

Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode *Field Orientation Control* (FOC) Berbasis *Fuzzy-PID*

Alva Brisbananda Ashari

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: alvaashari16050874009@mhs.unesa.ac.id

Prof. Bambang Suprianto, M.T., Widi Aribowo, S.T., M.T., Aditya Chandra Hermawan, S.ST., M.T.

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

E-mail: bambangsuprianto@unesa.ac.id, widiaribowo@unesa.ac.id, adityahermawan@unesa.ac.id

Abstrak:

Penggunaan motor induksi dalam dunia perindustrian sekarang ini sangat dibutuhkan dikarenakan motor induksi ini lebih murah dalam perawatan dan strukturnya lebih sederhana. Namun dibalik itu semua motor induksi memiliki kelemahan dalam mengatur kecepatan dan torsi. Dengan adanya masalah ini, maka ada juga metode-metode untuk mengatur kecepatan motor induksi. Dimana yang paling umum adalah metode *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Dapat dikatakan bahwa kontrol menggunakan PID ini merupakan metode pengontrolan kecepatan yang paling baik. Namun dibalik itu, PID juga memiliki kekurangan yaitu, membutuhkan waktu untuk melaksanakannya. Maka dari itu diciptakan juga metode *Fuzzy Logic Control* (FLC). FLC lebih sederhana dibandingkan PID, dikarenakan metode ini menggunakan nalar manusia dimana logikanya tidak mengarah ke YA atau TIDAK saja dan bisa sedikit benar atau sedikit salah. Artikel ini membahas pengontrolan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode *Fuzzy-PID*. Namun pengontrolan kecepatan ini juga membutuhkan pengemudi motor yang bagus juga. Ada beberapa jenis pengemudi motor yang umum diindustri, salah satunya adalah *Variable Frequency Drive* (VFD). VFD ini dibagi menjadi dua jenis kontroler, yakni kontrol scalar dan kontrol vector. Kontrol scalar yang biasa digunakan adalah kontrol *V/f*. Sedangkan, kontrol vector dibagi menjadi dua, yaitu *Direct Torque Control* (DTC) dan *Field Oriented Control* (FOC). FOC adalah metode kontrol motor AC yang serupa dengan pengendalian motor DC. Makalah ini membahas pengendalian motor induksi AC tiga fasa menggunakan metode *Field Oriented Control* (FOC) berbasis *Hybrid Fuzzy-PID*. Pada percobaan ini terbukti bahwa penggunaan metode *Hybrid Fuzzy-PID* memiliki performa yang lebih bagus dalam menurunkan *overshooting* kecepatan motor sehingga 16.93% dan memiliki *settling time* yang lebih cepat dibandingkan metode PID saja.

Kata Kunci: Motor Induksi, FOC, *Fuzzy-PID*

Abstract:

The use of motor in the industrial world today is very much needed. These induction motors are cheaper in maintenance and simpler in structure. But behind all induction motors have weaknesses in speed and torque. Given this problem, there is also a meeting method for induction motor speeds. Where the most common is the *Proportional-Integral-Derivative* (PID) method. Can be approved as a control using PID this is the best speed control method. But behind that, PID also has disadvantages that is, it takes time to implement it. Therefore a *Fuzzy Logic Control* (FLC) method was also created. FLC is easier than PID, because this method uses human reasoning where the logic does not lead to YES or NO only and can be a little right or a little wrong. This article discusses controlling the speed of a three-phase induction motor using the *Fuzzy-PID* method. But controlling this speed also requires good motor drive as well. There are several types of motor drivers that are common in the industry, one of which is the *Variable Frequency Drive* (VFD). VFD is divided into two types of controllers, namely scalar control and vector control. Scalar controls commonly used are *V / f* controls. Meanwhile, control vectors are divided into two, namely *Direct Torque Control* (DTC) and *Field Oriented Control* (FOC). FOC is an AC motor control method that is similar to controlling a DC motor. This paper discusses the control of three-phase AC motors using the *Field Oriented Control* (FOC) method based on *Hybrid Fuzzy-PID*. In this experiment it was proven that the method of using *Hybrid Fuzzy-PID* has a better performance in decreasing *overshooting* motor speed up to 16.93% and the *settling* is faster than the PID method alone.

Keywords: Induction Motors, FOC, *Fuzzy-PID*

PENDAHULUAN.

