

# Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode PID-Fuzzy

Tianur -1<sup>#1</sup>, Dedid Cahya Happiyanto -2<sup>#2</sup>, Agus Indra Gunawan -3<sup>#3</sup>, Rusminto Tjatur Widodo -4<sup>#4</sup>

<sup>#</sup>Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Kampus PENS-ITS Sukolilo, Surabaya

<sup>1</sup>[tian@pcr.ac.id](mailto:tian@pcr.ac.id)

<sup>2</sup>[dedid@eepis-its.edu](mailto:dedid@eepis-its.edu)

<sup>3</sup>[agusindra@eepis-its.edu](mailto:agusindra@eepis-its.edu)

<sup>4</sup>[rusminto@eepis-its.edu](mailto:rusminto@eepis-its.edu)

## Abstrak

Kontrol PID banyak digunakan dalam berbagai proses industri, ini dikarenakan ketangguhan dari kontrol PID untuk mengatasi berbagai masalah. Tetapi kontrol ini masih terdapat kekurangan yaitu terdapat pada proses *tuning*. Proses *tuning* masih dilakukan dengan cara mencoba-coba. Proses ini masih dilakukan secara manual dengan metode *trial and error* yang hasilnya belum tentu tepat. Untuk mengatasi permasalahan *tuning* dibutuhkan suatu pendekatan alternatif yang dapat mencapai suatu nilai yang relatif lebih baik dan lebih cepat untuk melakukan proses *tuning*. Sehingga orang yang melakukan proses *tuning* tidak harus memiliki keahlian khusus mengenai sistem pengaturan. Dalam kasus ini metode alternatif yang digunakan adalah logika fuzzy. Metode logika fuzzy ini digunakan untuk mempengaruhi nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dari kontroler PID dalam aplikasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa sehingga kecepatan motor dapat dipertahankan sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil yang cukup baik. Rata – rata *rise time* yang dihasilkan adalah sekitar 11,45 detik, sedangkan *error stady state* adalah berkisar 1,99%.

Kata kunci— *tuning*, PID, fuzzy, motor induksi, kontrol kecepatan.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sekarang ini telah menciptakan berbagai kemajuan dibidang teknologi, khususnya teknologi dibidang kontrol. Salah satu kontroler yang masih banyak dipakai dalam sistem pengendalian proses di industri adalah kontroler PID.

Kontroler PID membutuhkan penyesuaian parameter penguatan yaitu *gain proporsional* ( $K_p$ ), *gain integral* ( $K_i$ ), *gain Derivatif* ( $K_d$ ) apabila parameter motor induksi berubah, seperti perubahan beban torsi. Untuk mendapatkan performansi sesuai yang diinginkan, kontroler PID dengan penguatan tetap bisa digunakan untuk *plant* motor induksi dengan perubahan parameter pada *range* tertentu. Sedangkan

untuk kondisi diluar *range* tersebut, maka parameter penguatan kontroler PID perlu disesuaikan lagi.

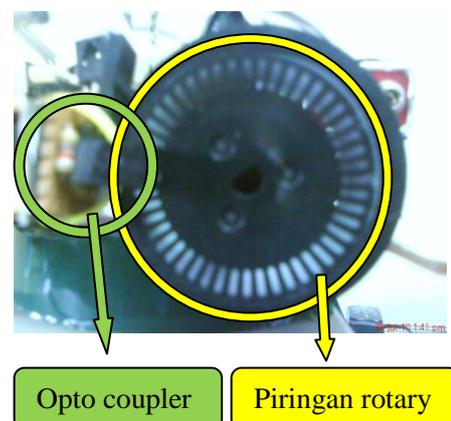
## II. TEORI PENUNJANG

### Motor Induksi

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara yaitu dengan mengubah jumlah pasang kutub, mengatur tegangan jala-jala, atau dengan mengatur besar kecilnya frekuensi. Untuk pengaturan putaran motor induksi dengan merubah tegangan jala-jala, akan menghasilkan pengaturan putaran yang terbatas (daerah pengaturan sempit). Sedangkan pengaturan dengan menggunakan perubahan frekuensi, perubahan putaran dapat dilakukan secara lebih halus atau linear sesuai dengan perubahan frekuensinya.

