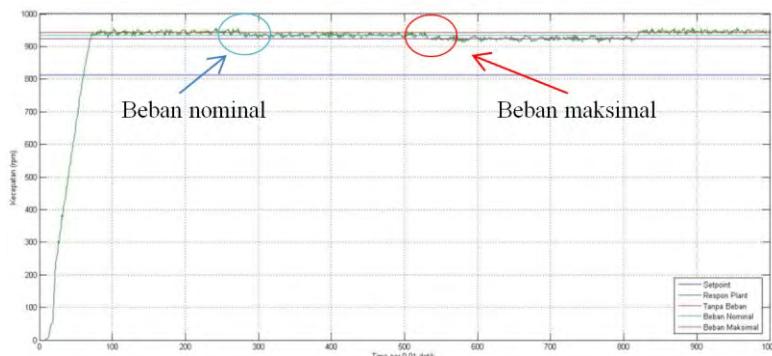
Temperatur (°C)	Indikator					
	Hijau		Kuning		Merah	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
20	Nyala	Nyala	Mati	Mati	Mati	Mati
25	Nyala	Nyala	Mati	Mati	Mati	Mati
30	Nyala	Nyala	Mati	Mati	Mati	Mati
35	Nyala	Nyala	Mati	Mati	Mati	Mati
40	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala	Mati	Mati
45	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala	Mati	Mati
50	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala	Mati	Mati
55	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala	Mati	Mati
60	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala	Nyala

Dari data pada Tabel 4.3 didapatkan hasil pengujian *sensor* temperatur, penunjukan temperatur telah sesuai dengan yang diharapkan. Dimana LED hijau akan menyala sebagai indikator, LED kuning menyala pada temperatur 40°C, dan LED merah menyala pada temperatur 60°C.

#### 4.1.4 Pengujian Rem Magnetik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penurunan kecepatan yang disebabkan rem magnetik. Pembebatan dibagi menjadi

tiga bagian, yaitu tanpa beban, beban nominal, dan beban maksimal. Besarnya beban diatur dengan pemberian tegangan dari variac ke rem magnetik. Untuk beban maksimal tegangan variac adalah 220 Volt, beban nominal tegangan variac adalah 140 Volt, sedangkan tanpa beban tegangan variac adalah 0 Volt. Gambar 4.5 menunjukan grafik penurunan kecepatan dari motor induksi tiga fasa.



**Gambar 4.5** Penurunan Kecepatan Motor

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan data hasil penurunan kecepatan motor induksi tiga fasa yang dijelaskan pada Tabel 4.4.

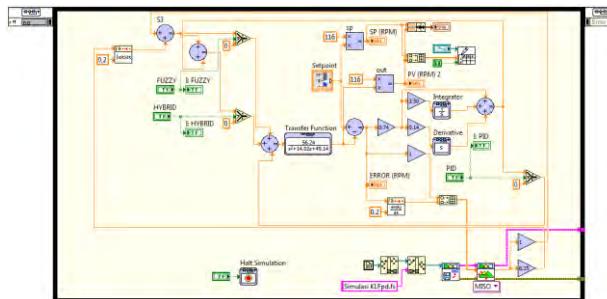
**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Rem Magnetik

Beban	Kecepatan (rpm)
Setpoint	812
Tanpa beban	944
Beban nominal	936
Beban maksimal	924

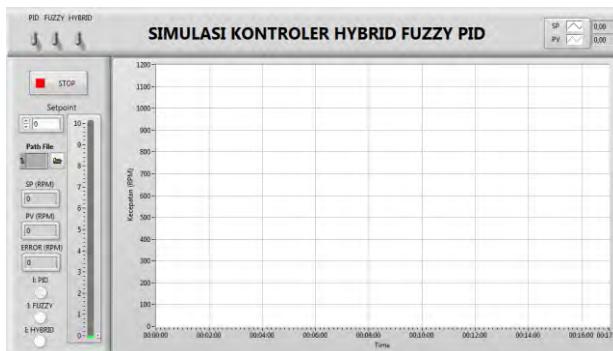
Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa kecepatan tanpa beban sebesar 944 rpm, sedangkan kecepatan setelah diberikan beban nominal adalah 936 rpm sehingga didapat penurunan kecepatan sebesar 8 rpm, dan saat kecepatan pada beban maksimal adalah 924 rpm sehingga didapat penurunan kecepatan pada saat beban maksimum adalah 20 rpm.