Pada zaman modern ini, kemajuan teknologi belangsung sangat cepat. Salah satu kemajuan teknologi dibidang kelistrikan adalah motor listrik. Ada dua jenis motor listrik berdasarkan jenis tegangannya, yaitu motor .DC dan motor .AC atau yang biasa digunakan motor Induksi. Pada mulanya motor DC, namun sekarang motor induksi lebih seing digunakan dalam bidang industry. Hal ini dikarenakan motor Induksi tidak membutuhkan perwatan komutator, struktur yang lebih sederhana dan harga yang lebih murah. Dibalik keuntungan motor induksi itu, motor induksi juga memiliki kelemahan pada pengontrolan kecepatan dan torsi(Eman El-Gendy., dkk, 2013; S. Riaz Ahamed., dkk, 2015; Basil M. Hamed., dkk, 2010; Abdul Muis Prasetya., dkk, 2018; Wang Yuhua dan Miao Jialin, 2012).

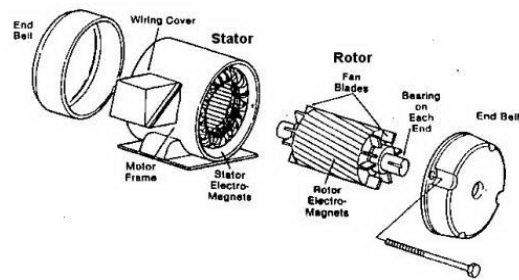
Dengan adanya masalah ini, maka ada juga metode-metode untuk mengatur kecepatan motor induksi. Dimana yang paling umum adalah metode Proportional-Integral-Derivative (PID). Dapat dikatakan bahwa control menggunakan PID ini merupakan metode pengontrolan kecepatan yang paling baik. Namun dibalik itu, PID juga memiliki kekurangan yaitu, membutuhkan waktu untuk melaksanakannya. Maka dari itu diciptakan juga metode Fuzzy Logic Control (FLC). FLC lebih sederhana dibandingkan PID, dikarenakan metode ini menggunakan nalar manusia dimana logikanya tidak mengarah ke YA atau TIDAK saja dan bisa sedikit benar atau sedikit salah. Dengan ini kita juga bisa mengkonmbinasikan kedua cara tersebut untuk mencapai hasil yang memuaskan (Muhammad Ridho Utoro., dkk, 2014; Arun Kumar R dan Febin Daya, 2013; J. Kriauciunas., dkk, 2014).

Namun pengontrolan kecepatan ini juga membutuhkan pengemudi motor yang bagus juga. Ada beberapa jenis pengemudi motor yang umum diindustri, salah satunya adalah *Variable Frequency Drive (VFD)*. *Field Oriented Control (FOC)* merupakan salah satu jenis pengemudi motor VFD. FOC adalah metode control motor AC yang serupa dengan pengendalian motor DC. Makalah ini membahas pengendalian motor induksi AC tiga fasa menggunakan metode Field Oriented Control (FOC) berbasis *Hybrid Fuzzy-PID*.

MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Motor Induksi adalah mesin listrik yang mengubah energy listrik menjadi energy gerak. Motor induksi tiga fasa ini disuplai sumber tegangan AC tiga fasa.

Rotor pada motor induksi ini merupakan inti besi. Sehingga rotor pada motor ini tidak disuplai listrik. Medan magnet yang ada pada rotor merupakan hasil induksi elektromagnetik dari kumparan stator. Maka dari itu motor ini disebut motor induksi (Abdul Muis Prasetya dan Hadi Santoso, 2018).



Gambar 1 Rangkaian Motor Induksi

Sumber:

<https://ajibx1.blogspot.com/2013/10/motor-induksi.html>

Motor induksi memiliki *slip* kecepatan. Kecepatan rotor motor induksi tidak sama dengan kecepatan medan pada stator, dari situ lah adanya slip.

