

PERBANDINGAN FUZZY LOGIC CONTROL DAN ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA

COMPARISON OF FUZZY LOGIC CONTROL AND ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM ON SPEED CONTROL OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR

Linda Sartika¹⁾, Abdul Muis Prasetya²⁾, Sukma³⁾

^{1),2),3)}Teknik Elektro, Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara
Email: linda.sartika@borneo.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa merupakan peralatan listrik yang digunakan sebagai penggerak utama sebuah mesin. Penggunaan motor induksi tiga fasa banyak ditemui di industri karena konstruksinya yang sederhana namun kokoh, harga yang relatif murah, perawatan yang mudah dan keandalan yang tinggi. Akan tetapi motor listrik memiliki kelemahan yaitu sulitnya mengatur kecepatan motor ini karena karakteristik motor induksi yang tidak linier, akibatnya motor ini tidak dapat mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban. Pada penelitian ini akan membandingkan Fuzzy Logic dan ANFIS pada pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan harapan di dapatkan pengendali yang terbaik untuk mengatur kecepatan secara konstan serta memperbaiki kinerja motor induksi. Pada penelitian ini penggunaan kontroler ANFIS lebih baik dengan respon yang dihasilkan lebih cepat dengan error steady state 0,019 % yang mendekati nol dengan kecepatan aktual 1500,29 rpm dibanding Fuzzy Logic dengan respon error steady state 0,024% dengan kecepatan aktual 1500,36 rpm dan apabila terjadi perubahan kecepatan referensi, kontroler ANFIS mampu mengikuti perubahan kecepatan yang baru dengan lebih baik dibanding dengan Fuzzy Logic.

Kata Kunci: *adaptive neuro fuzzy inference system, fuzzy logic kontrol, motor induksi tiga fasa*

ABSTRACT

Three-phase induction motor is an electrical equipment that is used as the prime mover of a machine. The use of three-phase induction motors is widely found in industry because of its simple but sturdy construction, relatively low price, easy maintenance and high reliability. However, electric motors have a weakness, namely it is difficult to regulate the speed of this motor because the characteristics of an induction motor are not linear, as a result, this motor cannot maintain a constant speed when there is a change in load. In this study, we will compare Fuzzy Logic and ANFIS on the speed regulation of a three-phase induction motor in the hope of obtaining the best controller to control the speed constantly and improve the performance of the induction motor. In this study the use of ANFIS controller is better with a faster response with a steady state error of 0.019% which is close to zero with an actual speed of 1500.29 rpm compared to Fuzzy Logic with a steady state error response of 0.024% with an actual speed of 1500.36 rpm and if there is a change in reference speed, the ANFIS controller is able to follow the new speed changes better than Fuzzy Logic.

Keywords: *adaptive neuro fuzzy inference system, fuzzy logic kontrol, three-phase induction motor*

PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan motor *Alternating Current* (AC) yang lebih banyak digunakan sebagai aktuator yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak dan lebih banyak digunakan dalam kehidupan manusia secara luas di sektor industri dan rumah tangga. Hal ini karena konstruksinya sederhana namun kokoh, harganya relatif murah, perawatannya mudah, dan memiliki keandalan yang tinggi. Namun motor induksi tiga fasa juga memiliki kekurangan yaitu arus start yang besar, nilai *overshoot* motor yang mempengaruhi kinerja motor induksi dan sulitnya mengatur kecepatan motor ini karena karakteristik dari motor induksi itu sendiri tidak linier, sehingga motor ini tidak dapat menjaga kecepatannya konstan saat beban berubah. Oleh karena itu, agar kecepatan tetap terjaga diperlukan suatu pengontrol. Penggunaan motor induksi tiga fasa di berbagai industri membutuhkan kinerja motor induksi yang tinggi untuk dapat mempertahankan kecepatannya meskipun beban bervariasi (Prasetya & Santoso, 2018).