## 4.2 Pengujian Simulasi Kontroler

Sebelum melakukan implementasi dari perancangan kontroler, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menguji kontroler dengan nilai-nilai parameter yang telah didapat pada saat perancangan kontroler. Tujuannya dilakukan simulasi ini untuk menghindari terjadinya kesalahan yang mengakibatkan kerusakan pada *plant*. Simulasi kontroler ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu simulasi kontroler PID, simulasi kontroler fuzzy, dan simulasi kontroler *Hybrid Fuzzy PID*. Simulasi ini menggunakan *software* Labview dengan *Toolbox Control and Simulation*. Berikut adalah desain simulasi kontroler dengan Labview pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Untuk lebih jelasnya blok diagram simulasi dilampirkan pada Lampiran 2



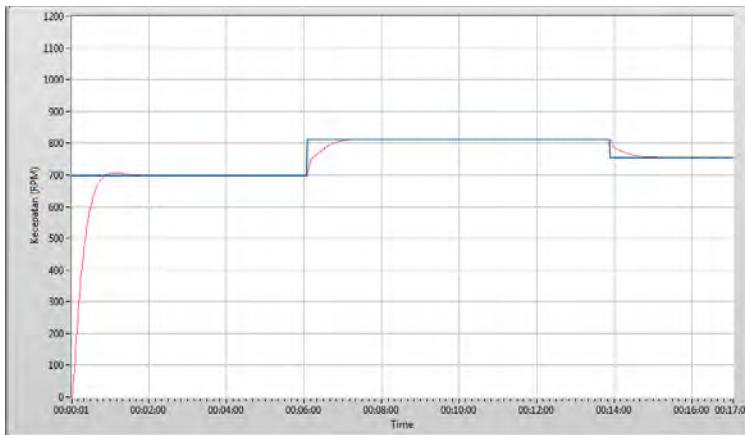
Gambar 4.6 Blok Diagram Simulasi Kontroler



Gambar 4.7 Blok Diagram *Front Panel* Simulasi Kontroler

#### 4.2.1 Pengujian Simulasi Kontroler PID

Untuk membuat simulasi kontroler PID harus ditentukan dahulu parameter-parameter *plant* dan parameter-parameter kontroler PID yang telah dirancang pada Bab tiga. Berikut adalah simulasi kontroler PID pada Gambar 4.8 dan hasil analisisnya pada Tabel 4.5.



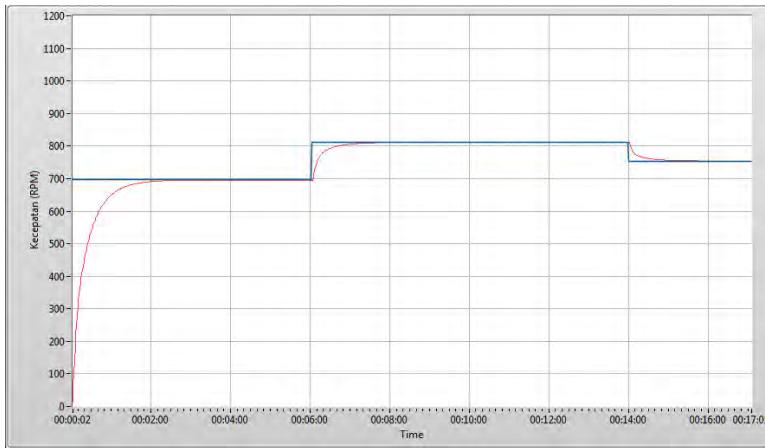
Gambar 4.8 Simulasi Kontroler PID

Tabel 4.5 Hasil Analisis Simulasi Kontroler PID

Parameter	Nilai
$t_s 5\%$	1 detik
$t_d$	0,16 detik
$t_r$	0,78 detik
%error	0 %

#### 4.2.2 Pengujian Simulasi Kontroler Fuzzy

Untuk membuat simulasi kontroler *fuzzy* harus ditentukan dahulu parameter-parameter *fuzzy* yang akan digunakan seperti *membership function input error*, *delta error* dan *output fuzzy*, *rule base* yang diinginkan serta metode defuzzifikasi, dan parameter-parameter *gain PD* dan *gain PI* yang telah dirancang pada Bab tiga. Berikut adalah simulasi kontroler *fuzzy* pada Gambar 4.9 dan hasil analisisnya pada Tabel 4.6.