### Rotary Encoder

Sensor rotari encoder sangat banyak digunakan untuk mengubah gerakan linear atau putaran menjadi sinyal digital, dimana sensor putaran memonitor gerakan putar dari suatu alat, yang dalam hal ini adalah roda.



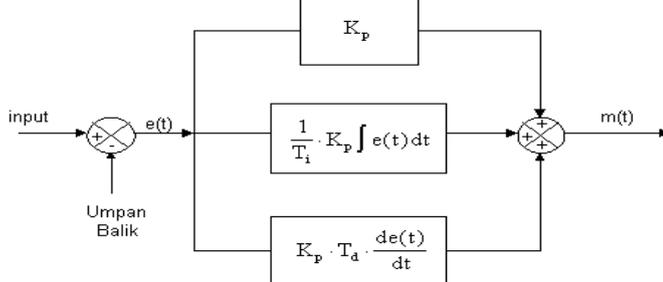
Gambar 2.1 Rotary Encoder

## Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC menjadi sumber AC, dimana tegangan yang dihasilkan dapat merupakan nilai yang konstan atau variabel. Suatu inverter disebut inverter sumber tegangan (*voltage source inverter*) jika tegangan keluarannya konstan sedangkan inverter sumber arus (*current source inverter*) jika arus keluarannya konstan dan inverter hubungan DC yang variabel (*variable DC linked inverter*) jika tegangan keluarannya dapat dikontrol atau dikendalikan lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan input.

## Kontrol PID

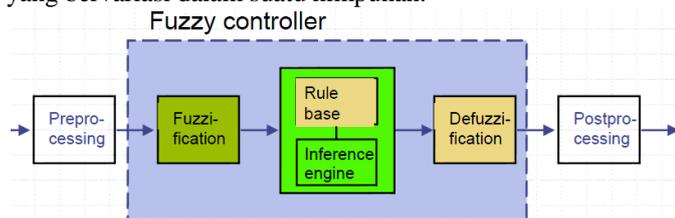
Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara.



Gambar 2.2 Blok diagram kontroler PID

## Logika Fuzzy

Konsep teori fuzzy yang pertama kali diperkenalkan oleh L.A. Zadeh pada tahun 1965 berupa teori Himpunan Fuzzy (*Fuzzy Set*). Pada himpunan klasik, nilai keanggotaan bersifat jelas artinya masuk dalam anggota (bernilai 1) atau tidak (bernilai 0). Suatu elemen dalam sebuah semesta untuk himpunan fuzzy sifat keanggotaannya samar. Himpunan fuzzy berisi elemen-elemen yang mempunyai nilai keanggotaan yang bervariasi dalam suatu himpunan.



Gambar 2.3 Elemen Fuzzy Kontroler

Konfigurasi dasar sistem logika fuzzy ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Konfigurasi ini terdiri atas 4 komponen utama :

### 1. Perangkat fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan pemetaan nilai-nilai masukan [nilai *error*( $e$ ) dan delta *error*( $\Delta e$ ) dari keluaran sistem] ke bentuk himpunan-himpunan fuzzy dalam semesta pembicaraan tertentu. Data masukan yang biasanya tegas (*crisp*) perlu ditransformasikan ke besaran fuzzy.

### 2. Basis Aturan

Termasuk di dalamnya adalah basis data dan aturan dasar (*rule base*) fuzzy. Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy dari sinyal *input* dan sinyal *output* agar dapat digunakan oleh variabel *linguistik* pada aturan dasar. Sedangkan aturan dasar terdiri dari aturan kontrol fuzzy yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan pengendalian.

