

# Perancangan Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Dengan Pendekatan Model Viteckova Orde Dua Menggunakan Metode *Hybridfuzzy-Smc*

Ahmad Faizal<sup>1</sup>, Vigi Dwi Sinta<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. H.R. Soebrantas Km. 15 Panam, Pekanbaru  
Email: ahmad.faizal@uin-suska.ac.id

## ABSTRAK

Motor Induksi memiliki kelemahan dalam pengaturan kecepatan, kecepatan akan berubah ketika terjadi perubahan beban maupun gangguan sinyal kendali, maka dibutuhkan suatu pengendali yang mampu mengatasi kekurangan dari motor induksi, salah satu pengendali yaitu *fuzzy*. Pengendali *fuzzy* memiliki keunggulan mampu memodelkan fungsi fungsi *non-linier* yang kompleks. Tetapi pengendali *fuzzy* memiliki kelemahan berupa *overshoot* dan osilasi sistem. Salah satu pengendali yang mampu mengatasi kelemahan *overshoot* dan osilasi sistem dari pengendali *fuzzy* adalah pengendali *Sliding Mode Control (SMC)*. SMC memiliki keunggulan yaitu sifatnya yang kokoh dan mampu bekerja pada sistem *non-linier* sistem yang memiliki ketidakpastian model ataupun parameter. Berdasarkan hasil simulasi dari pengendali *hybrid fuzzy* dan SMC mampu menutupi kelemahan dari pengendali *fuzzy* dan kokoh dalam mengatasi perubahan beban dan gangguan. Terbukti dengan analisa *time respons* pada *overshoot* dan *error steady state* yang lebih baik dari pengendali *fuzzy* dengan nilai waktu transien lebih lama pada beban maksimal dengan *error steady state* sebesar 0,0085 Rpm dengan Maksimum *overshoot* 0,38% dan tanpa osilasi sistem.

**Kata kunci :** *Fuzzy, Hybrid Fuzzy-SMC, Model Viteckova orde 2, Motor Induksi Tiga Fasa*

## ABSTRACT

*Induction motor has a weakness in the speed settings, the speed will change when there is a change in load or control signal disturbance, it takes a controller that is able to overcome the shortcomings of the induction motor, one of the controller is fuzzy. Fuzzy controllers have the advantage of modeling a complex non-linear function. But fuzzy controllers have weaknesses in the form of overshoot and system oscillation. One of the controllers that is able to overcome the weakness of overshoot and oscillation of the system from the fuzzy controller is the Sliding Mode Control (SMC) controller. SMC has the advantage of being robust and able to work on non-linear system systems that have model or parameter uncertainty. Based on simulation results from fuzzy hybrid controller and SMC able to cover the weakness of fuzzy and robust controller in overcoming the load and disturbance changes. Proven with time response analysis on overshoot and steady state error better than fuzzy controller with longer transient time value at maximum load with steady state error 0,0085 Rpm with Maximum overshoot 0,38% and without system oscillation.*

**Key World :** *Fuzzy, Hybrid Fuzzy-SMC, Three-phase Induction Motor, Viteckova model of order 2*

---

Corresponding Author:

**Ahmad Faizal**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau,

Email: ahmad.faizal@uin-suska.ac.id

---

## Pendahuluan

Mesin Sentrifugal adalah mesin yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal yang salah satunya digunakan pada industri gula berfungsi untuk memisahkan cairan *massecuite* dengan *strup* agar didapat kristal gula [1]. Salah satu penggerak yang digunakan pada Mesin Sentrifugal adalah Motor Induksi Tiga Fasa. Untuk mendapatkan hasil yang baik dalam hal efisiensi kerja alat, sesuai dengan keperluan manusia di bidang Industri dibutuhkan performansi yang baik dari motor induksi. Motor Induksi memerlukan performansi yang baik agar

dapat menjalankan fungsinya dengan maksimal. Performansi yang baik ditunjukkan dari kestabilan sistem dan kekokohan sistem dalam mengatasi perubahan parameter ataupun gangguan serta memiliki *error steady state* yang minimum dan *overshoot* yang kecil pada respon sistem [2].