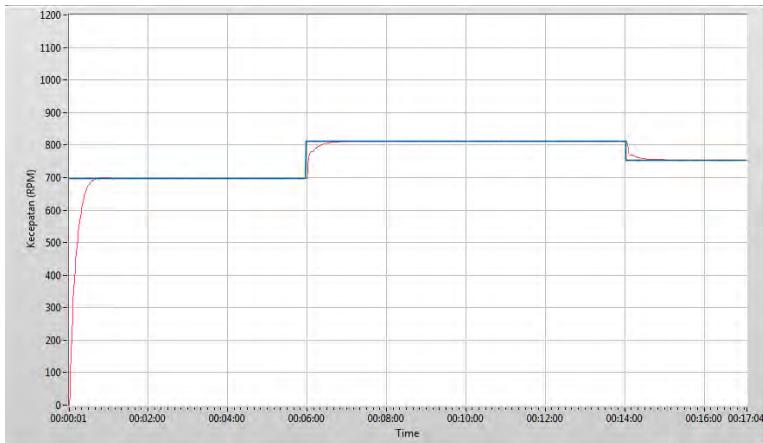
**Gambar 4.9** Simulasi Kontroler *Fuzzy*

**Tabel 4.6** Hasil Analisis Simulasi Kontroler *Fuzzy*

Parameter	Nilai
$t_{s\ 5\%}$	1,17 detik
$t_d$	0,136 detik
$t_r$	0,758 detik
%error	0,025 %

#### 4.2.3 Pengujian Simulasi Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

Desain simulasi kontroler *Hybrid Fuzzy PID* adalah gabungan antara kontroler PID dan kontroler *Fuzzy*. Parameter-parameter yang digunakan merupakan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya pada saat desain kontroler *fuzzy* dan PID. Berikut adalah simulasi kontroler *Hybrid Fuzzy PID* pada Gambar 4.10 dan hasil analisisnya pada Tabel 4.7.



**Gambar 4.10** Simulasi Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

**Tabel 4.7** Hasil Analisis Simulasi Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

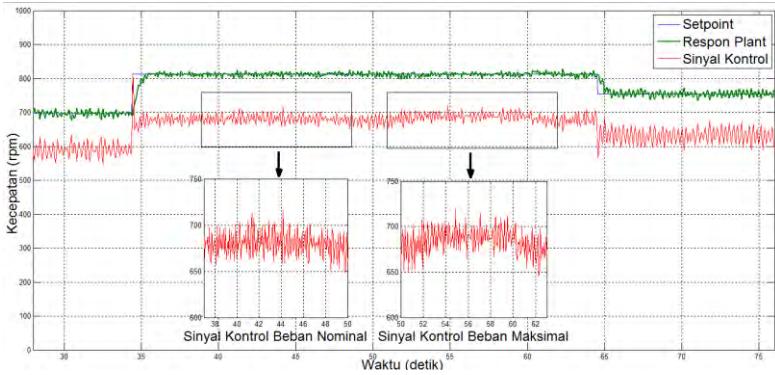
Parameter	Nilai
$t_s$ 5%	0,62 detik
$t_d$	0,052 detik
$t_r$	0,43 detik
%error	0,012 %

### 4.3 Pengujian Implementasi Kontroler

Implementasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Labview. Interface perangkat keras dan perangkat lunak menggunakan modul Advantech USB-4716. Implementasi bertujuan untuk mengetahui performansi sistem pada *plant* yang sebenarnya dengan penerapan kontroler *Hybrid fuzzy PID*.

#### 4.3.1 Pengujian Implementasi Kontroler PID

Pengujian kontroler PID bertujuan untuk mengetahui respon *plant* bila hanya menggunakan kontroler PID saja. Hasil pengujian respon kontroler PID terlihat pada Gambar 4.11, dan hasil analisis respon kontroler PID terdapat pada Tabel 4.8.



**Gambar 4.11** Respon Implementasi Kontroler PID

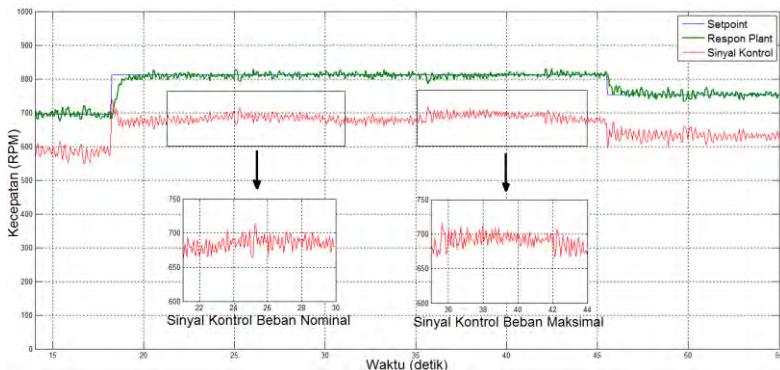
Ketika diberikan beban nominal dan maksimal, terjadi perubahan sinyal kontrol seperti di dalam kotak pada Gambar 4.11. Sinyal kontrol menjadi tambah besar ketika terjadi perubahan beban.

