

# **SIMULASI PENGENDALI P. I. D. FUZZY PADA SISTEM PENGATURAN KECEPATAN MOTOR ARUS SEARAH**

Bambang Widodo<sup>1</sup>

## **ABSTRACT**

*Controller in a control system is important, the controller has function to tune the system output as much as possible with the reference or input. There fore, the controllers should have a rapid response un orde to maintain the same output the input. In the speed of direct current motor, the controller work to maintain a fixed speed even through there is a changing of loads. Fuzzy Proportional Integral Derivative (PID) controller which is combination of digital PID controller and fuzzy logic system. PID controller have parameter can changed through fuzzy rules. The simulation of speed control of direct current motor with fuzzy PID controller are intehded to find out how quickly a response to changes motor load*

*Key words : Proportional Integral Derivative (PID) Controller, Fuzzy PID controller*

## **ABSTRAK**

*Pengendali dalam sistem pengaturan merupakan peralatan yang penting, pengendali itu berfungsi untuk membuat keluaran sistem sedapat mungkin sama dengan acuan atau masukan, sehingga pengendali harus mempunyai respons yang cepat untuk mempertahankan keluaran supaya sama dengan masukan. Dalam pengaturan kecepatan putaran motor arus searah, pengendali berfungsi untuk mempertahankan kecepatan yang tetap sesuai acuan walaupun beban berubah. Pengendali PID (Proporsional Integral Derivatif) Fuzzy yang merupakan gabungan pengendali PID digital dan Fuzzy. Pengendali mempunyai prinsip PID yang dapat diseting parameternya dan menggunakan aturan fuzzy. Simulasi pengaturan kecepatan motor arus searah dengan pengendali PID Fuzzy dimaksudkan untuk mengetahui seberapa cepat respons pengendali terhadap perubahan beban motor.*

*Kata kunci : Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID), pengendali PID, Fuzzy*

---

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Kristen Indonesia, Jalan Mayjen Sutoyo, Jakarta 13630, INDONESIA, E-mail: bangwido@yahoo.com, Tel.: +62-21-8009190, Fax.: +62-21-8094074

## 1. PENDAHULUAN

Dalam banyak hal diperlukan kecepatan putaran motor listrik yang konstan atau tetap walaupun beban yang dipikul berubah-ubah. Untuk itu diperlukan pengendali atau *controller* yang mempunyai respons yang cepat untuk mempertahankan kecepatan akibat adanya perubahan beban. Memang sudah banyak jenis pengendali, seperti pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*) baik analog maupun digital, pengendali Fuzzy dan masih banyak lagi.

Dalam makalah ini akan dibahas pengendali PID Fuzzy yang merupakan gabungan pengendali PID digital dan Fuzzy. Pengendali mempunyai prinsip PID yang dapat diseting parameter pengendalinya dan mempunyai penalaan yang halus sesuai bobot derajat keanggotaan. Selain itu dalam pengendali juga dipergunakan aturan logika yang sederhana yaitu IF variabel masukan A operator variabel masukan B THEN variabel keluaran

Pengendali diaplikasikan dalam pengaturan kecepatan putaran motor arus searah penguatan terpisah. Dipilih motor ini karena medan penguat dianggap konstan sehingga pengaturan hanya dilakukan dengan pengaturan tegangan pada rangkaian jangkar. Berdasarkan

karakteristiknya motor ini mempunyai daerah pengaturan yang luas, yaitu mulai diam sampai dengan kecepatan nominal, asalkan arus dan tegangan tidak melebihi nominal.

Adapun tegangan jangkar berasal dari konverter (rectifier), dimana tegangan keluarannya dapat diatur pada sudut penyalan thyristor.

Dalam makalah akan dimodelkan semua peralatan yang digunakan seperti pengendali, motor dan konverter. Dengan bantuan perangkat lunak Matlab akan dilakukan simulasi dan hasilnya dianalisa

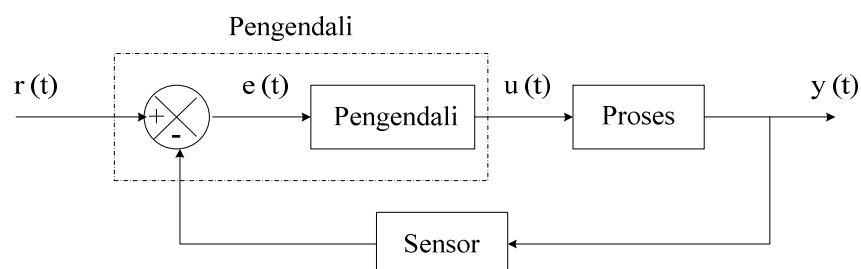
## 2. PEMODELAN PENGENDALI

Dalam suatu sistem kendali, pengendali merupakan komponen penting yang berfungsi untuk membandingkan sinyal keluaran dengan sinyal acuan (Aström & Hägglund, 1988, dan Hartanto & Praseto, 2003).

Secara blok diagram sistem kendali 1 dapat digambarkan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Sinyal keluaran  $[y(t)]$  dibandingkan dengan *set point*  $[r(t)]$  akan menghasilkan *error*  $[e(t)]$ .

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$



$r(t)$  = Referensi (*set point*)

$y(t)$  = Keluaran (*process variable*)

**Gambar 1. Diagram blok sistem kendali**

Sinyal kesalahan  $e(t)$  selanjutnya diproses dalam pengendali, hasilnya adalah sinyal keluaran pengendali yaitu  $u(t)$ , yang sering disebut sebagai *Manipulated Variable* (MV).

$$u(t) = [\text{parameter pengendali}] \cdot e(t) \quad (2)$$

### 2.1. Sistem Pengendali Fuzzy

Pengendali PID Fuzzy dapat diturunkan berdasarkan PID analog, yaitu:

Error  $E$ :

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3)$$

Penjumlahan error  $SE$ :

$$SE(t) = e(t) + e(t-1) \quad (4)$$

Perubahan error  $CE$ :

$$CE(t) = e(t) - e(t-1) \quad (5)$$

### 2.2. Pengendali Proporsional Fuzzy

Berdasarkan pengendali proporsional analog sinyal keluarannya adalah (Gambar 2):

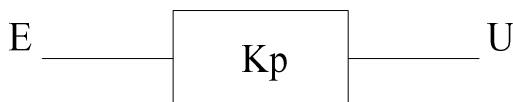
$$u(t) = Kp * e(t) \quad (6)$$

maka untuk pengendali proporsional Fuzzy sinyal keluarannya adalah:

$$U = Kp * E \quad (7)$$

di mana :  $K_p$  = penguatan proporsional

Secara blok diagram dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 2):