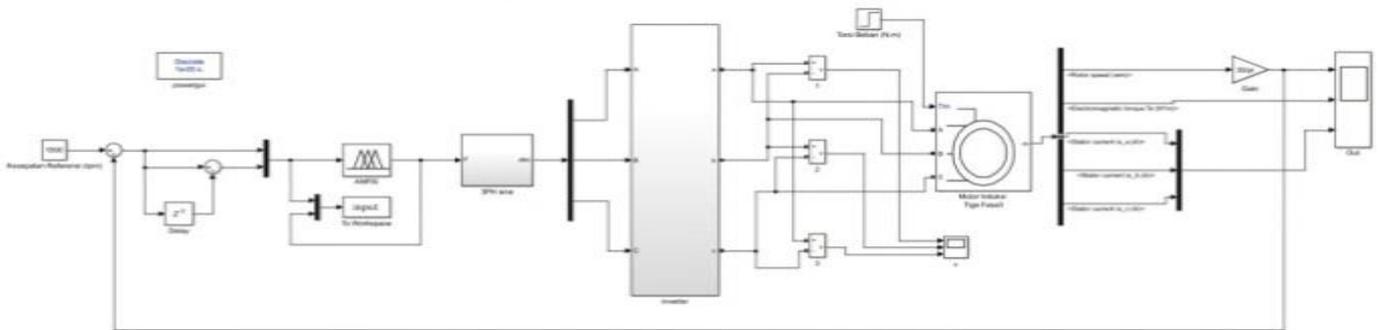
Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan kontrol Fuzzy dan ANFIS pada pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa. Menurut Kurniawan, Suprianto, Wrahatnolo, & Kholis (2020) *Fuzzy logic* merupakan logika atau penalaran yang memiliki nilai samar antara benar= 1 dan salah= 0, tidak seperti logika klasik

yang hanya memiliki nilai ya= 1 dan tidak= 0. Sehingga *fuzzy logic* dapat difungsikan untuk pemodelan berbagai sistem juga pemecah permasalahan pemetaan *nonlinier* dan ANFIS adalah FLC yang dikombinasikan dengan kemampuan *training system* jaringan syaraf tiruan (JST) dimana FLC memiliki kemampuan untuk menanganui *system nonlinier* dan JST memiliki mekanisme *training*, adaptif, handal, dan cepat.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibandingkan kedua kontroler tersebut sehingga akan didapatkan kontroler yang paling cocok untuk mengatur kecepatan pada motor induksi tiga fasa. Dengan diduplikannya kontroler yang paling cocok untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa diharapkan untuk mencapai respon yang baik, kecepatan motor dapat konstan sesuai yang diinginkan walaupun mengalami variasi beban, sehingga dapat dihasilkan performansi motor induksi yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang di gunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan peralatan sebuah laptop dengan software simulasi. Pada penelitian ini mensimulasikan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan simulink. Skematik sistem pengendalian kecepatan motor tiga fasa dengan ANFIS dan Fuzzy Logic dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skematik sistem pengendalian kecepatan motor tiga fasa dengan Fuzzy dan ANFIS

a. Sistem Kendali Motor Induksi

Sistem yang dimodelkan dalam penelitian ini memiliki beberapa bagian utama yaitu blok kontroler ANFIS, blok PWM generator, inverter dan yang terpenting blok untuk model motor induksi tiga fasa. Secara umum perancangan sistem

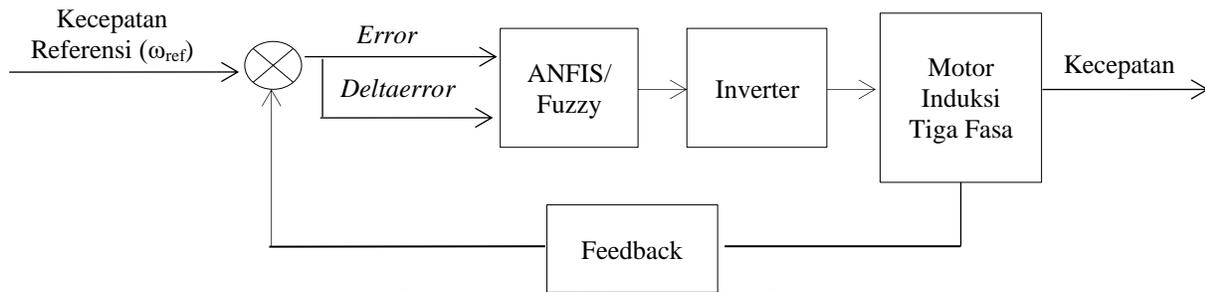
ditunjukkan pada Gambar 2. dalam diagram blok tersebut, inputnya adalah kecepatan referensi yang diinginkan (ω_{ref}). Output kecepatan aktual dari motor akan dibandingkan dengan kecepatan referensi untuk menghasilkan *error* dan *deltaerror*. *Error* dan *deltaerror* akan menjadi input dari

