

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN ALAT PENGONTROLAN  
FREKUENSI DALAM PENGATURAN KECEPATAN  
MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN  
KONTROL PID**



Oleh :

**Doni Suhendra  
G1D006032**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BENGKULU  
2014**

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN ALAT PENGONTROLAN  
FREKUENSI DALAM PENGATURAN KECEPATAN  
MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN  
KONTROL PID**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan  
Pendidikan Tingkat Sarjana (S1)**



**Oleh :**

**Doni Suhendra  
G1D006032**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BENGKULU  
2014**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **PERANCANGAN ALAT PENGONTROLAN FREKUENSI DALAM PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGUNAKAN KONTROL PID**

Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan hasil duplikasi dari skripsi dan/atau karya ilmiah lainnya yang pernah dipublikasikan dan/atau pernah dipergunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bengkulu, Juli 2014



Doni Suhendra

G1D006032

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### **MOTTO**

- ✓ Harapan itu pegangan saat kita terjatuh, pijakan untuk bangkit, dan awal dari sebuah do'a. . . (Fitri Tropika)
- ✓ Yang terbaik adalah percaya dan berlindung hanya pada Allah SWT, bukan kepada manusia. Karena akan ada kecewa jika terlalu percaya pada manusia. . .

### **PERSEMBAHAN**

Setapak perjalananku telah kuraih atas izin dan rahmat Allah SWT yang Maha Pengasih. Kupersembahkan karya kecil ini dengan cinta dan kasih sayang untuk :

- ✓ Orang tua kandungku tercinta : ayah Suhardi dan ibu Ema Jeti (almh)
- ✓ Orang tuaku tercinta : emak Emi dan bapak Awik
- ✓ Adik-adikku tersayang
- ✓ Keponakan-keponakanku yang telah mewarnai keceriaan hidup dalam keluargaku
- ✓ Abang Yudi yang telah membimbing dalam pemrograman
- ✓ Temanku: Ojik, Heriantomi, Tirta, Anto, Irvan, Anom, dan Ronika. Terima kasih atas support dan sharing ilmu selama ini.
- ✓ Teman-teman Himatro '06
- ✓ Almamaterku

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat pengontrol frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontrol PID. Tahap pertama pembuatan alat dilakukan dengan perancangan *hardware* atau rangkaian mikrokontroler yang terdiri dari Sensor *Optocoupler*, LCD, *Keypad*, Mosfet, dan Mikrokontroler ATmega 16. Tahap kedua dilakukan dengan perancangan *software* menggunakan bahasa pemrograman *Basic Complier* (Bascom). Tahap terakhir adalah menyimpulkan hasil tahapan-tahapan sebelumnya. Dengan besar frekuensi yang sama dan tegangan *input* yang bervariasi (180V, 200V, dan 220V) maka menghasilkan kecepatan motor yang berbeda, seperti yang terjadi pada pemberian frekuensi 50 Hz menghasilkan kecepatan putar motor 1471 rpm pada tegangan *input* 180V, 1476 rpm pada tegangan *input* 200V, dan 1479 rpm pada tegangan *input* 220V. Dari hal ini dapat terlihat bahwa semakin besar tegangan *input* yang diberikan maka semakin besar kecepatan putar motor yang dihasilkan. Pada pemberian frekuensi yang sama dan tegangan yang bervariasi, nilai slip terbesar terjadi pada frekuensi 25 Hz dan nilai slip terkecil terjadi pada frekuensi 45 Hz. Pada saat pengujian mengontrol frekuensi dalam mengatur kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontrol PID dengan putaran motor 1050 rpm dibutuhkan waktu 3,73 s untuk mencapai titik kestabilan referensi, putaran motor 1200 rpm dibutuhkan waktu 3,6 s untuk mencapai titik kestabilan referensi, putaran motor 1350 rpm dibutuhkan waktu 2,24 s untuk mencapai titik kestabilan referensi, dan putaran motor 1500 rpm dibutuhkan waktu 2 s untuk mencapai titik kestabilan referensi. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa semakin cepat berputarnya motor induksi satu fasa maka semakin kecil waktu yang dihasilkan PID dalam mencapai titik kestabilan referensi.

*Kata kunci: Pengaturan Frekuensi, Motor Induksi Satu Fasa, PID*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perancangan Alat Pengontrolan Frekuensi Dalam Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Kontrol PID”**. Skripsi ini diajukan guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.

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

1. Bapak Dr. Ridwan Nurazi, S.E., M.Sc. selaku Rektor Universitas Bengkulu.
2. Bapak Khairul Amri, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
3. Bapak Irnanda Priyadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
4. Bapak Alex Surapati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama.
5. Ibu Yuli Rodiah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping.
6. Bapak dan Ibu Dosen Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu
7. Orang tua dan saudaraku tercinta yang selalu mendoakan, menyayangi, dan mendukungku dalam mencapai keinginan.
8. Semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan.

Akhirnya penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam meningkatkan mutu pendidikan.

Bengkulu, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN KEASLIAN SKRIPSI.....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Kontrol PID .....	4
2.2. Metode Ziegler-Nichols.....	7
2.2.1 Metode Kurva Reaksi .....	8
2.2.2 Metode Osilasi.....	9
2.3. Metode <i>Good Gain</i> .....	10
2.4. Motor Induksi .....	11
2.4.1 Prinsip Kerja Motor Induksi .....	12
2.4.2 Karakteristik Pengaturan Kecepatan Motor Induksi .....	13
2.5. <i>Rectifier</i> .....	15
2.6. LCD ( <i>Liquid Crystal Display</i> ).....	16
2.7. <i>Inverter</i> .....	17
2.8. Rangkaian Pembagian Tegangan .....	18

2.9.	Mikrokontroler .....	19
2.9.1	Mikrokontroler ATmega16 .....	22
2.10.	Bahasa Pemrograman .....	24
2.10.1	Bascom AVR .....	24
2.11.	Rangkaian Sensor .....	24

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

3.1.	Metodologi Penelitian .....	26
3.1.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.1.2	Metode Pembuatan Alat .....	26
3.1.3	Analisa Kerja Alat .....	27
3.1.4	Alat dan Bahan Penelitian .....	27
3.1.5	Tahapan Penelitian .....	27
3.2.	Perancangan Rangkaian <i>Rectifier (Power Supply)</i> , <i>Inverter</i> , dan Sensor .....	28
3.2.1	Perancangan Rangkaian <i>Rectifier (Power Supply)</i> .....	28
3.2.2	Perancangan Rangkaian <i>Inverter</i> .....	28
3.2.3	Perancangan Rangkaian Sensor .....	29
3.3.	Perancangan <i>Hardware</i> .....	30
3.3.1	Mikrokontroler ATmega16 .....	31
a.	Rangkaian <i>Clock</i> .....	31
b.	Rangkaian <i>Reset</i> .....	32
c.	Rangkaian ADC ( <i>Analog Digital Converter</i> ) .....	32
3.4.	Perancangan <i>Software</i> .....	34

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1.	Pengujian Sensor .....	36
4.2.	Pengujian Sistem Secara Keseluruhan .....	36
4.2.1	Pengujian Frekuensi Untuk Mengetahui Kecepatan Putar Motor .....	36
a.	Pengujian Kecepatan Motor dengan Tegangan <i>Input</i> 180 V .....	37

b. Pengujian Kecepatan Motor dengan Tegangan <i>Input</i> 200 V .....	40
c. Pengujian Kecepatan Motor dengan Tegangan <i>Input</i> 220 V .....	44
4.2.2 Pengujian Kecepatan Putaran Motor Menggunakan Kontroler Proporsional, Integral, dan Derivatif ( PID) .....	47
a. Pengujian Pada Saat Putaran 1050 Rpm .....	48
b. Pengujian Pada Saat Putaran 1200 Rpm .....	50
c. Pengujian Pada Saat Putaran 1350 Rpm .....	52
d. Pengujian Pada Saat Putaran 1500 Rpm .....	54
 <b>BAB 5 PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Saran.....	57
 <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok Sistem Kontrol Proporsional.....	5
Gambar 2.2	Kurva Respon Tangga Satuan Yang Memperlihatkan 25 % Lonjakan Maksimum.....	7
Gambar 2.3	Respon Tangga Satuan Sistem.....	8
Gambar 2.4	Kurva Respon Berbentuk S .....	8
Gambar 2.5	Sistem Untaian Tertutup Dengan Alat Kontrol Proporsional .....	9
Gambar 2.6	Kurva Respon <i>Sustain Oscillation</i> .....	9
Gambar 2.7	Respon $T_{ou}$ .....	10
Gambar 2.8	Konstruksi Umum Motor Induksi Satu Fasa .....	12
Gambar 2.9	Karakteristik Pengaturan Kecepatan Terhadap Perubahan Frekuensi.....	14
Gambar 2.10	Karakteristik Perubahan Tegangan Terhadap Kecepatan Motor Induksi .....	15
Gambar 2.11	Karakteristik Tahanan Luar Terhadap Putaran Motor.....	15
Gambar 2.12	Bentuk Fisik LCD.....	16
Gambar 2.13	Prinsip Kerja Rangkaian <i>Inverter</i> .....	18
Gambar 2.14	Pembagi Tegangan.....	18
Gambar 2.15	Blok Mikrokontroler Secara Umum .....	20
Gambar 2.16	Konfigurasi Pin ATmega 16 .....	23
Gambar 2.17	Rangkaian Dasar Sensor .....	24
Gambar 3.1	Rangkaian <i>Rectifier (Power Supply)</i> .....	28
Gambar 3.2	Rangkaian <i>Inverter</i> .....	29
Gambar 3.3	Rangkaian Sensor <i>Optocoupler</i> .....	30
Gambar 3.4	Blok Diagram Sistem Pengendali Kecepatan Dan Putaran Motor Induksi Satu Fasa.....	30
Gambar 3.5	Rangkaian <i>Clock</i> .....	32
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Reset</i> .....	32
Gambar 3.7	Rangkaian ADC.....	32