Gambar 2. Blok diagram kendali proporsional Fuzzy

### 2.3. Pengendali Proporsional Integral Fuzzy

**Fuzzy**

Sinyal keluaran PI analog adalah:

$$u(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt \quad (8)$$

$$u(t) = Kp e(t) + Ki \int_0^t e(t) dt \quad (9)$$

Sum Error (SE)

Sinyal keluaran PI Fuzzy adalah:

$$U = Kp \cdot E + Ki \cdot SE \quad (10)$$

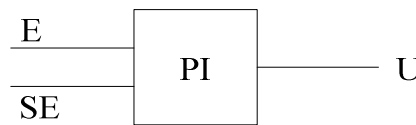
di mana:

$Kp$  = penguatan proporsional

$Ti$  = waktu integrasi

$Ki$  = konstanta integrasi

Secara blok diagram dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 3):



Gambar 3. Blok diagram kendali proporsional integral Fuzzy

### 2.4. Pengendali Proporsional Derivatif Fuzzy

**Fuzzy**

Sinyal keluaran PD analog:

$$u(t) = Kp \cdot E(t) + Kp \cdot Td \frac{d e(t)}{dt} \quad (11)$$

$$u(t) = Kp \cdot E(t) + Kd \frac{d e(t)}{dt} \quad (12)$$

Sinyal keluaran PD Fuzzy:

$$U = Kp \cdot E + Kd \cdot CE \quad (13)$$

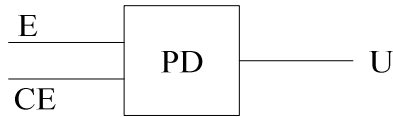
di mana:

$Kp$  = penguatan proporsional

$Td$  = waktu derivatif

$Kd$  = konstanta derivatif

Secara blok diagram dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 4):



Gambar 4. Blok diagram kendali proporsional derivatif Fuzzy

### 2.5. Pengendali PID Fuzzy

Sinyal keluaran PID analog adalah:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d e(t)}{dt} \quad (14)$$

di mana:

$K_p$  = penguatan proporsional

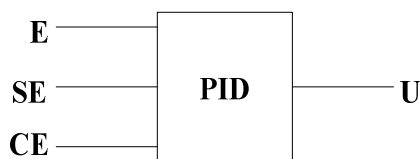
$K_i$  = konstanta integrasi

$K_d$  = konstanta derivatif

Sinyal keluaran PID Fuzzy adalah:

$$U = K_p \cdot E + K_i \cdot SE + K_d \cdot CE \quad (15)$$

Secara blok diagram dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 5):



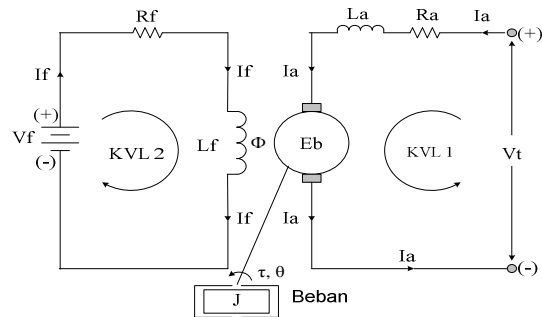
Gambar 5. Blok diagram kendali PID Fuzzy

### 3. PEMODELAN MOTOR ARUS SEARAH PENGUATAN TERPISAH

Salah satu jenis motor arus searah adalah motor arus searah penguat terpisah. Motor ini memiliki 2 sumber tegangan yang terpisah (Widodo, 2000):

1. Tegangan sumber
2. Tegangan penguat

Pada jangkar motor timbul *electrical magnetic force* (emf) lawan sebesar  $E_b$  yang melawan tegangan sumber ( $V_t$ ). Rangkaian ekivalen motor arus searah penguat terpisah diperlihatkan pada Gambar 6, berikut ini:



Gambar 6. Rangkaian ekivalen motor arus searah penguat terpisah

Keterangan gambar:

$V_f$  = sumber tegangan kumparan medan

$R_f$  = tahanan kumparan medan

$L_f$  = induktansi kumparan medan

$I_f$  = arus penguatan medan

$V_t$  = sumber tegangan jangkar

$R_a$  = tahanan kumparan jangkar

$L_a$  = induktansi kumparan jangkar

$E_b$  = tegangan induksi jangkar (emf)

$I_a$  = arus jangkar

$\Phi$  = medan (fluksi) penguat

$\tau$  = torsi fungsi waktu

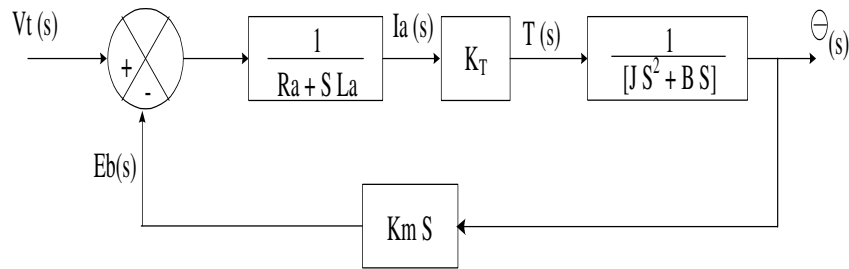
$\theta$  = kecepatan

$J$  = inersia

$B$  = viscous friction coefficient

### Fungsi Alih Motor Arus Searah Penguat Terpisah

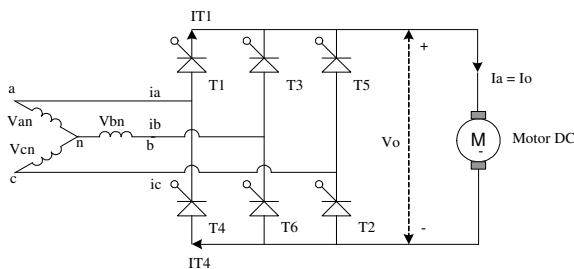
Berdasarkan rangkaian ekivalen dari motor arus searah penguat terpisah Gambar 6, maka motor tersebut dapat dimodelkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



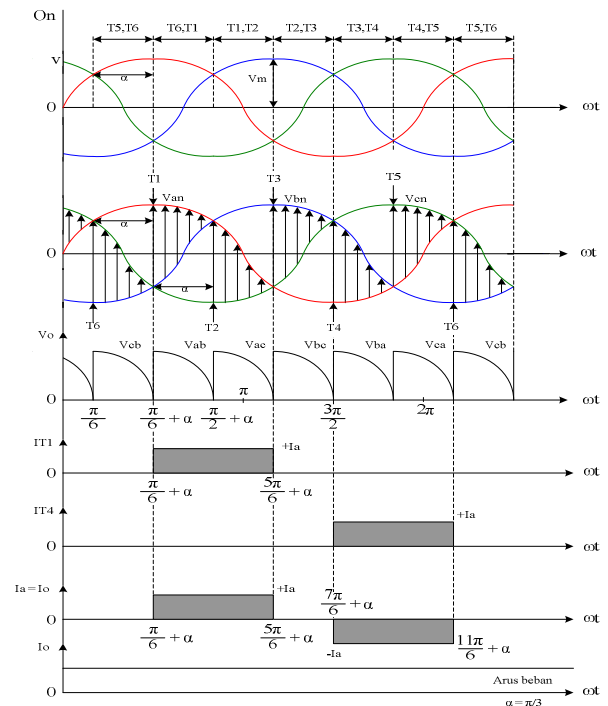
Gambar 7. Blok diagram motor arus searah penguat terpisah