**Tabel 4.8** Analisis Respon Kontroler PID

Parameter	Nilai
$t_s 5\%$	0,906 detik
$t_d$	0,36 detik
$t_r$	0,68 detik
%error	0,003 %

#### 4.3.2 Pengujian Implementasi Kontroler *Fuzzy*

Pengujian kontroler *fuzzy* bertujuan untuk mengetahui respon *plant* bila hanya menggunakan kontroler *fuzzy* saja. Hasil pengujian respon kontroler *fuzzy* terlihat pada Gambar 4.12, dan hasil analisis respon kontroler *fuzzy* terdapat pada Tabel 4.9.



**Gambar 4.12** Respon Implementasi Kontroler *Fuzzy*

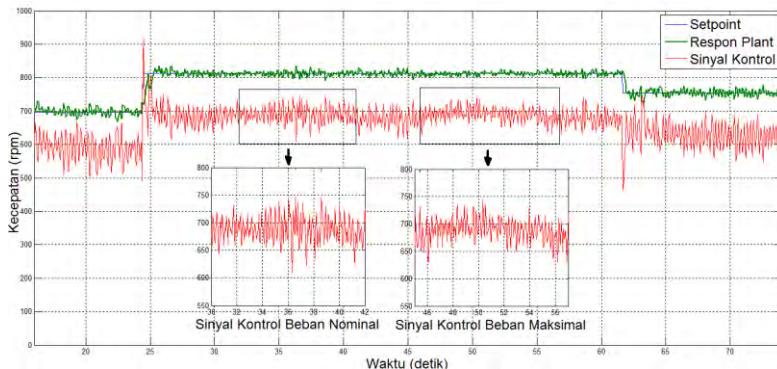
Ketika diberikan beban nominal dan maksimal, terjadi perubahan sinyal kontrol seperti di dalam kotak pada Gambar 4.12. Sinyal kontrol menjadi tambah besar ketika terjadi perubahan beban.

**Tabel 4.9** Analisis Respon Kontroler *Fuzzy*

Parameter	Nilai
$t_s$ 5%	1,73 detik
$t_d$	0,35 detik
$t_r$	0,57 detik
%error	0,057 %

#### 4.3.3 Pengujian Implementasi Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

Pengujian kontroler *Hybrid Fuzzy PID* bertujuan untuk mengetahui respon *plant* bila menggunakan gabungan kontroler *fuzzy* dan PID. Hasil pengujian respon kontroler *Hybrid Fuzzy PID* terlihat pada Gambar 4.13, dan hasil analisis respon kontroler *Hybrid Fuzzy PID* terdapat pada Tabel 4.10.



**Gambar 4.13** Respon Implementasi Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

Ketika diberikan beban nominal dan maksimal, terjadi perubahan sinyal kontrol seperti di dalam kotak pada Gambar 4.13. Sinyal kontrol menjadi tambah besar ketika terjadi perubahan beban.

**Tabel 4.10** Analisis Respon Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

Parameter	Nilai
$t_s 5\%$	0,624 detik
$t_d$	0,32 detik
$t_r$	0,36 detik
%error	0,016 %

#### 4.4 Analisa

Dari hasil pengujian masing-masing implementasi kontroler dapat dianalisa respon transiennya pada masing-masing kontroler sehingga dapat dibandingkan kontroler mana yang memiliki hasil respon cepat dan *error steady state* yang kecil. Data hasil pengujian didapatkan kontroler PID memiliki *error steady state* yang terkecil, namun *settling time* yang menengah diantara *fuzzy* dan *hybrid*, dengan *time delay* dan *rise time* yang paling besar diantara kontroler lain. sedangkan untuk kontroler *fuzzy* *error steady state* dan *settling time* yang sangat besar, dan *time delay* serta *rise time* menengah diantara semua kontroler. Sedangkan kontroler *hyrid* memiliki *error steady state* yang menengah diantara semua kontroler, tetapi nilai *settling time*, *rime delay*, dan *rise*

*time* paling kecil diantara semua kontroler. Hasil analisa ini dapat ditampilkan pada Tabel 4.11.

