

## SISTEM KENDALI HYBRID PID - LOGIKA FUZZY PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC

Felix Pasila, Thiang, Oscar Finaldi

Jurusan Teknik Elektro

Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131 Surabaya - Indonesia

Email : [felix@petra.ac.id](mailto:felix@petra.ac.id), [thiang@petra.ac.id](mailto:thiang@petra.ac.id)

### **ABSTRAK**

*Suatu sistem kendali yang baik harus mempunyai ketahanan terhadap disturbance dan mempunyai respon yang cepat dan akurat. Sering terjadi permasalahan dalam sistem kendali PID bila dibuat sangat sensitif, maka respon sistem terhadap disturbance menghasilkan overshoot/undershoot yang besar sehingga kemungkinan dapat terjadi osilasi semakin tinggi. Bila dibuat kurang sensitif memang akan menghasilkan overshoot/undershoot kecil, tetapi akibatnya akan memperpanjang recovery time. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan sistem kendali hybrid yaitu sistem kendali PID yang akan dihybridkan dengan sistem kendali logika fuzzy.*

*Dalam sistem ini kendali utama adalah kendali PID sedangkan kendali logika fuzzy bekerja membantu untuk meminimalkan overshoot/undershoot yang terjadi dan juga meminimalkan recovery time dari respon sistem. Sistem kendali logika fuzzy yang didesain mempunyai 2 input yaitu error dan delta error dan output kecepatan motor. Besar output dari sistem kendali logika fuzzy hanya 50 % dari kendali PID. Hal ini dilakukan dengan membatasi semesta pembicaraan dari himpunan fuzzy untuk output. Dari desain sistem ini diharapkan sistem kendali secara keseluruhan yang merupakan hybrid antara PID dengan Kendali Logika Fuzzy dapat menghasilkan respon sistem yang lebih baik.*

*Kata kunci : hybrid pid - fuzzy, disturbance*

### **1. Pendahuluan**

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivative. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan risetime yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil error, dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk memperkecil *derror* atau meredam overshoot/undershoot. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan output dengan risetime yang tinggi dan error yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID, dan pada makalah ini sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali PID digital.

Di lain pihak juga berkembang suatu teknologi dimana kita tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil yang kita inginkan dengan memakai persamaan matematika. Tetapi kita menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan. Jika – maka (*If – Then Rules*), sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik, sistem ini disebut dengan sistem kendali logika fuzzy, yang mana sistem kendali logika fuzzy ini tidak memiliki ketergantungan pada variabel – variabel proses kendali. Sistem ini dikembangkan dalam bidang teknik kontrol, terutama untuk sistem nonlinier dan dinamis.

Pada industri-industri yang membutuhkan suatu sistem kontrol dengan kecepatan tinggi dan keakuratan data output, maka pemakaian aksi kontrol PID mungkin masih dianggap kurang memuaskan. Sebab jika menggunakan aksi kendali PID didapatkan jika suatu kontroler di set sangat sensitif, maka overshoot/undershoot yang dihasilkan akan semakin peka, sehingga osilasi yang ditimbulkan akan lebih tinggi, sedangkan bila kontroler di set kurang peka maka terjadinya overshoot/undershoot dapat diperkecil, tetapi waktu yang dibutuhkan akan semakin lama, dan ini akan menjadikan suatu masalah dalam suatu proses industri.

Karakteristik umum yang digunakan dalam pengontrolan suatu sistem antara lain meliputi : stabilitas, akurasi, kecepatan respon dan sensitivitas.

- ❖ Dalam Aksi kendali Proporsional, output dari sistem kontrol selalu sebanding dengan inputnya. Sinyal output merupakan penguatan dari sinyal kesalahan dengan faktor tertentu, faktor penguatan ini merupakan konstanta proporsional dari sistem, yang dinyatakan dengan  $K_p$ , dimana  $K_p$  ini mempunyai respon yang tinggi/cepat.
- ❖ Dalam aksi kendali integral, output dari kontroler ini selalu berubah selama terjadi penyimpangan, dan kecepatan perubahan output tersebut sebanding dengan penyimpangannya, konstantanya dinyatakan dengan  $K_i$ , dimana  $K_i$  ini mempunyai sensitivitas yang tinggi, yaitu dengan cara mereduksi *error* yang dihasilkan dari sinyal feedback. Makin besar nilai  $K_i$  maka sensitivitasnya akan semakin tinggi, tetapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan lebih cepat, demikian pula sebaliknya.
- ❖ Sedangkan aksi kendali derivative (turunan) bekerja berdasarkan laju perubahan simpangan, sehingga jenis kontroler ini selalu digunakan bersama-sama dengan kontroler proporsional dan integral, konstantanya dinyatakan dengan  $K_d$ , dimana  $K_d$  ini mempengaruhi kestabilan dari sistem, karena aksi kendali ini dapat mereduksi *derror*.

Dengan adanya penggabungan aksi kendali PID ini maka diharapkan akan mendapat suatu respon yang mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi.