### 3. Logika Pengambilan Keputusan

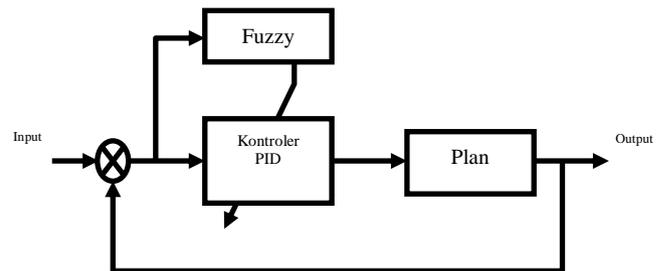
Umumnya aturan dasar fuzzy dinyatakan dalam bentuk IF-THEN yang juga disebut implikasi fuzzy.

### 4. Perangkat Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pemetaan ruang aksi kontrol fuzzy menjadi ruang aksi kontrol *non-fuzzy* (*crisp*). Tujuannya adalah untuk menghasilkan sinyal kontrol yang dapat digunakan *plant*.

## III. PERANCANGAN SISTEM

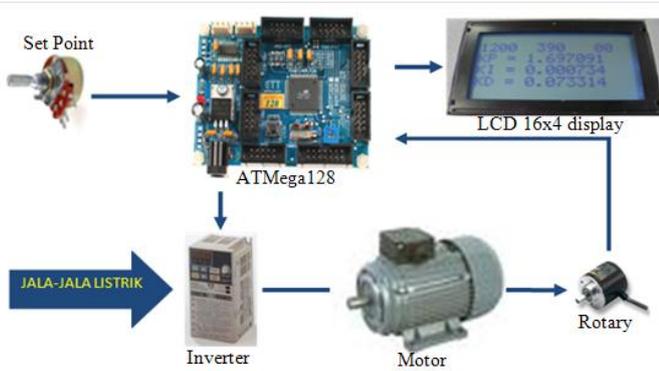
Secara umum, proyek akhir ini terdiri dari perancangan dan pemasangan *hardware* serta perancangan dan pembuatan algoritma pengendalian motor induksi 3 fasa menggunakan PID-Fuzzy. Fuzzy digunakan untuk mendapatkan parameter kontrol PID yang nantinya akan digunakan oleh PID untuk mengontrol kecepatan motor. Dan proses ini akan dilakukan secara *real time*, sehingga setiap terjadi perubahan beban atau *set point*, sedikit banyak akan mengakibatkan perubahan pada parameter PID yang akan digunakan.



Gambar 3.1 Konfigurasi system

## Perancangan Alat

Perancangan dan pembuatan perangkat keras ini meliputi pembuatan mekanik dan rangkaian elektronika yaitu terdiri dari beberapa bagian seperti motor induksi 3 fasa, rotary encoder, mekanik rem, modul inverter, modul ATmega128 dan LCD 16x4 *display*.



Gambar 3.2 Perancangan Sistem

### Kontrol PID

Kontrol PID merupakan control konvensional yang sederhana dan mampu menyelesaikan berbagai masalah, namun masih memiliki kelemahan dalam hal tuning. Dengan optimasi dari fuzzy diharapkan menghasilkan control PID yang relative lebih baik.

Masukan controller PID yang berupa  $error(e)$  didapat dari hasil selisih antara  $set\ point$  dan kecepatan keluaran system, sedangkan nilai  $delta\ error\ (de)$  didapat dari selisih antara error saat ini dengan error sebelumnya. Untuk mempermudah model matematis dari error dan delta error, digunakan  $scaling\ factor$ . Sedangkan konstanta PID diperoleh dari proses fuzzy.

Berikut ini adalah potongan program PID yang digunakan dalam mengontrol kecepatan putaran motor induksi.

```

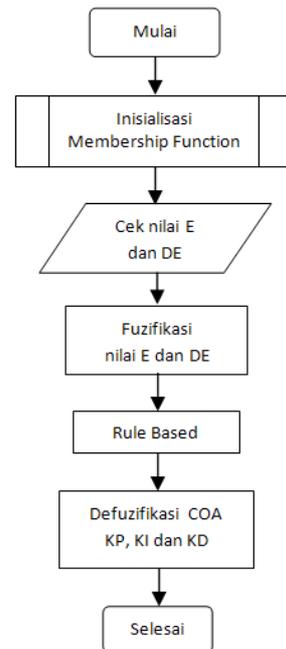
last_error = e;
e = (setting - speed) / 20;
i = i + e;
de = last_error - e;
out = out + (e * KP) + (KI * i) + (KD * de);