Pemberian beban pada *plant*, menyebabkan terjadinya penurunan kecepatan, namun kontroler tetap menjaga kecepatan agar tetap stabil sehingga pada kurva respon kecepatan masing-masing kontroler tidak terlihat penurunan kecepatan, tetapi terlihat pada kurva sinyal kontrol semakin membesar sinyal kontrolnya, ini disebabkan karena kontroler memberikan sinyal lebih besar agar dapat menjaga kecepatan putaran motor tetap konstan dan sama dengan nilai setpoint yang diinginkan. Ketika beban dilepaskan (rem magnetik *off*), maka sinyal kontrol menjadi kecil kembali untuk menjaga kecepatan tetap stabil. Sehingga percobaan ini menunjukkan bahwa kontroler bekerja sebagaimana mestinya untuk mejaga kecepatan putaran motor tetap konstan mengikuti nilai setpoint yang dikehendaki.

**Tabel 4.11** Perbandingan Karakteristik Kontroler

Kontroler	Parameter			
	$t_s$ 5%	$t_d$	$t_r$	% error
PID	0,906 detik	0,36 detik	0,68 detik	0,003%
Fuzzy	1,73 detik	0,35 detik	0,57 detik	0,057%
Hybrid	0,624 detik	0,32 detik	0,36 detik	0,016%

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa terhadap simulasi maupun implementasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan kontroler *Hybrid Fuzzy PID* dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan kecepatan dari kondisi tanpa beban ke beban nominal sebesar 8 rpm, sedangkan penurunan kecepatan yang diakibatkan perubahan beban dari tanpa beban ke beban maksimal adalah sebesar 20rpm.
2. Respon *plant* dengan menggunakan kontroler *Fuzzy* dapat mengikuti nilai kecepatan dari *setpoint* yang ditentukan dengan % *error* sebesar 0,057%,  $t_s$  5% sebesar 1,73 detik,  $t_r$  0,57 detik, dan  $t_d$  sebesar 0,35 detik.
3. Respon *plant* dengan menggunakan kontroler PID dapat mengikuti nilai kecepatan dari *setpoint* yang ditentukan dengan % *error* sebesar 0,003%,  $t_s$  5% sebesar 0,906 detik,  $t_r$  0,68 detik, dan  $t_d$  sebesar 0,36 detik.
4. Respon *plant* dengan menggunakan kontroler *Hybrid Fuzzy PID* dapat mengikuti nilai kecepatan dari *setpoint* yang ditentukan dengan % *error* sebesar 0,016%,  $t_s$  5% sebesar 0,624 detik,  $t_r$  0,36 detik, dan  $t_d$  sebesar 0,32 detik.
5. Dari hasil pengujian didapat bahwa *error steady state* yang terbesar dimiliki oleh *plant* dengan kontroler *Fuzzy*, sedangkan *error steady state* yang paling rendah dimiliki oleh kontroler PID, dan kontroler *Hybrid Fuzzy PID* memiliki *error steady state* menengah diantara kedua kontroler PID dan *Fuzzy*. *Settling time* yang tercepat dimiliki oleh kontroler *Hybrid Fuzzy PID*, terlama oleh kontroler *Fuzzy* dan menengah dengan kontroler PID, sehingga didapatkan kontroler *Hybrid Fuzzy PID* lebih unggul dari kontroler PID atau *fuzzy* jika dibandingkan dari spesifikasi respon transiennya.

## **5.2 Saran**

Dari hasil perancangan dan implementasi tugas akhir ini masih kurang sempurna sehingga ada beberapa yang harus diperbaiki agar hasil tugas akhir ini medekati sempurna yaitu:

1. Pada bagian rem magnetik perlu diperbaiki sehingga menghasilkan penggeraman yang menghasilkan perubahan kecepatan yang besar.
2. Pembacaan dan perhitungan sensor arus, sehingga dapat digunakan untuk memperhitungkan beban menjadi dalam satuan *Newton meter* (N.m).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijaya Mochtar, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Djambatan, Jakarta, 2001.
- [2] Arwanjer Semit., “Perancangan dan Implementasi Kontroler Linear Quadratic Regulator (LQR) pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa”, *Tugas Akhir Teknik Elektro*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [3] \_\_\_\_\_, ”Sensor Rotary Encoder”. 21 Mei 2015.  
[http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary\\_Encoder](http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder)
- [4] \_\_\_\_\_, ”Getting Started Guide”, Siemens, September, 2000.  
<http://www.siemens.de/micromaster>
- [5] \_\_\_\_\_, ”National Instrument /getting started Labview / National Instrument”, Agustus, 2013
- [6] Artanto Dian, ”Interaksi Arduino dan Labview” Kompas Gramedia, Jakarta, 2012.
- [7] \_\_\_\_\_, ”Industrial Automation / Data Acquisition (DAQ) & Communication / USB Modules / USB-4716” Advantech, Agustus, 2013
- [8] Shatomedia. ”Sensor Suhu LM35” 14 Mei 2015.  
<http://shatomedia.com/2008/12/sensor-suhu-lm35/>
- [9] \_\_\_\_\_, ”Sensor Temperature LM35”. 22 Mei 2015.  
<http://www.rf-microwave.com/en/shop/0/223-precision-crystal-heaters-temperature-sensors.html>
- [10] Ogata, K. *Modern Control Engineering* 3rd ed. Prentice-Hall. USA. 1997.
- [11] Mlynek D.M, Patyra M.J “Fuzzy logic implementation and applications” Wiley, Teubner, 1996.
- [12] Erenoulu Isin, Eksin Ibrahim. “An Intelligent Hybrid Fuzzy PID Controller”, Jurnal Electric Engineering and Control Engineering. Istanbul, Turki.
- [13] Rizki Matra Alfiyan. “Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Fuzzy dengan PLC”, *Tugas Akhir Teknik Elektro*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.
- [14] Bagas Ganjar Nugroho. “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Pengendali Anti-