### PID Digital

PID Digital pada dasarnya merupakan suatu proses dari suatu program yang dijalankan/*diexecute* dengan menggunakan komputer, dimana kita memasukkan nilai Setting Point (SP) dan Present Value (PV), yang kemudian data yang didapatkan diproses sehingga error yang didapatkan sama dengan 0, atau nilai Setting Point = Present Value.

Untuk dapat mengimplementasikan sistem kendali PID pada komputer, PID harus diubah ke dalam persamaan diskrit :

$$V_o = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

kemudian diturunkan

$$\frac{dV_o}{dt} = K_p \frac{de}{dt} + K_i \frac{d}{dt} \left( \int e dt \right) + K_d \frac{d^2 e}{dt^2} \quad (2)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = K_p \frac{de}{dt} + K_i e + K_d \frac{d}{dt} \left( \frac{de}{dt} \right) \quad (3)$$

dikali dengan  $T_s$ , sehingga

$$\frac{\Delta V_o}{T_s} = K_p \frac{\Delta e}{T_s} + K_i e + K_d \frac{\Delta}{T_s} \left( \frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (4)$$

$$\Delta V_o = K_p \Delta e + K_i e T_s + K_d \Delta \left( \frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (5)$$

Harga  $\Delta V_o$  merupakan harga perubahan output yang didapat dari output sekarang dikurangi dengan output sebelumnya.

$$\Delta V_o = V_{on} - V_{on-1} \quad , \text{ begitu juga pada perubahan error} \quad (6)$$

$$\Delta e = e_n - e_{n-1} \quad (7)$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$V_o - V_{on-1} = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T_s} (\Delta e_n - \Delta e_{n-1}) \quad (8)$$

Pada kondisi akhir , perubahan  $\Delta$  pada error sebelumnya dapat didistribusikan menjadi :

$$\Delta e_n = e_n - e_{n-1} \quad (9)$$

$$\Delta e_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2} \quad (10)$$

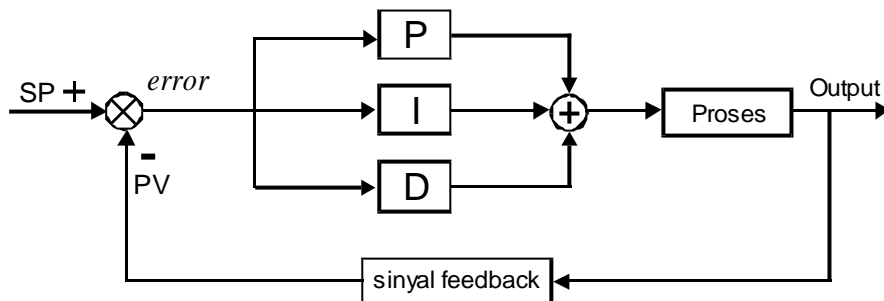
Kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan, menjadi :

$$V_o - V_{on-1} = Kp (e_n - e_{n-1}) + Ki e_n Ts + \frac{Kd}{Ts} [(e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2})] \quad (11)$$

Hasil akhir dari persamaan PID yaitu :

$$V_o = V_{on-1} + Kp (e_n - e_{n-1}) + Ki e_n Ts + \frac{Kd}{Ts} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (12)$$

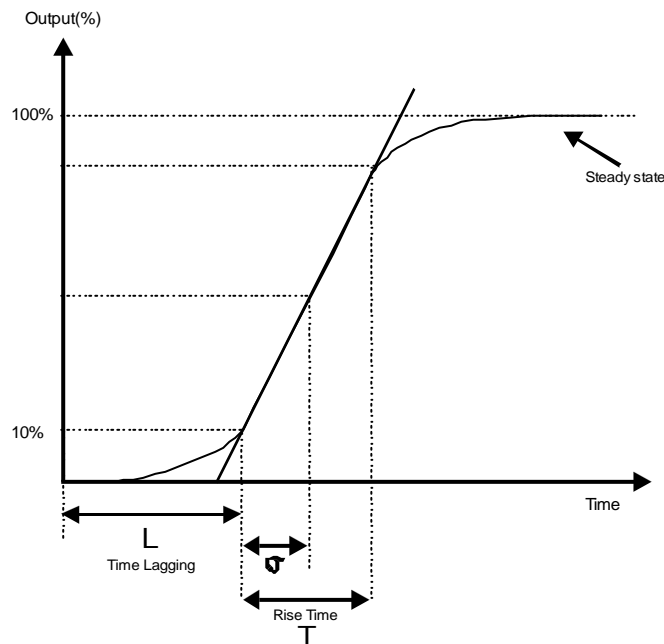
- Dimana :
- $V_o$  = Output
  - $V_{on-1}$  = Ouput sebelumnya
  - $Kp$  = Konstanta Proporsional
  - $Ki$  = Konstanta Integral
  - $Kd$  = Konstanta derivative
  - $e_n$  = Error sekarang
  - $e_{n-1}$  = Error 1 kali sebelumnya
  - $e_{n-2}$  = Error 2 kali sebelumnya
  - $Ts$  = Time Sampling



Gambar 1 Kendali PID

Untuk mendapatkan harga-harga  $Kp$ ,  $Ti(=1/Ki)$ ,  $Td(=Kd)$  menurut Ziegler nichols ditentukan oleh kurva proses reaksi, dimana sistem dijalankan secara open loop.