PID CONTROLLER

Kontrol proporsional-integral-derivatif (PID controller) adalah mekanisme loop kontrol yang menggunakan umpan balik yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri dan berbagai aplikasi lain yang membutuhkan kontrol termodulasi terus menerus. Pengontrol PID terus menghitung nilai kesalahan (error) sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan (SP) dan variabel proses yang diukur (PV) dan menerapkan koreksi berdasarkan proporsional, integral, dan Derivative (Mr. Bidwe Umesh. B dan Mr. Shinde Sanjay. M. 2013; Ahmed Fattah, 2015). Adapun pengontrol PID adalah:

Dimana:

$$mv(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad [1]$$

$mv(t)$ = Output Kontrol.PID

K_p = Konstanta Proporsional

T_i = Konstanta Integral

T_d = Konstanta Derivatif

$e(t)$ = error

PID memiliki tiga control antara lain:

1) Kontrol Proportional

Kontrol proporsional ini berfungsi sebagai penguat, tanpa memberi efek dinamik kepada kinerja kontroler. Meskipun demikian, dalam pengaplikasian dasar kontrol P ini mampu memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time.

2) Kontrol Integral

Kontrol integral berfungsi merespon error pada output dan mengembalikan sinyal ke error = 0 (*steady state*). Kontrol integral ini bersifat meningkatkan nilai sinyal.

3) Kontrol Derivatif

Sama halnya dengan control intrgreal, dimana control ini merespon error dan mengembalikan sinyal ke error = 0 (*steady state*). Namun control derivative ini bersifat menurunkan nilai sinyal.

Fungsi dari kontrol PID lebih singkatnya dijelaskan pada table 1.

Tabel 1 Fungsi Respon PID

Respon Closed Loop	Rise Time.	Over-shoot	Settling time	Steady-state error.
Proportional	Turun	Naik.	Perubahan kecil	Naik/Turun.
Integral	Turun	Naik.	Naik	Mengeliminasi.
Derivative	Perubahan .kecil	Turun.	Turun	Perubahan Kecil

Sumber:

<https://putraekapermana.wordpress.com/2013/11/21/pid/>

FUZZY LOGIC CONTROLLER (FLC)

Fuzzy Logic merupakan metode yang didasarkan pada pertimbangan manusia. Pendekatan FL mengimitasi cara pikir manusia dimana mereka dapat memilih antara YA atau TIDAK. Logika konvensional adalah dimana suatu pilihan hanya dapat didefinisikan antara YA atau TIDAK. Namun FL memiliki pendekatan seperti manusia (Ahmed Fattah, 2015; Varuneet Varun, 2012), seperti digambarkan pada tabel 2.

Tabel 2 Pendekatan Fungsi

Pasti YA
Mungkin YA
Tidak Pasti
Mungkin TIDAK
Pasti TIDAK

Sumber:

https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_fuzzy_logic_systems.htm

1. Susunan Sistem *Fuzzy Logic* (FL)

Fuzzy logic memiliki 4 bagian utama, antara lain:

- Fuzzification Module, berfungsi mengelompokkan input angka menjadi set fuzzy yang dibagi menjadi 7 bagian, seperti pada tabel 3.

Tabel 3 Fuzzyfication Module

LP	X = <i>Large Positive</i>
MP	X = <i>Medium Positive</i>
SP	X = <i>Small Positive</i>
Z	X = <i>Zero</i>
SN	X = <i>Small Negative</i>
MN	X = <i>Medium Negative</i>
LN	X = <i>Large Negative</i>

Sumber:

https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_fuzzy_logic_systems.htm

- Knowledge Base, berfungsi menyimpan fungsi *IF-THEN*.
- Inference Engine, berfungsi menyimulasikan pemahaman melalui fungsi *IF-THEN* dari input yang dimasukkan.
- Defuzzycation Module, Ini mengubah set fuzzy yang diperoleh oleh Inference Engine menjadi crisp Value.

FIELD ORIENTATION CONTROL (FOC)

Vector Control merupakan salah satu metode pengaturan kecepatan motor AC yang sama seperti pengaturan motor DC dengan menggunakan Feedback. Metode ini diharuskan melakukan transformasi d-q (Ahmed Fattah, 2015; Ayman Yousef dan Samir Abdel Maksoud, 2015). Dengan metode ini, respons torsi cepat dapat dicapai. Vector Control memiliki dua metode untuk mendeteksi posisi flux rotor yaitu, Metode *Direct Vector* dan *Indirect Vector*. *Field Orientation Control* merupakan Metode *Direct Vector*. Langkah-langkah metode vector control:

- Transformasi d-q
- Estimasi kecepatan
- Mencari sinyal kesalahan dari referensi dan mengukur kecepatan
- Sinyal kesalahan dimasukkan ke controller untuk menghasilkan sinyal referensi torsi
- Perhitungan arus untuk sumbu d dan q, posisi fluks rotor dan transformasi menjadi model nyata
- Generasi sinyal PWM untuk inverter.

