

# Implementasi Hybrid Fuzzy PID pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Beban Rem Magnetik

Josaphat Pramudijanto<sup>1</sup>, Joko Susila<sup>2</sup>, Asep Suryana<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya, Indonesia

jos@ee.its.ac.id<sup>1</sup>, jokoksus@ee.its.ac.id<sup>2</sup>, aseps.mustopa@gmail.com<sup>3</sup>

**Abstrak** – Saat motor induksi diberi beban pada aplikasi pengaturan kecepatan akan mengurangi kecepatan putar motor induksi tersebut. Agar kecepatan motor tersebut tetap sesuai dengan *setting* kecepatan yang diinginkan, maka perlu diberikan kontroler yang mampu mempertahankan kecepatan sesuai dengan putaran yang diinginkan. Salah satu kontroler yang dapat mempertahankan performa kecepatan motor induksi yaitu kontroler *Hybrid Fuzzy PID*. Untuk merancang kontroler pertama harus didapatkan model matematika motor induksi dengan beban pada poros motor berupa rem magnetik. Kemudian disusun parameter-parameter kontroler yang berupa gabungan antara kontroler *Fuzzy* dan kontroler PID. Dari uji implementasi dengan memanfaatkan *software Labview*, maka didapatkan perbandingan *%error steady state* ketiga kontroler yaitu PID 0,003%, *Fuzzy* 0,057%, dan *Hybrid* 0,016%. Sedangkan *settling time* 5% masing masing kontroler yaitu PID 0,906 detik, *Fuzzy* 1,73 detik, dan *Hybrid* 0,624 detik.

**Kata Kunci** — *Hybrid Fuzzy PID*, Rem Magnetik, dan LabView.

## I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang penggunaannya paling banyak digunakan di industri maupun di rumah tangga. Kegunaannya sangat diandalkan karena motor induksi memiliki keunggulan dari segi konstruksi yang sederhana dan juga kokoh, perawatannya mudah, dan harganya yang murah. Namun disamping itu motor induksi juga memiliki kelemahan yaitu kecepatan putaran rotornya tidak konstan ketika terjadi perubahan torsi beban.

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

Pada implementasi ini digunakan motor induksi tiga fasa dengan beban rem elektromagnetik sebagai *plant* yang akan dikontrol dengan kontroler *Hibrid Fuzzy PID*. Pada motor

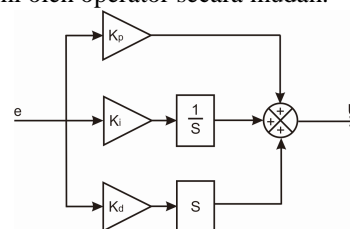
induksi tiga fasa, perubahan kecepatan dapat diatur dengan cara mengubah-ubah besarnya frekuensi yang diberikan pada motor. Implementasi algoritma kontroler menggunakan komputer dengan *software Labview* 2013.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. Kontroler PID

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

Kontrol PID dapat dijumpai secara luas dilatar belakang, kontrol PID mempunyai struktur kontrol yang sederhana. Dimana terdapat tiga parameter utama yang harus diatur (*tuning*), yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Pengaruh perubahan setiap parameter terhadap perubahan dinamika pengontrolan mudah dipahami oleh operator secara mudah.



Gambar 1. Struktur Kontroler PID

Persamaan sinyal kontrol PID merupakan penjumlahan dari masing-masing elemen proposional, integral, dan derivatif yang dikalikan dengan sinyal erornya. Persamaannya dirumuskan pada Persamaan (1) berikut.[1].

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

Jika nilai  $K_p$  dikalikan dengan masing-masing konstanta PID, maka didapatkan Persamaan (2).

$$U_{PID} = K_p e(t) + \frac{K_p}{\tau_i} \int e(t)dt + K_p \tau_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

