

Perbaikan Unjuk Kerja Motor Tiga Fasa Sebagai Penggerak Konveyor Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

Falihul Fajri Al Faruq

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
email : falihul.19046@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah, Puput Wanarti Rusimamto, Farid Baskoro

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
email : endryansyah@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id, faridbaskoro@unesa.ac.id

Abstrak

Motor listrik bolak balik adalah salah satu jenis motor induksi 3 fasa yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan energi mekanik dari energi listrik. Konveyor menggunakan motor induksi 3 fasa. Pada dasarnya, ketika terdapat perubahan pada beban, kecepatan motor juga akan berubah. Karena itu, tegangan dan frekuensi harus diatur untuk memastikan kecepatan tetap konstan. Tujuan penelitian ini adalah merancang pengendalian logika fuzzy untuk sistem pengendalian kecepatan yang digunakan untuk motor induksi tiga fasa yang bekerja sebagai penggerak konveyor. Tahap dalam penelitian ini yaitu perancangan *fuzzy logic controller*, perancangan simulasi menggunakan software matlab dan pengujian respon sistem dengan *controller* dan tanpa *controller*. *Software* yang digunakan adalah Matlab 2019b untuk perancangan *fuzzy logic controller* dan perancangan simulasi serta monitoring dalam bentuk grafik. Perancangan *fuzzy logic controller* pada motor induksi 3 fasa sebagai penggerak konveyor menggunakan metode Mamdani, parameter masukan logika fuzzy yaitu *error* dan $\Delta error$ dari putaran motor induksi 3 fasa, sedangkan parameter keluarannya adalah frekuensi dari motor induksi 3 fasa. Hasil pengujian dengan beban konstan 100g (0,98 N.cm) menggunakan *fuzzy logic controller* didapatkan waktu tunak (*settling time*) pada 0,570 detik pada kecepatan 1793 rpm dan *error steady state (Ess)* sebesar 0,3889%. Sedangkan hasil pengujian tanpa *controller* didapatkan waktu tunak (*settling time*) pada 0,670 detik pada kecepatan 1575 rpm detik dan *error steady state (Ess)* sebesar 12,5%. Pengaruh *fuzzy logic controller* untuk pengendali pada motor 3 fasa sebagai penggerak konveyor adalah mempercepat motor induksi menuju kondisi *steady state* atau waktu tunak (*settling time*) dan dapat memperkecil *error steady state (Ess)* pada kecepatan motor induksi 3 fasa.

Kata Kunci: motor induksi, sistem kendali, *fuzzy logic controller*

Abstract

An alternating electric motor is a type of three-phase induction motor that has the ability to generate mechanical energy from electrical energy. The conveyor uses a three-phase induction motor. Basically, when there is a change in load, the speed of the motor will also change. Because of this, the voltage and frequency must be regulated to ensure that the speed remains constant. The purpose of this research is to design a fuzzy logic control for a speed control system used for a three-phase induction motor that works as a conveyor drive. The stages in this research are designing a fuzzy logic controller, designing a simulation using Matlab software, and testing the system response with and without a controller. The software used is Matlab 2019b for designing fuzzy logic controllers, simulations, and monitoring in graphical form. The design of a fuzzy logic controller on a three-phase induction motor as a conveyor drive uses the Mamdani method; the input parameters of the fuzzy logic are errors and errors from the rotation of the three-phase induction motor, while the output parameter is the frequency of the three-phase induction motor. The test results with a constant load of 100g (0.98 N.cm) using a fuzzy logic controller obtained a settling time of 0.570 seconds at a speed of 1793 rpm and a steady state error (Ess) of 0.3889%, while the test results without a controller obtained a settling time of 0.670 seconds at a speed of 1575 rpm and a steady state error (Ess) of 12.5%. The effect of the fuzzy logic controller for controlling three-phase motors as conveyor drives is to accelerate induction motors to a steady state conditions or settling time and reduce the steady state error (Ess) at the speed of three-phase induction motors.

Keywords: induction motor, control system, fuzzy logic controller.