Windup PID Dengan Prediksi Integral State”, *Tugas Akhir* Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.

## LAMPIRAN 1

### A. Datasheet DAQ ADVANTECH USB 4716

# USB-4716

200 kS/s, 16-bit, 16-ch Multifunction  
USB Module



CE FCC

### Introduction

The USB-4700 series consists of true plug & play data acquisition devices. No more opening up your computer chassis to install boards—just plug in the module, then get the data. It's easy and efficient. USB-4716 offers 16 single-ended/8 differential inputs with 16-bit resolution, up to 200 kS/s throughput, 16 digital I/O lines and 1 user counter, add two 16-bit analog outputs. The high performance makes USB-4716 your best choice for test & measurement applications in the production line or in the lab.

Reliable and rugged enough for industrial applications, yet inexpensive enough for home projects, the USB-4716 is the perfect way to add measurement and control capability to any USB capable computer. The USB-4700 series is fully plug & play and easy to use. It obtains all required power from the USB port, so no external power connection is ever required.

### Specifications

#### Analog Input

- **Channels** 16 single-ended/ 8 differential (software programmable)
- **Resolution** 16 bits
- **Max. Sampling Rate** 200 kS/s (for USB 2.0)  
Note: The sampling rate for each channels will be affected by used channel number. For example, if 4 channels are used, the sampling rate is  $200\text{ kS/s} / 4 = 50\text{ kS/s}$  per channel.
- **FIFO Size** 1,024 samples
- **Oversampling Protection** 30 Vp-p
- **Input Impedance** 1 GΩ
- **Sampling Modes** Software, onboard programmable pacer, or external
- **Input Range (V, software programmable) & Absolute Accuracy**

Single Ended	N/A	0 ~ 10	0 ~ 5	0 ~ 2.5	0 ~ 125
Differential	±10	±5	±2.5	±1.25	±0.625
Absolute Accuracy (% of FSR)*	0.05	0.03	0.03	0.05	0.1

\*: ±1 LSB is added as the derivative for absolute accuracy

#### Analog Output

- **Channels** 2
- **Resolution** 16 bits
- **Output Rate** Static update
- **Output Range (V, software programmable)**

Internal Reference	Unipolar	0 ~ 5, 0 ~ 10
	Bipolar	±5, ±10

- **Slew Rate** 0.7 V/μs
- **Driving Capability** 5 mA
- **Output Impedance** 0.1 Ω max.
- **Operation Mode** Single output
- **Accuracy** Relative: ±1 LSB

#### Features

- Supports USB 2.0
- Portable
- Bus-powered
- 16 analog input channels
- 16-bit resolution AI
- Sampling rate up to 200 kS/s
- 8-ch DI/8-ch DO, 2-ch AO and one 32-bit counter
- Detachable screw terminal on modules
- Suitable for DIN-rail mounting
- One lockable USB cable for secure connection included

#### Digital Input

- **Channels** 8
- **Compatibility** 3.3 V/5 V/TTL
- **Input Voltage** Logic 0: 1.0 V max.  
Logic 1: 2.0 V min.