Field Orientation Control (FOC) adalah suatu metode pengontrolan motor induksi yang seperti motor DC dengan memisahkan kontrol arus penguat

dengan arus beban motor, yang secara demikian flux dan torsi di atur secara terpisah. Metode ini diharuskan melakukan transformasi d-q. Dengan metode ini, respons torsi cepat dapat dicapai (Rizana Fauzi dan Jumaddil Khair 2019; Ahmed Fattah, 2015).

Transformasi *Clarke* digunakan untuk mengubah sinyal tiga fase seperti arus, tegangan, dan fluks dari sistem koordinat tiga fase (a, b, c) menjadi sistem orthogonal koordinat dua fase (ds, qs).

$$\begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} \quad [2]$$

Dimana:

I_{as} , I_{bs} , dan I_{cs} adalah arus stator yang sebenarnya. I_d^s adalah arus stator *direct-axis* arus dan I_q^s adalah *quadratur-axis* (Rizana Fauzi dan Jumaddil Khair 2019; Ahmed Fattah, 2015).

Transformasi Park digunakan untuk mengubah sistem ortogonal dua fase (ds, qs) menjadi kerangka acuan berputar (de-qe)

$$\begin{bmatrix} I_d^e \\ I_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_e & \sin\theta_e \\ -\sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \end{bmatrix} \quad [3]$$

Dimana:

I_d^e adalah arus *direct-axis* dalam kerangka putar dan I_q^e adalah arus *quadratur-axis* dalam kerangka putar (Ahmed Fattah, 2015).

Invers Transformasi *Clarke* digunakan untuk mengubah sinyal dua fase (ds, dq) menjadi sinyal tiga fase (a, b, c).

$$\begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \end{bmatrix} \quad [4]$$

Invers Transformasi Park digunakan untuk mengubah kerangka acuan berputar menjadi system orthogonal dua fase.

$$\begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_e & -\sin\theta_e \\ \sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^e \\ I_q^e \end{bmatrix} \quad [5]$$

θ_e dihitung untuk menentukan posisi rotor, dapat dihitung dengan rumus:

$$\theta_e = \int_0^t (\omega_{sl} + \omega_{act}) dt \quad [6]$$

Dimana:

θ_e = Posisi Sudut

ω_{sl} = Slip

ω_{act} = Kecepatan aktual

Perhitungan I_e *reference* yang Baru dapat dihitung dengan rumus:

$$I_e^* = \frac{\lambda_r^*}{L_m} \quad [7]$$

Dimana:

I_e^* = Arus *direct-axis*

L_m = Induktansi mutual

λ_r^* = Input Flux Motor

Torsi dan Flux rotor dikontrol secara terpisah menggunakan arus stator *direct-axis* (ids) dan arus *quadratur-axis* (iqs) yang dapat dihitung menggunakan rumus,

$$i_{qs}^* = \frac{2}{3} * \frac{2}{P} * \frac{L_r}{L_m} * \frac{T_e^*}{\lambda_r^*} \quad [8]$$

Dimana:

L_r = Induktansi Motor

L_m = Induktansi Mutual

λ_r = Fluks Linkage Motor

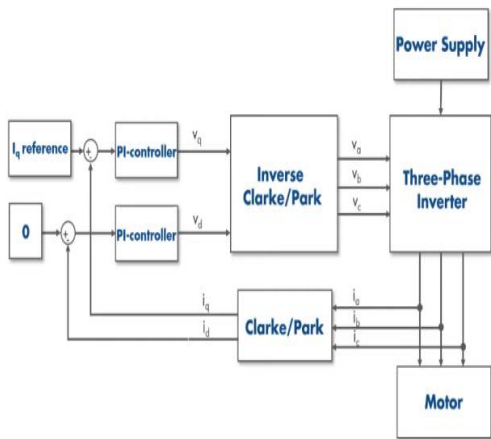
λ_r dapat dicari dari persamaan,

$$\lambda_r = \frac{L_m * i_{ds}}{1 + \tau_r S} \quad [9]$$

Dimana, $\tau_r = \frac{L_r}{R_r}$ adalah konstanta waktu rotor dan R_r adalah Resistansi Rotor (Rizana Fauzi dan Jumaddil Khair 2019; Ahmed Fattah, 2015).