kontroler Fuzzy dan ANFIS. Output dari kontroler adalah sinyal kontrol yang terhubung dengan *power width modulation* (PWM) generator. Sinyal kontrol tersebut mengatur besarnya duty cycle dari sinyal PWM yang dibangkitkan. Sinyal PWM akan dihubungkan secara *AND* dengan *gating signal* yang dihasilkan oleh logika pensaklaran. Sehingga *gating signal* akan tercacah masuk ke inverter. Sinyal PWM yang dihasilkan akan menentukan besarnya tegangan yang akan dihasilkan *voltage source inverter* (VSI) untuk menyuplai tegangan tiga fasa (V_{abc}) ke motor induksi tiga fasa. Keluaran yang akan didapat nantinya dari model motor induksi tiga fasa antara lain kecepatan rotor (ω_r), arus tiga fasa, dan nilai torsi elektrik (T_e) dari motor.

b. Pemodelan Inverter Tiga Fasa

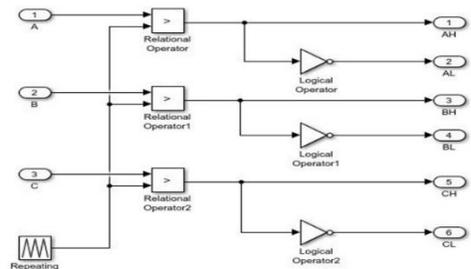
Pemodelan inverter tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 4 Bagan tersebut berisikan PWM dan beberapa mosfet yang disusun paralel. Pengendalian PWM ditunjukkan pada Gambar 3. Bagan tersebut berisikan komponen seperti, generator PWM, relation operator, logical operator. Bagan pengendalian PWM pada Gambar 3, menghasilkan sinyal PWM, yang mengubah mosfet yang disusun paralel secara bergantian Kurniawan, Suprianto, Wrahatnolo, & Kholis (2020).

Inverter adalah alat yang mampu mengubah arus dan

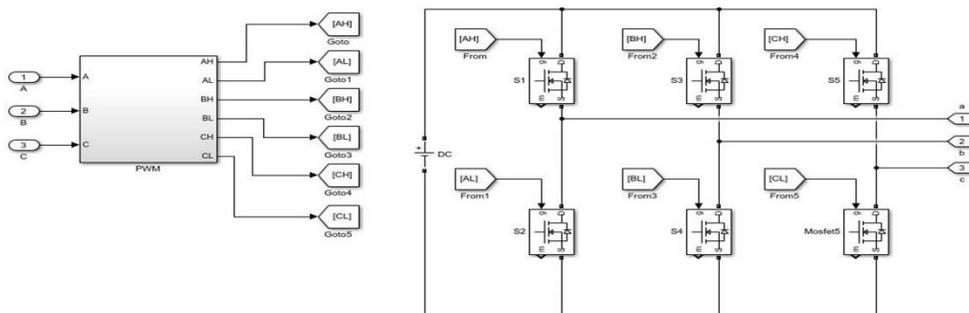


Gambar 2. Blok Diagram Simulasi

tegangan searah menjadi arus dan tegangan bolak-balik. Sinyal keluaran pada inverter berupa sinyal arus dan tegangan tiga fasa, masing-masing fasa dengan beda sudut 120° . Inverter tiga fasa memiliki rangkaian dasar yang terdiri dari 6 komponen switching dengan sudut konduktor yang berbeda. Teknik sudut switching yang umum digunakan adalah 120° dan 180° (Asnil, Krismadinata, & Husnaini, 2017).



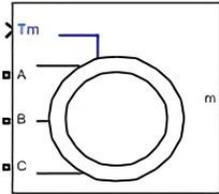
Gambar 3 Bagan Pengendalian PWM



Gambar 4 Bagan Inverter

c. Model Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan salah satu pemodelan motor induksi tipe sangkar tupai dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Model Motor Induksi Tiga Fasa

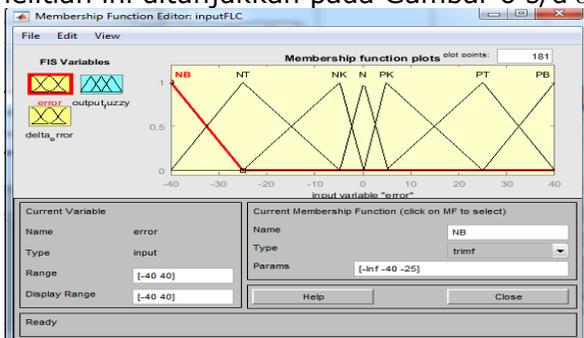
Pada penelitian ini menggunakan motor induksi 50 HP dengan parameter seperti terlihat pada Tabel 1 (Kurniawan, Suprianto, Wrahatnolo, & Kholis 2020)