- $L$  = Time lagging
- $T$  = Time konstan



Gambar 2 Kurva Proses Respon Motor

Perhitungan auto tuning PID menurut Ziegler Nichols dapat dicari dengan persamaan :

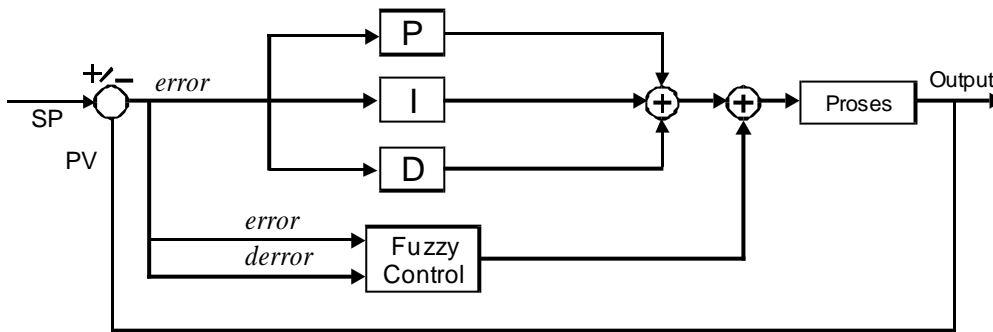
$$Kp = 1.2 \frac{T}{L} \quad (13)$$

$$Ki = \frac{1}{Ti} = 2L \quad (14)$$

$$Kd = Td = \frac{L}{2} \quad (15)$$

### Hybrid Kendali PID – Logika Fuzzy

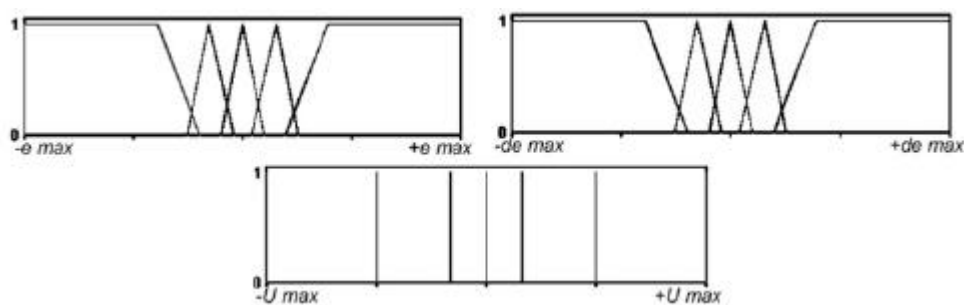
System hybrid kendali PID - logika fuzzy ini dikembangkan oleh OMRON' s Industrial temperature regulator. Kemudian penulis mencoba untuk mengimplementasikannya pada sistem untuk mengendalikan kecepatan motor dengan sistem pengereman sebagai disturbance-nya. Sistem utama adalah kendali PID, sedangkan logika fuzzy disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan recovery time terhadap disturbance.



Gambar 3 Hybrid Kendali PID- Logika Fuzzy

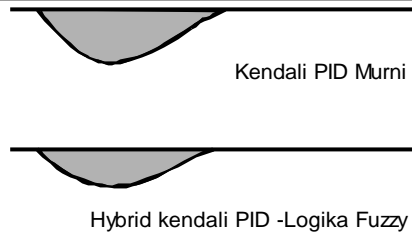
Output dari fuzzy kontrol unit yang dihasilkan mempunyai beban lebih kecil dari kendali PID, artinya range dari output membership function telah ditetapkan yaitu +U max dan -U max, dimana harga U max lebih kecil dari harga kendali PID, pada makalah ini dicoba untuk memberikan beban sebesar 50% dari kendali PID.

Sehingga apabila range dari PID adalah 0-255, maka beban output pada logika fuzzy yaitu 0-128. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4 Membership Function Crisp Input dan Output

Untuk mendapatkan hasil yang optimal , maka kita dapat men-tuning parameter fuzzy kontrol tersebut dengan cara *try and error* yaitu mengatur (adjust) membership function (range *e-max* dan *de-max* ) serta rules-rules yang ada.