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

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i} \quad (3)$$

$$K_d = K_p \tau_d \quad (4)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (3) dan Persamaan (4) kedalam Persamaan (2), maka didapatkan persamaan sinyal kontrol PID menjadi Persamaan (5) berikut:

$$U_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \dot{e}(t) \quad (5)$$

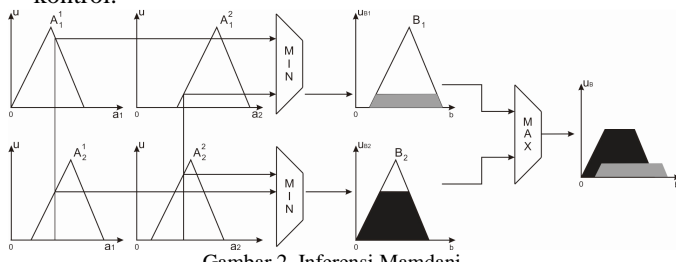
### B. Kontroler Fuzzy

Sistem kontrol Fuzzy terdapat empat proses yaitu meliputi fuzzyfikasi, rule base, Fuzzy inference, dan defuzzifikasi. Keterangan masing-masing proses [2]:

- 1) Fuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan sinyal input yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke himpunan *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Himpunan *fuzzy* yang umum digunakan adalah berbentuk segitiga sama kaki. Persamaan (6) merupakan persamaan untuk mendapatkan sinyal fuzzifikasi dengan himpunan pendukung berupa segitiga samakaki.

$$\mu_{\text{segitiga}}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (6)$$

- 2) Rule base Fuzzy berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan Fuzzy atas daerah-daerah input dan output dan menyusunnya dalam perangkat aturan kontrol.



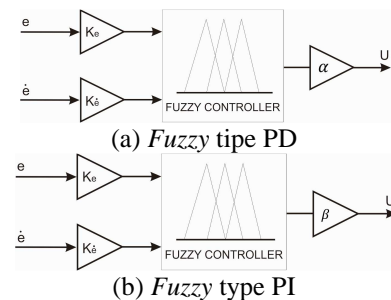
Gambar 2. Inferensi Mamdani

- 3) Inference Fuzzy merupakan inti dari logika fuzzy yang mempunyai kemampuan seperti kecerdasan manusia dalam mengambil keputusan. Aksi pengaturan fuzzy disimpulkan dengan menggunakan implikasi fuzzy dan mekanisme inferensi fuzzy. Mekanisme inferensi fuzzy ada beberapa macam, namun yang umum digunakan adalah inferensi aturan mamdani atau sering disebut dengan inferensi *max-min* karena proses penarikan kesimpulannya berupa *max-min* metode. Struktur inferensi mamdani terlihat pada Gambar 2.

- 4) Defuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat *Fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi. Metode defuzzifikasi terdapat beragam jenis, namun defuzzifikasi yang digunakan adalah jenis *center of area* (COA) untuk inferensi mamdani. Persamaan (7) yang menjelaskan perhitungan defuzzifikasi *center of area*.

$$CoA = \frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) \cdot x \, dx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) \, dx} \quad (7)$$

3. Tipe kontroler logika Fuzzy terdapat bermacam-macam jenisnya, berikut merupakan salah satu kontroler kontroler Fuzzy yaitu Fuzzy PD dan Fuzzy PI seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Kontroler Fuzzy

- Dengan persamaan sinyal kontrol untuk kontroler fuzzy PD pada Persamaan (8).

$$U_{PD-FLC} = \alpha[(\hat{e}(t) + \dot{\hat{e}}(t))] \quad (8)$$

- Sinyal input berupa sinyal error dan delta error dan penguatan input error  $K_e$  dan penguatan delta error  $K_d$  serta penguatan sinyal output adalah  $\alpha$ , maka persamaan sinyal kontrol kontroler fuzzy PD pada Persamaan (8) dapat dituliskan menjadi Persamaan (9).

$$U_{PD-FLC} = \alpha[K_e e(t) + K_d \dot{e}(t)] \quad (9)$$

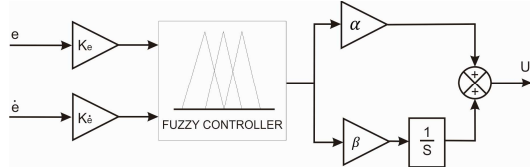
- Persamaan sinyal output kontroler fuzzy PI dapat dituliskan pada Persamaan (10).

$$U_{PI-FLC} = \beta \int [(\hat{e}(t) + \dot{\hat{e}}(t))] dt \quad (10)$$

- Input berupa sinyal error dan delta error sedangkan penguatan input error  $K_e$  dan penguatan delta error  $K_d$  serta penguatan sinyal output adalah  $\beta$  dengan integral sinyal output, maka Persamaan (10) dapat dituliskan seperti pada Persamaan (11).

$$U_{PI-FLC} = \beta \int [K_e e(t) + K_d \dot{e}(t)] dt \quad (11)$$

Kontroler *Fuzzy* PD dengan kontroler *Fuzzy* PI memiliki *rule base* yang sama, maka kedua kontroler tersebut dapat digabungkan menjadi *Fuzzy* PID seperti terlihat pada Gambar 4 [3].