#### Digital Output

- **Channels** 8
- **Compatibility** 3.3 V/TTL
- **Output Voltage** Logic 0: 0.4 V max.  
Logic 1: 2.4 V min.
- **Output Capability** Sink: 6 mA (sink)  
Source: 6 mA (source)

#### Event Counter

- **Channels** 1
- **Compatibility** 3.3V/TTL
- **Max. Input Frequency** 1 kHz

#### General

- **Bus Type** USB 2.0
- **I/O Connector** Onboard screw terminal
- **Dimensions (L x W x H)** 132 x 80 x 32 mm (5.2" x 3.15" x 1.26")
- **Power Consumption** Typical: 5 V @ 350 mA  
Max: 5 V @ 450 mA
- **Operating Temperature** 0 ~ 60°C (32 ~ 158°F) (refer to IEC 68-2-1, 2)
- **Storage Temperature** -20 ~ 70°C (-4 ~ 158°F)
- **Operating Humidity** 5 ~ 85% RH non-condensing (refer to IEC 68-1, -2, -3)
- **Storage Humidity** 5 ~ 95% RH non-condensing (refer to IEC 68-1, -2, -3)

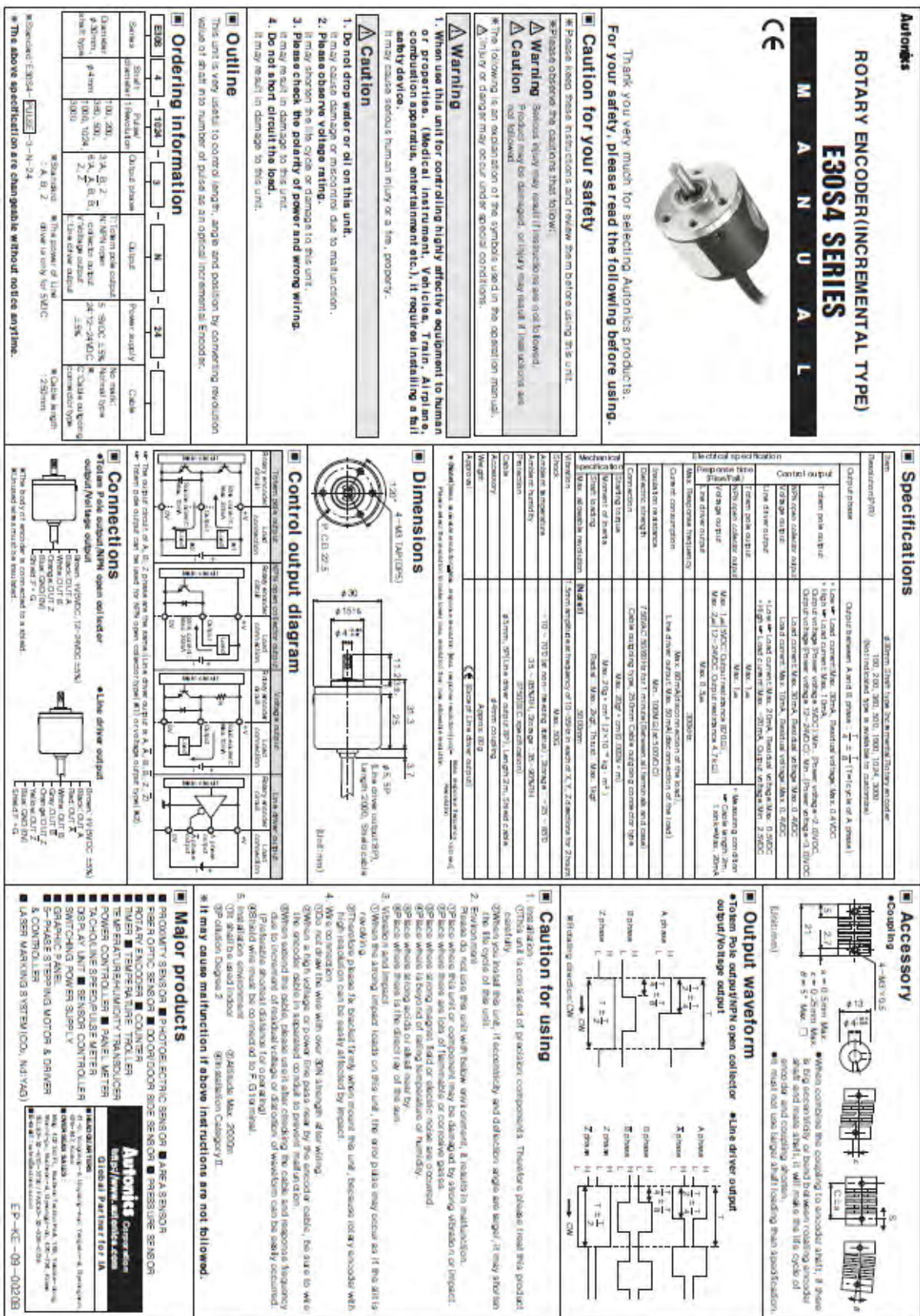
#### Ordering Information

- **USB-4716-AE** 200 kS/s, 16-bit, 16-ch Multi. USB Module

#### Accessories

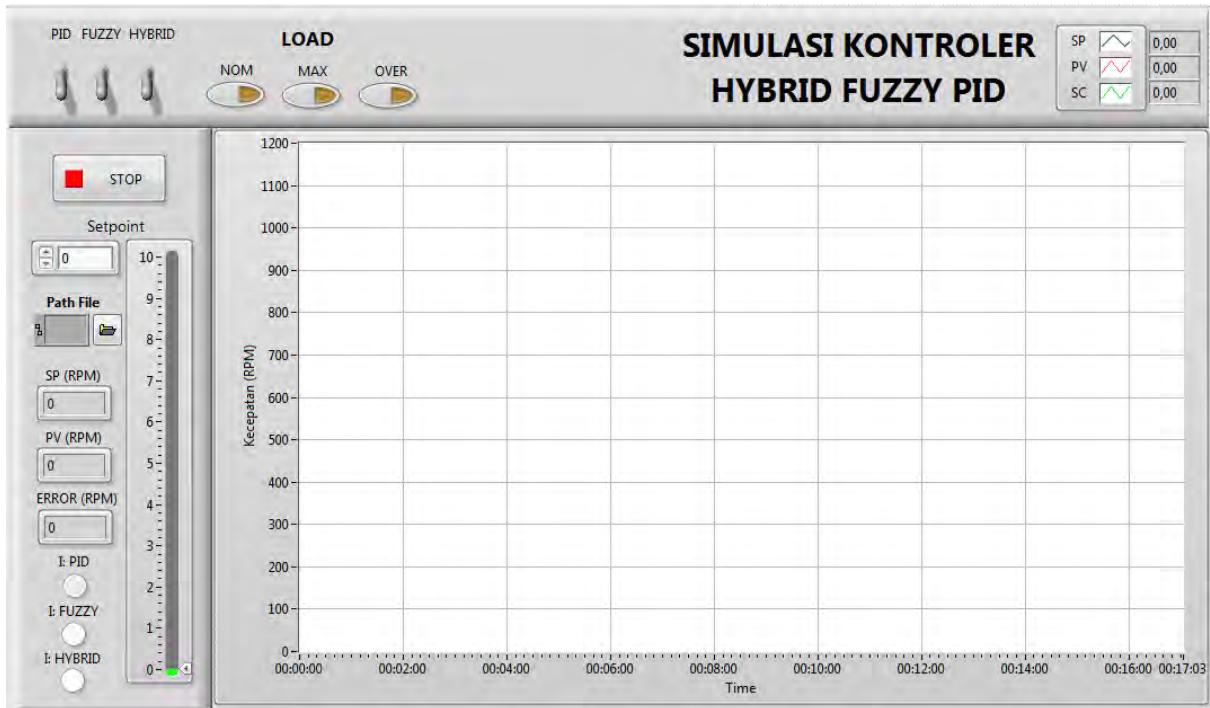
- **1960004544** Wallmount Bracket
- **1960005788** VESA Mount Bracket

B. Rotary Encoder AUTONICS E30S4-100-3-N-5




## LAMPIRAN 2


### A. Tampilan HMI Simulasi




### B. Blok Diagram Simmulasi



### C. Tampilan HMI Implementasi



#### D. Tampilan HMI Blok Diagram



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis, Asep Suryana Mustopa, lahir di Bandung, 21 November 1989. Merupakan anak keempat dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Toto Mustopa dan Ibu Juariah. Bertempat tinggal bersama orang tua di Dusun Banjarsari, RT/RW 02/08, Desa Jayagiri, Kecamatan Panumbangan, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat, Indonesia. Penulis memulai Studinya di TK Bayangkari, SDN Jayagiri III, dilanjutkan di SMP N 1 Panumbangan, dan SMK N 2 Tasikmalaya jurusan teknik listrik.

Kemudian pada tahun 2009 melanjutkan pendidikan tinggi di Diploma III Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung. Setelah lulus, pada tahun 2013 melanjutkan pendidikan jenjang Sarjana sebagai mahasiswa Lintas Jalur S1 Teknik Elektro ITS Surabaya, berkonsentrasi pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan.

*E-mail: [aseps.mustopa@yahoo.com](mailto:aseps.mustopa@yahoo.com) atau [aseps.mustopa@gmail.com](mailto:aseps.mustopa@gmail.com)*