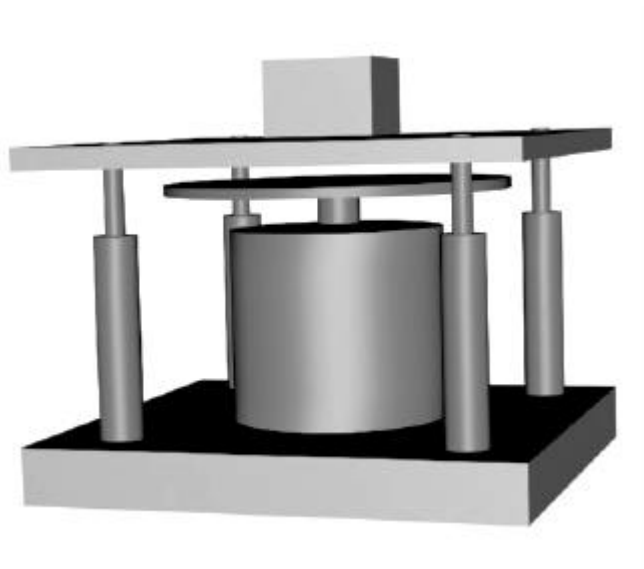
Gambar 5 Respon Hybrid Kendali PID – Logika Fuzzy

## 2. Desain Sistem

### 2.1 Perencanaan Plant

Plant dari sistem pengereman motor ini menggunakan servo motor DC yang juga dapat berfungsi sebagai generator, memiliki tegangan kerja 24V dan kecepatan maksimal 3000 rpm. Bagian dasarnya berfungsi sebagai tumpuan motor yang terbuat dari kayu dengan ukuran 14x14 cm, dan tinggi konstruksi 17 cm.

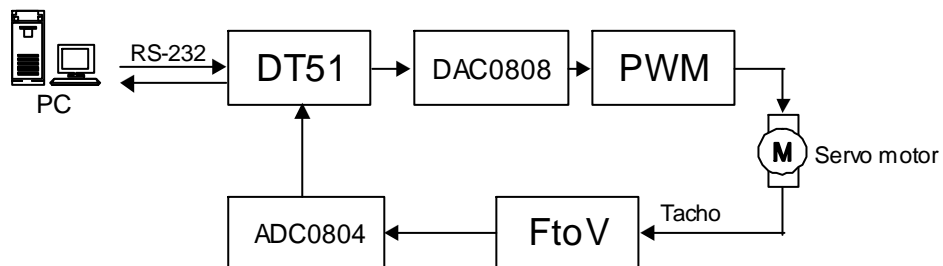
Kemudian sebagai penyangga dipakai 4 buah besi yang dipasang pada masing-masing sudut konstruksi, yang kemudian diberi pegas sebagai penyangga dari papan yang berfungsi sebagai media untuk pemberian disturbance.



Gambar 6 Plant Sistem Pengaturan Kecepatan Motor

Pada bagian rotor diberi suatu piringan yang berfungsi sebagai media pengereman.

Perencanaan perangkat keras meliputi Rangkaian minimum sistem DT51 buatan IE (innovative Electronics), yang dilengkapi dengan mikrokontroler AT89C51, EEPROM AT28C64 sebesar 8 Kbyte, PPI 8255, serta sebuah serial port RS-232, kemudian rangkaian DAC0808, rangkaian PWM (Pulse Width Modulation), rangkaian FtoV (Frekwensi to Voltage), dan rangkaian ADC0804