Gambar 3.8	Rangkaian Unit Kendali Motor AC Satu Fasa (Rangkaian Mikrokontroler) .....	33
Gambar 3.9	<i>Flowchart Software</i> .....	35
Gambar 4.1	Kurva Karakteristik Frekuensi Terhadap Putaran Motor Pada Tegangan <i>Input</i> 180 V .....	37
Gambar 4.2	Kurva Hubungan Frekuensi Terhadap Tegangan <i>Output</i> Pada Tegangan <i>Input</i> 180 V .....	38
Gambar 4.3	Kurva Hubungan Frekuensi Terhadap Slip Pada Tegangan <i>Input</i> 180 V .....	40
Gambar 4.4	Kurva Karakteristik Frekuensi Terhadap Putaran Motor Pada Tegangan <i>Input</i> 200 V .....	41
Gambar 4.5	Kurva Hubungan Frekuensi Terhadap Tegangan <i>Output</i> Pada Tegangan <i>Input</i> 200 V .....	42
Gambar 4.6	Kurva Hubungan Frekuensi Terhadap Slip Pada Tegangan <i>Input</i> 200 V .....	43
Gambar 4.7	Kurva Karakteristik Frekuensi Terhadap Putaran Motor Pada Tegangan <i>Input</i> 220 V .....	44
Gambar 4.8	Kurva Hubungan Frekuensi Terhadap Tegangan <i>Output</i> Pada Tegangan <i>Input</i> 220 V .....	45
Gambar 4.9	Kurva Hubungan Frekuensi Terhadap Slip Pada Tegangan <i>Input</i> 220 V .....	47
Gambar 4.10	Kurva Kecepatan Putaran 1050 rpm Pada $K_p = 1$ .....	48
Gambar 4.11	Kurva Kecepatan Putaran 1050 rpm Pada $K_p = 2$ .....	48
Gambar 4.12	Kurva Kecepatan Putaran 1050 rpm Pada $K_p = 3$ .....	49
Gambar 4.13	Kurva Kecepatan Putaran 1050 rpm Pada $K_p = 4$ .....	49
Gambar 4.14	Kurva Kecepatan Putaran 1050 rpm Pada $K_p = 3,2$ , $T_i = 0,79$ , dan $T_d = 0,2$ .....	50
Gambar 4.15	Kurva Kecepatan Putaran 1200 rpm Pada $K_p = 3,2$ , $T_i = 0,31$ , dan $T_d = 0,08$ .....	51
Gambar 4.16	Kurva Kecepatan Putaran 1200 rpm Pada $K_p = 3,2$ , $T_i = 0,4$ , dan $T_d = 0,1$ .....	52

Gambar 4.17	Kurva Kecepatan Putaran 1350 rpm Pada $K_p = 3,2$ , $T_i = 0,83$ , dan $T_d = 0,21$ .....	53
Gambar 4.18	Kurva Kecepatan Putaran 1350 rpm Pada $K_p = 3,2$ , $T_i = 0,83$ , dan $T_d = 0,35$ .....	53
Gambar 4.19	Kurva Kecepatan Putaran 1500 rpm Pada $K_p = 4$ , $T_i = 0,75$ , dan $T_d = 0,19$ .....	55
Gambar 4.20	Kurva Kecepatan Putaran 1500 rpm Pada $K_p = 4$ , $T_i = 0,75$ , dan $T_d = 0,3$ .....	55
Gambar 4.21	Kurva Hubungan Kecepatan Putar Motor Dengan Waktu.....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tanggapan Sistem Kontrol PID Terhadap Perubahan Parameter .....	7
Tabel 2.2	Penalaan Paramater PID Dengan Metode Kurva Reaksi...	9
Tabel 2.3	Penalaan Paramater PID Dengan Metode Osilasi.....	10
Tabel 2.4	Konfigurasi Pin LCD .....	17
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Tegangan Sensor .....	36
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Kecepatan Putar Motor Dengan Tegangan <i>Input</i> 180 V .....	37
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Nilai $n_s$ dan Slip Pada Tegangan <i>Input</i> 180 V .....	39
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kecepatan Putar Motor Dengan Tegangan <i>Input</i> 200 V .....	40
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Nilai $n_s$ dan Slip Pada Tegangan <i>Input</i> 200 V .....	43
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kecepatan Putar Motor Dengan Tegangan <i>Input</i> 220 V .....	44
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Nilai $n_s$ dan Slip Pada Tegangan <i>Input</i> 220 V .....	46
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Motor Dengan Kontrol PID .....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Name Plat</i> Motor Induksi .....	60
Lampiran 2	Skema Rangkaian Mikrokontroler.....	61
Lampiran 3	Skema Rangkaian <i>Inverter</i> .....	62
Lampiran 4	Skema Rangkaian <i>Rectifier</i> .....	63
Lampiran 5	<i>Listing Program</i> .....	64

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada zaman sekarang banyak dijumpai usaha kecil industri rumah tangga, seperti laundry dimana dalam usaha tersebut menggunakan peralatan elektronik mesin cuci yang menggunakan motor induksi satu fasa. Serta sering dijumpai sumber air yang digunakan dalam proses pencucian pakaian diambil dari sumur bor. Sumur bor mempunyai tingkat kedalaman yang bervariasi serta diameter pipa sumur bor pada umumnya kecil tidak seperti sumur galian. Dalam proses pengambilan airnya menggunakan mesin air yang merupakan motor induksi satu fasa.

Motor induksi adalah motor listrik bolak-balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator. Motor induksi satu fasa adalah motor induksi yang dirancang untuk beroperasi menggunakan suplai tegangan satu fasa. Kelebihan motor induksi satu fasa yaitu konstruksi yang cukup sederhana, kecepatan putar yang hampir konstan terhadap perubahan beban.

Mesin induksi satu fasa yang digunakan memiliki kecepatan yang tetap sesuai dengan kapasitas pabrik tanpa bisa diatur kecepatannya. Dalam industri kecil rumah tangga seperti usaha laundry harus memiliki kinerja mesin yang maksimal dengan memiliki kecepatan putaran mesin yang konstan. Dari tinjauan tersebut, maka dalam tugas akhir ini dirancang alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontrol PID.

Kontrol PID merupakan kombinasi dari kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol derivatif. Kontroler proporsional adalah kontrol yang berfungsi untuk memperkuat sinyal kesalahan penggerak (sinyal error), sehingga akan mempercepat keluaran sistem mencapai titik referensi. Kontrol integral merupakan perubahan dari keluaran kontrol integral  $m(t)$ , berubah dengan fungsi waktu yang sebanding dengan sinyal kesalahan. Kontrol derivatif sering disebut kontrol laju (*rate control*), karena besar keluaran kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal kesalahan. Gabungan kontrol ini mempunyai keunggulan dalam

memperbaiki kesalahan sinyal dibandingkan dengan masing-masing dari tiga kontrol tersebut

Dalam mengontrol frekuensi motor induksi, kontrol PID digunakan untuk mempercepat waktu dalam mencapai kecepatan motor induksi yang diinginkan dan menjaga kecepatan motor agar tetap stabil. Kontrol tersebut secara otomatis merubah nilai frekuensi dalam mengubah kecepatan motor agar selalu konstan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

Kemampuan alat pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontroler PID dalam mengontrol frekuensi sangat efektif digunakan dalam sebuah usaha kecil rumah tangga. Diharapkan alat pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontroler PID ini dapat mengatur frekuensi secara otomatis sehingga apabila diaplikasikan ke peralatan rumah tangga dapat membantu memaksimalkan hasil kerja.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana alat dengan pengontrolan PID dapat mengatur frekuensi secara otomatis?
2. Bagaimana menggabungkan motor induksi satu fasa dengan rangkaian pengontrol PID?
3. Bagaimana cara mendapatkan kecepatan motor induksi satu fasa dengan kecepatan yang konstan dan waktu yang cepat?

## **1.3. Batasan Masalah**

Permasalahan yang akan dikaji agar penelitian ini lebih terarah akan dibatasi pada masalah-masalah sebagai berikut :

1. Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi satu fasa sehingga tegangan masukan berupa tegangan satu fasa.
2. Pengendali kecepatan putar motor induksi satu fasa hanya menggunakan kontroler PID.
3. Pengujian peralatan dilakukan dengan cara mengubah kecepatan dan frekuensi

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membuat suatu alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PID.
2. Menganalisa pengaruh alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PID.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Charly Frestama (2012), memaparkan bahwa pengendali kecepatan motor induksi satu fasa berdasarkan settingan kecepatan dengan mengubah frekuensi secara otomatis apabila kecepatan motor induksi terjadi perubahan akibat adanya beban. Dalam pengujian ini menggunakan beban 50 gram sampai dengan 200 gram dengan variasi kecepatan konstan putar motor 400 rpm, 600 rpm, 800 rpm dan 1000 didapatkan bahwa dengan penambahan massa tiap 50 gram frekuensi akan semakin bertambah jika kecepatan putar motor induksi konstan. Kelemahan dari penelitian ini adalah tidak bisa mensetting frekuensi masukan dan membutuhkan waktu yang cukup lama dalam menghasilkan kecepatan yang diinginkan.