PENDAHULUAN

Motor listrik bolak-balik seperti motor induksi tiga fasa dapat menghasilkan energi mekanik dari energi listrik. Sistem konveyor adalah salah satu contoh penggunaan motor induksi tiga fasa yang paling umum. Penggunaan konveyor dapat mempermudah proses distribusi, baik untuk benda padat maupun cair. Konveyor juga merupakan perangkat transportasi yang paling umum digunakan di industri. Selain mampu menjangkau jarak yang cukup jauh, konveyor juga memiliki kapasitas angkut yang besar (Budiarta, 2018).

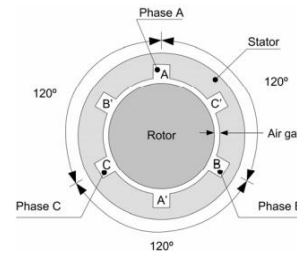
Dibanding dengan jenis motor listrik yang lainnya, motor induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan di industri. Hal ini disebabkan oleh sejumlah keuntungan yang ditawarkan oleh motor induksi, seperti konstruksi yang sederhana, daya tahan yang lama, harga yang relatif murah, dan kurangnya perawatan. Namun, kelemahan motor induksi termasuk masalah pengendalian kecepatan karena sifat intrinsik non-linearinya. Motor induksi biasanya bekerja pada kecepatan konstan; oleh karena itu, kecepatan motor akan berubah sesuai dengan perubahan beban. Untuk memastikan bahwa kecepatan motor tetap konstan, tegangan dan frekuensi harus diatur sesuai kebutuhan (Parekh, 2003). Untuk mencapai kinerja yang diinginkan dari motor induksi, diperlukan pengendali seperti *fuzzy logic controller*. Pengendali ini membantu dalam mengatur kecepatan motor induksi dengan lebih akurat dan efisien.

Dalam Laboratorium Sistem Kendali, terdapat sebuah mini konveyor yang dioperasikan oleh motor tiga fasa. Namun, dalam penggunaannya, terdapat kekurangan yang muncul pada mini konveyor tersebut karena tidak adanya sistem pengendali pada motor tiga fasa sebagai penggerak konveyor. Untuk mengatasi kekurangan ini, peneliti bermaksud menambahkan pengendali menggunakan metode *fuzzy logic control* pada mini konveyor tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah menggabungkan pengontrol ke dalam motor induksi tiga fasa yang menggerakkan konveyor. Metode logika fuzzy digunakan untuk mengurangi *overshoot* (penguatan yang berlebihan), mempercepat waktu mencapai kondisi *steady state* (kondisi stabil), dan mengurangi *error steady state* (perbedaan antara nilai yang diinginkan dan apa yang sebenarnya dicapai setelah kondisi stabil). Dengan menerapkan *fuzzy logic control* pada motor tiga fasa, diharapkan performa konveyor akan meningkat dan penyesuaian kecepatan akan menjadi lebih akurat.

KAJIAN PUSTAKA

Motor Induksi



Gambar 1. Skema Motor induksi tiga fasa (Sumber : Silva, 2006)

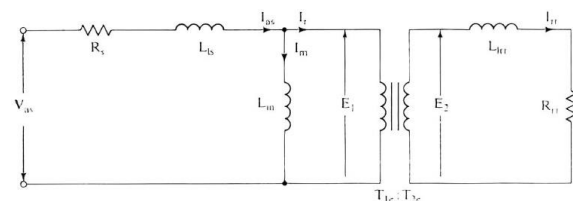
Karena mudah dioperasikan, terjangkau, serbaguna, dan dapat dihubungkan langsung ke sumber listrik AC, motor induksi merupakan jenis motor yang sering digunakan pada berbagai peralatan industri. Seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 1, stator motor induksi menerima listrik, menciptakan medan magnet yang menggerakkan operasi motor. Di sekitar rotor, medan magnet ini berputar secara serempak. Medan magnet stator diusahakan untuk diimbangi oleh medan magnet kedua yang dihasilkan oleh arus listrik di rotor. Rotasi rotor disebabkan oleh interaksi medan magnet ini. (Parekh, 2003). Perhitungan kecepatan motor induksi di nyatakan pada Persamaan 1.

$$N_s = \frac{f \cdot 120}{p} \tag{1}$$

Keterangan :

- N_s : kecepatan stator dalam rpm (rpm)
- f : frekuensi (Hz)
- p : *pole pair* / kutub