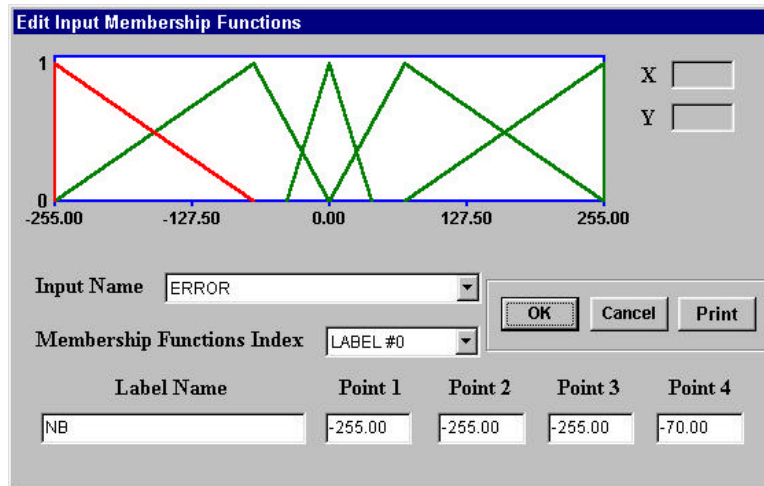


Gambar 7 Blok Perencanaan Perangkat Keras

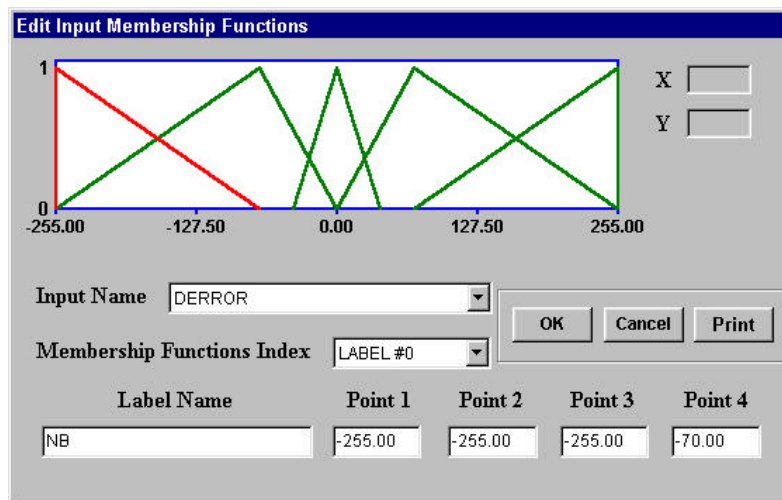
## 2.2 Perencanaan Software

Dalam Perencanaan kendali Hybrid PID - logika fuzzy , sistem utama tetap menggunakan kendali PID, sedangkan logika fuzzy disini berfungsi untuk memperbaiki respon , dan mempercepat recovery time terhadap disturbance.

Sistem kendali ini merupakan gabungan/ hasil penjumlahan dari output yang dihasilkan oleh kendali PID dengan kendali logika fuzzy. Perbedaan yang ada disini yaitu terletak pada rule logika fuzzy dan bentuk membership functionnya, dimana rule ini tidak seperti pada rule-rule fuzzy pada umumnya.



Gambar 8 Membership Function Error untuk Hybrid



Gambar 9 Membership Function Derror untuk Hybrid

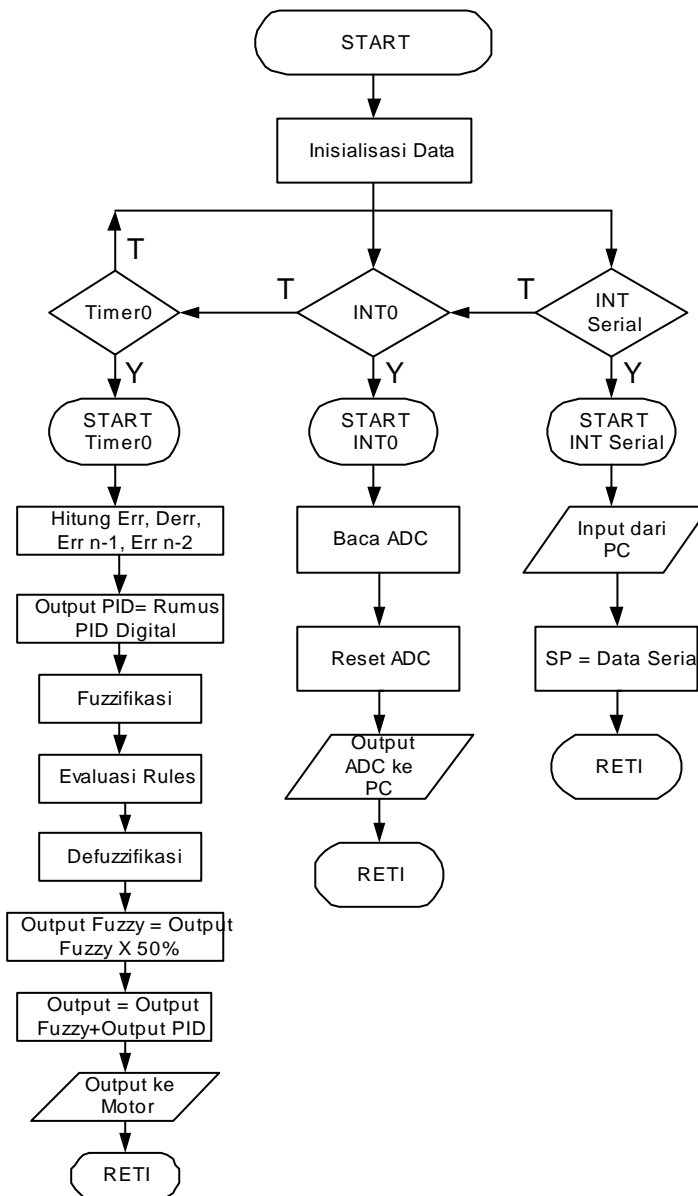
Bentuk membership function pada sistem hybrid lebih lebar dari pada bentuk membership function pada logika fuzzy dengan tujuan supaya dapat meredam disturbance dengan cepat. Sedangkan membership outputnya sama seperti membership function pada logika fuzzy.