Yadi Yunus (2008), memaparkan pengubahan kecepatan putar motor induksi yang paling baik adalah dengan mengubah frekuensi catu dayanya. Dalam rancang bangun ini dilakukan dengan cara menyearahkan sumber tegangan PLN dengan frekuensi 50 Hz, lalu diubah menjadi tegangan bolak-balik kembali dengan frekuensi yang bisa diatur dan selanjutnya dipakai sebagai suplai ke motor. Putaran motor bisa diatur dengan mengubah frekuensi atau secara tidak langsung dengan tahanan basis pada osilator. Jangkauan putaran yang dapat dicapai sangat lebar yaitu dari 133 rpm sampai dengan 2200 rpm pada frekuensi 70 Hz. Kekurangan dari penelitian ini adalah pengaturannya masih dilakukan secara tidak langsung atau otomatis.

#### **2.1 Kontrol PID**

Kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan kombinasi dari tiga jenis kontroler. Jika masing-masing dari ketiga jenis kontroler tersebut berdiri sendiri maka hasil yang dicapai kurang baik, sebab masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan sendiri-sendiri. Kombinasi dari ketiga jenis kontroler tersebut menjadi satu sistem kontrol tunggal, diharapkan mampu memberikan kontribusi dari kelebihan masing-masing [3].

Kontrol proporsional adalah suatu penguat linier yang dapat diatur penguatannya. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan  $e(t)$ .

[3]

$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$

Dimana :

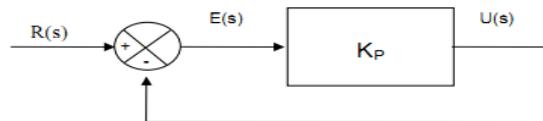
$K_p$  = Gain proposional

$m(t)$  = Keluaran kontrol

$e(t)$  = Sinyal kesalahan

Kontroler proporsional berfungsi untuk memperkuat sinyal kesalahan penggerak (sinyal *error*), sehingga akan mempercepat keluaran sistem mencapai titik referensi.

Kontrol proporsional memberi pengaruh sebanding dengan *error*. Semakin besar *error* maka sinyal kontrol yang dihasilkan semakin besar. Adapun gambar diagram blok sistem kontrol proporsional adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem Kontrol Proporsional

Pada keadaan tunak, keluaran sistem dengan pengendali proporsional tidak akan sama dengan referensinya. Dengan kata lain pada pengendali proporsional masih terdapat *offset* pada keadaan tunak. *Offset* dapat dihilangkan dengan memberikan harga konstanta proporsional mendekati tak hingga. Akan tetapi hal ini tidak mungkin terjadi, karena harga konstanta proporsional mempunyai batas maksimal tertentu dan jika diberikan suatu harga konstanta proporsional melebihi batas maka keluaran akan beresilasi.

Ciri-ciri kontroler proporsional harus memperhatikan ketika kontroler tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, penggunaan kontroler proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Kalau nilai  $K_p$  kecil, kontroler proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.

2. Kalau nilai  $K_p$  dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan mantabnya.
3. Namun jika nilai  $K_p$  dibesarkan sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem tidak bekerja stabil (respon sistem berosilasi).

Kontrol proporsional integral adalah merupakan perubahan dari keluaran kontrol integral  $m(t)$ , berubah dengan fungsi waktu yang sebanding dengan sinyal kesalahan. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan  $e(t)$  adalah [3]:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.2)$$

Dimana :

$K_p$  = Gain proposional

$T_i$  = Waktu integral

Tetapan waktu integral  $T_i$  mengatur aksi kontrol integral, sedangkan  $K_p$  memperkuat bagian proporsional maupun bagian integral dari aksi kontrol. Kebalikan dari tetapan waktu integral  $T_i$  disebut laju reset. Laju reset adalah banyaknya pengulangan bagian proporsional dari aksi pengontrolan per detik [3].

Kontrol proporsional derivatif didefinisikan

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Dimana :

$K_p$  = Gain proposional

$T_d$  = Tetapan waktu *derivative*

Kontrol derivatif sering disebut kontrol laju (*rate control*), karena besar keluaran kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal kesalahan. Tetapan waktu turunan  $T_d$  adalah selang waktu bertambah majunya respon kontrol proporsional yang disebabkan oleh aksi laju (*rate action*). Kontroler *PID* adalah gabungan kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol derivatif. Gabungan kontrol ini mempunyai keunggulan dalam memperbaiki kesalahan sinyal dibandingkan dengan masing-masing dari tiga kontrol tersebut [3].

Persamaan kontrol PID dapat diberikan sebagai Persamaan 2.4 :

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Untuk memenuhi sistem yang diinginkan maka ketiga parameter PID harus ditetapkan secara optimal. Ada beberapa metode untuk menentukan parameter tersebut diantaranya adalah metode coba-coba (*cut and try metode*), metode Ziegler-Nichols dan metode tanggapan tangga. PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan [3].

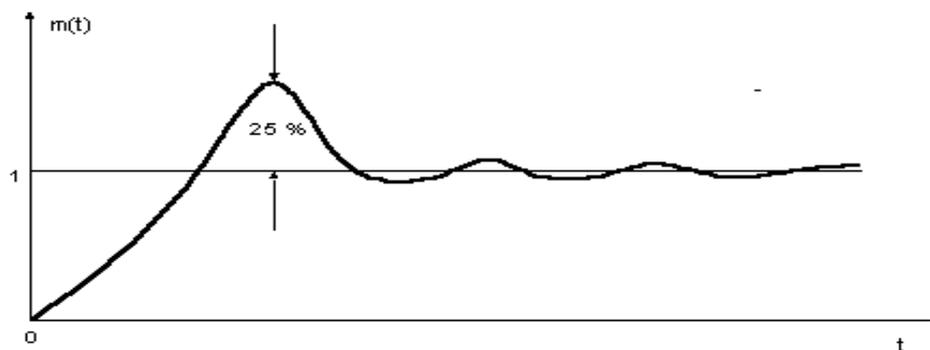
Tabel 2.1 merupakan tabel tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter.

Tabel 2.1 Tanggapan Sistem Kontrol PID Terhadap Perubahan Parameter [7]

<b>Tanggapan Loop Tertutup</b>	<b>Waktu Naik</b>	<b>Overshoot</b>	<b>Waktu Turun</b>	<b>Kesalahan Keadaan Tunak</b>
$K_p$	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
$K_i$	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
$K_d$	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

## 2.2 Metode Ziegler-Nichols

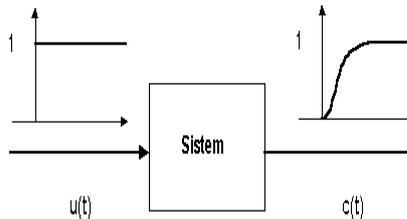
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 2.2 memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25%.



Gambar 2.2 Kurva Respon Tangga Satuan Yang Memperlihatkan 25 % Lonjakan Maksimum [5]

### 2.2.1 Metode Kurva reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untaian terbuka. Plant sebagai untaian terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan seperti terlihat pada Gambar 2.3. Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 2.4 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk plant *integrator* maupun plant yang memiliki pole kompleks [5].



Gambar 2.3 Respon Tangga Satuan Sistem



Gambar 2.4 Kurva Respon Berbentuk S

Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*)  $L$  dan waktu tunda  $T$ . Dari Gambar 2.4 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu  $L$ . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan stabilnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu  $L$  [5].

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler-Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetulan

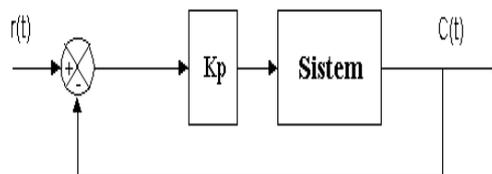
nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 2.2 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi [5].

Tabel 2.2 Penalaan Paramater PID Dengan Metode Kurva Reaksi

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	T/L	~	0
PI	0,9 T/L	L/0.3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

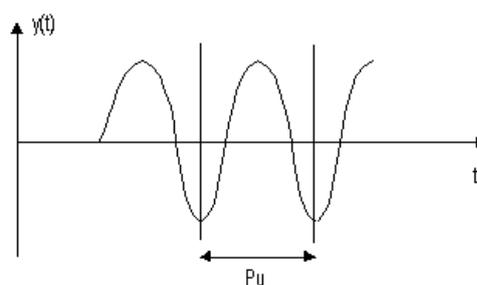
### 2.2.2 Metode Osilasi

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. Plant disusun serial dengan kontroler PID. Semula parameter-parameter *integrator* diatur tak berhingga dan parameter derivatif diatur nol ( $T_i = \infty$ ;  $T_d = 0$ ). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap, mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitud tetap (*Sustain Oscillation*). Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian untaian tertutup pada cara osilasi.



Gambar 2.5 Sistem Untaian Tertutup Dengan Alat Kontrol Proporsional[5]

Nilai penguatan proporsional pada saat sistem mencapai kondisi *sustain oscillation* disebut *ultimate gain*  $K_u$ . Periode dari *sustained oscillation* disebut *ultimate period*  $T_u$ . Gambar 2.6 menggambarkan kurva reaksi untaian tertutup ketika berosilasi.