```

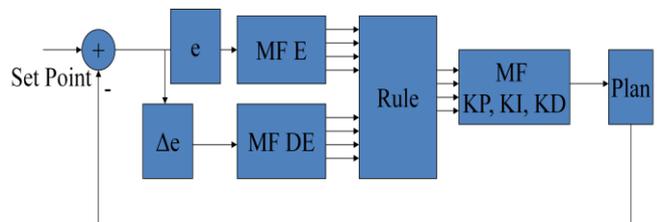
Hasil perhitungan dari kontrol PID ini adalah nilai PWM yang digunakan untuk masukan inverter. Inverter akan membaca tegangan yang dihasilkan oleh PWM dan menggunakannya sebagai referensi frekuensi untuk mengendalikan motor.

### Algoritma Fuzzy

Algoritma fuzzy berisi potongan program yang terdiri dari fungsi-fungsi yang berguna untuk perolehan nilai parameter PID. Proses ini akan dipengaruhi langsung oleh  $error$  dan  $delta\ error$  secara  $real\ time$ . Alur program dapat dilihat seperti yang terlampir pada flowchart.

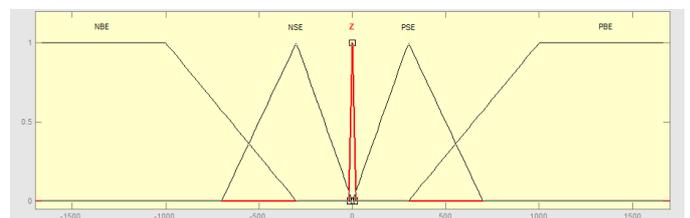


Gambar 3.3 Flowchart Program Fuzzy



Gambar 3.4 Blok Sistem Program Fuzzy

Tahap awal adalah menentukan membership function untuk masing-masing masukan error dan delta error. Masukan controller fuzzy yang berupa  $error(e)$  didapat dari hasil selisih antara  $set\ point$  dan kecepatan keluaran system, sedangkan nilai  $delta\ error\ (de)$  didapat dari selisih antara error saat ini dengan error sebelumnya. Nilai  $error$  dipetakan dalam semesta pembicaraan yang ditetapkan yaitu -1700 sampai dengan 1700 yang dibagi dalam lima tingkat keanggotaan yaitu: *Negative Big* (NB\_E), *Negative Small* (NS\_E), *Zero Error* (Z\_E), *Positive Small* (PS\_E) dan *Positive Big* (PS\_E).



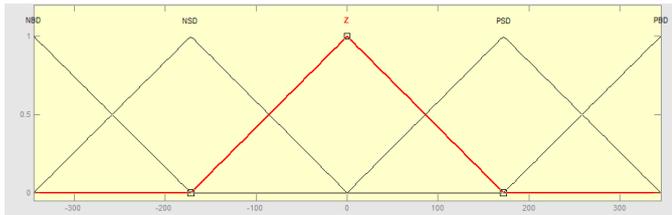
Gambar 3.5 Membership Function Error

Nilai  $delta\ error$  juga dipetakan dalam semesta pembicaraan yang ditetapkan yaitu -1700 sampai dengan 1700 yang dibagi dalam lima tingkat keanggotaan yaitu: *Negative Big* (NB\_DE), *Negative Small* (NS\_DE), *Zero Error* (Z\_DE), *Positive Small* (PS\_DE) dan *Positive Big* (PS\_DE).