Error

|           |           |           |          |           |           |
|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
|           | <b>NB</b> | <b>NS</b> | <b>Z</b> | <b>PS</b> | <b>PB</b> |
| <b>NB</b> | NB        | NB        | NM       | NB        | NM        |
| <b>NS</b> | NB        | NB        | NS       | Z         | NM        |
| <b>Z</b>  | NS        | Z         | Z        | Z         | PS        |
| <b>PS</b> | PM        | Z         | PS       | PB        | PB        |
| <b>PB</b> | PB        | PB        | PM       | PB        | PB        |

Gambar 10 Rules untuk kendali Hybrid PID – Logika Fuzzy

Adapun diagram alir untuk sistem kendali Hybrid adalah sebagai berikut :



Gambar 11 Diagram Alir Kendali Hybrid

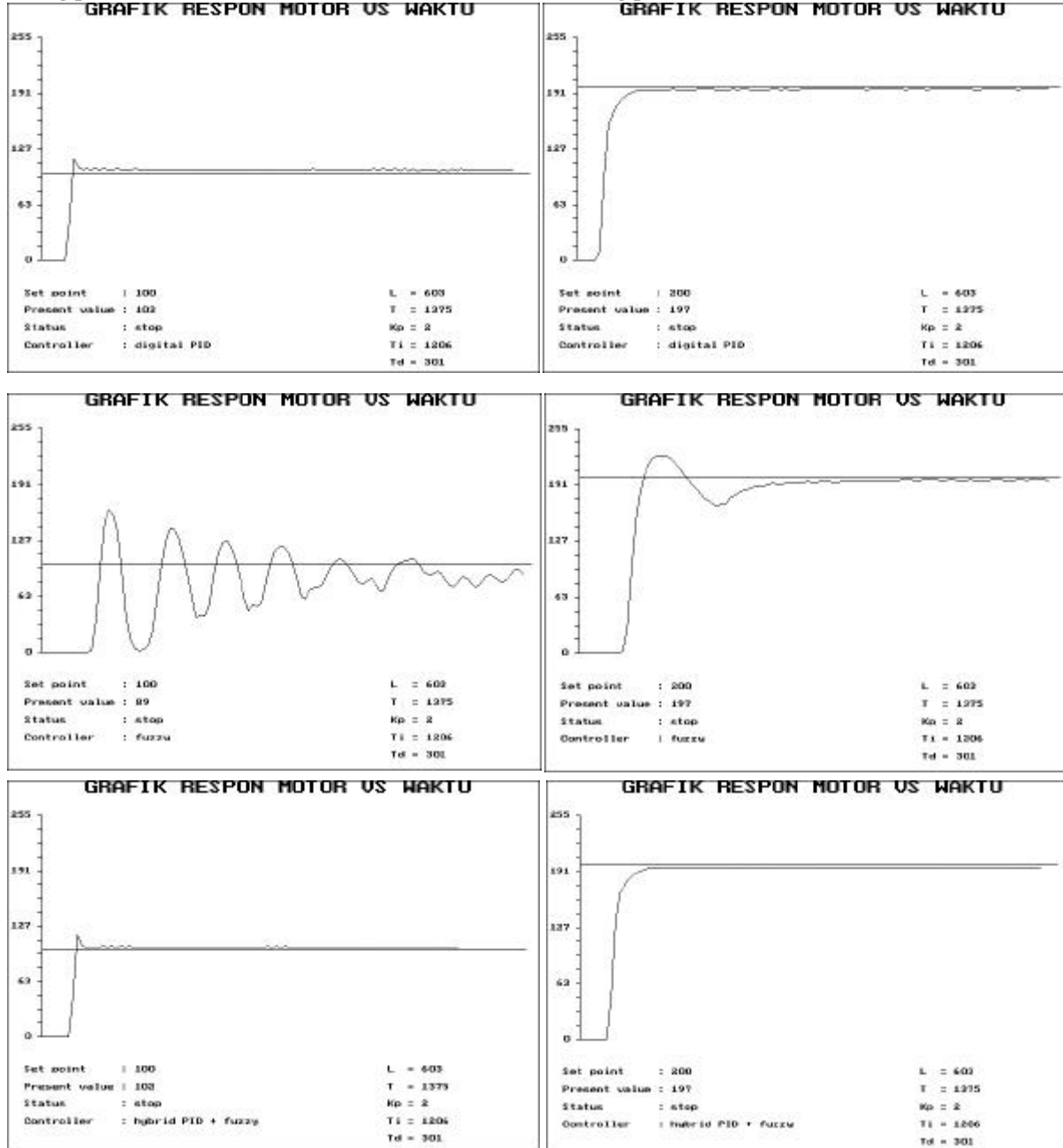
### 3 Hasil Pengujian

#### Pengujian Sistem dengan Variasi Seting Point

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan suatu nilai setting point pada motor dengan beban kosong.