Motor Induksi Tiga Fasa adalah motor yang paling banyak digunakan pada berbagai proses di Industri bila dibandingkan dengan motor lain. Ini disebabkan dari keunggulan yang dimiliki motor Induksi. Diantara keunggulannya adalah bagian konstruksinya yang kuat, sederhana, handal, harga yang relatif murah dan tidak memerlukan pemeliharaan yang rumit. Motor Induksi Tiga

Fasa juga memiliki kelemahan diantaranya sulit mengatur kecepatan pada motor, karena karakteristik motor Induksi itu sendiri tidak linier, akibatnya tidak mampu mempertahankan kecepatan saat mengalami penambahan beban. Agar didapatkan unjuk kerja yang baik dan sesuai dengan *setpoint* yang diberikan pada Motor Induksi saat melakukan operasi dibutuhkan suatu pengendali yang mampu membuat performansi motor Induksi menjadi lebih kokoh[1]. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk dapat mengatur kecepatan dari motor induksi ini agar dapat mempertahankan kecepatan secara optimal meski terjadi perubahan beban sehingga waktu interval yang dibutuhkan untuk mesin sentrifugal tersebut *charging, spinning* dan *discharging* lebih optimal [3].

Untuk mengendalikannya kecepatan motor induksi tiga fasa secara simulasi, dibutuhkan pemodelan matematis Motor Induksi Tiga Fasa yang didapat melalui metode respon grafik sistem berdasarkan jurnal rujukan yang di tulis oleh Adityo Yudistira, Rusdhianto Effendi AK, Josaphat Pramudijanto, Perancangan Dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode *Sliding Mode Control* (SMC). Motor induksi tiga fasa memiliki beberapa metode identifikasi sistem yaitu metode Viteckova orde 1, metode Viteckova orde 2, Respon orde 1, Sundaresan Krishnaswamy, Smith, dan Strejc. Pada penelitian Adityo Yudistira dkk dengan judul “Perancangan Dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode *Sliding Mode Control* (SMC)”, dipilihlah metode identifikasi sistem yaitu Viteckova orde 2 karena memiliki validasi nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang paling kecil dari kelima metode yang lain [1].

Untuk mendapatkan kecepatan dan performa yang baik pada sistem saat terjadi perubahan beban dibutuhkan pengendali. Ada berbagai jenis pengendali saat ini yang telah banyak dirancang pada penelitian sebelumnya maupun yang telah diimplementasikan di dunia industri. Kendali yang digunakan adalah gabungan (*Hybrid*) dari kendali cerdas dan konvensional yang telah berkembang saat ini. Salah satunya adalah Pengendali *Fuzzy, fuzzy* memiliki keunggulan yaitu kendali ini mampu memodelkan fungsi fungsi *nonlinier* yang kompleks dan memiliki persamaan matematis yang sederhana dalam proses rancang kendali [4]. Kendali *fuzzy* merupakan kendali yang menggunakan prinsip pemikiran manusia dalam melakukan analisa pengendalian suatu objek sistem. Kendali ini mempunyai sifat tidak tegas dengan menggunakan prinsip *rule if – then* ketika melakukan penalaran dalam pengambilan keputusan oleh pengendali [5].

Penggunaan pengendali *Fuzzy* ini tidak terlepas dari kekurangan. Kekurangannya terletak pada *overshoot* dan osilasi yang tidak bisa dihilangkan. Dengan adanya fenomena osilasi pada motor Induksi, mengakibatkan operasi sistem memiliki akurasi yang rendah, kerusakan pada sistem, mengakibatkan sistem tidak stabil, pemborosan daya pada *power* dan juga berakibat *error steady state* dan *overshoot* pada saat penambahan beban. Osilasi ini berdampak pada stabilitas sistem kendali yang didapat berdasarkan perancangan pengendali. Maka dari

itu, analisis ini diperlukan dalam berbagai kondisi, dimana saat mendapat beban minimal, beban nominal dan beban maksimal [3].