Tabel 1 Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

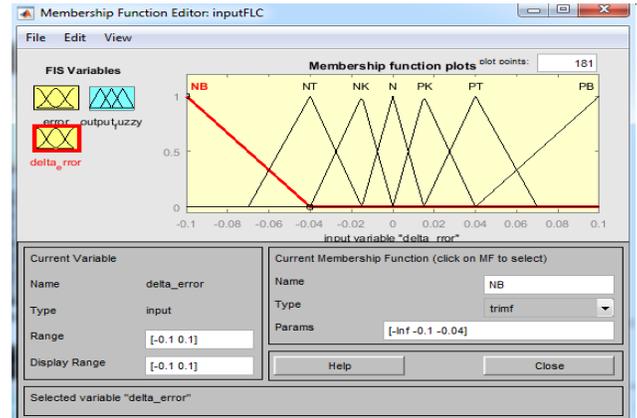
Parameter	Nilai	Satuan
Tenaga motor	50	HP
Tegangan motor	460	Volt
Frekuensi	60	Hz
Tahanan Stator	0.09961	Ohm
Tahanan Rotor	0.05837	Ohm
Tahanan Mutal	0.03039	H
Induktansi Stator	0.000867	H
Induktansi Rotor	0.000867	H
Momen Inersia	0.4	kg.m ²
Koefisien Redaman	0.02187	Nm.s
Kutub	2	-

d. Kontrol Fuzzy

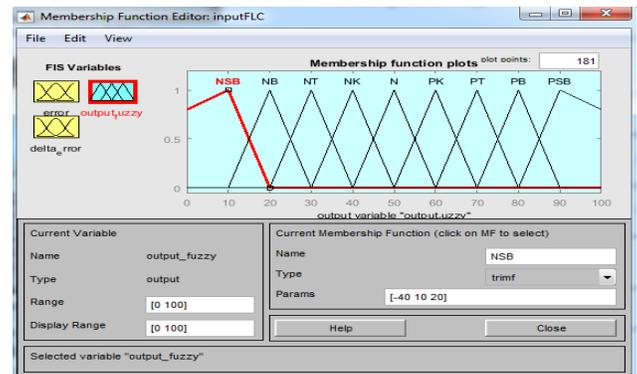
Pemrograman logika fuzzy pada simulasi penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6 s/d 8.



Gambar 6 Parameter input error fuzzy



Gambar 7 Parameter input delta error fuzzy



Gambar 8 Parameter output fuzzy

Pada penelitian ini memakai fuzzy mamdani karena penggunaannya fleksibel karena memiliki toleransi pada data yang telah ditentukan. *Fuzzyfication Rule* dari program *Fuzzy* pengaturan kecepatan motor induksi ditunjukkan pada Tabel 2.

Keterangan pada *rule* :

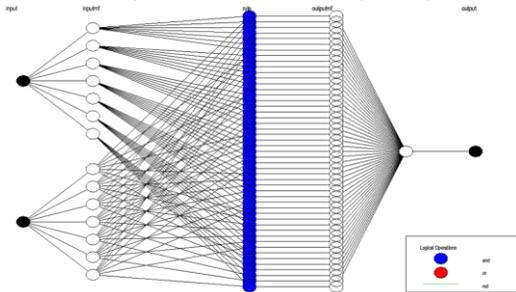
- E : Error
- DE : Deltaerror
- NSB : Negatif Sangat Besar
- NB : Negatif Besar
- NT : Negatif Tengah
- NK : Negatif Kecil
- N : Nol
- PK : Positif Kecil
- PT : Positif Tengah
- PB : Positif Besar
- PSB: Positif Sangat Besar

Tabel 2 *Fuzzyfication Rule* dari program *Fuzzy* pengendalian kecepatan

E DE	NB	NT	NK	N	PK	PT	PB
NB	NSB	NSB	NSB	NB	NT	NK	N
NT	NSB	NSB	NB	NT	NK	N	PK
NK	NSB	NB	NT	NK	N	PK	PT
N	NB	NT	NK	N	PK	PT	PB
PK	NT	NK	N	PK	PT	PB	PSB
PT	NK	N	PK	PT	PB	PSB	PSB
PB	N	PK	PT	PB	PSB	PSB	PSB

e. Kontrol ANFIS

Pada penelitian ini perancangan ANFIS sebagai kontroler dibuat dengan arsitektur jaringan tipe Sugeno terdiri dari lima layer, tipe fungsi keanggotaan yang digunakan adalah tipe gaussian, jumlah fungsi keanggotaan masing-masing input tiap subsistem adalah 7 buah serta 7 buah fungsi keanggotaan output dan jumlah aturan yang dibangkitkan berjumlah 49 buah. Gambar 9 merupakan arsitektur jaringan ANFIS.