Setting point 100

Setting point 200



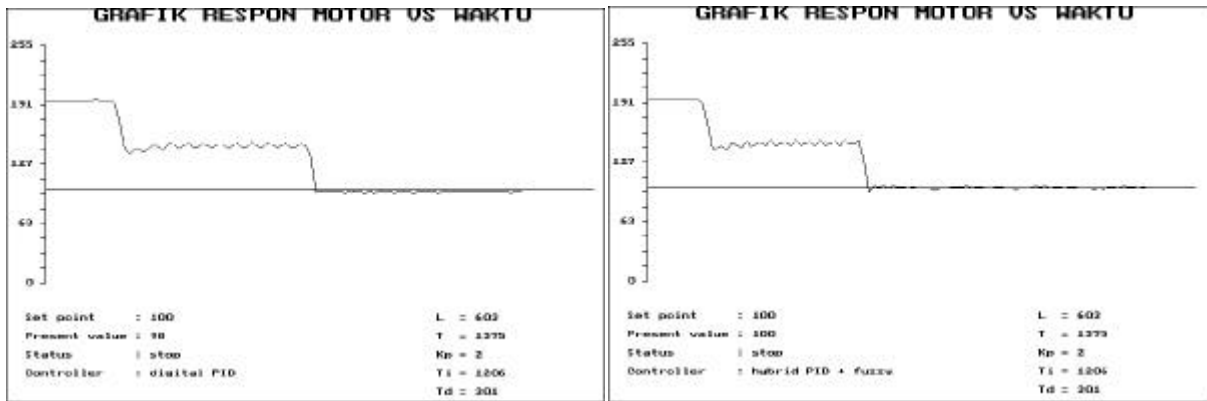
Gambar 12 Respon Motor dengan Kendali PID, Fuzzy & Hibrid

Dari hasil pengujian dengan memberikan variasi setting point, antara sistem kendali PID dengan sistem kendali hybrid, menunjukkan hasil yang tidak terlalu berbeda, hal ini dikarenakan sistem kendali logika fuzzy yang dicangkokkan pada sistem kendali PID tidak memberikan pengaruh yang besar pada keadaan tanpa disturbance/beban kosong, sehingga sistem yang berperan penting adalah sistem kendali PID.



**Pengujian Sistem dengan Variasi setting point**

Pada Variasi Setting point ini di berikan nilai 200, kemudian diturunkan menjadi 150 , dan diturunkan lagi menjadi 100

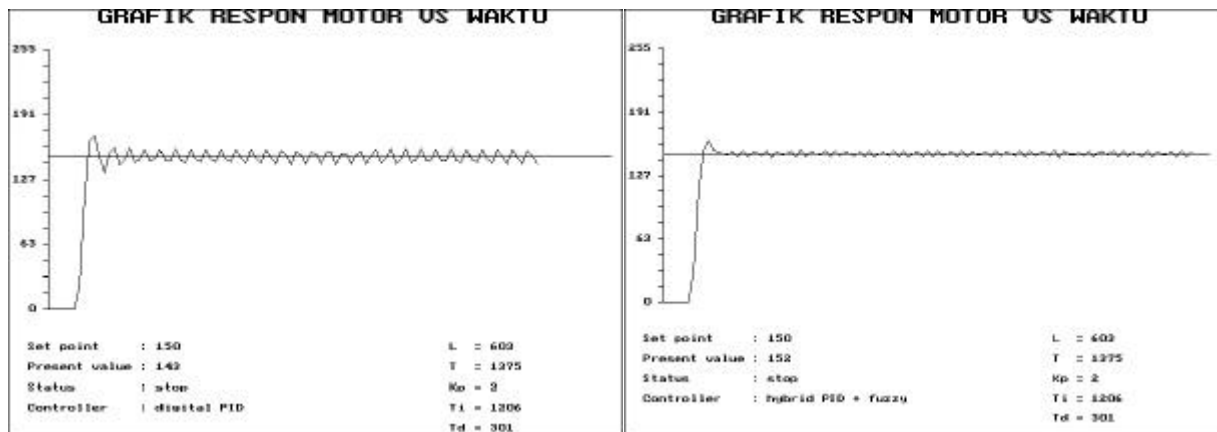


Gambar 13 Perbandingan kendali PID dan Hibrid dengan Variasi SP

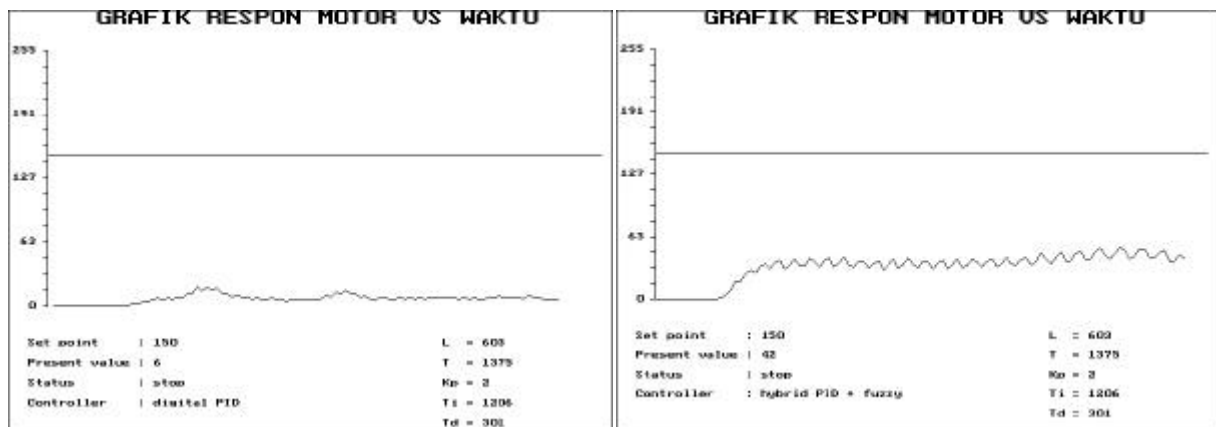
Gambar 13 menunjukkan hasil yang tidak terlalu berbeda, hal ini dikarenakan sistem kendali logika fuzzy yang dicangkokkan pada sistem kendali PID tidak memberikan pengaruh yang besar pada keadaan tanpa disturbance/beban kosong, sehingga sistem yang berperan penting adalah sistem kendali PID.