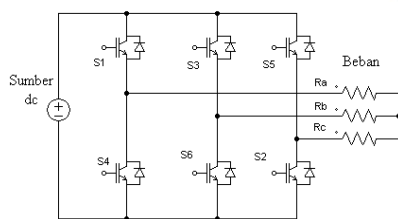
Rangkaian ekuivalen motor induksi memiliki kemiripan dengan transformator. Meskipun arus rotor beroperasi pada frekuensi slip, rotor dapat dimasukkan ke dalam rangkaian dengan cara yang sederhana. Menyadari bahwa belitan stator dan rotor memiliki resistansi dan induktansi bocor, serta adanya induktansi mutual yang menghubungkan belitan stator dan rotor untuk memodelkan fluks mutual. Gambar 2 menggambarkan rangkaian ekuivalen dasar motor induksi 3 fasa (Krisnan, 2001).



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen pada Motor Induksi (Sumber : Krisnan, 2001)

Inverter Tiga Fasa

Suatu alat yang disebut inverter dapat mengubah tegangan dan arus DC (direct current) menjadi tegangan dan arus AC (alternating current). Sinyal keluaran inverter adalah sinyal arus dan tegangan tiga fasa dengan variasi sudut 120° di antara setiap fasa. Oleh karena itu, inverter adalah fitur yang sangat baik karena dapat mengontrol kecepatan motor dengan tegangan AC dengan mengubah frekuensi keluarannya. Seperti yang ditunjukkan dalam gambar, rangkaian dasar inverter tiga fasa terdiri dari enam komponen saklaran yang memiliki sudut penghantar yang berbeda. Sudut penghantar yang paling umum digunakan yaitu 120° dan 180° (Asnil. dkk., 2017). Rangkaian inverter 3 fasa diunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Inverter 3 Fasa
(Sumber : Asnil. dkk., 2017).

Pulse Width Modulation (PWM)

Dengan mengubah rasio lebar pulsa tinggi (high) ke periode sinyal persegi berupa tegangan periodik yang diberikan kepada driver sebagai pemanas, modulasi lebar pulsa (PWM) adalah cara untuk mengontrol pemanasan. Dengan kata lain, perbandingan antara durasi sinyal tinggi dengan periode sinyal semakin besar, semakin banyak daya pemanas yang diberikan ke driver (Matalata dan Johar, 2018).

Metode digital dan analog tersedia untuk menghasilkan sinyal PWM. Setiap perubahan PWM terjadi dengan sangat mulus saat menggunakan pendekatan analog, namun saat menggunakan metode digital, setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi sinyal PWM. PWM digital 8-bit memungkinkan untuk 256 nilai output PWM yang berbeda, dengan nilai mulai dari 0 hingga 255, yang sesuai dengan siklus tugas 0% hingga 100% untuk output PWM. (Matalata dan Johar, 2018).

Konveyor

Konveyor atau ban berjalan adalah sebuah alat yang digunakan untuk membawa barang atau material dari satu proses ke proses lainnya. Fungsinya adalah sebagai sarana transportasi yang memungkinkan pemindahan material secara terus-menerus. Sistem konveyor digunakan ketika kita ingin memindahkan material dalam jumlah besar dan secara kontinu. Dengan menggunakan konveyor, proses

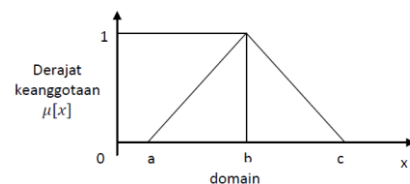
transportasi material dapat dilakukan dengan efisien dan efektif (Budiarta, 2018).

Fuzzy Logic Control Metode Mamdani

Sistem pengendalian logika fuzzy, juga dikenal sebagai *fuzzy inference system* (FIS), memiliki kemampuan untuk membuat keputusan berdasarkan prinsip yang sebanding dengan keputusan yang dibuat oleh manusia berdasarkan naluri. Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto adalah beberapa contoh teknik FIS yang terkenal. Karena paling mirip dengan impuls manusia, teknik Mamdani adalah yang paling mudah dipahami (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

FIS Mamdani menghasilkan perkiraan yang dapat dinilai secara kuantitatif berdasarkan aturan bahasa dan algoritma fuzzy. Sistem ini menggunakan variabel linguistik dan aturan-aturan fuzzy untuk menghubungkan input dengan output dalam suatu proses pengambilan keputusan atau kendali. Dengan menggunakan prinsip logika fuzzy, FIS Mamdani memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih intuitif dan berdasarkan pengetahuan yang tidak tepat atau kurang pasti (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Metode fungsi representasi kurva segitiga digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan dalam penelitian ini. Pada dasarnya, kurva segitiga adalah gabungan dari dua garis linier seperti yang di tunjukkan pada Gambar 4 (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).