Dalam analisa pada penelitian ini dilakukan dengan mengkombinasikan logika *fuzzy* dengan *Sliding Mode Control* (SMC) untuk pengaturan kecepatan motor Induksi Tiga Fasa. Dengan alasan SMC memiliki keunggulan yaitu Pengendali ini memiliki keunggulan yaitu sifatnya yang kokoh,dapat mempercepat *rise time* dan mampu bekerja pada sistem non linear yaitu sistem yang memiliki ketidakpastian model ataupun parameter[1]. Untuk itu dibutuhkan SMC supaya mampu melengkapi kekurangan *Fuzzy* dalam mengatasi osilasi yang mengakibatkan *error steady state* dan *overshoot*.

Untuk mengatasi *error steady state* dan *overshoot* pada beban minimal, nominal dan maksimal serta pada saat diberi gangguan sinyal kendali yang berdampak pada performansi sistem yang memburuk. Dengan menggabungkan antara *fuzzy* dan SMC berdasarkan keunggulannya akan menghasilkan pengendali yang memiliki respon yang cepat dan kokoh, dan diharapkan mampu mengatasi *overshoot* dan *error steady state* pada beban minimal, nominal dan maksimal serta mampu mengatasi gangguan sinyal kendali pada saat sistem dijalankan.

## Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan, dimulai dari studi literatur hingga sampai didapatkannya hasil akhir dalam penelitian ini. Adapun tahap-tahap dalam penelitian ini :

### Identifikasi Sistem Matematika Plant

Metode viteckova orde 2, adalah mencari nilai konstanta K dan waktu konstan yang didapat dari respon grafik asli sistem motor induksi tiga fasa yaitu saat waktu respon mencapai 33% dan 70%. Sehingga hasil dari nilai konstanta K dan waktu konstan viteckova orde 2 tersebut maka didapat pemodelan matematika sistem motor induksi tiga fasa berdasarkan persamaan :

$$K = \frac{Y_{SS}}{X_{SS}} = \frac{991,366548}{1000} = 0,991366548 \quad (1)$$

Dan waktu konstan :

$$\begin{aligned} \tau v2 &= 0,794 ( t70 - t33 ) \quad (2) \\ &= 0,794 ( 4,77 - 2,25) \\ &= 0,794 ( 2,52) \\ &= 2.00088 \end{aligned}$$

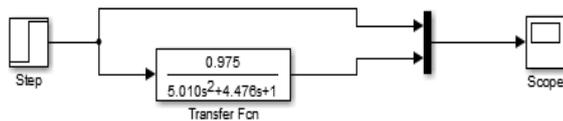
Sehingga fungsi alih sistem menjadi :

$$\begin{aligned} G_{V2}(S) &= \frac{0,991366548}{(2,00088 s + 1)^2} \\ G_{V2}(S) &= \frac{0,991366548}{(4,0035 s^2 + 4,00176 s + 1)} \quad (3) \end{aligned}$$

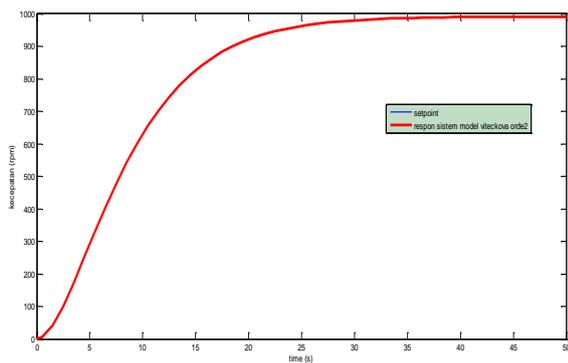
Metode yang akan digunakan untuk simulasi sistem motor induksi tiga fasa adalah metode pendekatan model matematika dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) terkecil. Karena metode dengan nilai RMSE terkecil yang paling mendekati respon asli sistem berdasarkan jurnal penelitian Adityo Yudistira, Rusdhianto Effendi AK dan Josaphat Pramudijanto, Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode *Sliding Mode Control* [1]. Jadi metode pendekatan model yang akan digunakan untuk simulasi motor induksi tiga fasa adalah metode viteckova orde 2 dengan nilai RMSE = 9,646 yang paling mendekati respon asli sistem.

Tabel 1 Model plant dengan beban menggunakan metode Viteckova 2<sup>nd</sup> Order [1].