#### 4. PEMODELAN KONVERTER TIGA FASA

Konverter tiga fasa secara ekstensif digunakan pada banyak aplikasi industri hingga level daya 120 kW dengan daerah operasi 2 kuadran (Rashid, 2000). Gambar 8 memperlihatkan rangkaian konverter penuh dengan beban motor arus searah. Rangkaian ini dikenal sebagai jembatan tiga fasa. Gambar 9 memperlihatkan bentuk gelombang dari tegangan masukan, tegangan keluaran, arus masukan dan arus yang melalui thyristor untuk  $\alpha = \pi/3$ . Untuk  $\alpha >$  dari  $\pi/3$ , tegangan keluaran sesaat  $V_o$  akan memiliki bagian negatif. Karena arus yang melalui thyristor tidak dapat negatif, arus beban akan selalu positif.



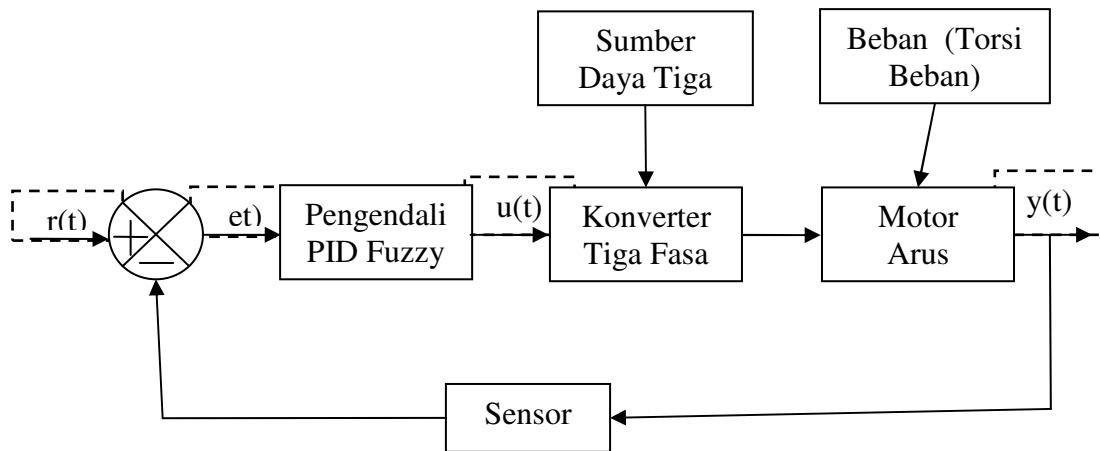
Gambar 8. Rangkaian konverter tiga fasa dengan beban motor searah



Gambar 9. Bentuk gelombang tegangan dan arus dari Konverter tiga fasa.

Tegangan keluaran rata-rata diperoleh dari

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6+\alpha}}^{\frac{\pi}{2+\alpha}} v_{ab} d(\omega t) \\
 &= \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6+\alpha}}^{\frac{\pi}{2+\alpha}} \sqrt{3} V_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) d(\omega t) \\
 &= \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (16)
 \end{aligned}$$



Gambar 10. Blok diagram pengendali kecepatan motor arus searah

di mana:

- $V_{ab}$  = tegangan antar fasa
- $\alpha$  = sudut penyalan thyristor

### 5. PEMODELAN SISTEM

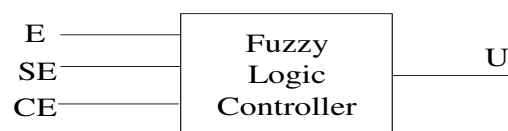
Dalam pemodelan sistem dipilih parameter motor arus searah penguat terpisah yang digunakan adalah (Haselman, 1997, dan Vas, 1999):

- Daya output ( $P.out$ ) = 5 HP
- Tegangan Jangkar ( $V_t$ ) = 240 Volt
- Kecepatan ( $N$ ) = 1750 Rpm
- Tegangan Medan ( $V_f$ ) = 150 Volt
- Tahanan Jangkar ( $R_a$ ) = 11.2  $\Omega$
- Induktansi Jangkar ( $L_a$ ) = 0.1215 H
- Tahanan Medan ( $R_f$ ) = 281.3  $\Omega$
- Induktansi Medan ( $L_f$ ) = 156 H
- Total Inertia ( $J$ ) = 0.02215 kg m<sup>2</sup>
- Viscous Friction Coefficient ( $B_m$ ) = 0.002953 N m s
- Coulomb Friction Torque ( $T_f$ ) = 0.5161 Nm

Pemodelan sistem pengaturan kecepatan motor DC penguat terpisah menggunakan logika fuzzy bertujuan

untuk mendapatkan *setting* PID-fuzzy yang terbaik untuk kondisi kerja tertentu, dengan catatan bahwa motor tidak boleh berputar melebihi batas yang ada. Pengaturan dilakukan dengan mengatur besarnya tegangan sumber ( $V_t$ ) dengan pengaturan sudut penyalan ( $\alpha$ ) konverter yang disimulasikan didalam MATLAB.

Secara blok diagram, pengaturan kecepatan motor arus searah penguat terpisah dengan menggunakan Pengendali PID fuzzy dapat dilihat pada Gambar 10. Model sistem fuzzy menggunakan penalaran fuzzy metode SUGENO. Pada sistem ini, *error* proses [ $E(t)$ ], penjumlahan *error* proses [ $SE(t)$ ], dan perubahan *error* [ $CE(t)$ ] digunakan sebagai input pada *Fuzzy Controller*, sedangkan aksi kontrol [ $U(t)$ ] dijadikan sebagai output yang akan dicari (Gambar 11).