Gambar 2.6 Kurva Respon *Sustain Oscillation*[5]

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen,  $K_u$  dan  $P_u$ . Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penalaan Parameter PID Dengan Metode Osilasi[5]

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 K_u$		
PI	$0,45 K_u$	$1/2 P_u$	
PID	$0,6 K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

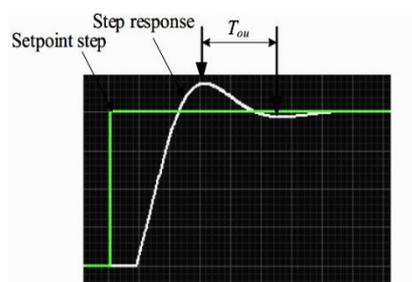
### 2.3 Metode *Good Gain*

Metode *good gain* merupakan salah satu cara untuk mendapatkan parameter PID yang sesuai dengan sistem. Metode ini berbeda dengan metode Ziegler-Nichols dimana pada metode ini tidak mengatur sistem kontrol sampai pada keadaan berosilasi. Adapun prosedur yang harus dilakukan dalam metode ini untuk menentukan parameter PID yaitu sebagai berikut [6]:

1. Proses pertama dilakukan pada sistem *loop* tertutup dimana sinyal kontrol dimasukkan secara manual.
2. Kontrol proporsional dimasukkan secara bertahap dimulai dari 0 atau 1 ( $K_p = 0$ ), dan untuk waktu integral dan derivatif diset  $\infty$  dan 0 (set  $T_i = \infty$  dan  $T_d = 0$ ). Penambahan atau pengurangan nilai  $K_p$  berpengaruh terhadap respon *overshoot* suatu sistem.
3. Set waktu integral ( $T_i$ ) sesuai Persamaan 2.5

$$T_i = 1,5 T_{ou} \quad (2.5)$$

Dimana  $T_{ou}$  adalah waktu respon suatu sistem setelah mengalami *overshoot* menuju keadaan *steady state* (*step setpoint*). Ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Respon  $T_{ou}$

4. Cek kestabilan sistem kontrol setelah digunakan langkah *set point* karena ini merupakan permulaan untuk parameter integral. Parameter integral sangat mempengaruhi parameter proporsional. Jika pada kontrol PI kestabilan sistem menjadi buruk maka langkah yang harus dilakukan adalah mengurangi  $K_p$  80% dari harga aslinya.

$$K_p = 0,8 K_{PGG} \quad (2.6)$$

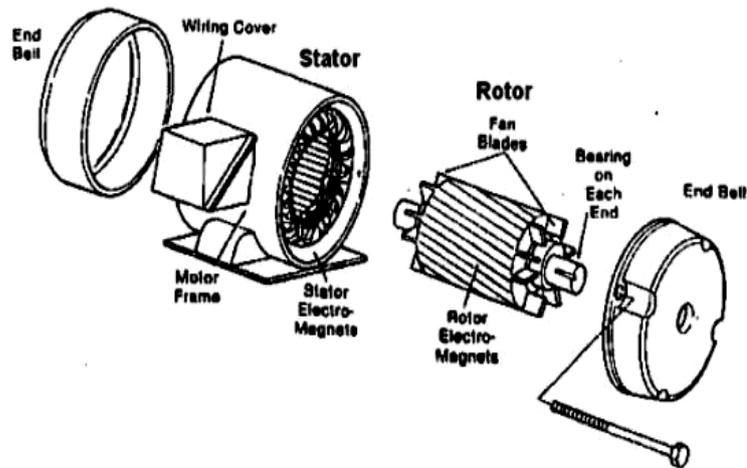
5. Jika ingin memasukkan parameter derivatif agar kontroler menjadi PID kontrol, maka *setting*  $T_d$  sesuai dengan Persamaan 2.7.

$$T_d = \frac{T_i}{4} \quad (2.7)$$

## 2.4 Motor Induksi

Motor induksi adalah adalah motor listrik bolak-balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator. Dengan kata lain, putaran rotor dengan putaran medan stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [4].

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



Gambar 2.8 Konstruksi Umum Motor Induksi Satu Fasa

Konstruksi motor induksi satu fasa hampir sama dengan konstruksi motor induksi tiga fasa, yaitu terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor seperti yang terlihat pada Gambar 2.8. Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk silinder dan simetris [4].

Stator merupakan bagian yang diam sebagai rangka tempat kumparan stator yang terpasang. Stator terdiri dari inti stator, kumparan stator, dan alur stator. Motor induksi satu fasa dilengkapi dengan dua kumparan stator yang dipasang terpisah, yaitu kumparan utama (*main winding*) atau sering disebut dengan kumparan berputar dan kumparan bantu (*auxiliary winding*) atau sering disebut dengan kumparan start [4].

Rotor merupakan bagian yang berputar. Bagian ini terdiri dari inti rotor, kumparan rotor dan alur rotor. Pada umumnya ada dua jenis rotor yang sering digunakan pada motor induksi, yaitu rotor belitan (*wound rotor*) dan rotor sangkar (*squirrel cage rotor*) [4].

#### 2.4.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul ggl atau tegangan induksi dan karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal

dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator [4].

Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron [4].

Tegangan induksi hanya akan terbangkitkan jika terjadi perpotongan antar medan putar dengan konduktor rotor, maka kecepatan rotor tidak dapat menyamai kecepatan medan putar stator. Harus ada selisih dimana kecepatan rotor ( $n_r$ ) harus lebih rendah dari kecepatan medan putar (kecepatan sinkron  $n_s$ ).

Perbedaan kecepatan ini disebut slip ( $S$ ) dan dinyatakan dengan [4]:

$$s = \left( \frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana :

$S$  = Slip

$n_s$  = Kecepatan putar stator (rpm)

$n_r$  = Kecepatan putar rotor (rpm)

#### 2.4.2 Karakteristik Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan mendekati kecepatan sinkronnya, meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran motor induksi memerlukan biaya yang agak tinggi. Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara [9]:

##### 1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena kecepatan motor ( $n_s$ ) merupakan perbandingan antara frekuensi dengan jumlah perubahan kutub. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima

tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Jadi semakin banyak jumlah kutub, maka putaran motor akan semakin lambat [9].

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (2.9)$$

Dimana :

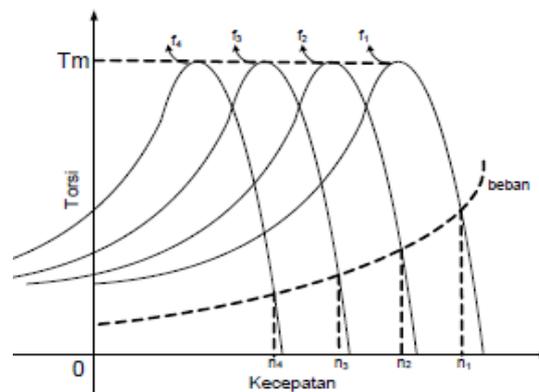
p = Jumlah kutub

f = Frekuensi (Hz)

$n_s$  = Kecepatan putar motor (rpm)

## 2. Mengubah frekuensi jala-jala

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah harga frekuensi jala. Hanya saja untuk menjaga keseimbangan kerapatan fluks, perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan frekuensi. Persoalannya sekarang adalah bagaimana pengaturan frekuensi dengan cara yang efektif dan ekonomis.[4]



Gambar 2.9 Karakteristik Pengaturan Kecepatan Terhadap Perubahan Frekuensi

## 3. Mengatur tegangan jala-jala

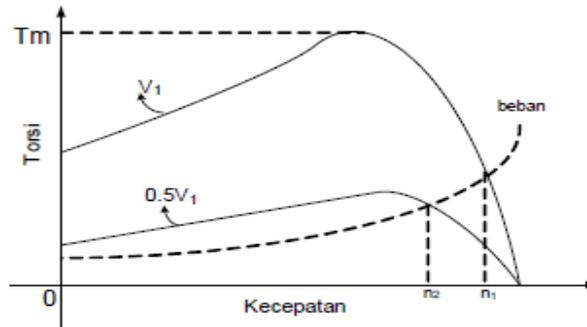
Pengaturan putaran motor induksi juga dapat dilakukan dengan mengubah tegangan jala-jala. Semakin besar nilai tegangan pada motor, maka kecepatan motor akan semakin besar. Semakin besar beban yang diberikan pada motor mengakibatkan tegangan pada motor akan semakin besar mengikuti batas kecepatan motor.

Tegangan pada motor induksi berpengaruh karena perubahan frekuensi mengakibatkan perubahan tegangan yang mengikuti Persamaan 2.10.[4]

$$E = 4,44. f. n. \Phi \quad (2.10)$$

Dimana :

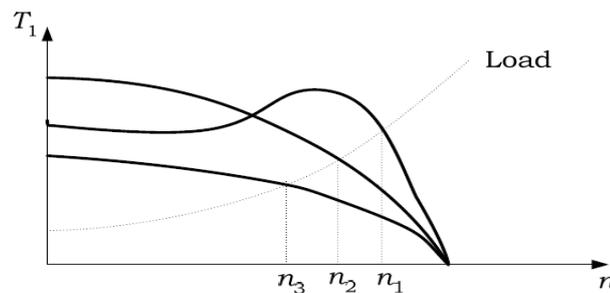
- E : Tegangan induksi (V)
- f : Frekuensi rotor saat berputar (Hz)
- n : Jumlah belitan-belitan rotor
- $\Phi$  : Fluks maksimum (Wb)



Gambar 2.10 Karakteristik Perubahan Tegangan Terhadap Kecepatan Motor Induksi

#### 4. Pengaturan tahanan luar

Tahanan luar motor rotor belitan dapat diatur, dengan demikian dihasilkan karakteristik kopel kecepatan yang berbeda-beda. Putaran akan berubah dari  $n_1$  ke  $n_2$  ke  $n_3$  dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan ke rotor, dimana karakteristik nya dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11 Karakteristik Tahanan Luar Terhadap Putaran Motor [4]

### 2.5 Rectifier

*Rectifier* adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Gelombang AC yang berbentuk gelombang sinus hanya dapat dilihat dengan alat ukur CRO [10].