Beban	Persamaan Model Plant	RMSE
Maksimal	$\frac{0,984}{(12,5966s^2 + 7,098s + 1)}$	8,798
Nominal	$\frac{0,976}{(5,056s^2 + 4,4972s + 1)}$	14,760
Minimal	$\frac{1,0002}{(4,235s^2 + 4,116s + 1)}$	29,22



Gambar 1. Blok *SimulinkOpen Loop* Sistem Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Pendekatan Model *Viteckova orde 2*



Gambar 2. Grafik *Open Loop* Respon Sistem Motor Induksi Tiga Fasa Dengan

Untuk perancangan pengendali dipilih beban penghantar yang paling mendekati perilaku plant dengan melihat nilai RMSE terkecil. yang di tunjukan pada Tabel 3 berikut:

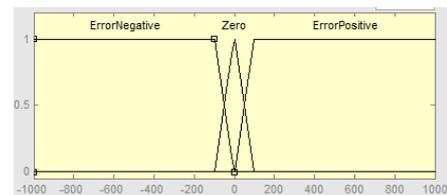
Tabel 2 Aturan *Fuzzy (Rule Base)* Untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

$\Delta Error$ \ Error	Error Negative	Zero	Error Positive
$\Delta Error$ Negative	U Negative	U Negative	Zero
Zero	U Negative	Zero	U Positive
$\Delta Error$ Positive	Zero	U Positive	U Positive

Dari Tabel 3 didapatkan kondisi minimal nominal dan maksimal dari metode Viteckova 2<sup>nd</sup> Order. Untuk fungsi alih perubahan beban maksimal, nominal dan minimal didapatkan dari jurnal rujukan (Adityo Yudistira, 2014). Dimana telah dilakukan identifikasi dan hasil dari validasi pemodelan dengan menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*).

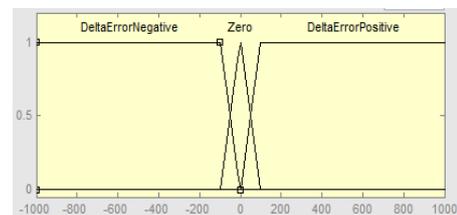
### Perancangan Pengendali *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan *error* terdiri dari tiga yaitu N (negatif), Z (*zero*) dan P (positif).



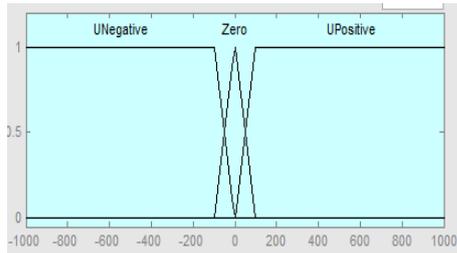
Gambar 3. Fungsi Keanggotaan *Error* Motor Induksi Tiga Fasa

Variabel masukan *delta error* juga memiliki tiga fungsi keanggotaan yaitu N (negatif), Z (*zero*) dan P (positif) dengan jangkauan -1000 Rpm hingga 1000 Rpm.



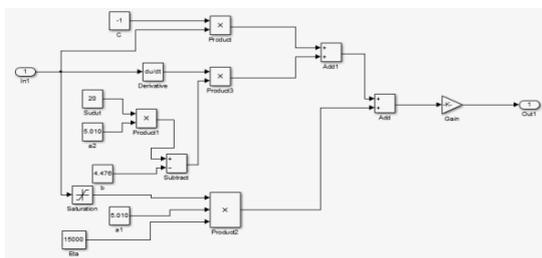
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan *Delta Error* Motor Induksi Tiga Fasa

Fungsi keanggotaan sebagai aksi kontrol U yang terdapat pada gambar 5 berikut :



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy Motor Induksi Tiga Fasa

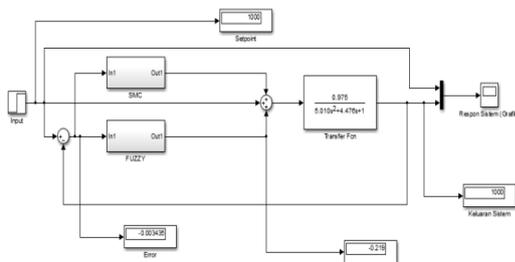
**Perancangan Pengendali Sliding Mode Control**