Gambar 4. Representasi Kurva Segitiga
(Sumber: Kusumadewi dan Purnomo, 2010)

Metode Mamdani, disebut juga metode *Max-Min*, pertama kali dikembangkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini melibatkan empat tahap utama proses pengambilan keputusan berbasis logika fuzzy (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Pembentukan Himpunan Fuzzy: Pada tahap ini, variabel *input* dan *output* sekarang dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy yang menggambarkan tingkat keanggotaan dalam himpunan tersebut.

Aplikasi Fungsi Implikasi: Fungsi implikasi yang digunakan dalam pendekatan Mamdani adalah *Min*. Dengan menghubungkan himpunan fuzzy masukan dan keluaran, fungsi ini membuat tingkat keanggotaan baru dalam himpunan keluaran berdasarkan tingkat keanggotaan himpunan masukan.

Komposisi Aturan: Pada tahap ini, aturan yang telah didefinisikan digabungkan dalam bentuk aturan fuzzy. Metode Mamdani menggabungkan aturan untuk inferensi. *Max, additive, dan probabilistic OR* (probor) adalah tiga metode umum untuk sistem inferensi fuzzy.

Pengelasan (Defuzzy): Tahap *defuzzy* ini dilakukan untuk mengubah himpunan fuzzy hasil inferensi menjadi suatu nilai crisp yang merepresentasikan output yang diinginkan. Proses defuzzyfikasi ini mengambil nilai crisp tertentu dari himpunan fuzzy dalam rentang nilai tertentu untuk mendapatkan output akhir.

Metode Mamdani merupakan strategi yang populer untuk sistem kontrol logika fuzzy karena mudah diimplementasikan dan memiliki makna yang jelas (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

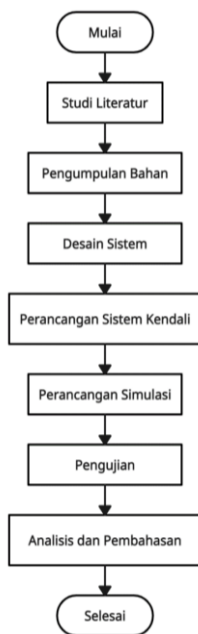
METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian yang menggunakan teknik kuantitatif dan pemanfaatan data numerik. Aplikasi simulasi digunakan dalam penelitian ini untuk menguji sistem yang diusulkan dan membuat model matematika teoritis atau hipotesis. Karena hubungan dasar antara pengamatan empiris dan ekspresi matematis dari hubungan kuantitatif, proses pengukuran dalam sistem ini sangat penting untuk penelitian kuantitatif. (Creswell, 2012). Pada penelitian ini, aplikasi atau *software* yang digunakan adalah MATLAB 2019b untuk menjalankan simulasi dan *fuzzy logic controller*.

Rancangan Penelitian

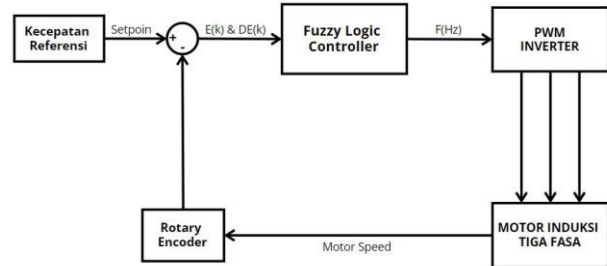
Tahapan perancangan penelitian ini secara garis besar di jelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Rancangan Penelitian