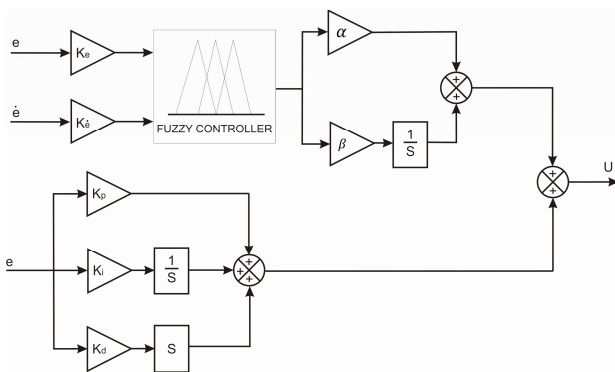
Gambar 4. Struktur Kontroler *Fuzzy* tipe PID

Persamaan sinyal *output* kontroler *fuzzy* tipe PID merupakan gabungan sinyal kontrol *fuzzy* PD dan sinyal kontrol *fuzzy* PI seperti pada Persamaan (12).

$$U_{PID-FLC} = U_{PI-FLC} + U_{PD-FLC} \quad (12)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (9) dan Persamaan (11) ke Persamaan (12), maka akan didapatkan persamaan sinyal *output* kontroler *fuzzy* tipe PID pada Persamaan (13).

$$U_{PID-FLC} = (\beta K_e + \alpha K_e) e(t) + (\beta K_e) \int e(t) dt + (\alpha K_e) \dot{e}(t) \quad (13)$$



Gambar 5. Struktur Kontroler *Hybrid Fuzzy* PID [4]

### C. Kontroler *Hybrid Fuzzy* PID

*Hybrid Fuzzy* PID adalah metode pengontrolan yang menggabungkan dua buah kontroler yaitu kontroler *fuzzy* dan kontroler PID sehingga dinamakan sebagai *Hybrid Fuzzy* PID. Kontroler ini memiliki masukan sinyal *error* dan sinyal  $\Delta_e$  (*delta error*). Struktur kontroler *Hybrid Fuzzy* PID ditampilkan pada Gambar 5.

Persamaan sinyal *output* kontroler dapat dituliskan pada Persamaan (14).

$$U_{HYBRID} = U_{FUZZY} + U_{PID} \quad (14)$$

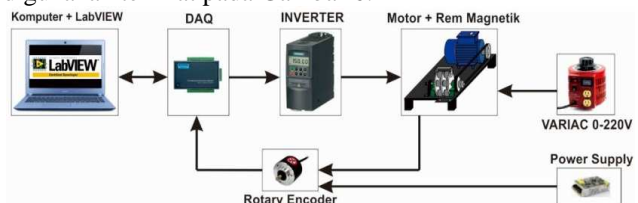
Persamaan (5) dan Persamaan (13) ke Persamaan (14) sehingga didapatkan persamaan sinyal *output* kontroler *Hybrid Fuzzy* PID pada Persamaan (15).

$$U_{HYBRID} = (\beta K_e + \alpha K_e + K_p) e(t) + (\beta K_e + K_i) \int e(t) dt + (\alpha K_e + K_d) \dot{e}(t) \quad (15)$$

## III. PERANCANGAN EKPERIMEN

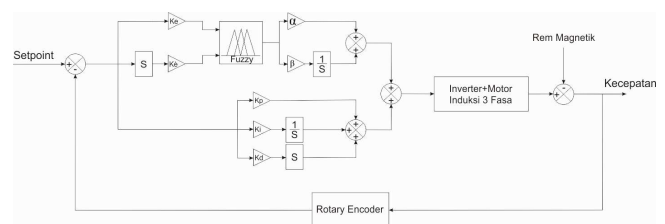
### A. Arsitektur Sistem Pengaturan

Spesifikasi eksperimen yang diharapkan tercapai adalah respon kecepatan motor mampu mengikuti *set point* baik pada saat diberikan beban minimum ataupun maksimum. Beban minimum dan maksimum didapatkan dari pemberian tegangan pada magnetik *brake* yang diberikan pada piringan beban yang terkopel dengan poros motor. Struktur eksperimen yang digunakan terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Arsitektur Eksperimen

Blok diagram sistem yang akan dirancang dapat dilihat pada Gambar 7.