Gambar 6. Blok pengendali SMC

**Perancangan Kendali Hybrid Fuzzy-SMC**

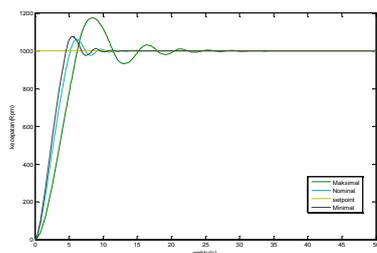
Kendali Hybrid Fuzzy-SMC merupakan penggabungan dari kendali fuzzy dan kendali PID seperti ditunjukkan pada gambar 3.18 berikut :



Gambar 7. Blok Simulink Pengendali Hybrid Fuzzy-SMC Pada Sistem Motor Induksi Tiga Fasa

**Hasil dan Analisa**

**Performansi Pengendali Fuzzy pada Beban Maksimal Nominal dan Minimal**



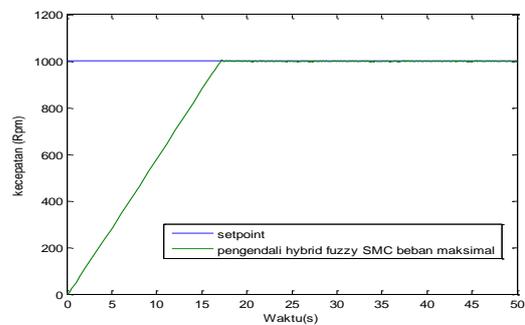
Gambar 8. Hasil simulasi perbandingan beban dengan pengendali Fuzzy

Tabel 3. Analisa perbandingan respon pada saat penambahan beban dengan pengendali Fuzzy.

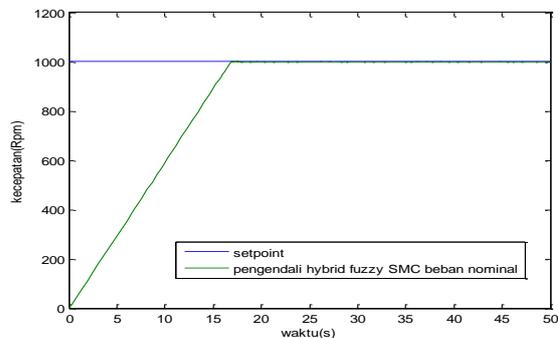
Beban	Analisa Respon					
	$t_s$ (detik)	$t_r$ (detik)	$t_d$ (detik)	$t_p$ (detik)	$M_p$ (%)	$e_{ss}$
Maksimal	14,4196	11,635	3,320	8,971	18,44	0,422
Nominal	4,8673	5,2052	2,692	6,029	5,63	0,403
Minimal	4,6026	6,8468	2,602	5,422	7,53	0,164

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 8 analisa respon menunjukkan bahwa pada pengujian pada beban maksimal respon mengalami overshoot dan akan berkurang overshoot nya pada saat pengujian pada beban nominal dan minimal yang paling signifikan waktu yang dibutuhkan mencapai keadaan tunak. Pada saat perubahan beban waktu yang dibutuhkan juga semakin lama, ini membuktikan waktu mencapai keadaan tunak pada beban maksimal 14,4196 detik, beban nominal 4,8673 detik dan beban minimal 4,6026 detik, serta error steady state yang berubah pada saat penambahan beban.

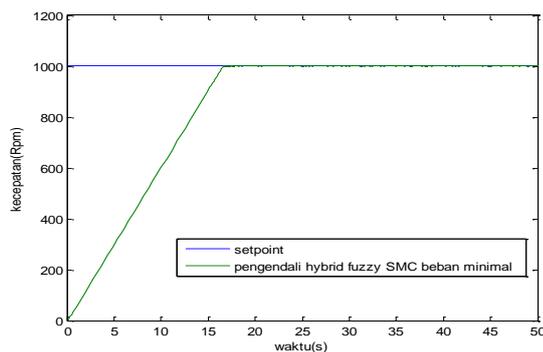
**Simulasi Pengendali Hybrid Fuzzy dan SMC dengan Beban Maksimal, Nominal dan Minimal**



Gambar 9. Respon sistem dengan pengendali hybrid Fuzzy dan SMC pada beban maksimal.