Gambar 11. Input – output pengendali fuzzy

$$E(t) = r(t) - y(t) \quad (3-1)$$

$$SE(t) = E(t) + E(t-1) \quad (3-2)$$

$$CE(t) = E(t) - E(t-1) \quad (3-3)$$

dimana:

$r(t)$  : kondisi pada waktu (t)  
 $y(t)$  : *output process* pada waktu (t)  
 $E(t)$  : *error process* pada waktu (t)  
 $E(t-1)$ : *error process* pada waktu (t-1)

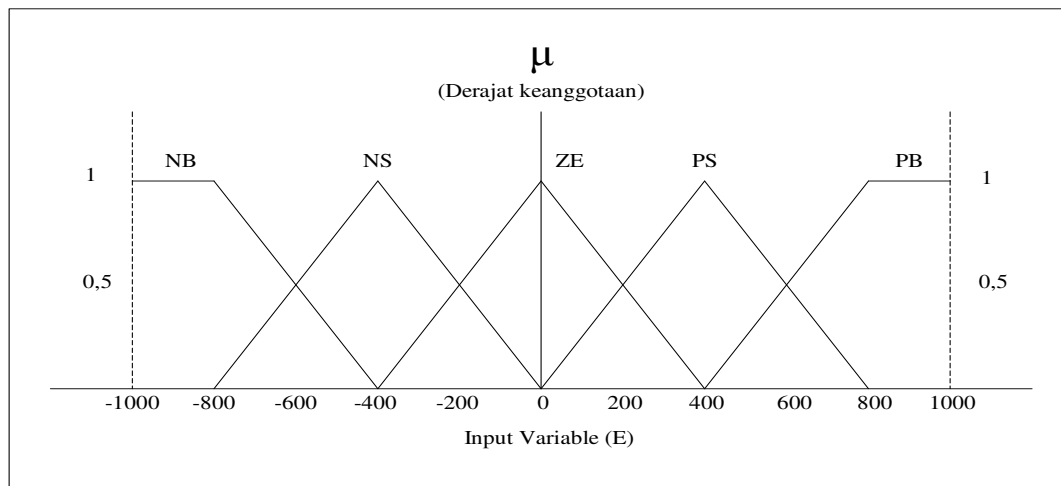
Dalam memdekomposisi variabel model menjadi himpunan fuzzy Berdasarkan perkiraan kasar, dapat kita gambarkan sistem akan bekerja dengan baik dengan (*fine control*):

- *Error* (E) pada interval [-1000 1000]
- Penjumlahan *error* (SE) pada interval [ - 800 800 ]
- Perubahan *error* (CE) pada interval [-600 600]
- Interval yang diperbolehkan untuk aksi kontrol (U) adalah [0 200]

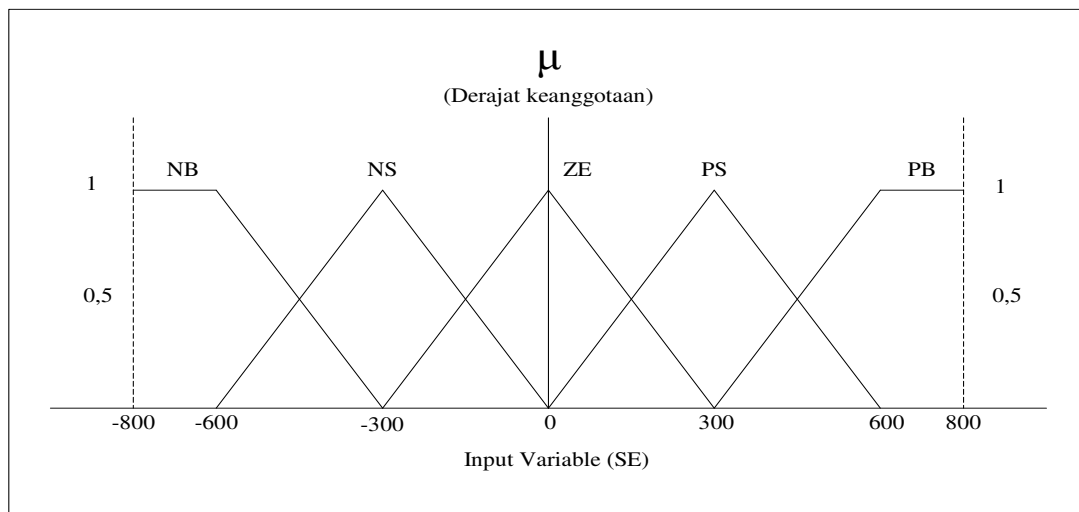
Himpunan fuzzy untuk ketiga variabel diatas adalah:

- *Positive Big* (PB)
- *Positive Small* (PS)
- *Zero* (ZE)
- *Negative Small* (NS)
- *Negative Big* (NB)

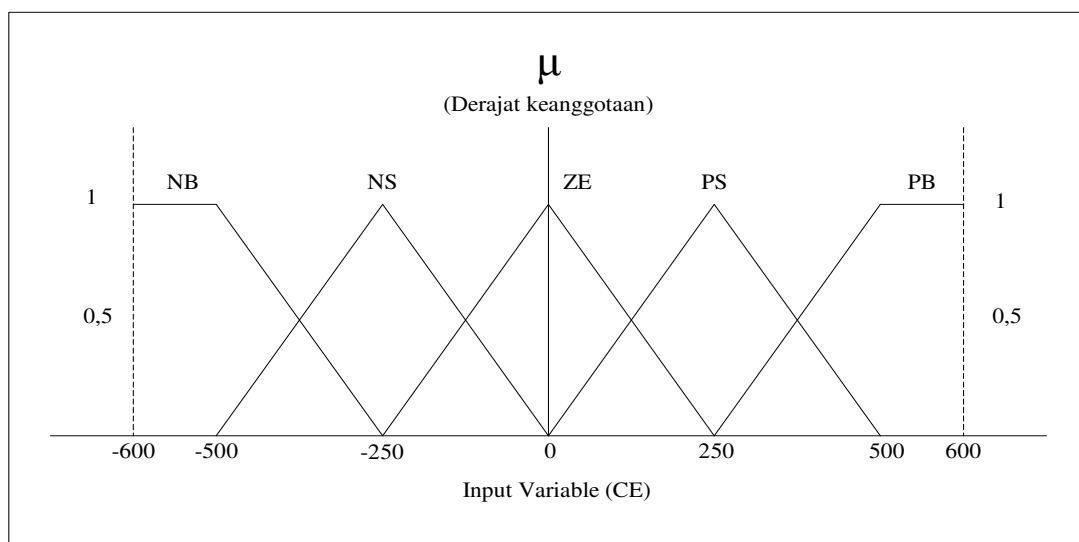
Masing-masing variabel input *Error* (E), *Sum Error* (SE), dan *Change Error* (CE) mempunyai gambar fungsi keanggotaan yang sama tetapi dengan interval yang berbeda. Sedangkan untuk variabel output (U) dengan penalaran metode SUGENO, fungsi keanggotaannya berbentuk *fungsi* konstan. Fungsi keanggotaan untuk input variabel *Error* [E(t)], *Sum Error* [SE(t)] dan *Change Error* [CE(t)], berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 12. Himpunan fuzzy untuk input variabel E(t)