Pada umumnya yang dimaksud dengan rangkaian penyearah adalah rangkaian yang berfungsi untuk menjadikan gelombang yang mempunyai lebih

dari satu arah menjadi gelombang satu arah. Sebagai contoh sinyal yang berbentuk sinusoidal dan mempunyai dua arah gelombang, yaitu arah dari kutub positif ke negatif dan arah dari kutub negatif ke positif, kemudian dijadikan gelombang yang mempunyai satu arah saja dengan menggunakan rangkaian penyearah. Untuk menyearahkan gelombang biasanya digunakan dioda, Ada dua metode yang digunakan yaitu metode penyearah setengah gelombang (*Half-Wave Rectifier*) dan penyearah gelombang penuh (*Full-Wave Rectifier*) [10].

Untuk menentukan tegangan keluaran dapat digunakan Persamaan 2.11.

$$V_m = \sqrt{2} \times V_s \quad (2.11)$$

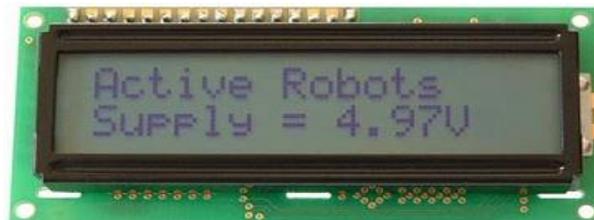
Dimana :

$V_m$  = Tegangan keluar

$V_s$  = Tegangan sumber

## 2.6 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Penampilan LCD (*Liquid Crystal Display*) sangat membantu dalam memprogram dikarenakan tidak digunakannya program *debug*. LCD dapat menampilkan hasil perhitungan, isi variabel atau keperluan *debug* lain untuk mengetahui proses program yang dibuat. Selain itu, LCD juga bisa menampilkan hasil pengambilan data dari sensor, bahkan dapat digunakan untuk interaksi antara mikrokontroler dengan manusia.



Gambar 2.12 Bentuk Fisik LCD

Gambar 2.12 merupakan salah satu bentuk fisik LCD tipe 16 x 2. LCD tipe ini memiliki 2 baris dimana masing-masing baris memuat 16 karakter. Selain sangat mudah dioperasikan, kebutuhan daya LCD ini sangat rendah. Konfigurasi pin-pin LCD dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Konfigurasi Pin LCD

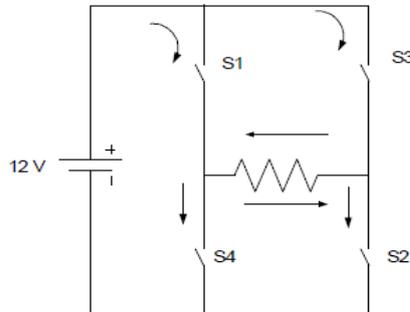
No.	Pin	Function
1	V <sub>SS</sub>	0V (GND)
2	V <sub>CC</sub>	5V
3	VLC	LCD <i>Contras Votage</i>
4	RS	<i>Register Select</i> ; H: <i>Data Input</i> ; L: <i>Instruction Input</i>
5	RD	H: <i>Read</i> ; L: <i>Write</i>
6	EN	<i>Enable Signal</i>
7	D0	Data Bus
8	D1	
9	D2	
10	D3	
11	D4	
12	D5	
13	D6	
14	D7	
15	V+BL	<i>Positif Backlight Voltage</i> (4-4,2 V; 50-200 mA)
16	V-BL	<i>Negatif Backlight Voltage</i> (0 V; GND)

## 2.7 Inverter

*Inverter* adalah sebuah rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Prinsip kerja dari sebuah *inverter* adalah dengan menggabungkan sebuah rangkaian *multivibrator* yang dihubungkan dengan sebuah *transformator* penaik tegangan (*Step Up*). *Inverter* dapat digunakan untuk mensuplai beban dengan tegangan AC dengan daya yang disesuaikan dengan daya tegangan DC yang tersedia. Contoh penggunaan *inverter* dapat digunakan untuk rangkaian UPS (*Uninterrupted Power Supply*) untuk suplai tegangan listrik bila terjadi pemutusan listrik dari PLN dengan tiba-tiba [10].

Prinsip kerja *inverter* dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Bila sakelar  $S_1$  dan  $S_2$  dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar  $S_3$  dan  $S_4$  maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R

dari arah kanan ke kiri. Inilah prinsip arus bolak balik (AC) pada satu periode yang merupakan gelombang sinus setengah gelombang pertama pada posisi positif dan setengah gelombang kedua pada posisi negatif.

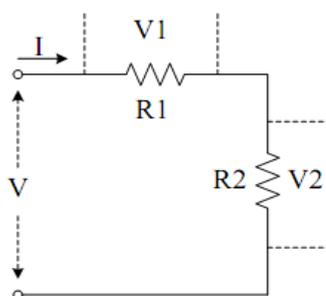


Gambar 2.13 Prinsip Kerja Rangkaian *Inverter* [10]

Rangkaian *inverter* bisa menggunakan komponen transistor, *thyristor*, *SCR*, mosfet sebagai komponen utama. Bila digunakan transistor daya terbatas tetapi frekuensi tinggi serta tidak perlu rangkaian komutasi. Bila menggunakan *SCR* daya besar frekuensi rendah dan perlu rangkaian komutasi sebagai pemutus *SCR*, sedangkan menggunakan mosfet rangkaian lebih sederhana dan sesuai dengan rangkaian mikrokontroler yang mempunyai sinyal keluaran sebagai masukan mosfet [10].

## 2.8 Rangkaian Pembagian Tegangan

Sebuah susunan dari dua atau lebih resistor terhubung seri sering dikenal sebagai pembagi tegangan (*voltage divider*) seperti pada Gambar 2.14. Dengan mengkombinasikan tahanan-tahanan dan sumber-sumber, maka diperoleh suatu metode untuk mempermudah dalam menganalisis suatu rangkaian. Cara lain yang dapat digunakan yaitu pembagian tegangan dan arus.



Gambar 2.14 Pembagi Tegangan

Pembagian tegangan digunakan untuk menyatakan tegangan melintasi salah satu diantara dua tahanan seri, dinyatakan dalam tegangan melintasi rangkaian tersebut. Dari Gambar 2.14 dapat diperoleh Persamaan berikut sebagai pembagi tegangan.

$$V = I \cdot R \quad (2.12)$$

$$V_1 = I \cdot R_1 \text{ dan } V_2 = I \cdot R_2 \quad (2.13)$$

$$V = V_1 + V_2 \quad (2.14)$$

$$= I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

$$= I(R_1 + R_2) \longrightarrow I = \frac{V}{R_1 + R_2} \quad (2.15)$$

$$V_2 = I \cdot R_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \quad (2.16)$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad (2.17)$$

dan diperoleh pula persamaan

$$V_1 = I \cdot R_1 = \frac{V}{R_1 + R_2} \cdot R_1 \quad (2.18)$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad (2.19)$$

Bila rangkaian pada Gambar 2.12 digeneralisir dengan menggantikan R2 dengan R2, R3, ... Rn yang berhubungan seri, maka didapat Persamaan pembagian tegangan melintasi suatu rangkaian n tahanan seri.

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} V \quad (2.20)$$

Tegangan yang timbul melintasi salah satu tahanan seri tersebut adalah tegangan total dikalikan rasio (perbandingan) dari tahanan dan tahanan total.

## 2.9 Mikrokontroler

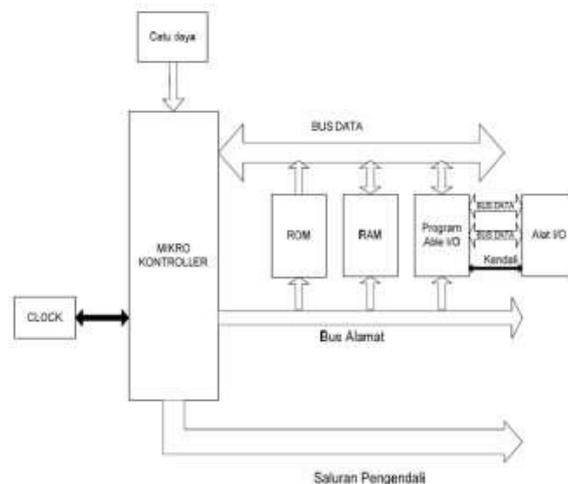
Mikrokontroler adalah *single chip* komputer yang memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan untuk tugas-tugas yang berorientasi kontrol. Karena kemampuannya yang tinggi, bentuknya yang kecil, konsumsi dayanya yang rendah, dan harga yang murah maka mikrokontroler begitu banyak digunakan di dunia. Mikrokontroler digunakan mulai dari mainan anak-anak,

perangkat elektronik rumah tangga, perangkat pendukung otomotif, peralatan industri, peralatan telekomunikasi, peralatan medis dan kedokteran, sampai dengan pengendali robot serta persenjataan militer.

Terdapat beberapa keunggulan yang diharapkan dari alat-alat yang berbasis Mikrokontroler :

1. Keandalan tinggi (*high reliability*) dan kemudahan integrasi dengan komponen lain (*highdegree of integration*).
2. Ukuran yang semakin dapat diperkecil (*reduced in size*).
3. Penggunaan komponen dipersedikit (*reduced component count*) yang juga akan menyebabkan biaya produksi dapat semakin ditekan (*lower manufacturing cost*).
4. Waktu pembuatan lebih singkat (*shorter development time*) sehingga lebih cepat pula dijual ke pasar sesuai kebutuhan (*shorter time to market*).
5. Konsumsi daya yang rendah (*lower power consumption*).