## VI.HASIL PENGUJIAN

Pada bab ini akan dilakukan pengujian dan analisa terhadap alat dan algoritma yang telah dirancang dan dibuat pada bab sebelumnya. Untuk tahap-tahap pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- Pengujian motor induksi
- Pengujian sensor rotary
- Pengujian algoritma PID-Fuzzy



Gambar 3.5 Membership Function Delta Error

Tahap berikutnya adalah menentukan rule atau aturan yang akan digunakan dalam mengambil keputusan. Aturan dasar terdiri dari aturan kontrol fuzzy yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan pengontrolan. Berikut adalah aturan atau rule based yang dibuat dalam bentuk table.

Tabel 3.1 Rule Based KP

DE \ E	BN_E	NS_E	Z_E	PS_E	PB_E
NB_DE	SB	S	SK	S	SB
NS_DE	B	S	SK	S	B
Z_DE	K	K	SK	K	K
PS_DE	B	S	SK	S	B
PB_DE	SB	B	SK	S	SB

Tabel 3.2 Rule Based KI

DE \ E	BN_E	NS_E	Z_E	PS_E	PB_E
NB_DE	SK	K	S	K	SK
NS_DE	K	S	SB	S	K
Z_DE	B	B	SB	B	B
PS_DE	K	S	SB	S	K
PB_DE	SK	K	S	K	SK

Tabel 3.3 Rule Based KD

DE \ E	BN_E	NS_E	Z_E	PS_E	PB_E
NB_DE	SK	K	S	K	SK
NS_DE	K	S	SB	S	K
Z_DE	B	B	SB	B	B
PS_DE	K	S	SB	S	K
PB_DE	SK	K	S	K	SK

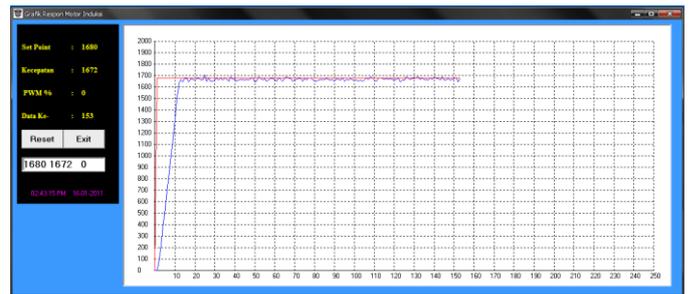
Tahap terakhir adalah proses defuzzifikasi yaitu proses pemetaan ruang aksi kontrol fuzzy menjadi ruang aksi kontrol non-fuzzy (*crisp*). Tujuannya adalah untuk menghasilkan sinyal kontrol yang dapat digunakan *plant*. Dalam kasus ini, proses defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan metode *Centre Of Area (COA)*.

$$v_o = \frac{\sum_{k=1}^m v_k \mu_v(v_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(v_k)}$$

$v_o$  = Nilai keluaran  
 $m$  = Tingkat kuantisasi  
 $v_k$  = elemen ke-k  
 $\mu_v(v_k)$  = Derajat keanggotaan elemen  
 $V$  = Semesta pembicaraan

### Pengujian Motor Induksi

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap respon motor induksi. Proses pengujian dilakukan dengan cara memberikan frekuensi sebesar 60Hz kemudian dilihat respon kecepatan motor maksimum.

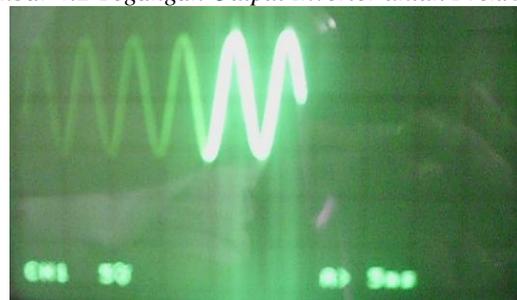


Gambar 4.1 Respon Motor Induksi

Dalam kondisi kecepatan maksimum inverter menunjukkan frekuensi 60Hz, tegangan input yang terukur pada inverter adalah 5Volt dan tegangan output adalah 250Volt seperti yang terlihat pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Tegangan Output Inverter untuk Frek.60Hz