**Pengujian Sistem dengan Variasi Beban**

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban terlebih dahulu pada motor dalam kondisi diam, kemudian motor dijalankan sesuai dengan setting point yang telah diatur.



Gambar 14 Perbandingan Kendali PID dan Hibrid untuk SP 150 dan Beban 200 gr

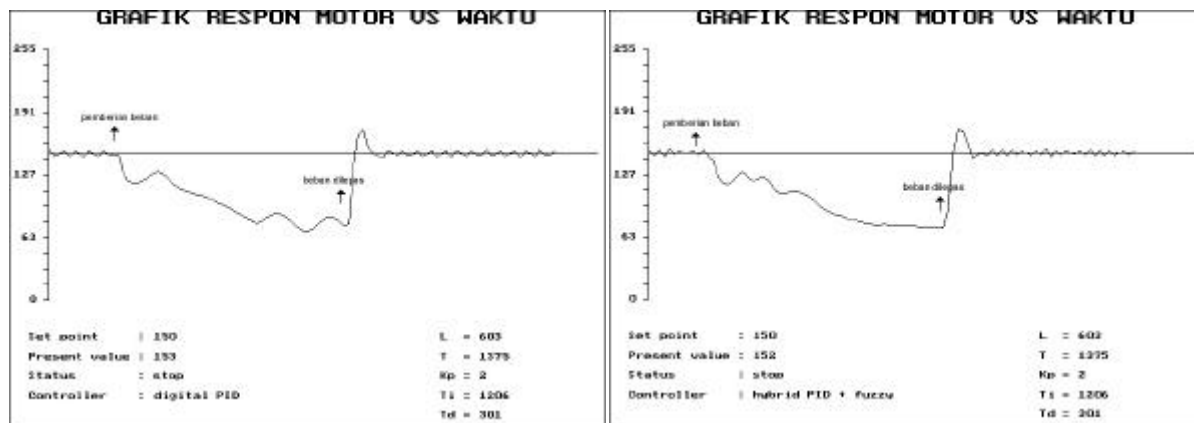


Gambar 15 Perbandingan Kendali PID dan Hibrid untuk SP 150 dan Beban 600 gr

Dari hasil pengujian dengan memberikan variasi beban, sistem kendali hybrid mempunyai daya tahan yang lebih besar terhadap pemberian beban, ini dapat dilihat dengan pemberian beban 600 Gram pada motor.

### Pengujian Sistem dengan Disturbance

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dari sistem apabila diberikan suatu disturbance/gangguan, sehingga dapat dilihat recovery time yang dihasilkan oleh sistem, Setting point ditetapkan sebesar 150.



Gambar 16 Perbandingan Kendali PID dan Hibrid dengan Disturbance, Beban 600 gr

Dari hasil pengujian sistem dengan pemberian disturbance, sistem kendali hybrid mampu memberikan respon dan recovery time yang lebih baik, dan pada pemberian disturbance yang besar, sistem hybrid mampu untuk meredam terjadinya undershoot.

## 4. Kesimpulan

- ❖ Sistem kendali hybrid mampu menghasilkan respon dan recovery time yang lebih baik dan tahan terhadap disturbance, ini terbukti dari hasil pengujian sistem dengan pemberian disturbance, terjadinya undershoot dan overshoot dari pemberian beban dan pelepasan beban dapat di redam.
- ❖ Untuk mendapatkan respon yang baik pada sistem kendali hybrid PID – logika fuzzy dapat dilakukan tuning evaluasi rules serta membership function dengan cara memperlebar nilai crisp input, dengan tujuan untuk meredam overshoot.

## Daftar Pustaka

- [1] Katsuhiko Ogata, "Teknik Kontrol Automatik," Erlangga Jakarta, 1985
- [2] G. J. Klir and B. Yuan, "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic-Theory and Application," Prentice-Hall Inc, New York, 1995.
- [3] J. M. Jacob, "Industrial Control Electronics Application and Design," Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988
- [4] J. Van De Vegte, "Feedback Control System," Prentice-Hall International, Inc, 1994