**Gambar 13. Himpunan fuzzy untuk variabel *Sum Error* [SE(t)]**



**Gambar 14. Himpunan fuzzy untuk input variabel CE(t)**

Sedangkan fungsi keanggotaan variabel *output*  $U(t)$  penalaran fuzzy dengan metode SUGENO, digunakan output berbentuk fungsi konstan, yaitu :

- Fungsi keanggotaan NB = 0
- Fungsi keanggotaan NS = 0
- Fungsi keanggotaan ZE = 0
- Fungsi keanggotaan PS = 100
- Fungsi keanggotaan PB = 200

Aturan-aturan dari pemodelan sistem dengan menggunakan logika fuzzy:

- [R1]: *if Error is NB and SE is any and CE is any then U is NB*
- [R2]: *if Error is PB and SE is any and CE is any then U is PB*
- [R3]: *if Error is ZE and SE is ZE and CE is ZE then U is ZE*
- [R4]: *if Error is NS and SE is NS and CE is NS then U is NS*



- [R5]: *if Error is PS and SE is PS and CE is PS then U is PS*
- [R6]: *if Error is NS and SE is PB and CE is NB then U is PS*
- [R7]: *if Error is NS and SE is NB and CE is PB then U is NS*
- [R8]: *if Error is NS and SE is PS and CE is ZE then U is NS*
- [R9]: *if Error is NS and SE is NS and CE is PS then U is NS*
- [R10]: *if Error is ZE and SE is PB and CE is NS then U is PS*
- [R11]: *if Error is ZE and SE is NB and CE is PS then U is NS*
- [R12]: *if Error is PS and SE is NS and CE is ZE then U is NS*
- [R13]: *if Error is PS and SE is ZE and CE is PS then U is PS*
- [R14]: *if Error is PS and SE is NS and CE is PS then U is ZE*
- [R15]: *if Error is PS and SE is NB and CE is PB then U is NS*
- [R16]: *if Error is PS and SE is PS and CE is NS then U is PS*

## 6. PENGUJIAN SIMULASI DAN ANALISA

### 6.1. Pengujian Sistem

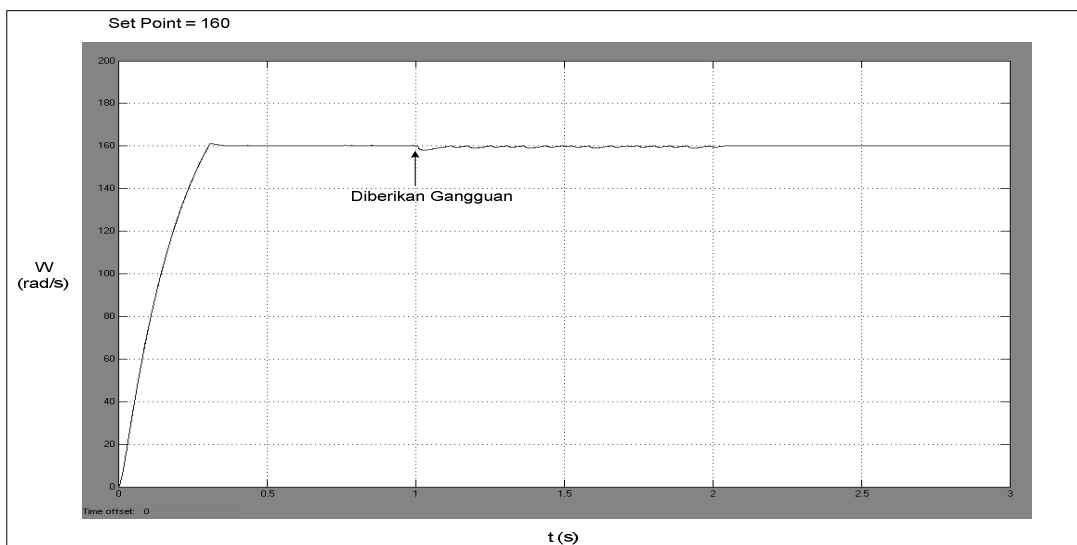
Simulasi pengaturan kecepatan motor arus searah penguat terpisah dengan logika fuzzy, memanfaatkan program SIMULINK didalam *software* MATLAB-7 yang digunakan sebagai bahasa komputasi.

Sistem akan diuji dengan memberikan *set point* yang nilainya berlainan. Pada saat sistem telah mencapai *set point*, maka sistem akan diberikan gangguan dengan menaikkan *load viscous friction coefficient* (BL) pada motor. Disini akan dilihat bagaimana tanggapan sistem terhadap *set point* dan gangguan tadi.

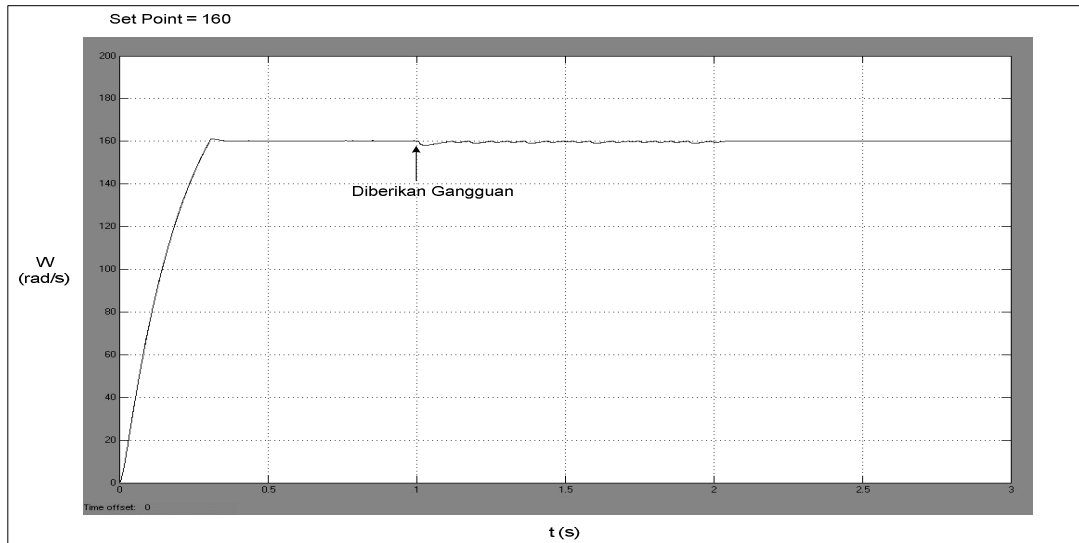
Urutan proses pengujian simulasi diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Urutan proses pengujian simulasi**