Desain Sistem

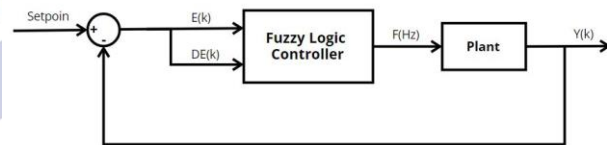
Desain sistem pengendali logika fuzzy untuk pengendalian pada kecepatan motor tiga fasa sebagai penggerak konveyor di tunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain Sistem Perbaikan Unjuk Kerja Motor Tiga Fasa Sebagai Penggerak Konveyor Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

Perancangan Sistem Kendali

Sistem kendali yang digunakan adalah *fuzzy logic controller* yang dibuat menggunakan metode Mamdani yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani. Dalam pengaturan logika fuzzy, masukan dan keluaran pada logika fuzzy dispesifikasikan dalam bentuk permodelan matematika. Prinsip dalam mendesain *fuzzy logic controller* adalah mengatur parameter fungsi keanggotaan dan aturan dasar logika fuzzy. Diagram blok untuk perancangan sistem kendali di tunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Blok *Fuzzy Logic Controller* Sistem *Close loop*

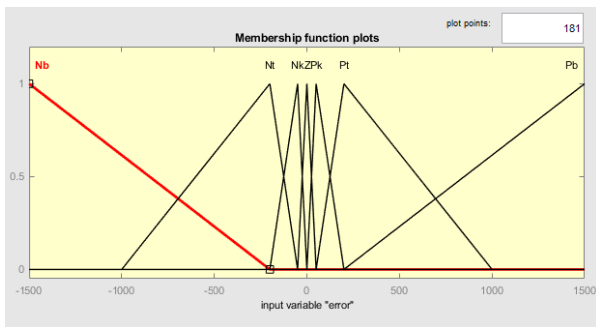
Himpunan fuzzy pada sistem pengendalian ini terdiri dari dua variabel masukan (*input*) dan satu variabel keluaran (*output*). Variabel *input* terdiri dari variabel *input error* (E) dan $\Delta error$ (DE) yang didasari oleh setpoint pada motor induksi. Variabel *error* merupakan variabel yang terbentuk berdasarkan perbandingan antara *setpoint* dengan kecepatan motor sekarang. Sedangkan variabel $\Delta error$ merupakan variabel yang dibuat berdasarkan perbandingan antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya. Variabel masukan *error* dan $\Delta error$ yang di nyatakan dalam persamaan 2 dan 3.

$$E(k) = \text{setpoint} - y(k) \tag{2}$$

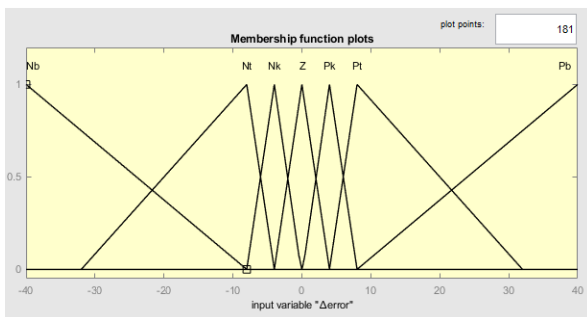
$$DE(k) = E(k) - E(k - 1) \tag{3}$$

Dimana *sepoint* adalah kecepatan referensi dan y adalah keluaran sistem. Sedangkan k dan $(k-1)$ merupakan kesalahan saat ini dan kesalahan sebelumnya. Variable *output* terdiri dari beberapa fungsi keanggotaan yang menggunakan parameter dari frekuensi pada motor induksi (1-60 Hz)

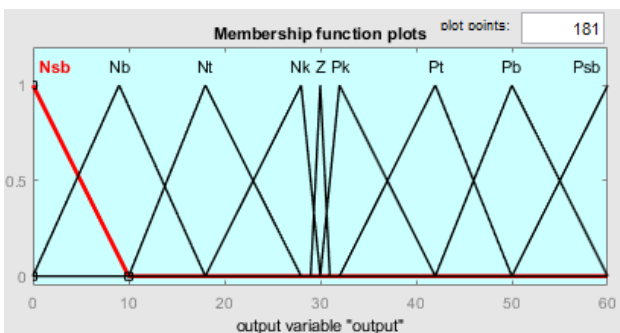
Fungsi Keanggotaan variable *input error* dan $\Delta error$ yang masing-masing terdiri dari 7 fungsi keanggotaan yang di tunjukkan pada Gambar 8 dan 9. Sedangkan variabel keluaran terdiri dari 9 fungsi keanggotaan yang di tunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 8. Masukan Fuzzy *error*