Gambar 10. Respon sistem dengan pengendali hybrid Fuzzy dan SMC pada beban nominal.

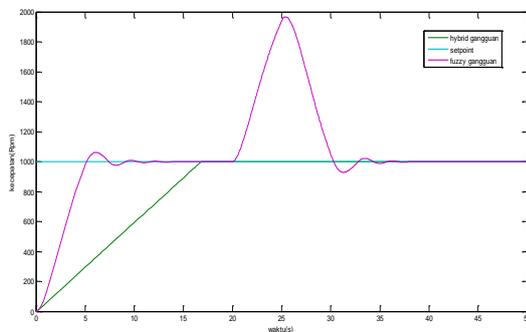


Gambar 11 Respon sistem dengan pengendali *hybrid Fuzzy* dan SMC pada beban minimal.

Tabel 4. Analisa respon pada maksimal, nominal dan minimal dengan pengendali *hybrid Fuzzy SMC*

Beban	Analisa Respon				
	$t_s$ (s)	$t_r$ (s)	$t_d$ (s)	$t_p$ (s)	$M_p$ (%)
Maksimal	16,225	17,100	9,069	17,228	0,38
Nominal	15,982	16,865	8,650	16,910	0,15
Minimal	15,753	16,620	8,166	16,688	0,12

### Pengujian Performansi Pengendali dengan Gangguan Sinyal Kendali.



Gambar 12 Grafik Respon gangguan

Tabel 5. Analisa respon gangguan sistem pada *Fuzzy* dan *hybrid Fuzzy SMC*.

Beban	Analisa Respon				
	$t_s$ (s)	$t_r$ (s)	$t_d$ (s)	$t_p$ (s)	$M_p$ (%)
Fuzzy	4,8499	5,1863	2,6881	25,4232	96,64
Hybrid	15,9790	16,8597	8,4937	16,9109	0,15

Berdasarkan tabel 6 terlihat bahwa terdapat gangguan yang menggunakan pengendali *fuzzy* yang diberikan pada detik ke 20 sampai detik ke 25. Setelah diberikan gangguan sebesar dua kali nilai *setpoint* hasilnya kecepatan motor induksi tiga fasa berubah naik dari nilai *setpoint* 1000 Rpm

menjadi 1966,4 Rpm dengan maksimum *overshoot* 96,64% sampai detik ke 25,4232 ini menyebabkan sistem tidak stabil untuk beberapa waktu, lalu kembali stabil ke 1000 Rpm pada detik ke 36,8239. Lalu diberikan gangguan pada sistem yang menggunakan pengendali *hybrid fuzzy-SMC* pada detik ke 20 sampai detik ke 25. berubah naik dari nilai *setpoint* 1000 Rpm menjadi 1000,6 Rpm dengan maksimum *overshoot* 0,06% sampai detik ke 25,1133. Dan waktu yang dibutuhkan lebih cepat dibandingkan dengan pengendali *fuzzy*. Sistem kembali stabil ke 1000 Rpm pada detik ke 25,0489. *Fuzzy* kembali stabil setelah 11,8239 detik, pada pengendali *hybrid fuzzy-SMC* waktu yang dibutuhkan untuk kembali stabil lebih cepat yaitu sebesar 0,0363 detik. Hal ini membuktikan bahwa performansi kendali *Hybrid Fuzzy-SMC* lebih baik dibandingkan pengendali *fuzzy* dalam mengendalikan kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa.

### Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengendali *hybrid fuzzy-SMC* dapat mengendalikan perubahan beban maksimal, nominal dan minimal. Dengan waktu transien lebih lama dibandingkan pengendali *fuzzy* dan *hybrid fuzzy-SMC*, tetapi untuk *overshoot* dan *error steady state* minimum dari pengendali *fuzzy*.
2. Pengendali *hybrid fuzzy* dan SMC terbukti kokoh terhadap gangguan pada sinyal kendali dengan memberi gangguan pada detik ke 20 hingga detik ke 25 dengan nilai maksimum *overshoot* 0,06 % pada detik ke 25,1133 dan kembali stabil pada detik ke 25,1496 serta memiliki *error steady state* 0,0039.
3. Pengendali *hybridfuzzy* dan SMC mampu meredam *overshoot* dengan persentase *overshoot* maksimal pada beban maksimal 0,15 % beban nominal 0,38 % dan minimal 0,12% serta nilai *error steady state* yang minimum pada setiap beban yaitu pada beban minimal  $e_{ss} = -0,0006$ , nominal  $e_{ss} = 0,0028$  dan maksimal  $e_{ss} = 0,0085$ . Secara keseluruhan pengendali *hybrid fuzzy* dan SMC memiliki performansi yang cukup baik dalam mengatasi gangguan baik berupa beban maupun gangguan pada sinyal kendali memiliki performansi yang cukup baik dalam mengatasi perubahan beban

### Daftar Pustaka

[1] Yudistira, Adityo, R. Effendi AK, J. Pramudijanto, *Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode Sliding Mode Control (SMC)*, Jurnal Teknik ITS Vol.3, hal.151-156.2014.

[2] M.R. Utoro, J. Pramudijanto, *Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa*, Vol.3, hal.84-89.2014.

- [3] Permana. Yoki, R. Effendie, J. Pramudijanto, *Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode Model Reference Adaptive Control (MRAC)*, Jurnal Teknik ITS, Vol.2, hal. 1-7.2014.
- [4] Saelan. Athia, “Logika Fuzzy”, Program Studi Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
- [5] Pramudijanto. J, J. Susila, A. Suryana *Implementasi Hybrid Fuzzy PID pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan beban Rem Magnetik*, Vol.1.,2013.
- [6] P. Jakaubek, “*Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Method*”, Konferensi Studentske turci cinnosti, 2009.
- [7] Mardijah, Mardiana Septiana, Titik Muudjiati, *Desain Sistem Kendali Temperatur Uap Superheater Dengan Metode Fuzzy Sliding Mode Control*, Jurnal Matematika ITS, Vol 13, No 1, hal.37-48. 2016.
- [8] Niora Fatimah Tanzania, Trihastuti Agustinah, *Stabilisasi Pada Sistem Pendulum-Kereta dengan Menggunakan Metode Fuzzy-Sliding Mode Control*, Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS,2014.
- [9] Endro Wahjono, *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Sebagai Penggerak Mobil Listrik dengan Kontroler Fuzzy Logic Berbasis Direct Torque Control*, Teknik Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurnal Ilmiah Mikrotek, Vol.1, No.3, 2015.
- [10] Ratna Ika Putri, Mila Fauziah, Agus Setiawan, *Penerapan Kontroler Neural Fuzzy Untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Sentrifugal*, Teknik Elektronika ,Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.
- [11] Rosita Melindawati, Trihastuti Agustinah, *Desain Kontroler Fuzzy untuk Sistem Gantry Crane*, Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Jurnal Teknik Pomits Vol.3, No.1,2014.
- [12] R.Fauzy, D.C Happiyanto, I.A. Sulistijono, *Pengembangan PI Kontroler Sebagai Kendali Respon Cepat pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Indirect Field Oriented Control (IFOC)*, Simposium Nasional RAPI XIII, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), 2014 FTUMS.
- [13] Sudrajat. “*Modul Kuliah : Dasar – Dasar Fuzzy Logic*”. Bandung : Univ. Padjadjaran, 2008. [Ebook] Tersedia:[https://www.academia.edu/7247080/Dasar\\_dasar\\_fuzzy\\_logic](https://www.academia.edu/7247080/Dasar_dasar_fuzzy_logic)
- [14] Sri Kusumadewi, Hari Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy*, Yogyakarta. 2013.
- [15] A. R. Firdaus, “*Pengendali Modus Luncur / Sliding Mode Controller*”, Program Studi Teknik Elektro Politeknik Batam, Batam, 2010.
- [16] A. Rika, *Teknik Kontrol Sliding Mode Untuk Autopilot Roket*, Penelitian Bidang kendali, PusteKwagan. Lapan, 2014.
- [17] K. Ogata, *Teknik Kontrol Otomatik*, Edisi kedua. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [18] J. –J. E. Slotine and W. Li, *Applied Nonlinear Control*, United States of America: Prentice Hall,1991.