Gambar 9 Arsitektur Jaringan ANFIS

Tiap FIS yang telah terbentuk sebelumnya memiliki dua input yaitu *error* dan *deltaerror*. Untuk fuzzy set input *error* (A) dan *deltaerror* (B) memiliki 2 fungsi keanggotaan yang diwakili oleh label linguistic *small* (S) dan *big* (B). kemudian memiliki output berupa fungsi linear z. model FIS Tagaki Sugeno tersebut dapat dituliskan (Aryadi , Triwiyatno, & Setiyono, 2015).

Rule 1 : if x is A₁ and y is B₁ then z = f₁ = p₁x + q₁y + r₁ (1)

Rule 2 : if x is A₁ and y is B₂ then z = f₂ = p₂x + q₂y + r₂ (2)

Rule 3 : if x is A₂ and y is B₁ then z = f₃ = p₃x + q₃y + r₃ (3)

Rule 4 : if x is A₂ and y is B₂ then z = f₄ = p₄x + q₄y + r₄ (4)

• Layer 1

Semua *node* pada layer 1 adalah *node* adaptif dengan persamaan :

O_{1,i} = μ_{Ai}(x), untuk i=1,2 (5)

O_{1,i} = μ_{Bi}(y), untuk i=3,4 (6)

x dan y adalah input menuju node ke i, lalu μ_{Ai}(x) dan μ_{Bi}(y) adalah label *linguistic* yang mewakili label *Small* (S) dan *Big* (B). Sehingga O_{1,i} adalah derajat keanggotaan fuzzy set. Fungsi keanggotaan untuk A dan B adalah sebuah fungsi *gauss* dengan persamaan :

A_i(x) = e ^{$\frac{-(x-b_i)^2}{2c_i^2}$} , untuk i=1,2 (7)

B_{i-2}(y) = e ^{$\frac{-(x-b_i)^2}{2c_i^2}$} , untuk i=3,4 (8)

Dimana {b_i dan c_i} adalah parameter set. Sejalan dengan perubahan parameter ini akan menyebabkan variasi dari fungsi keanggotaan untuk input A (*error*) dan B (*deltaerror*). Parameter pada layer ini disebut sebagai parameter premis.

• Layer 2

Semua *node* pada layer ini adalah *node* tetap, dengan output dari tiap *node* adalah hasil perkalian dari seluruh sinyal yang masuk.

O_{2,i} = w_i = μ_{Ai}(x) · μ_{Bi}(y), untuk i = 1,2 (9)

Tiap *node* mempresentasikan *firing strength* dari rule. Pada umumnya, operator lain dari t-norm yang merupakan operator *AND* dalam logika fuzzy dapat digunakan sebagai fungsi dalam *node* di layer ini.

• Layer 3

Semua *node* pada layer ini adalah *node* tetap. *Node* ke I menghitung rasio dari rule ke I *fire strength* dengan jumlah dari seluruh *fire strength*.

O_{3,i} = w_i = $\frac{w_i}{w_1+w_2}$, untuk i=1,2 (10)

Output dari layer ini adalah sebagai *normalized firing strengths*.

• Layer 4

Setiap *node* ke i pada layer ini adalah *node* yang bersifat adaptif dengan fungsi

O_{4,i} = w_if_i = w_i(p_ix + q_iy + r_i) (11)

Dimana \hat{w}_i adalah *normalized firing strength* dari layer 3 dan $\{(p_i x + q_i y + r_i)\}$ adalah parameter set dari node ini. Parameter pada layer ini disebut sebagai parameter konsekuen.

• Layer 5

Node tunggal pada layer ini adalah node tetap yang akan menghitung seluruh jumlah output dai sinyal yang masuk.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad (12)$$