METODE PENELITIAN

Penelitian artikel ini diimplementasikan dengan simulasi menggunakan MATLAB/SIMULINK. Permodelan dari pengaturan kecepatan menggunakan Field Orientation Control, diagram blok dari simulasi tersebut dapat dilihat pada gambar 2. Pemrograman SIMULINK dapat dilihat pada Gambar 3. Pengendalian FOC dapat dilihat pada gambar 4 dan bagan dari control kecepatan Fuzzy-PID dapat dilihat pada gambar 5.



Parameter dari PID untuk simulasi ini dapat dilihat pada tabel 4.

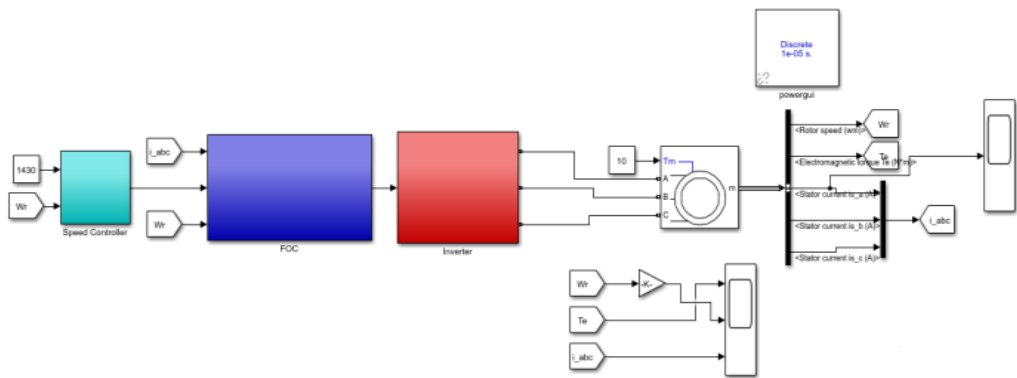
Tabel 4 Parameter PID

Kontrol	Nilai
<i>Proportional</i>	-1
<i>Integral</i>	-0.3
<i>Derevative</i>	-0.2

Pemrograman Fuzzy untuk simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 6, 7 dan 8.

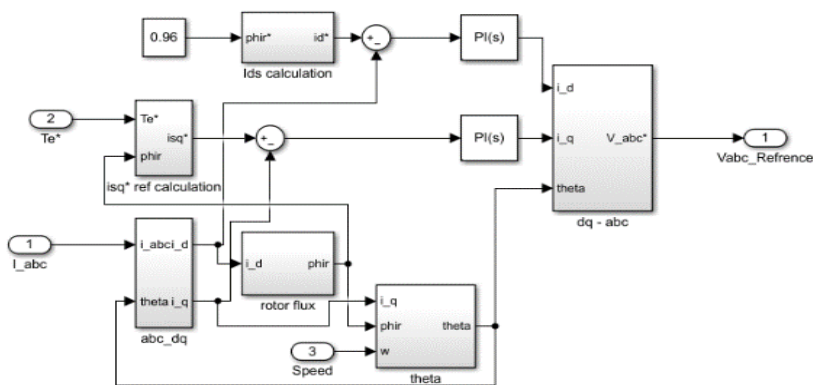
Gambar 2 Diagram Blok Simulasi

Sumber:
<https://www.youtube.com/watch?v=YPD1rcXRIF>



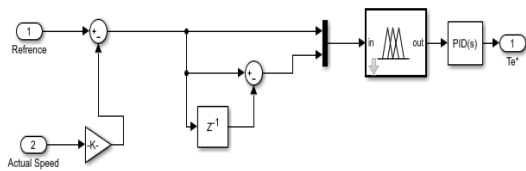
Gambar 3 Bagan Pengaturan Kecepatan Menggunakan Fuzzy-PID