Gambar 9. Masukan Fuzzy $\Delta error$



Gambar 10. Keluaran Fuzzy

Aturan dasar (*if-then rule*) terdiri dari 49 aturan (7×7) karena variabel input memiliki masing-masing dengan tujuh fungsi keanggotaan. Aturan dasar logika fuzzy seperti yang di tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan Dasar Fuzzy

e/ Δe	Nb	Nt	Nk	Z	Pk	Pt	Pb
Nb	Nsb	Nsb	Nsb	Nb	Nt	Nk	Z
Nt	Nsb	Nsb	Nb	Nt	Nk	Z	Pk
Nk	Nsb	Nb	Nt	Nk	Z	Pk	Pt
Z	Nb	Nt	Nk	Z	Pk	Pt	Pb
Pk	Nt	Nk	Z	Pk	Pt	Pb	Psb
Pt	Nk	Z	Pk	Pt	Pb	Psb	Psb
Pb	Z	Pk	Pt	Pb	Psb	Psb	Psb

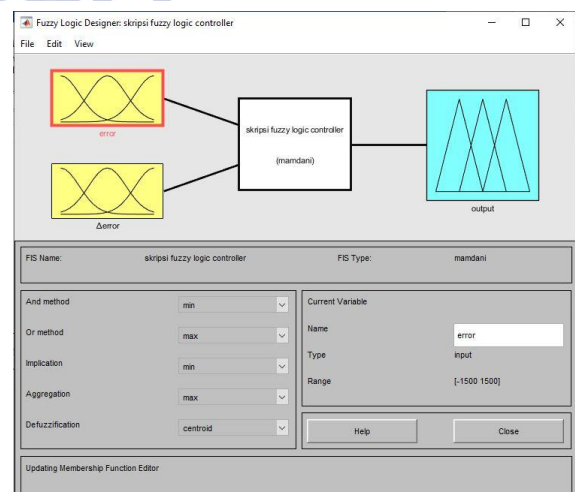
Keterangan :

- Nb : Negatif besar
- Nt : Negatif tengah
- Nk : Negatif kecil
- Z : Zero
- Pk : Positif kecil
- Pt : Positif tengah
- Pb : Positif besar
- Nsb : Negatif sangat besar
- Psb : Positif sangat besar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Fuzzy logic control pada penelitian ini menggunakan metode Mamdani. Sistem ini menggunakan pengendalian logika fuzzy untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa seperti penggerak konveyor, dengan *setpoint* atau kecepatan referensi (rpm) sebagai masukan pada sistem. Pada basis pengetahuan, *error* dan *delta error* ($\Delta error$) digunakan sebagai masukan logika fuzzy, dan keluaran dari sistem fuzzy untuk mengatur frekuensi yang masuk pada rangkaian PWM yang mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa. Gambar 11 merupakan tampilan FIS metode Mamdani pada Matlab 2019b.



Gambar 11. FIS Metode Mamdani

Perancangan Simulasi

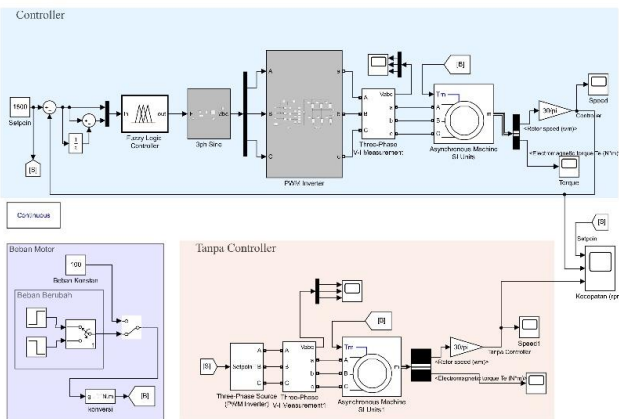
Motor induksi yang digunakan pada permodelan sistem untuk penelitian ini adalah *asynchronous machine SI unit* pada blok simulink matlab 2019b. Parameter motor induksi tiga fasa yang terdapat pada *nameplate* motor dihitung menggunakan *function* pada matlab. Hasil penghitungan matlab dijadikan sebagai parameter pada blok *asynchronous machine SI unit* simulink. Parameter motor induksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Motor Induksi 3 pada Simulink