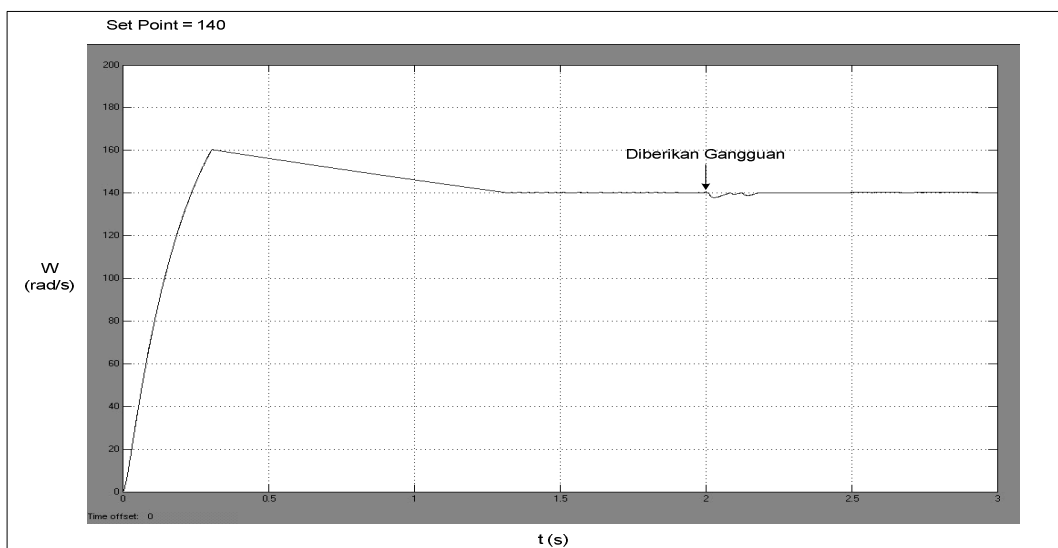
Urutan Pengujian	Set Point (rad/s)	Load Viscous Friction Coefficient (N m s)
1.	180	0
		0.015
2.	160	0
		0.03
3.	140	0
		0.045



**Gambar 15. Respon kecepatan dengan *load viscous friction coefficient* sebesar 0.015.N m s**



Gambar 16. Respon kecepatan dengan *load viscous friction coefficient* sebesar 0.03.N m s



Gambar 17. Respon kecepatan dengan *load viscous friction coefficient* sebesar 0.045.N m s

## 6.2. Pengujian Pertama

Pada pengujian pertama sistem diatur dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. *Set point* = 180 rad/s
2. *Load viscous friction coefficient* = 0
3. Setelah motor mencapai *set point*, secara tiba-tiba *load viscous friction*

*coefficient*) dinaikkan menjadi 0.015 N m s.

Setelah sistem dijalankan, maka diperoleh hasil respon kecepatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15. bahwa sistem memberikan tanggapan atas *set point* dan perubahan beban yang dilakukan.

### 6.3. Pengujian Kedua

Pada pengujian kedua, dengan cara yang sama seperti pengujian pertama diperoleh hasil respon kecepatan yang ditunjukkan pada Gambar 16.

### 6.4. Pengujian Ketiga

Pada pengujian kedua, dengan cara yang sama seperti pengujian pertama diperoleh hasil respon kecepatan yang ditunjukkan pada Gambar 17.

### 6.5. Analisa Sistem

Dari pengujian sistem diatas, bahwa gangguan yang berupa gesekan dapat mempengaruhi kecepatan yaitu dengan semakin kecil set-point maka pengaruh gesekan terhadap kecepatan semakin besar, namun demikian kecepatan akhirnya akan sama.dengan set-point atau acuan, hal ini berarti pengendali dapat berfungsi dengan baik, karena pada keadaan mantan tidak ada kesalahan.

Tabel .2. Data-data hasil pengujian system

No.	Set Point	Load Viscous Friction Coefficient (BL)	Kec. Motor $\omega$ (rad/s)	Torsi Beban $T_L$ (N.m)
1.	180	0	180	0
		0.015	180	2.7
2.	160	0	160	0
		0.03	160	4.8
3.	140	0	140	0
		0.045	140	6.3

Pengujian berikutnya adalah seperti pengujian tersebut dengan menambahkan beban dengan data-data seperti terlihat pada Tabel 2.

### 6.6. Analisa Pengujian Pertama

Pada pengujian pertama diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 18,

Gambar 19 dan Gambar 20, kemudian analisisnya adalah sebagai berikut:

Pada saat sistem dijalankan, maka terjadi penguatan pada pengendali fuzzy yang menyebabkan motor berputar. *Set point* yang diinginkan untuk kecepatan motor adalah 180 rad/s. Sesaat motor DC memberikan respon berbentuk garis lurus keatas, dalam kondisi ini yang bekerja adalah pengendali proporsional fuzzy dan pengendali derivatif fuzzy. Hal ini menyebabkan motor berputar melebihi *set point* atau dengan kata lain *process variable* lebih besar daripada *set point*. Kemudian pengendali integral fuzzy yang bekerja menyebabkan berkurangnya *error*. Tetapi *error* dinaikkan lagi oleh pengendali derivatif fuzzy dan diintegrasikan lagi sehingga penguatan dikurangi sampai tercapai *set point* sama dengan *process variable*

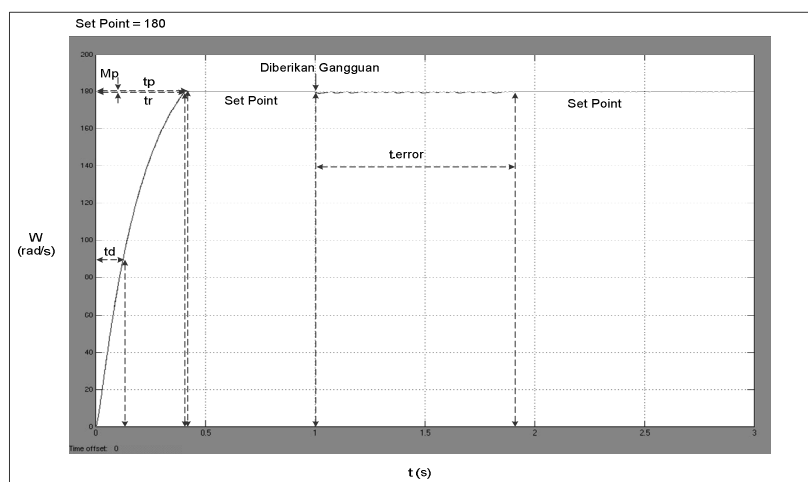
Setelah motor berputar dan mencapai *set point*, secara tiba-tiba motor diberikan beban dengan cara menaikkan *load viscous friction coefficient* menjadi 0.015. dengan bertambahnya beban motor maka arus jangkar motor juga akan naik ( $I_a$ ). Oleh karena arus jangkar naik, maka kecepatan motor akan berkurang, sehingga *process variable* lebih kecil dari *set point*, sehingga terjadi *error*, *error* ini akan diolah oleh pengendali sampai kecepatan (*process variable*) sama dengan *set point*.