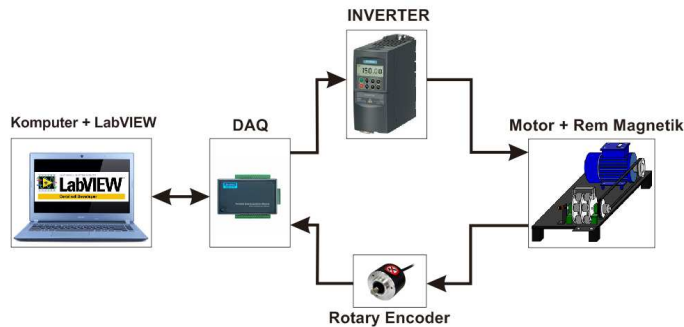
Gambar 7. Blok Diagram Esperimen

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

### B. Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem diperlukan untuk mendapatkan model matematika dari sistem. Proses identifikasi yang digunakan

menggunakan identifikasi dinamis yang dilakukan secara *open loop* dengan memberikan sinyal uji PRBS dengan *setpoint* antara 6-7Volt dari Labview. Konfigurasi identifikasi *plant* motor dengan beban rem magnetik dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Konfigurasi Identifikasi

Pengambilan data dilakukan lima kali dengan kondisi yang sama, pengambilan data menggunakan Labview dan pengambilan data dilakukan setiap 0,01 detik yang disimpan di dalam *.txt file* untuk kemudian diolah.

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

Dari hasil perbandingan validasi model didapatkan model dengan nilai ISE terkecil, sehingga model yang digunakan untuk perancangan kontroler dapat dilihat pada Persamaan (16).

$$G(s) = \frac{-1,776e^{-15}S + 56,24}{S^2 + 14,02S + 49,14} \quad (16)$$

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

$$G(s) = \frac{56,24}{S^2 + 14,02S + 49,14} \quad (17)$$

### C. Kontroler *Hybrid Fuzzy PID*

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

### 1) Kontroler PID

Parameter dari model matematika Persamaan (17) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter Motor dan Beban

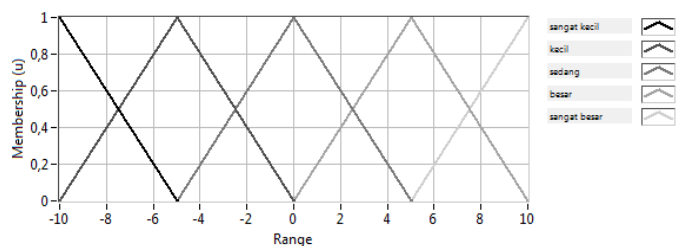
Parameter	Nilai
K	1,14449
$\omega_n$	7,00999
$\zeta$	0,99928

Pada eksperimen ini ditentukan spesifikasi performansi respon sistem setelah ditambah dengan kontroler PID, yaitu  $t_s (\pm 5\%)$  sekitar 1 detik dan  $e_{ss} = 0$  (*zero offset*). Dengan menggunakan metode analitik untuk menentukan parameter-parameter PID, sehingga didapatkan hasil parameter kontroler PID dapat dilihat pada Tabel 2.

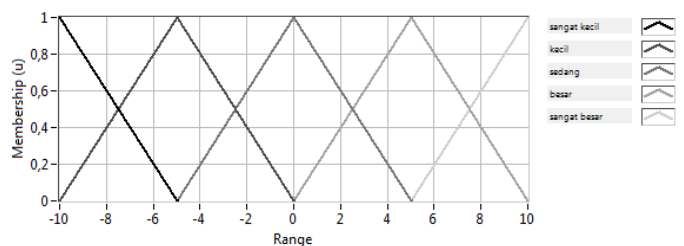
Tabel 2. Parameter-parameter Kontroler PID