Gambar 4.3 Gelombang Output Inverter Inverter untuk Frek.60Hz

### Pengujian Sensor Rotary

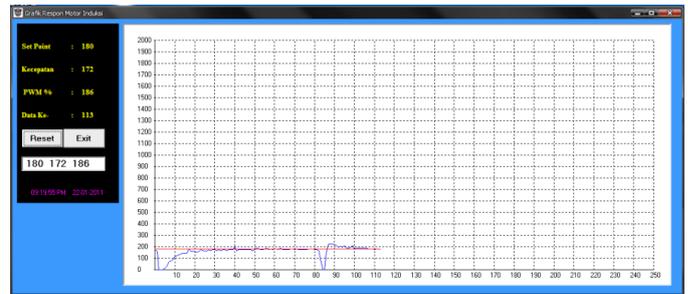
Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk menguji dan melihat hasil perhitungan yang dilakukan oleh rotary encoder.

Tabel 3.1 Pengujian sensor Rotary

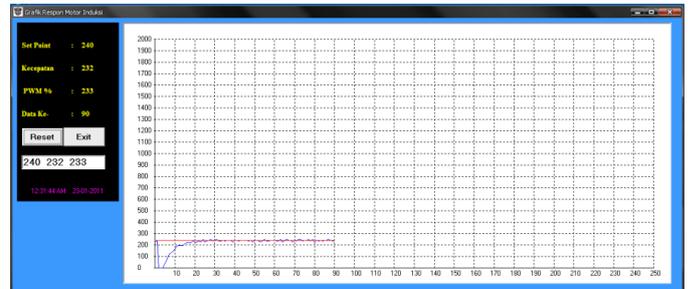
No.	Frek. (Hz)	Pulsa/det	Putaran	Rpm
1	1.58	2	0,25	15
2	2.05	5	0,625	37,5
3	5.03	17	2,125	127,5
4	10.02	39	4,875	292,5
5	15.00	58	7,25	435
6	20.02	79	9,875	592,5
7	25.01	95	11,875	712,5
8	30.01	121	15,125	907,5
9	35.05	149	18,625	1117,5
10	40.00	194	24,25	1455
11	60	224	28	1680

### Pengujian Algoritma Fuzzy

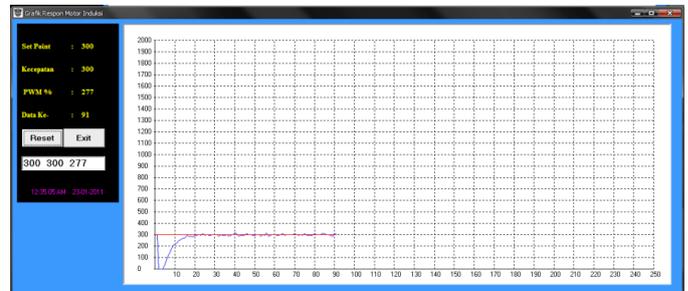
Pengujian algoritma PID-fuzzy dilakukan untuk mengetahui apakah sistem sudah bekerja dengan baik. Proses pengujian dilakukan dengan cara menentukan *set point* pada nilai yang berbeda mulai dari kecepatan rendah hingga kecepatan tinggi. Untuk memudahkan melihat hasil respon pada motor, digunakan tampilan grafik melalui PC. Pada grafik akan muncul garis respon untuk set point yang di gambarkan dengan garis merah, sedangkan untuk respon dari kecepatan motor akan ditampilkan menggunakan garis yang berwarna biru. Respon akan ditampilkan dalam satuan detik.



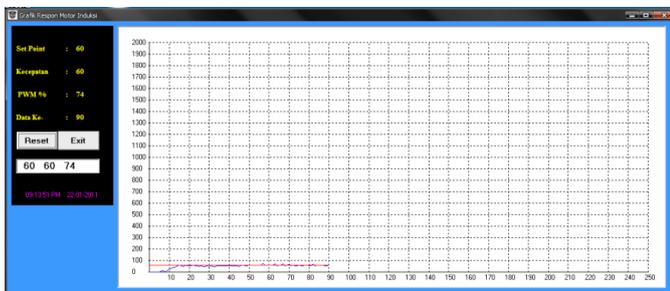
Gambar 4.6 Grafik kecepatan pada set point 180rpm