Sumber: Dokumen Pribadi



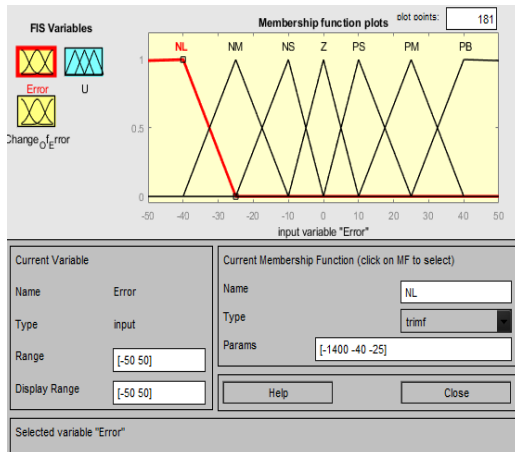
Gambar 4 Bagan Kontrol FOC

Sumber: Dokumen Pribadi



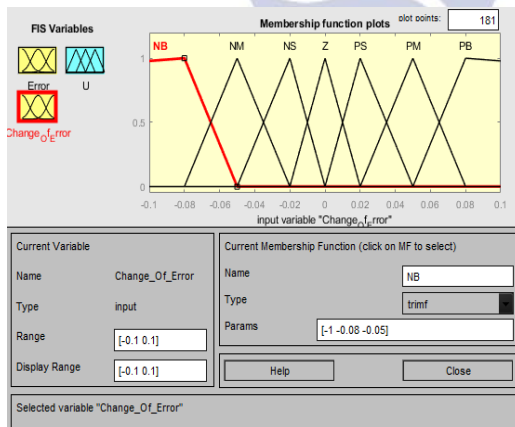
Gambar 5 Speed Controller

Sumber: Dokumen Pribadi



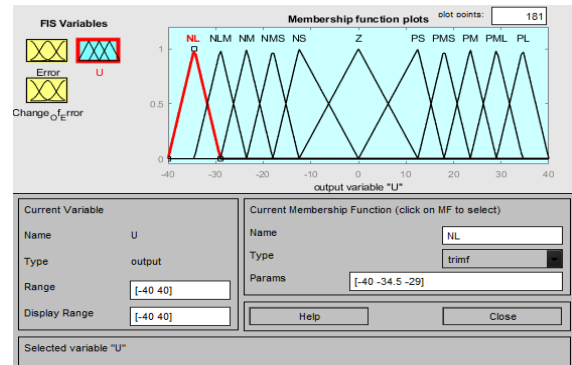
Gambar 6 Parameter Input Error Fuzzy

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 7 Parameter Input Change Of Error Fuzzy

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 8 Parameter Output Fuzzy

Sumber: Dokumen Pribadi

Fuzzyfication Rule dari program Fuzzy dapat dilihat pada tabel 5. Simulasi ini menggunakan motor induksi dengan parameter pada tabel 6.

Tabel 5 Fuzzyfication Rules

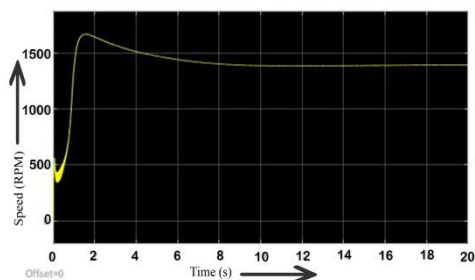
E	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PB
CE	NL	NL	NLM	NM	NMS	NS	Z
NB	NL	NL	NLM	NM	NMS	NS	Z
NM	NL	NLM	NM	NMS	NS	Z	PS
NS	NLM	NM	NMS	NS	Z	PS	PMS
Z	NM	NMS	NS	Z	PS	PMS	PM
PS	NM.S	NS	Z	PS	PMS	PM	PML
PM	NS	Z	PS	PMS	PM	PML	PL
PB	Z	PS	PMS	PM	PML	PL	PL

Tabel 6 Parameter Motor Induksi

Parameter	Symbol	Value	Unit
Stator. Resistance	R_s	1.405	Ohm
Rotor .Resistance	R_r	1.395	Ohm
Mutual. Resistance	L_m	0.1722	H
Stator Inductance	L_{Is}	0.005839	H
Rotor .Inductance	L_{Ir}	0.005839	H
Inertia	J	0.0131	Kg.m ²
Friction .Factor	F	0.002985	N.m.s
Pole .Pairs	P	2	()