Dapat dilihat bahwa *fuzzy controller* mempertahankan kecepatan motor sesuai dengan *set point* walaupun beban motor bertambah. Waktu yang dibutuhkan *fuzzy controller* untuk mencapai *set point* setelah beban motor dinaikkan ( $t_{error}$ ) = 0.9s.

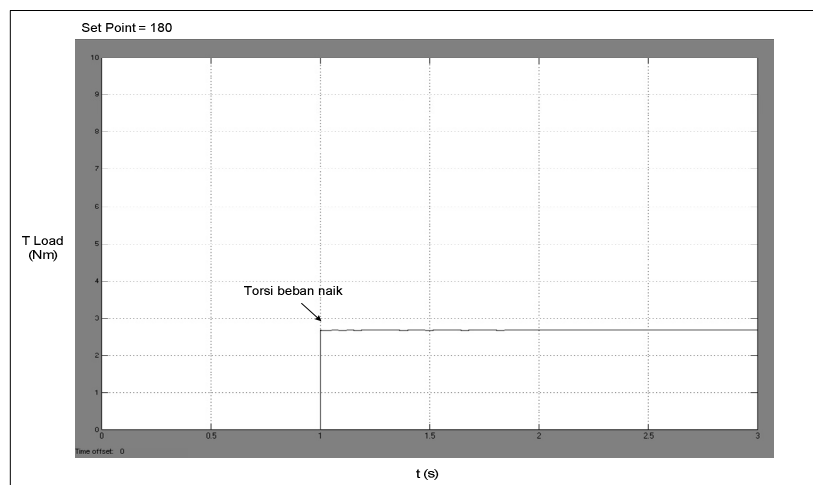
### 6.7. Analisa Pengujian Kedua dan Ketiga

Pada pengujian kedua dan ketiga sama dengan pengujian pertama yaitu untuk pengujian kedua diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23 dimana untuk mencapai keadaan *process variable* sama dengan *set point* setelah dibutuhkan

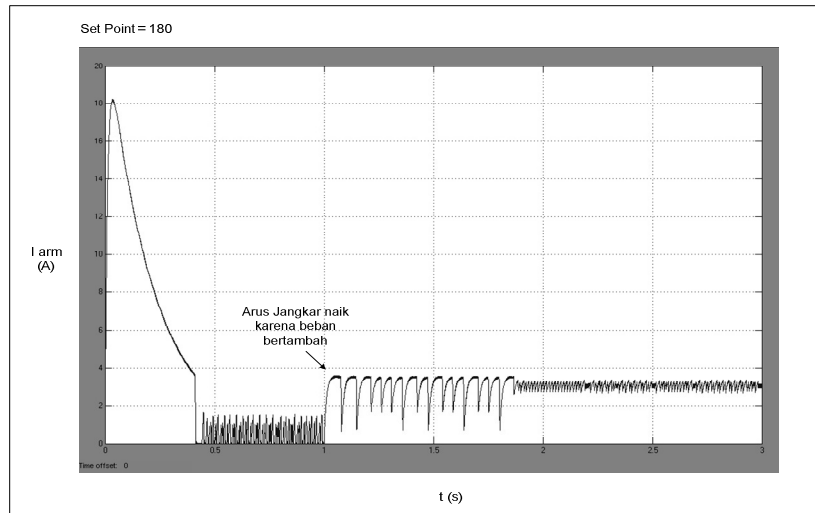
waktu sebesar 1.03 detik sedangkan pengujian ketiga dengan hasil Gambar 24, Gambar 25, dan Gambar 26 untuk mencapai kestabilan membutuhkan waktu sebesar 0.17 detik. Maka dari ketiga pengujian dapat dikatakan bahwa jika dikehendaki *set point* semakin besar waktu untuk mencapai kestabil semakin besar walaupun gangguan semakin kecil.



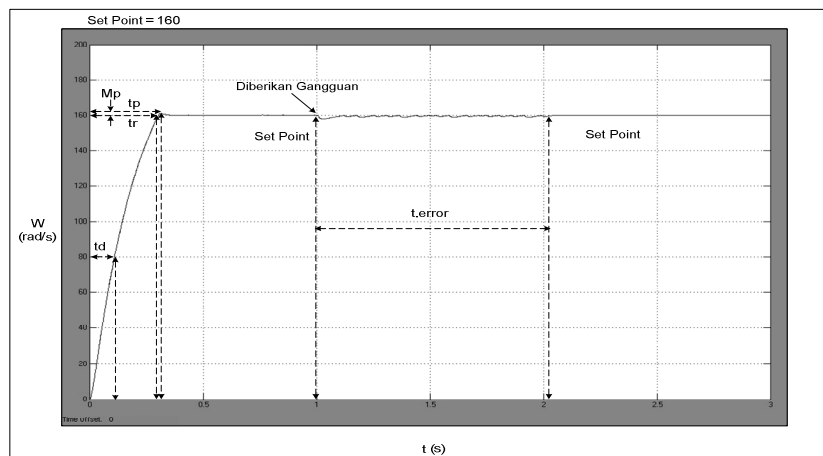
Gambar 18. Respon kecepatan motor dengan torsi beban 2,7 N-m