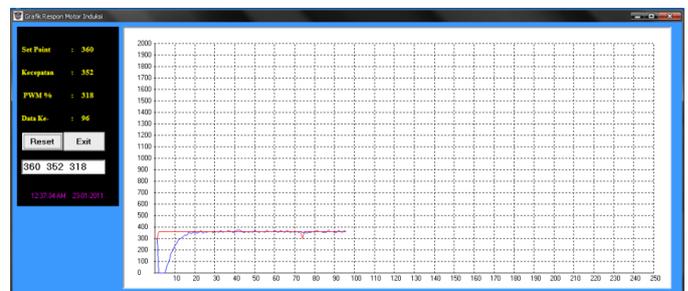
Gambar 4.7 Grafik kecepatan pada set point 240rpm



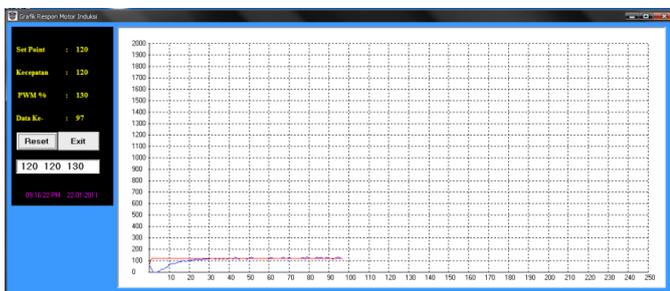
Gambar 4.8 Grafik kecepatan pada set point 300rpm



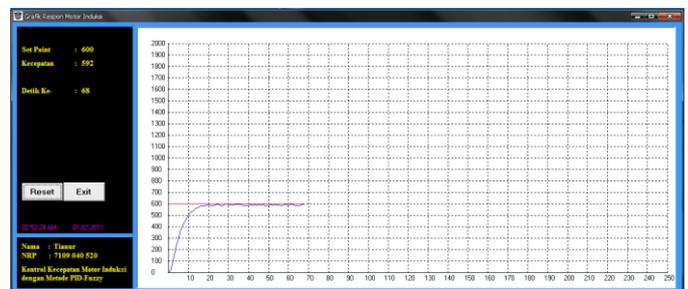
Gambar 4.4 Grafik kecepatan pada set point 60rpm



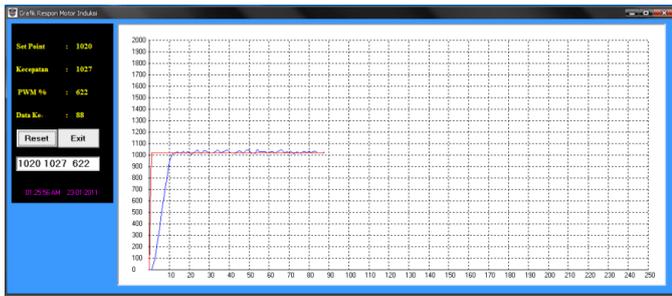
Gambar 4.9 Grafik kecepatan pada set point 360rpm



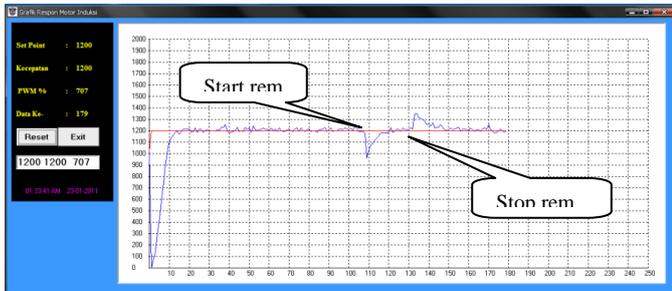
Gambar 4.5 Grafik kecepatan pada set point 120rpm