Daya	26 W
Voltage	230 V
Frequency	60 Hz
Speed	3600 rpm
Jumlah Kutub	2
Arus (I)	0,17 A
Stator Resistance (R_s)	138,2300 Ω
Stator Inductance (L_s)	0,00013790 H
Rotor Resistance (R_r')	286,1364 Ω
Rotor Inductance (L_r')	2,5435 H
Mutual Inductance (L_m)	18,3191 H

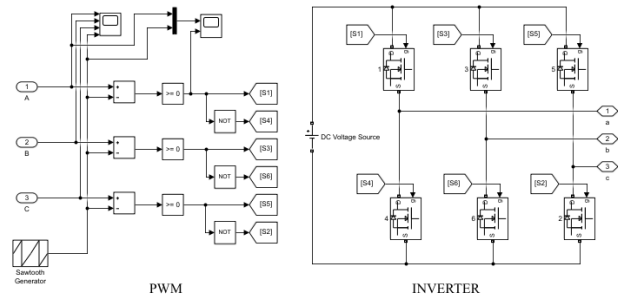
Pemodelan sistem pada simulink MATLAB 2019b dengan menggunakan teknik sampling. Masukan pada sistem adalah kecepatan referensi (*setpoint*) dan torsi mekanik sebagai beban pada motor induksi. Masukan torsi mekanik pada motor induksi menggunakan konversi dari massa (gram) menjadi Newton (N) dan torsi mekanik maksimum dari motor induksi tiga fasa yaitu 185 gram atau 1,815 N.cm.

Gambar 12 merupakan permodelan sistem perbaikan unjuk kerja motor tiga fasa sebagai penggerak konveyor menggunakan controller (*fuzzy logic controller*) dan tanpa controller.



Gambar 12. Permodelan Sistem Perbaikan Unjuk Kerja Motor Tiga Fasa Sebagai Penggerak Konveyor Menggunakan Fuzzy Logic Controller

Kecepatan referensi (*setpoint*) pada sistem ini adalah konstan pada 1800 rpm yang merupakan kecepatan referensi. Torsi mekanik pada model ini dibuat bervariasi yaitu torsi konstan dan torsi berubah. Sedangkan model rangkaian PWM inverter adalah inverter tiga fasa berbasis *sine pulse width modulation* (spwm) dengan DC voltage source sebagai sumber tegangan ke inverter memberikan tegangan 230V. Gambar 13 merupakan model rangkaian PWM inverter pada simulink.

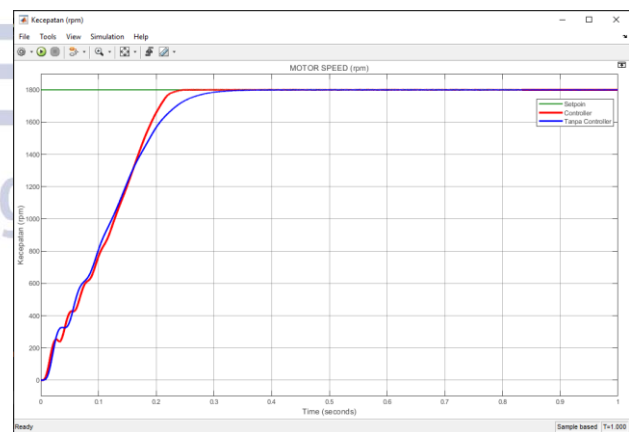


Gambar 13. Model Rangkaian PWM Inverter.

Pengujian Sistem dan Hasil Simulasi

Pengujian sistem dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu pengujian tanpa beban, beban konstan, beban berubah. Hasil pengujian sistem ditunjukkan dengan grafik respon kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan controller dan tanpa controller. Grafik respon kecepatan motor (rpm) menggunakan controller (*fuzzy logic controller*) berwarna merah dan tanpa controller berwarna biru.