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

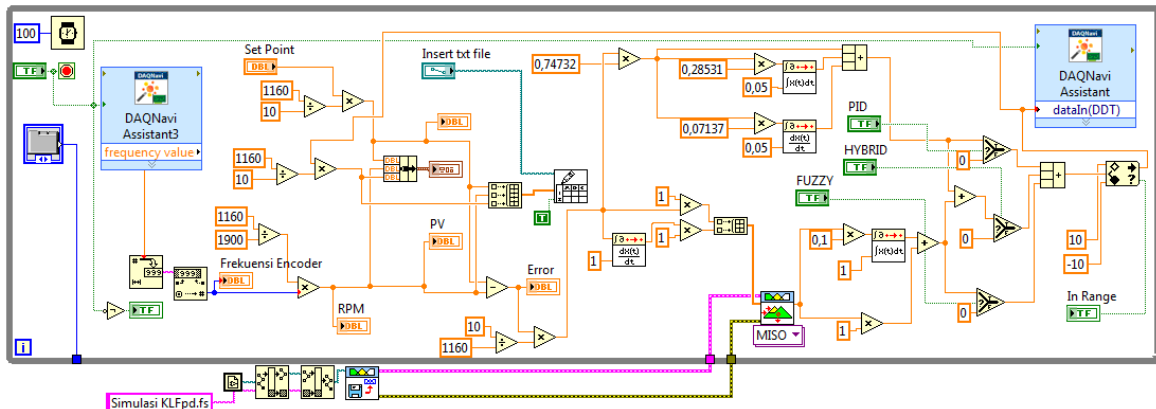
Hasil perhitungan parameter kontroler tersebut selanjutnya digunakan untuk implementasi kontroler. Gambar 11.



Gambar 9. Fuzzifikasi Sinyal Error



Gambar 10. Fuzzifikasi Sinyal Delta Error



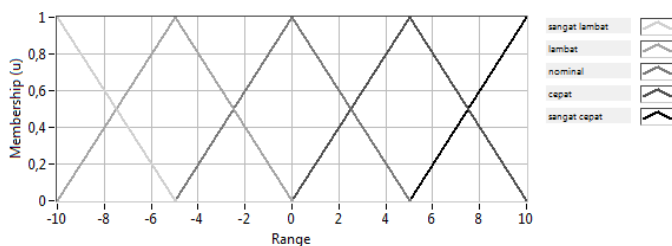
Gambar 12. Blok Diagram LabView Hybrid Fuzzy PID

2) Kontroler Fuzzy

Diagram blok kontrol fuzzy yang digunakan pada eksperimen ini seperti pada Gambar 3. Proses perancangan kontroler fuzzy ini pertama Fuzzifikasi dengan lima himpunan keanggotaan, sinyal yang difuzzifikasi adalah sinyal error dan delta error. Kemudian Rule base yang digunakan yaitu mengikuti aturan Mack Vicar Whelan. Selanjutnya defuzzifikasi menggunakan Center Of Area (COA). Pembuatan fuzzifikasi, Rule base, dan defuzzifikasi pertama-tama dengan mengklik Tools pada toolbar, kemudian pilih Control Design and Simulations, kemudian pilih Fuzzy System Designer. Desain kontroler fuzzy pada eksperimen ini dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 11.

Tabel 3. Rule Base Aturan Mack Vicar Whelan

error $\Delta$ error	SK	K	S	B	SB
SK	SL	SL	SL	L	N
K	SL	SL	L	N	C
S	SL	L	N	C	SC
B	L	N	C	SC	SC
SB	N	C	SC	SC	SC



Gambar 11. Fuzzifikasi Sinyal Kontrol

Parameter parameter gain dari kontroler fuzzy didapatkan dengan tuning memasukan angka sampai didapat sinyal kontrol yang bagus. Dari hasil tuning didapat nilai gain  $K_e = 1$   $K_i = 1$   $\alpha = 10$  dan  $\beta = 0,1$ .