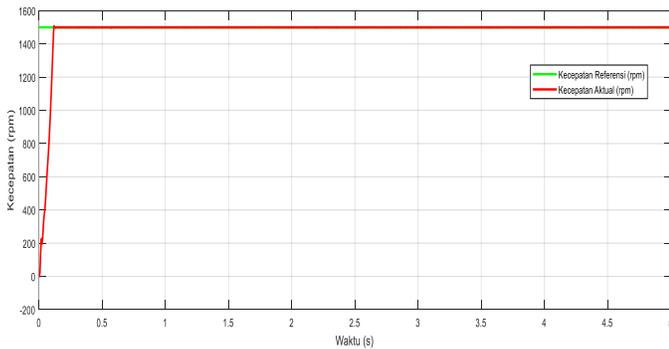
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian, yaitu pengujian respon dengan kecepatan referensi tetap, respon dengan kecepatan referensi tetap yang terbebani, respon dengan kecepatan referensi berubah dan respon dengan kecepatan referensi berubah yang terbebani pada controller Fuzzy Logic dan ANFIS.

a. Uji Respon Kecepatan dengan Kontrol Fuzzy Logic

1) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap

Pada kondisi ini dilakukan pengujian untuk melihat respon kecepatan dengan kecepatan referensi tetap 1500 rpm menggunakan kontrol Fuzzy Logic. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 10

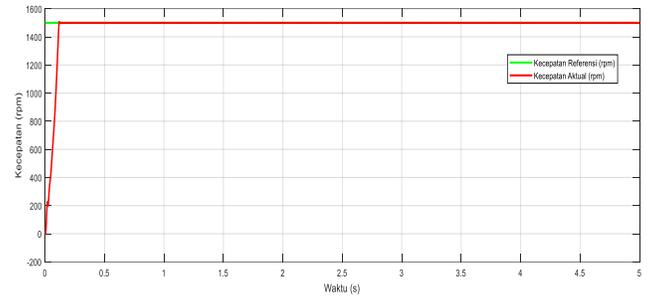


Gambar 10 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap

Berdasarkan hasil dari simulasi, kontrol Fuzzy Logic menghasilkan respon kecepatan dengan nilai pada kondisi *steady state* adalah 1500,36 rpm. Kemudian memiliki *rise time* 0,0956 s, *settling time* 0,1151 s, *overshoot* 0,522 dan *error steady state* sebesar 0,024%.

2) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap yang Terbebani

Pada kondisi ini dilakukan pengujian untuk melihat respon kecepatan dengan kecepatan referensi tetap 1500 rpm dan torsi beban yang diberikan sebesar -20 N.m dan 20 N.m menggunakan kontrol Fuzzy Logic. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 11

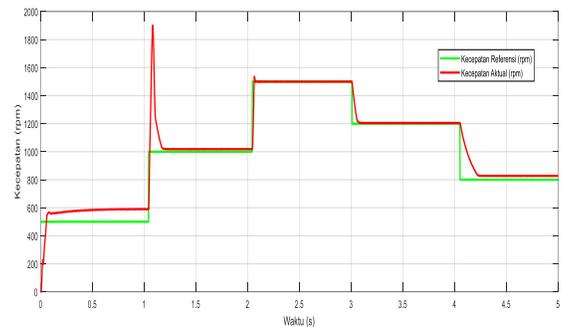


Gambar 11 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap yang Terbebani

Berdasarkan hasil dari simulasi, respon kecepatan kontroler Fuzzy Logic pada saat kecepatan 1500 rpm dan diberi beban sebesar -20 N.m dan 20 N.m. menghasilkan respon kecepatan dengan nilai pada kondisi *steady state* adalah 1500,46 rpm pada detik 0,19. Kemudian memiliki *rise time* 0,0956 s, *settling time* 0,1151 s, *overshoot* 0,522 dan *error steady state* sebesar 0,03%.

3) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah

Pada kondisi ini mulanya kecepatan referensi adalah 500 rpm pada t=0 s, lalu berubah menjadi 1000 rpm, 1500 rpm, 1200 rpm, dan 800 rpm pada t=1,043 s, t=2,046 s, t=3,008 s dan t=4,052 s. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah

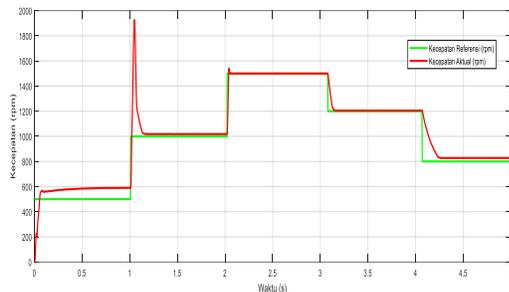
Respon kecepatan pada kontroler ANFIS memiliki nilai kecepatan aktual dan *error steady state* yang dapat dilihat dalam Tabel 3

Tabel 3 Nilai Kecepatan Aktual dan *Error steady state* dengan Kecepatan Referensi Berubah