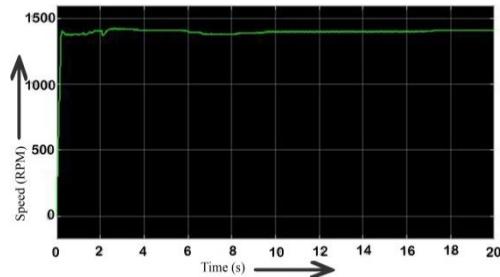
ANALISA DATA

Gambar 9 dan 10 menunjukkan hasil simulasi Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode *Field Orientation Control* (FOC) berbasis PID dan *Fuzzy-PID* dengan torsi masukan 10 N.m menggunakan software MATLAB. Dapat dilihat dari gambar 9 bahwa control berbasis PID memiliki *overshoot* mencapai 400 rpm dari kecepatan yang diinginkan dan membutuhkan 17 detik menuju *steady state*. Gambar 10 adalah hasil pada saat system control tersebut diberi Fuzzy Logic Control (FLC). Dapat dilihat pada gambar 11 bahwa penggunaan *Fuzzy-PID* *overshoot* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan PID saja dan dapat mencapai *steady state* pada detik ke 10 detik.



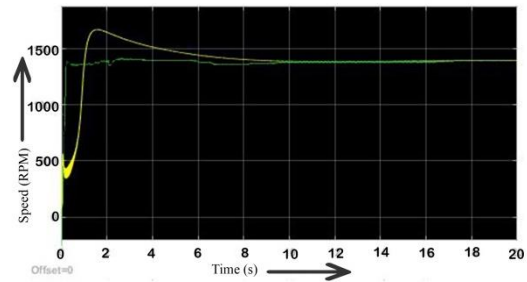
Gambar 9 Hasil Simulasi FOC dengan PID

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 10 Hasil Simulasi FOC dengan *Fuzzy-PID*

Sumber: Dokumen Pribadi

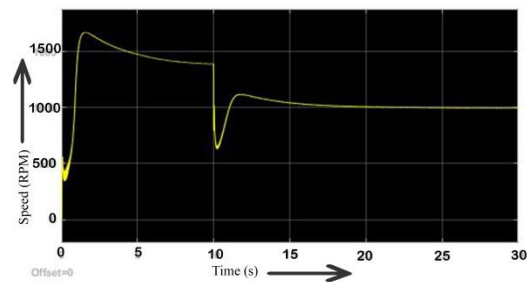


Gambar 11 Perbandingan antara kontrol motor berbasis PID dengan Kontrol motor berbasis *Fuzzy-PID*

(Garis hijau merupakan hasil Kontrol *Fuzzy-PID* dan garis Kuning merupakan hasil kontrol PID)

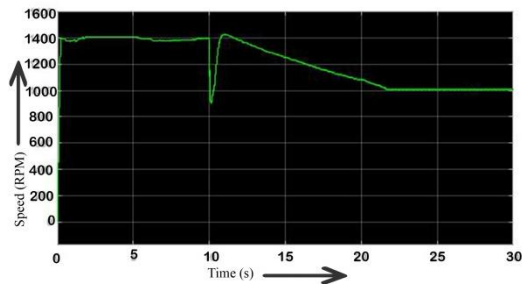
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 12 dan 13 menunjukkan hasil control kecepatan motor dengan pergantian nominal kecepatan pada detik ke-10. Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa pada saat nominal kecepatan dirubah dari 1400 rpm menjadi 1000 rpm, terjadi pengurangan kecepatan yang sangat drastis sekitar 800 rpm sebelum kembali ke nominal 1000 rpm dalam 15 detik. Sedangkan control menggunakan *Fuzzy-PID* pada saat terjadi pergantian nominal dari 1400 rpm menjadi 1000 rpm tidak mengalami penurunan yang drastis. Penurunan kecepatan hanya sekitar 500 rpm dan kecepatan menurun dengan stabil mencapai 1000 rpm dalam 12 detik. Perbandingan hasil performa kontrol motor dapat dilihat secara langsung pada gambar 14. Hasil keseluruhan dari percobaan tertera dalam tabel 7.