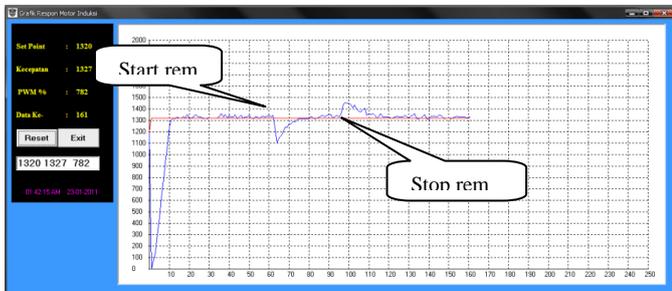
Gambar 4.10 Grafik kecepatan pada set point 600rpm



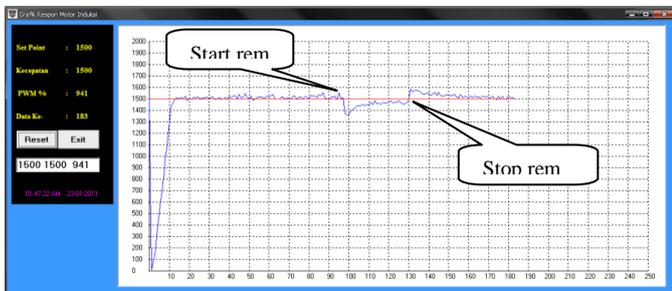
Gambar 4.11 Grafik kecepatan pada set point 1020rpm



Gambar 4.12 Grafik kecepatan pada set point 1200rpm



Gambar 4.13 Grafik kecepatan pada set point 1320rpm



Gambar 4.14 Grafik kecepatan pada set point 1500rpm

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Setelah melakukan tahap perancangan dan pembuatan sistem yang kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian dan analisa maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Untuk mencapai kecepatan maksimum (1680 rpm) dibutuhkan waktu sekitar 12 detik.
- Secara umum saat *start up* awal pada kecepatan diatas 300 rpm memiliki respon yang relatif lebih baik dibandingkan dengan kecepatan 300 rpm kebawah.

- Pada pengujian pertama masih terdapat osilasi pada kecepatan dibawah 300 rpm.
- Pada pengujian kedua, hasil yang diperoleh relatif lebih baik, namun pada kecepatan dibawah 300 rpm masih memiliki respon yang lebih lambat.
- Pada pengujian ketiga, hasil yang diperoleh lebih baik jika dibandingkan dengan pengujian pertama dan kedua.
- Pada pengujian ketiga, diperoleh hasil yang cukup baik. Rata – rata *rise time* yang dihasilkan adalah sekitar 11,45 detik, sedangkan *error stady state* adalah berkisar 1,99%.

### Saran

Dari hasil proyek akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dan dimungkinkan untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh karenanya penulis merasa perlu untuk memberi saran-saran sebagai berikut :

- Dalam sistem ini hanya dilakukan optimasi pada membership function secara manual.
- Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik sebaiknya dilakukan optimasi dengan menggunakan GA.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maeda, Y. Kuswadi, Son. M, Nuh. Sulisty MB, 1993, *Kontrol Automatik*, Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [2] Pitowarno Endra, 2006, *Robotika: Desain, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta, ANDI.
- [3] Wahyu Dwi Hartanto, Thomas. Wahyu Agung P, 2004, *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab*, Yogyakarta, ANDI
- [4] Ogata, Katsuhiko, 1996, *Teknik Kontrol Automatik*. Jilid I edisi kedua – Jakarta. Erlangga
- [5] Sutanta Edhy, 2005, *Komunikasi Data & Jaringan Komputer - Edisi Pertama*, Yogyakarta, Graha Ilmu.
- [6] Kuswadi Son, 2007, *Kendali Cerdas*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [7] Winoto Ardi, 2010, *Mikrokontroler AVR Atmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung, Informatika.
- [8] Klir J, George. Yuan, Bo, 1995, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic : Theory and Applications*, Prentice Hall,
- [9] Kusumadewi Sri. Hartati Sri, 2006, *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem. Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, Graha Ilmu.
- [10] Datasheet ATmega128