Secara umum sistem mikrokontroler dapat digambarkan Gambar 2.15



Gambar 2.15 Blok Mikrokontroler Secara Umum

Penjelasan masing-masing blok :

1. CPU (*Central Processor Unit*)

CPU adalah suatu unit pengolahan pusat yang terdiri atas 2 bagian, yaitu unit pengendali (*control unit*) dan unit logika (*arithmetic logic unit*). Fungsi unit pengendali ini adalah mengatur dan mengendalikan semua peralatan yang ada pada sistem komputer dan juga dapat mengatur kapan alat *input*

menerima data dan kapan data diolah serta ditampilkan pada alat *output*. Sedangkan unit logika berfungsi untuk melakukan semua perhitungan aritmatika yang terjadi sesuai dengan instruksi program dan dapat juga melakukan keputusan dari operasi logika atau pengambilan keputusan sesuai dengan instruksi yang diberikan padanya.

2. *Bus* Alamat

*Bus* alamat berfungsi sebagai sejumlah lintasan saluran pengalamatan antara alamat dengan sebuah komputer. Pengalamatan ini harus ditentukan terlebih dahulu untuk menghindari terjadinya kesalahan pengiriman sebuah instruksi dan terjadinya bentrok antara dua buah alat yang bekerja secara bersamaan.

3. *Bus* Data

*Bus* data merupakan lintasan saluran keluaran masuknya data dalam suatu mikrokontroler, pada umumnya saluran data yang masuk sama dengan saluran data yang keluar.

4. *Bus* Kontrol

*Bus* kontrol atau *bus* kendali ini berfungsi untuk menyerempakkan operasi mikrokontroler dengan operasi rangkaian luar.

5. RAM (*Random Access Memory*)

RAM adalah memori yang dapat dibaca atau ditulis yang bersifat *volatile* dimana isinya akan hilang begitu IC kehilangan catu daya sehingga hanya digunakan untuk menyimpan data saat program bekerja.

6. ROM (*Read Only Memory*)

ROM dipakai untuk menyimpan program, pada saat *direset* maka mikrokontroler akan langsung bekerja dengan program yang terdapat di dalam ROM tersebut. Ada berbagai jenis ROM yaitu PROM (*Programmable Read Only Memory*) dan EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*) yang dapat diprogram ulang dan dapat juga dihapus dengan sinar ultraviolet.

7. *Input/Output* (I/O)

Setiap sistem komputer memerlukan sistem *input* dan *output* yang merupakan media keluar data dari dan ke komputer. Contoh peralatan I/O yang umum terhubung dengan sebuah komputer seperti *keyboard*, *mouse*, *monitor*, *sensor*,

*printer, dll.*

#### 8. *Clock*

*Clock* atau pewaktu berfungsi memberikan referensi waktu dan sinkronisasi antar elemen.

### 2.9.1 Mikrokontroler ATmega16

AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. AVR mempunyai 32 *register general-purpose, timer/counter* fleksibel dengan mode *compare, interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan mode *power saving*, ADC dan PWM *internal*.

AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI ATmega16. ATmega16 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat *desainer* sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya *versus* kecepatan proses.

Beberapa keistimewaan dari AVR ATmega16 antara lain:

1. *Advanced RISC Architecture*
  - *130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution*
  - *32 x 8 General Purpose Fully Static Operation*
  - *Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz*
  - *On-chip 2-cycle Multiplier*
2. *Nonvolatile Program and Data Memories*
  - *8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash*
  - *Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits*
  - *512 Bytes EEPROM*
  - *512 Bytes Internal SRAM*
  - *Programming Lock for Software Security*
3. *Peripheral Features*
  - *Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Mode*

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Programmable Serial USART
4. Special Microcontroller Features
- Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated RC Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, standby and Extended Standby
5. I/O and Package
- 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad MLF
6. Operating Voltages
- 2.7 - 5.5V for Atmega16L
  - 4.5 - 5.5V for Atmega16

Konfigurasi pin ATMega 16 dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut.

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 2.16 Konfigurasi Pin ATMega 16 [8]

## 2.10 Bahasa Pemrograman

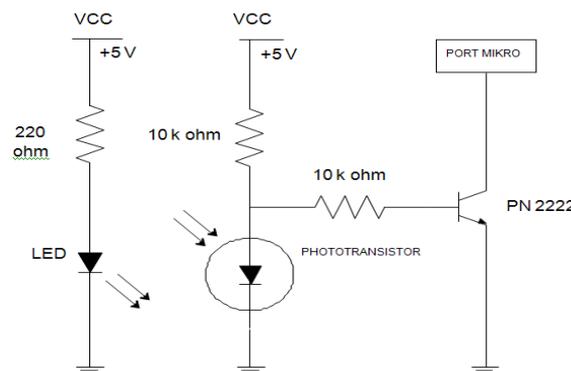
Bahasa pemrograman yang digunakan dalam penelitian ini yaitu BASCOM AVR.

### 2.10.1 Bascom AVR

Bascom AVR adalah salah satu *tools* untuk pengembangan atau pembuatan program untuk kemudian ditanamkan dan dijalankan pada mikrokontroler terutama mikrokontroler keluarga AVR. Bascom AVR juga bisa disebut sebagai IDE (*Integrated Development Environment*) yaitu lingkungan kerja yang terintegrasi, karena disamping tugas utamanya meng-*compile* kode program menjadi *file hex* atau bahasa mesin Bascom AVR juga memiliki kemampuan atau fitur lain yang berguna sekali seperti monitoring komunikasi serial dan untuk menanamkan program yang sudah di *compile* ke mikrokontroler.

## 2.11 Rangkaian Sensor

Sensor merupakan suatu sistem kerja elektronika yang berfungsi sebagai alat pendeteksi terhadap adanya rangsangan dari lingkungan luar baik berupa cahaya, suhu atau gerak untuk kemudian diolah menjadi sistem kerja kelistrikan dengan berbagai macam tujuan dan pengaplikasian.



Gambar 2.17 Rangkaian Dasar Sensor

Rangkaian sensor yang dibuat terdiri dari infra merah dan photodiode (*optocoupler*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Infra merah memiliki lebih banyak keunggulan dalam mendeteksi adanya gerakan yang terjadi di lingkungan sekitarnya dibandingkan dengan sensor jenis yang lain. Sensor jenis

ini banyak digunakan dalam rangkaian-rangkaian listrik yang memiliki fungsi kerja sebagai sistem *security*, pendeteksi bentuk atau ukuran, penghitung jumlah gerak, sistem otomatisasi dan sistem *remote control*. Sensor infra merah umumnya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian pemancar dan penerima sinar infra merah.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metodologi Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat suatu alat pengontrol frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PID. Waktu dan tempat penelitian, metode pembuatan alat, metode analisis, alat penelitian serta jalannya penelitian akan diuraikan berikut ini.

##### **3.1.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Lingkungan Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Juli 2013 sampai dengan Juni 2014.

##### **3.1.2 Metode Pembuatan Alat**

Metode pembuatan pengendali kecepatan putar motor induksi satu fasa dengan pengaturan frekuensi secara otomatis dalam penelitian skripsi ini dilakukan dengan cara merancang sistem perangkat keras (*hardware*) atau rangkaian Mikrokontroler yang mampu mengontrol frekuensi dalam mengendalikan kecepatan putaran motor induksi satu fasa (rpm) dengan kontrol PID. Perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari sensor *optocoupler* sebagai pendeteksi kecepatan putaran, LCD sebagai layar pembacaan frekuensi dan rpm putaran, serta mikrokontroler ATmega 16 yang diberi *keypad* sebagai masukan data untuk frekuensi atau rpm putaran motor.

Tahapan terakhir adalah perancangan perangkat lunak (*software*) untuk mikrokontroler sebagai pengendali sistem *hardware*, untuk selanjutnya akan dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari seluruh aspek teoritis dari berbagai referensi agar diperoleh suatu pengendali kecepatan putar motor induksi satu fasa dengan pengaturan frekuensi secara otomatis.

### **3.1.3 Analisa Kerja Alat**

Analisa kerja dari alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PID yang dirancang ini akan dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian, meliputi analisa kinerja alat dengan memberikan kecepatan yang bervariasi pada motor induksi satu fasa sehingga diketahui kinerja alat dalam mengontrol kecepatan motor tetap stabil.