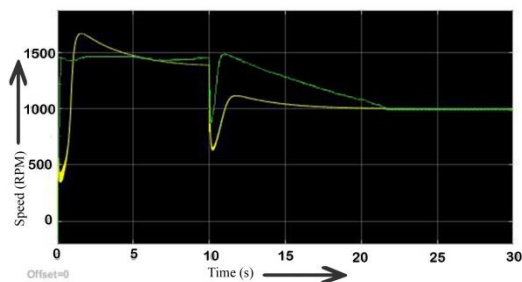
Gambar 12 Hasil Simulasi Kontrol Kecepatan Motor dengan Pergantian Nominal Kecepatan Menggunakan PID

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 13 Hasil Simulasi Kontrol Kecepatan Motor dengan Pergantian Nominal Kecepatan Menggunakan Fuzzy-PID

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 14 Perbandingan antara Hasil kontrol kecepatan motor dengan pergantian nominal kecepatan berbasis PID dengan Fuzzy-PID (Garis hijau merupakan hasil Kontrol Fuzzy-PID dan garis kuning merupakan hasil kontrol PID)

Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 7 Hasil Perbandingan Kontrol Motor Induksi antara Menggunakan PID dengan Fuzzy-PID

Control	Overshoot	Transient Time	Settling Time
PID	118%	10 s	15 s
Fuzzy-PID	100.07%	10 s	12 s

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kontroler berbasis Fuzzy-PID ini dapat memperkecil overshoot kecepatan 16.93% dan dapat mencapai steady state hanya dalam waktu 10 detik. Pada saat ada pergantian nominal kecepatan kontroler berbasis Fuzzy-PID tidak mengalami perubahan drastis, dan memiliki transient time yang lebih cepat yaitu 15 s dibandingkan kontroler berbasis PID yaitu 17 s.

SARAN

Untuk kesempurnaan dan tercapainya luaran dari karya ini, penulis merekomendasikan saran dengan

menyempurnakan parameter Fuzzy dan PID untuk hasil yang lebih sempurna mengimplementasikan kontrol Fuzzy-PID menggunakan Sliding Mode Control (SMC)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahamed, S. R., Sekhar, J. N. C., & P, D. P. R. (2015). *Speed Control of Induction Motor by Using Intelligence Techniques. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 5(Issue 1(Part 5)), 130–135.
- Arun Kumar, R., & Febin Daya, J. L. (2013). *A novel self - Tuning fuzzy based PID controller for speed control of induction motor drive. 2013 International Conference on Control Communication and Computing, ICC 2013, Iccc*, 62–67. <https://doi.org/10.1109/ICCC.2013.6731625>
- B, M. B. U., & M, M. S. S. (2013). *Speed Control of Three Phase Induction Motor Using Fuzzy-PID Controller. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181*, 2(11).
- El-Gendy, E., F. Ibrahim, A., F. Saraya, S., & F. G. Areeed, F. (2013). *A Sliding Mode Controller for a Three Phase Induction Motor. International Journal of Computer Applications*, 64(11), 33–39. <https://doi.org/10.5120/10681-5563>
- Fattah, A. (2015). *Design and Analysis of Speed Control Using Hybrid PID-Fuzzy Controller for Induction Motors*.
- Fauzi, R., & Khair, J. (2019). *Pemodelan Direct Quadrature (D-Q) Pada Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Field Oriented Control (FOC) Berbasis Kendali P-I. ScientiCO : Computer Science and Informatics Journal*, 1(2), 25. <https://doi.org/10.22487/j26204118.2018.v1.i2.12059>
- Hamed, B., & Almobaied, M. (2010). *Fuzzy Logic Speed Controllers Using FPGA Technique for Three-Phase Induction Motor Drives " FPGA ". October*, 1–10.
- Kriauciunas, J., Rinkeviciene, R., & Baskys, A. (2014). *Self-tuning speed controller of the induction motor drive. Elektronika Ir Elektrotechnika*, 20(6), 24–28. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.20.6.7262>
- Prasetya, A. M., & Santoso, H. (2018). *Implementation of Scalar Control Method for 3 Phase Induction Motor Speed Control. Elinvo (Electronics, Informatics, and*

- Vocational Education*), 3(1), 63–69.
<https://doi.org/10.21831/elinvo.v3i1.19460>
- Utoro, M. R., & Pramudijanto, J. (2014). Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa. 3(1).
- Varun, V., Govindarajan, B., & Nayak, S. (2012). *Speed Control of Induction Motor using Fuzzy Logic approach*. 33(November 2011), 21–29.
<http://ethesis.nitrkl.ac.in/3278/>
- Yousef, A. Y., & Abdelmaksoud, S. M. (2015). *Review on Field Oriented Control of Induction Motor*. 2(7), 12–38.
- Yuhua, W., & Jianlin, M. (2012). *Based on fuzzy PID control of AC induction motor vector control system. Advances in Intelligent and Soft Computing*, 149 AISC(VOL. 2), 227–232.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-28658-2_35