3) Kontroler Hybrid Fuzzy PID

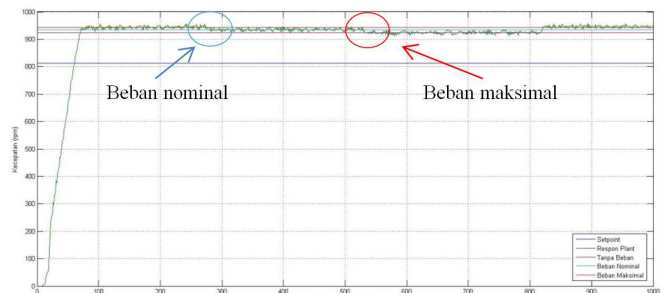
Secara garis besar kontroler Hybrid Fuzzy PID adalah gabungan antara kontroler logika fuzzy dengan kontroler

PID. Parameter-parameter kontroler fuzzy dan PID menggunakan parameter-parameter yang telah diperhitungkan sebelumnya pada perancangan kontroler fuzzy dan kontroler PID. Ekperimen kontroler Hybrid Fuzzy PID dengan Blol Diagram LabView dapat dilihat pada Gambar 12.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Pengujian Rem Magnetik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penurunan kecepatan yang disebabkan rem magnetik. Pembebanan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu tanpa beban, beban nominal, dan beban maksimal. Besarnya beban diatur dengan pemberian tegangan dari variac ke rem magnetik. Untuk beban maksimal tegangan variac adalah 220 Volt, beban nominal tegangan variac adalah 140 Volt, sedangkan tanpa beban tegangan variac adalah 0 Volt. Gambar 13 menunjukkan grafik penurunan kecepatan dari motor induksi tiga fasa.



Gambar 13. Penurunan Kecepatan Motor Akibat Pemberian Rem

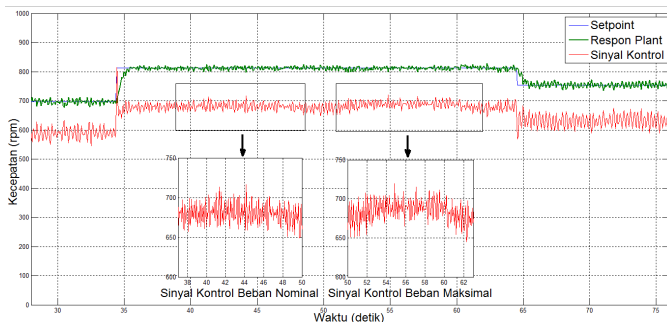
Dari hasil pengujian tersebut didapatkan data hasil penurunan kecepatan motor induksi tiga fasa yang dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rem Magnetik

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

A. Pengujian Implementasi Kontroler PID

Pengujian kontroler PID bertujuan untuk mengetahui respon bila hanya menggunakan kontroler PID saja. Hasil pengujian respon kontroler PID terlihat pada Gambar 14, dan hasil analisis respon kontroler PID terdapat pada Tabel 5.



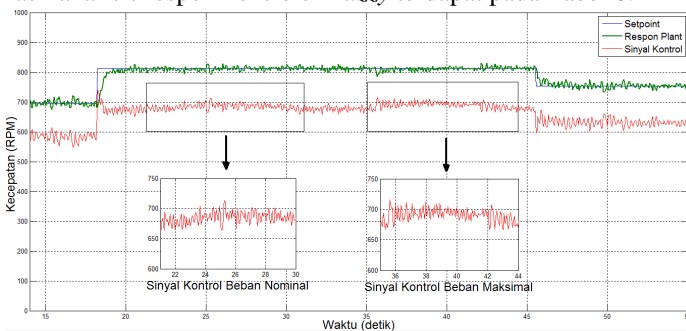
Gambar 14. Respon Implementasi Kontroler PID

Tabel 5. Analisis Respon Kontroler PID

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

B. Pengujian Implementasi Kontroler Fuzzy

Pengujian kontroler Fuzzy bertujuan untuk mengetahui respon bila hanya menggunakan kontroler Fuzzy saja. Hasil pengujian respon kontroler Fuzzy terlihat pada Gambar 15, dan hasil analisis respon kontroler Fuzzy terdapat pada Tabel 6.



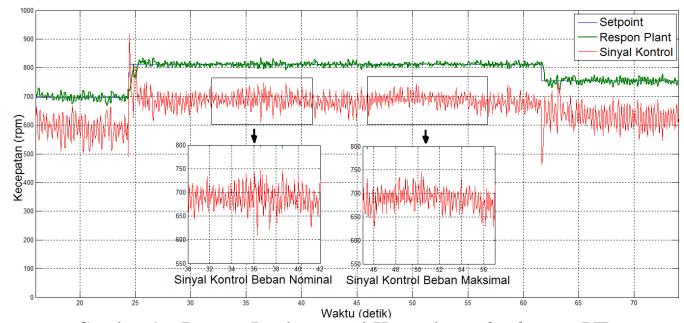
Gambar 15. Respon Implementasi Kontroler Fuzzy

Tabel 6. Analisis Respon Kontroler Fuzzy

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

C. Pengujian Implementasi Kontroler Hybrid

Pengujian kontroler Hybrid Fuzzy PID bertujuan untuk mengetahui respon bila menggunakan gabungan kontroler Fuzzy dan PID. Hasil pengujian respon kontroler Hybrid Fuzzy PID terlihat pada Gambar 16, dan hasil analisis respon kontroler Fuzzy terdapat pada Tabel 7.