Kecepatan referensi	Kecepatan actual	<i>Error steady state</i>
500 rpm	590 rpm	18%
1000 rpm	1020 rpm	2%
1500 rpm	1500,32 rpm	0,021%
1200 rpm	1205,55 rpm	0,46%
800 rpm	828 rpm	3,5%

4) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah yang Terbebani

Pada kondisi ini mulanya kecepatan referensi adalah 500 rpm pada $t=0$ s, lalu berubah menjadi 1000 rpm, 1500 rpm, 1200 rpm, dan 800 rpm pada $t=1,011$ s, $t=2,022$ s, $t=3,080$ s dan $t=4,070$ s dan torsi beban yang diberikan adalah sebesar 20 N.m. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 13



Gambar 13 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah yang Terbebani

Tabel 4 Nilai Kecepatan Aktual dan *Error steady state* dengan Kecepatan Referensi Berubah yang Terbebani

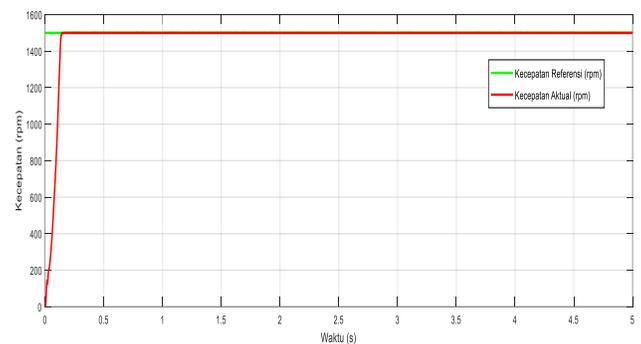
Kecepatan referensi	Kecepatan actual	<i>Error steady state</i>
500 rpm	591 rpm	18,2%
1000 rpm	1020 rpm	2%
1500 rpm	1500,37 rpm	0,024%
1200 rpm	1205,4 rpm	0,45%
800 rpm	828,06 rpm	3,507%

Respon kecepatan pada kontroler ANFIS memiliki nilai kecepatan aktual dan *error steady state* yang dapat dilihat dalam Tabel 4

b Uji Respon Kecepatan dengan Kontrol ANFIS

1) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap

Pada kondisi ini dilakukan pengujian untuk melihat respon kecepatan dengan kecepatan referensi tetap 1500 rpm menggunakan kontrol ANFIS. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 14

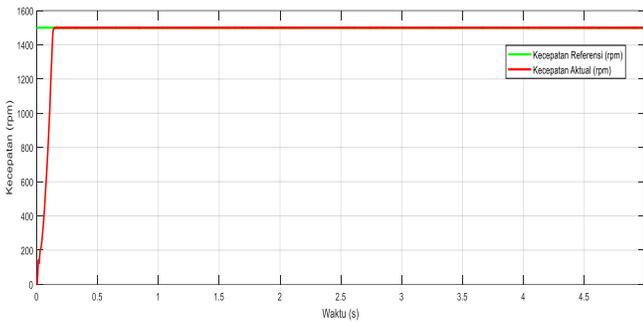


Gambar 14 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap

Berdasarkan hasil dari simulasi, kontrol ANFIS menghasilkan respon kecepatan dengan nilai pada kondisi *steady state* adalah 1500,29 rpm. Kemudian memiliki *rise time* 0,1019 s, *settling time* 0,1334 s, dan *error steady state* sebesar 0,019%.

2) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap Yang Terbebani

Pada kondisi ini dilakukan pengujian untuk melihat respon kecepatan dengan kecepatan referensi tetap 1500 rpm dan torsi beban yang diberikan sebesar -20 N.m dan 20 N.m. menggunakan kontrol ANFIS. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 15

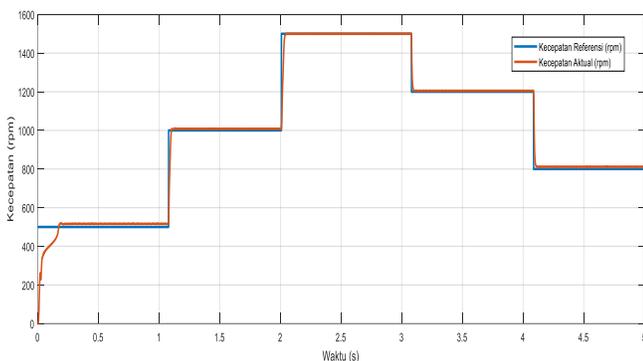


Gambar 15 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Tetap yang Terbebani

Berdasarkan hasil dari simulasi, respon kecepatan kontroler ANFIS pada saat kecepatan 1500 rpm dan diberi beban sebesar -20 N.m dan 20 N.m. menghasilkan respon kecepatan dengan nilai pada kondisi *steady state* adalah 1500,3 rpm. Kemudian memiliki *rise time* 0,1019 s, *settling time* 0,1334 s dan *error steady state* sebesar 0,02%.

3) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah

Pada kondisi ini mulanya kecepatan referensi adalah 500 rpm pada t=0 s, lalu berubah menjadi 1000 rpm, 1500 rpm, 1200 rpm, dan 800 rpm pada t=1,079 s, t=2,009 s, t=3,080 s dan t=4,087 s. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 16



Gambar 16 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah

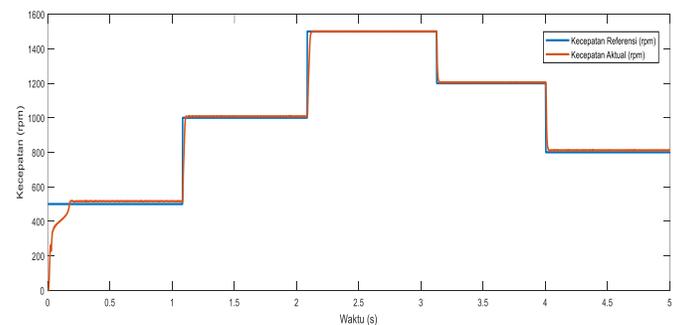
Respon kecepatan pada kontroler ANFIS memiliki nilai kecepatan aktual dan *error steady state* yang dapat dilihat dalam Tabel 5

Tabel 5 Nilai Kecepatan Aktual dan *Error steady state* dengan Kecepatan Referensi Berubah

Kecepatan referensi	Kecepatan actual	<i>Error steady state</i>
500 rpm	517,7 rpm	3,54%
1000 rpm	1009,36 rpm	0,936%
1500 rpm	1500,29 rpm	0.019%
1200 rpm	1205,41 rpm	0.45%
800 rpm	812,06 rpm	1,5%

4) Uji Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah yang Terbebani

Pada kondisi ini mulanya kecepatan referensi adalah 500 rpm pada t=0 s, lalu berubah menjadi 1000 rpm, 1500 rpm, 1200 rpm, dan 800 rpm pada t=1,083 s, t=2,085 s, t=3,126 s dan t=4,003 s dan torsi beban yang diberikan adalah sebesar 20 N.m. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 17



Gambar 17 Respon Kecepatan dengan Kecepatan Referensi Berubah yang Terbebani

Respon kecepatan pada kontroler ANFIS memiliki nilai kecepatan aktual dan *error steady state* yang dapat dilihat dalam Tabel 6

Tabel 6 Nilai Kecepatan Aktual dan *Error steady state* dengan Kecepatan Referensi Berubah yang Terbebani

Kecepatan referensi	Kecepatan actual	<i>Error steady state</i>
500 rpm	517,7 rpm	3,42%
1000 rpm	1009,46 rpm	0,946%
1500 rpm	1500,3 rpm	0.02%
1200 rpm	1204,9 rpm	0.41%
800 rpm	811,1873 rpm	1,39%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dan Fuzzy Logic maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan kontroler ANFIS lebih baik dengan respon yang dihasilkan lebih cepat dengan *error steady state* 0,019 % yang mendekati nol dengan kecepatan aktual 1500,29 rpm dibanding Fuzzy Logic dengan respon yang *error steady state* 0,024% dengan kecepatan aktual 1500,36 rpm dan apabila terjadi perubahan kecepatan referensi, kontroler ANFIS mampu mengikuti perubahan kecepatan yang baru dengan lebih baik dibanding dengan Fuzzy Logic.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryadi , K. N., Triwiyatno, A., & Setiyono, B. (2015). Desain Sistem Kontrol Adaptive NeuroFuzzy Inference system (ANFIS) pada Model Automatic-Antilock Breaking Sistem. 1-8.
- Asnil, Krismadinata, & Husnaini, I. (2017). Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI)*, 163-166.
- Kurniawan, A., Suprianto, B., Wrahatnolo, T., & Kholis, N. (2020). Analisa Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa menggunakan Fuzzy Logic Kontrol. *Jurnal Teknik Elektro*, 733-740.
- Prasetya, A.M., & Santoso, H. (2018). Implementation of Scalar Control Method for 3 Phase Induction Motor Speed Control. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*,