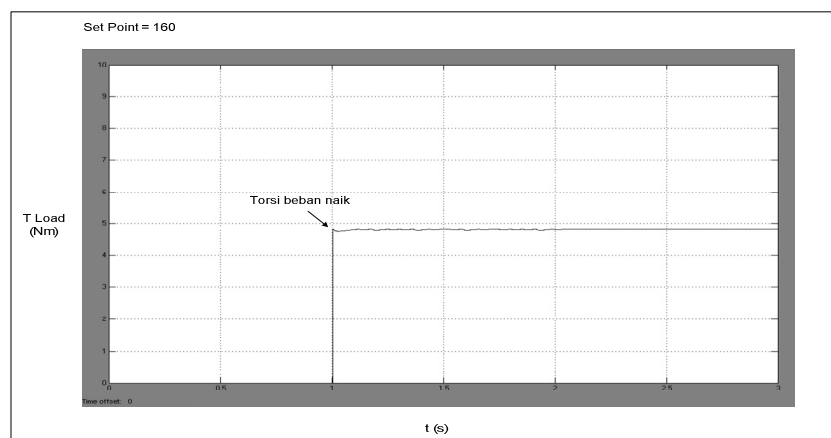
Gambar 19. Torsi beban motor 2,7 N-m



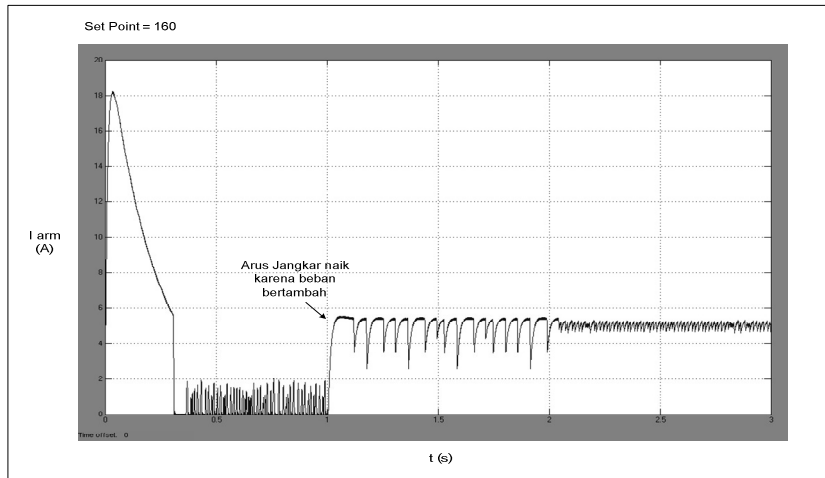
**Gambar 20. Respon arus jangkar motor pada torsi beban 2,7 N-m**



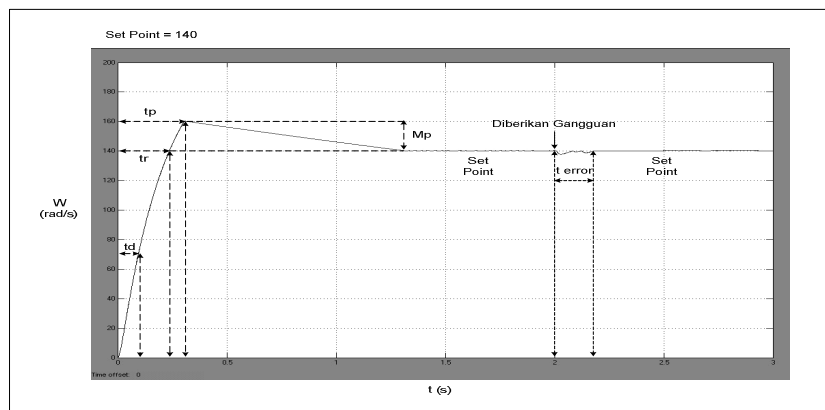
**Gambar 21. Respon kecepatan motor dengan torsi beban 4,8 N-m**



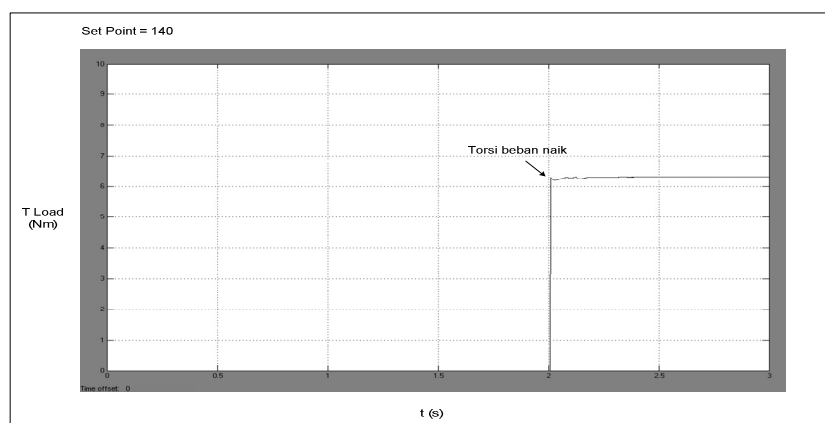
**Gambar 22. Torsi beban motor beban 4,8 N-m**



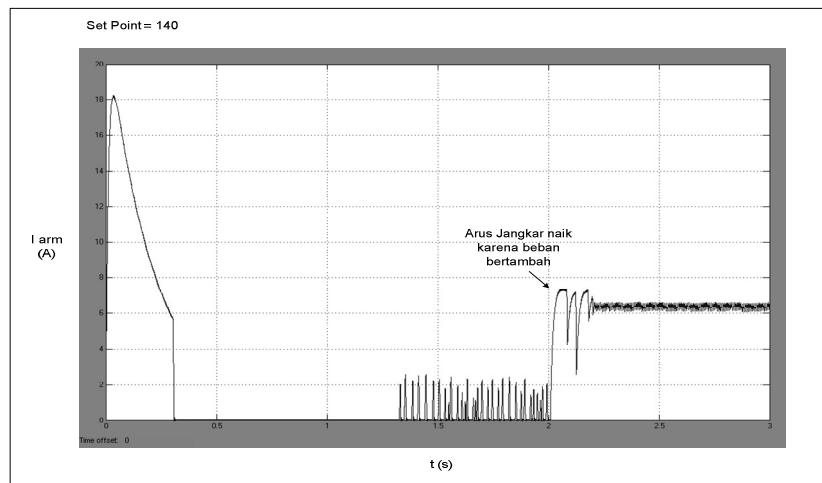
Gambar 23. Respon arus jangkar motor pada torsi beban 2,7 N-m



Gambar 24. Respon kecepatan motor pada torsi beban 6,3 N-m



Gambar 25. Torsi beban motor beban 2,7 N-m



**Gambar 26. Respon arus jangkar motor pada pengujian ketiga**

## 7. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian simulasi dan pemodelan pengaturan kecepatan motor arus searah penguat terpisah menggunakan logika fuzzy, serta analisisnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengendali PID Fuzzy mempunyai respon yang sangat baik karena keadaan mantap kecepatan motor sama dengan set point
2. Waktu yang dibutuhkan *fuzzy controller* untuk membuat kecepatan motor arus mencapai *set point* setelah beban motor dinaikkan adalah, pada pengujian dengan torsi beban 2,7 N-m membutuhkan waktu sebesar 0,9 detik, pada pengujian dengan torsi beban sebesar 4,9 N-m membutuhkan waktu sebesar 1,03 detik dan pada pengujian dengan torsi beban sebesar 6,3 N-m

membutuhkan waktu sebesar 0,17 detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aström, K.J. & Hägglund** (1988) *Automatic Tuning of PID Controllers*, Instrument Society of America
- Haselman, D.L.** (1997), *The MathWorks, Inc Published by Prentice-Hall.*
- Hartanto, T.W.D. & Praseto, Y.W.A.** (2003), *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*, Andi Yogyakarta.
- Rashid, M.H.** (2000), *Elektronika Daya*, Jilid 1, PT Prenhallindo, Jakarta.
- Vas, P.** (1999), *Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives, Application of Fuzzy, Neural, Fuzzy-Neural and Genetic-Algorithm-Based Techniques*, Oxford University Press
- Widodo R.J.** (2000), *Dasar Sistem Kontrol*, PT Prenhallindo, Jakarta.