### **3.1.4 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat serta bahan yang digunakan dalam perancangan alat pengontrol frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PID adalah :

1. *Achrylic*
2. Papan PCB
3. Motor Induksi satu fasa
4. Rangkaian mikrokontroler ATMega16
5. Sensor *Optocoupler*
6. Rangkaian *Rectifier*
7. Rangkaian *Inverter*
8. Kabel dan konektor
9. Mistar dan spidol
10. Baut
11. Dan lainnya

### **3.1.5 Tahapan Penelitian**

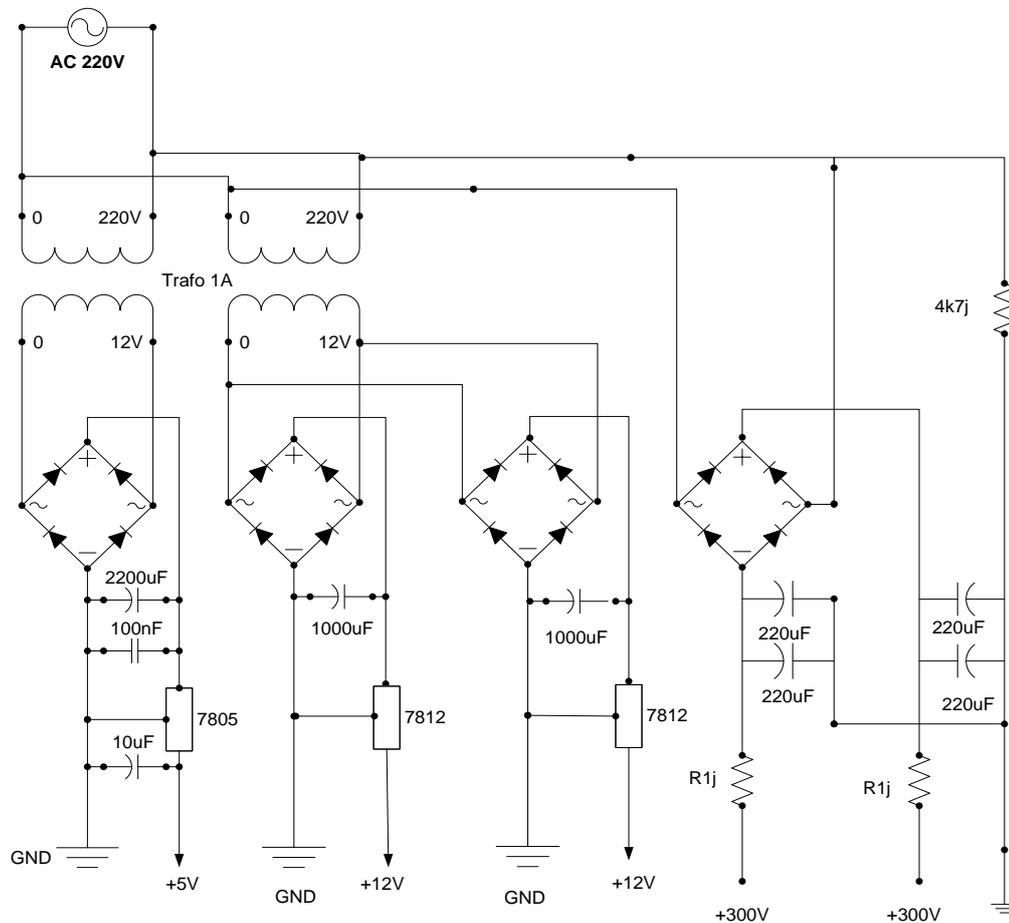
Penelitian ini dimulai dengan tahapan yang pertama yaitu perancangan *hardware* berupa 1 unit mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali sistem mekanik yang terhubung diantaranya pada sensor *optocoupler*, LCD, *keypad*, dan mosfet yang berfungsi sebagai inverter. Tahap kedua adalah perancangan *software*. Bahasa pemrograman menggunakan bahasa *Basic Compiler (Bascom)* yang digunakan pada mikrokontroler untuk menghitung jumlah putaran motor induksi, pengatur kecepatan motor dan pengaturan frekuensi. Tahapan selanjutnya yaitu melakukan analisa dan pembahasan yang diperoleh nantinya. Tahap terakhir

adalah menyimpulkan hasil tahapan-tahapan sebelumnya. Hasil akhir dari penelitian ini adalah pembuatan alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PID.

### 3.2 Perancangan Rangkaian *Rectifier (Power Supply), Inverter, dan Sensor*

#### 3.2.1 Perancangan Rangkaian *Rectifier (Power Supply)*

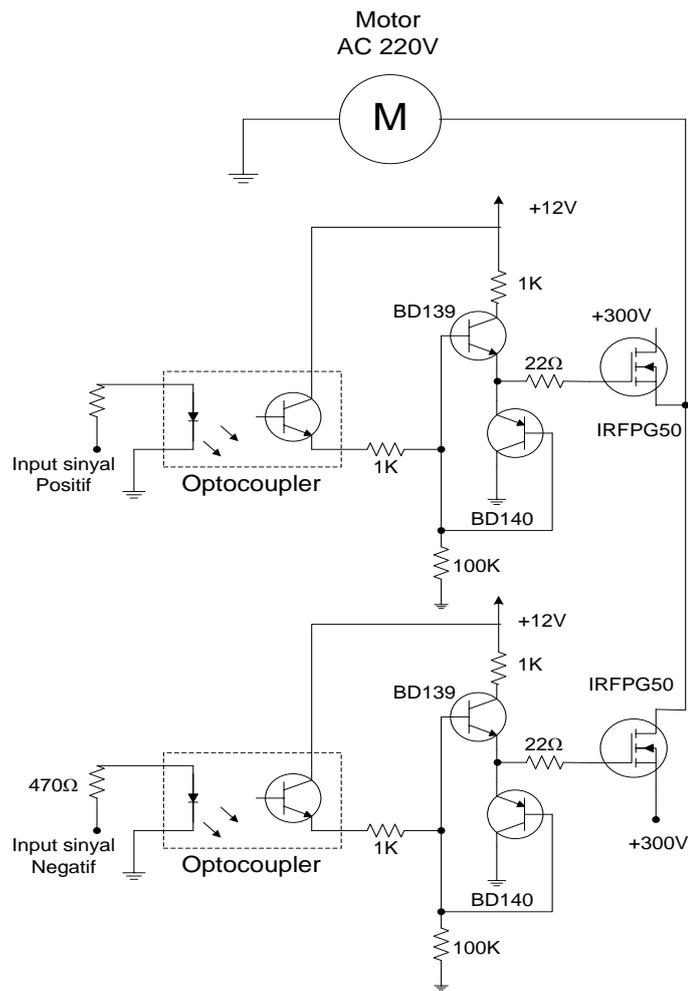
Rangkaian *power supply* terdiri dari rangkaian dengan tegangan keluaran DC sebesar 5 V, 12 V dan 300 V, seperti yang terlihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Rangkaian *Rectifier (Power Supply)*

#### 3.2.2 Perancangan Rangkaian *Inverter*

Rangkaian *inverter* menggunakan mosfet yang berguna untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC untuk memutar motor AC satu fasa, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Rangkaian *Inverter*

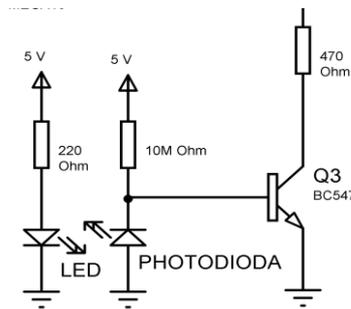
### 3.2.3 Perancangan Rangkaian Sensor

Sensor *optocoupler* terdiri dari infra merah dan photodiode. Sensor ini berfungsi untuk menghitung putaran motor induksi dengan mendeteksi garis hitam yang terdapat pada piringan. Infra merah berfungsi sebagai pemancar sinar sedangkan photodiode berfungsi sebagai penerima pantulan sinar infra merah, dimana keluarannya berupa pulsa-pulsa listrik yang akan dikirimkan ke mikrokontroler.

Perubahan cahaya yang diterima oleh photodiode akan merubah tegangan masukan *inverting*, semakin besar cahaya yang diterima photodiode maka photodiode akan bersifat konduktor sehingga tegangan masukan *inverting* pada op-amp menjadi kecil hingga nol (0), kemudian tegangan masukan *inverting* akan dibandingkan dengan input *non inverting* pada op-amp maka diperoleh 2 (dua)

tipe nilai keluaran yaitu 5 V atau 0 V sesuai dengan perubahan jumlah cahaya yang diterima photodiode.

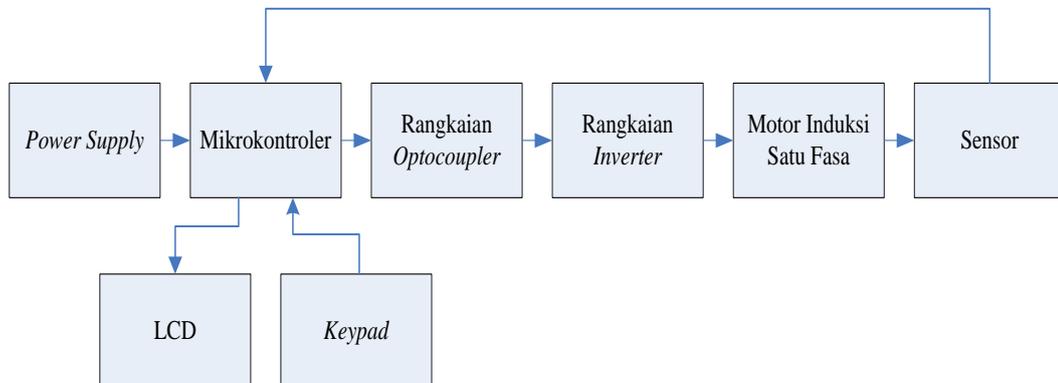
Prinsip kerjanya adalah ketika garis putih pada ujung motor berada tepat di depan pemancar dan penerima sinar infra merah, maka sinar yang dipantulkan akan berkurang, dengan kata lain sinar yang diterima oleh photodiode akan berkurang. Semakin banyak sinar infra merah yang diterima photodiode maka ketahanannya akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Hasil pembacaan sensor ini dihubungkan ke *port A* mikrokontroler.



Gambar 3.3 Rangkaian Sensor *Optocoupler*

### 3.3 Perancangan *Hardware*

*Hardware* merupakan suatu perangkat keras atau alat dari berbagai komponen utama sebagai pengendali kecepatan putar motor induksi. Perancangan *hardware* ini meliputi sistem minimum berupa mikrokontroler ATmega16 sebagai pengendali kecepatan putar motor induksi, sensor *optocoupler* sebagai sensor kecepatan putar motor induksi, LCD sebagai hasil tampilan dari frekuensi dan putaran motor induksi, *keypad* sebagai masukan data frekuensi atau putaran motor induksi yang diinginkan dan mosfet yang berguna sebagai *inverter*.



Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Pengendali Kecepatan dan Putaran Motor Induksi 1 Fasa

Gambar 3.4 merupakan sebuah blok diagram pengendali kecepatan putar motor induksi satu fasa. Blok diagram ini menjelaskan tahapan dari pembuatan pengendali kecepatan putar motor induksi satu fasa. Prinsip kerja dari blok diagram tersebut, yaitu dimulai dengan keadaan kondisi alat mati, kemudian diberi tegangan *input* mikrokontroler . Ketika rangkaian mendapatkan tegangan *input*, maka *keypad* dapat bekerja sebagai *setting* awal untuk putaran motor induksi yang diinginkan dan kemudian ditampilkan pada LCD. Setelah *setting* awal putaran motor induksi didapatkan, maka mikrokontroler akan memproses *input* putaran motor induksi satu fasa yang dimasukkan tersebut. *Inverter* berfungsi sebagai pengubah tegangan DC dari rangkaian kontrol menjadi tegangan AC untuk masukan pada motor induksi satu fasa.

Pada saat pemberian kecepatan putaran yang diinginkan, mikrokontroler akan memberi perintah mosfet untuk aktif sehingga motor akan berputar sebesar kecepatan yang diinginkan. PID pada mikrokontroler akan diaktifkan untuk mendapatkan kecepatan yang diinginkan dengan waktu yang cepat. Apabila terjadi penurunan putaran secara tiba-tiba, maka sensor kecepatan akan bekerja, dimana kerja sensor ini membaca perubahan putaran yang terjadi. Jika terbaca lebih atau kurang dari *setting* awal maka sensor akan memberikan informasi yang dikirim ke mikrokontroler, kemudian diproses dan dapat mengeksekusi sampai putaran motor induksi satu fasa sesuai dengan *setting* awal, pada saat itulah eksekusi yang diperintahkan selesai.

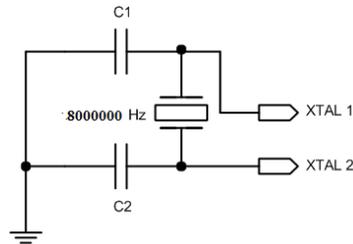
### **3.3.1 Mikrokontroler ATmega 16**

Untuk dapat bekerja maksimal, mikrokontroler ATmega16 membutuhkan beberapa rangkaian *eksternal*. Pada umumnya suatu mikrokontroler membutuhkan beberapa elemen (selain *power supply*) yaitu rangkaian *clock*, rangkaian ADC dan rangkaian *reset*. Beberapa bagian rangkaian eksternal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### **a. Rangkaian Clock**

Kecepatan proses yang dilakukan mikrokontroler ditentukan oleh sumber *clock* yang mengendalikan mikrokontroler tersebut, karena rangkaian *clock*

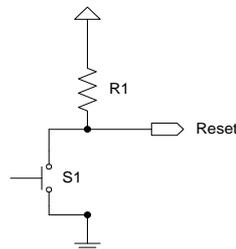
berfungsi sebagai *generator clock* yang digunakan untuk menjalankan mikrokontroler. Nilai C1 dan C2 yaitu 22 pf untuk nilai kristal mikrokontroler ATmega16 yang memiliki *range* frekuensi clock antara 0-16 MHz. Gambar 3.5 memperlihatkan rangkaian *clock* yang digunakan.



Gambar 3.5 Rangkaian *Clock*

### b. Rangkaian *Reset*

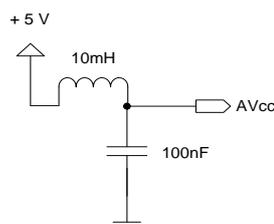
Rangkaian *reset* digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler sehingga proses bisa dijalankan mulai dari awal. Rangkaian *power off* reset atau *reset* yang terjadi pada saat sistem pertama kali dinyalakan dengan cara menekan tombol yang berupa *switch*. Adapun skematik dari rangkaian *reset* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Rangkaian *Reset*

### c. Rangkaian ADC (*Analog Digital Converter*)

Rangkaian ADC digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dari rangkaian sensor putaran (*optocoupler*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Rangkaian ADC

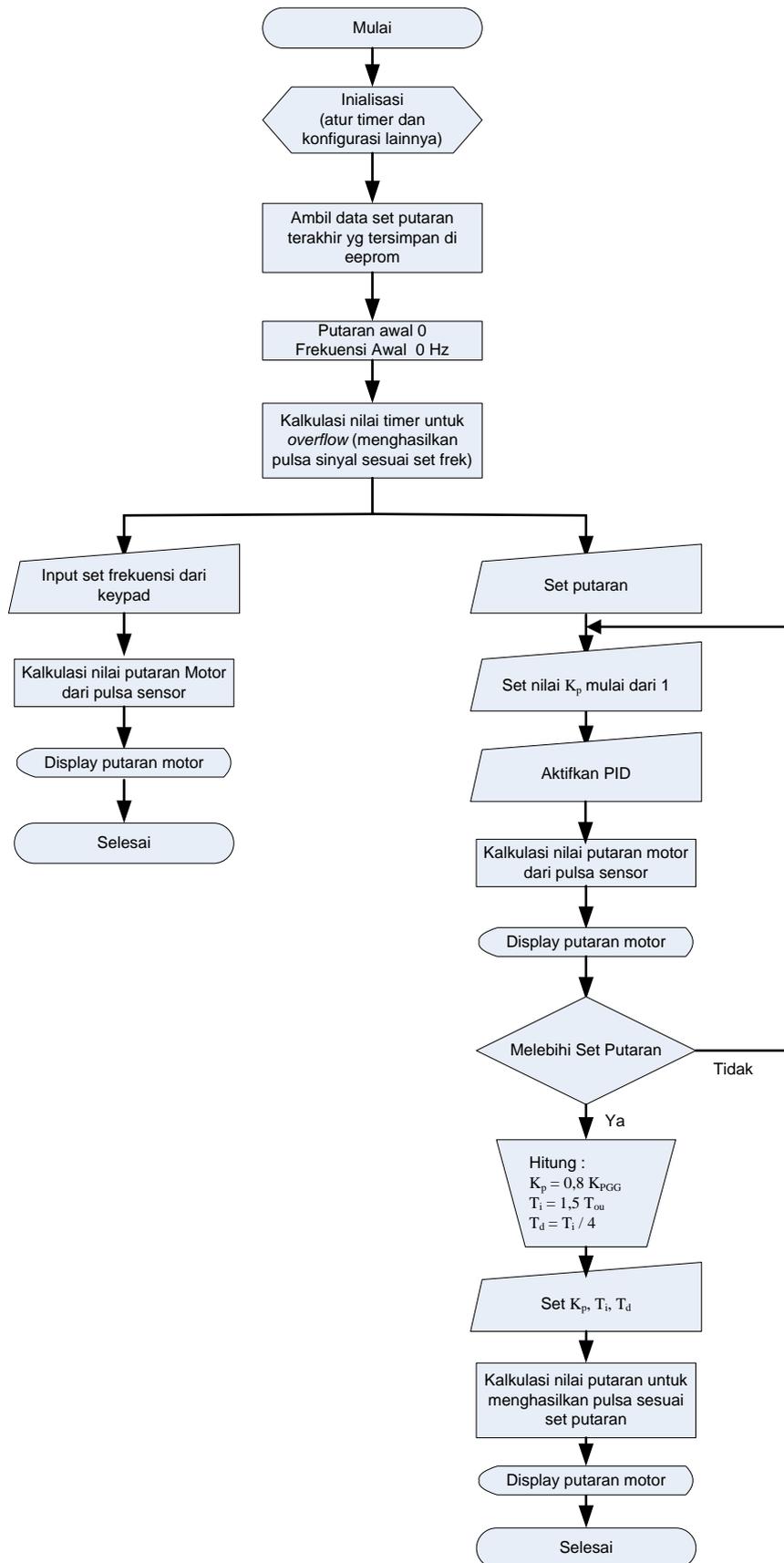


### 3.4 Perancangan *Software*

Pengendalian motor induksi yang dilakukan ini merupakan salah satu bentuk praktis yang akan membantu dalam pengontrolan kecepatan putaran motor. Pengendalian kecepatan putaran motor ini sangat penting mengingat efisiensi kinerja motor yang dihasilkan sangat tinggi. Perancangan *software* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.9.

Pada saat mulai, sistem akan memulai dengan inisialisasi atau mengatur *timer* dan konfigurasi lainnya yang dibutuhkan. Kondisi inisialisasi ini dimulai pada pengenalan nilai awal yang akan dimasukkan dan diproses pada mikrokontroler. Pada saat memberikan *input* frekuensi melalui *keypad* maka motor akan berputar. Hasil dari putaran motor akan dibaca mikro melalui sensor kecepatan yang dipasang pada motor. Kecepatan putar motor (rpm) akan ditampilkan pada LCD.

Pada tahap selanjutnya dengan cara melakukan *setting* nilai putaran (rpm), nilai  $K_p$  dimasukkan secara bertahap dimulai dari 1 dengan cara menekan tombol yang terdapat pada *keypad*, kemudian PID diaktifkan supaya motor dapat berputar. Apabila putaran yang dihasilkan motor tidak terjadi *overshoot* maka nilai  $K_p$  diatur kembali dengan cara menaikkan nilai  $K_p$  hingga terjadinya *overshoot*. Jika sudah terjadi *overshoot*, maka *set* nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  agar motor dapat berputar dengan cepat sampai nilai putaran sesuai dengan nilai putaran pada *setting* awal.



Gambar. 3.9 Flowchart Software