Gambar 16. Respon Implementasi Kontroler Hybrid Fuzzy PID

Tabel 7. Analisis Respon Kontroler Hybrid Fuzzy PID

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

D. Analisa

Dari hasil pengujian masing-masing implementasi kontroler dapat dianalisa respon transiennya pada masing-masing kontroler sehingga dapat dibandingkan kontroler mana yang memiliki hasil respon cepat dan *error steady state* yang kecil. Data hasil pengujian dapat ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Karakteristik Kontroler

Kontroler	Parameter			
	Ts 5%	Td	Tr	%Error
PID	0,906 dtk	0,36 dtk	0,68 dtk	0,003%
Fuzzy	1,73 dtk	0,35 dtk	0,57 dtk	0,057%
Hybrid	0,624 dtk	0,32 dtk	0,36 dtk	0,016%

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian dan analisa implementasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan kontroler Hybrid Fuzzy PID dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu penurunan kecepatan dari kondisi tanpa beban ke beban nominal sebesar 8 rpm, sedangkan penurunan kecepatan yang diakibatkan perubahan beban dari tanpa beban ke beban maksimal adalah sebesar 20 rpm. Respon dengan menggunakan kontroler Fuzzy dapat mengikuti nilai kecepatan dari *setpoint* yang ditentukan dengan % error sebesar 0,057%,  $t_s$  5% sebesar 1,73 detik,  $t_r$  0,57 detik, dan  $t_d$  sebesar 0,35 detik, respon dengan menggunakan kontroler PID dapat mengikuti nilai kecepatan dari *setpoint* yang ditentukan dengan % error sebesar 0,003%,  $t_s$  5% sebesar 0,906 detik,  $t_r$  0,68 detik, dan  $t_d$  sebesar 0,36 detik, sedangkan respon dengan menggunakan kontroler Hybrid Fuzzy PID dapat mengikuti nilai kecepatan dari *setpoint* yang ditentukan dengan % error sebesar 0,016%,  $t_s$  5% sebesar 0,624 detik,  $t_r$  0,36 detik, dan  $t_d$  sebesar 0,32 detik. Dari hasil implementasi terlihat bahwa *error steady state* yang terbesar dimiliki oleh *plant* dengan kontroler Fuzzy, sedangkan *error steady state* yang paling rendah dimiliki oleh kontroler PID, dan kontroler Hybrid Fuzzy PID memiliki *error steady state* menengah diantara kedua kontroler PID dan Fuzzy, sehingga didapatkan kontroler Hybrid Fuzzy PID lebih unggul dari

kontroler PID atau *fuzzy* jika dibandingkan dari spesifikasi respon transiennya.

REFERENCES

- [1] Ogata, K. *Modern Control Engineering* 3rd ed. Prentice-Hall. USA. 1997.
- [2] Mlynec D.M, Patyra M.J “*Fuzzy logic implementation and applications*” Wiley, Teubner, 1996.
- [3] Erenoulu Isin, Eksin Ibrahim. “An Intelligent Hybrid Fuzzy PID controller”, *Proceedings 20th European Conference on Modelling and Simulation Wolfgang Borutky*, ISBN 0-9553018-0-7, Istambul, 2006.
- [4] Birkan Akbiyik, Ibrahim Eskin “Evaluation Of The Performance Of Various Fuzzy PID Controller Structures On Benchmark Systems” *Jurnal Electric Engineering and Control Engineering*. Istambul. Turki.
- [5] Josaphat Pramudijanto, Fitriadi Pramono, dan Johan Bernat, “Implementasi Adaptive PID dengan PLC200H untuk Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC”, *Java* Vol 3, No 1, ISSN 1412-8306, Hal 20-24, April 2005.