Pengujian tanpa beban atau beban nol dilakukan pada setpoint 1800 rpm dengan beban nol selama 1 detik. Gambar 14 menunjukkan Grafik respon pada pengujian tanpa beban.



Gambar 14. Grafik Respon Pengujian Tanpa Beban pada Kecepatan Motor

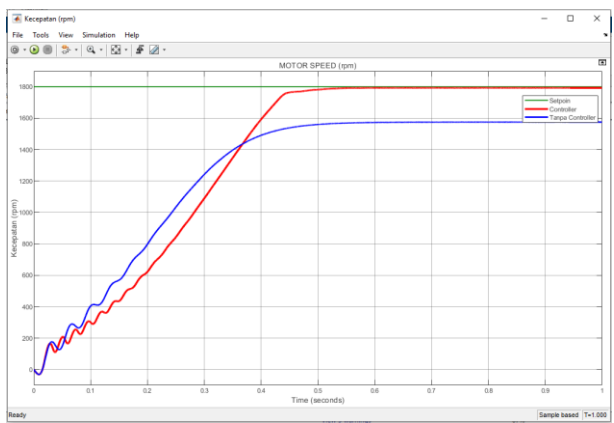
Hasil dari pengujian tanpa beban pada saat menggunakan controller didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,250 detik dengan *error steady state*

(Ess) sebesar 0%. Sedangkan hasil pengujian tanpa *controller* didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,422 detik dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0%. Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengujian tanpa beban.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tanpa Beban

Parameter	Waktu Tunak (s)	Error Steady State
<i>Controller</i>	0,250	0%
Tanpa <i>Controller</i>	0,422	0%

Pengujian dengan beban konstan, pengujian ini dilakukan pada *setpoint* 1800 rpm dengan beban konstan 100g (0,98 N.cm) selama 1 detik. Gambar 15 menunjukkan Grafik respon pada pengujian dengan beban konstan.



Gambar 15. Grafik Respon Pengujian dengan Beban Konstan Pada Kecepatan Motor

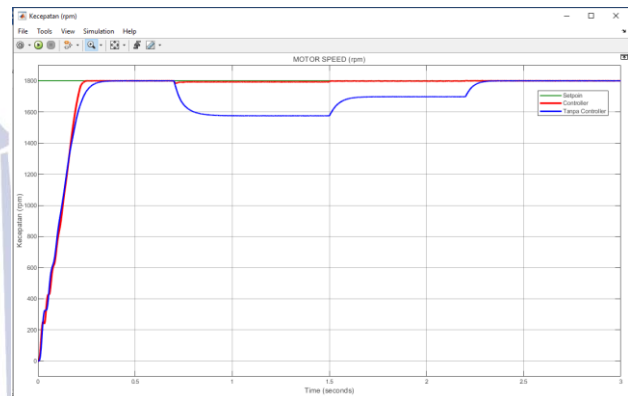
Hasil pengujian dengan beban konstan menggunakan *controller* didapatkan *Settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,570 detik pada kecepatan 1793 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0,3889%. Sedangkan hasil pengujian tanpa *controller* didapatkan *Settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,670 detik pada kecepatan 1575 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 12,5%. Tabel 4 menunjukkan hasil dari pengujian dengan beban konstan.

Tabel 4. Hasil Pengujian dengan Beban Konstan

Parameter	Waktu Tunak (s)	Error Steady State
<i>Controller</i>	0,570	0,3889%
Tanpa <i>Controller</i>	0,670	12,5%

Pengujian dengan Beban Berubah, Pengujian ini dilakukan pada *setpoint* 1800 rpm dengan beban berubah,

beban berubah sebanyak 3 kali. Sebelum perubahan beban, beban motor pada kondisi nol atau tanpa beban, perubahan beban pertama pada waktu 0,7 detik dengan beban 100g (0,98 N.cm), perubahan beban kedua pada waktu 1,5 detik dengan beban 50g (0,49 N.cm), perubahan beban ketiga pada waktu 2,2 detik dengan beban nol. Pengujian dengan beban berubah dilakukan selama 3 detik. Gambar 16 menunjukkan Grafik respon pada pengujian dengan beban berubah.



Gambar 16. Grafik Respon Pengujian dengan Beban Berubah pada Kecepatan Motor

Hasil pengujian menggunakan *controller* pada beban awal (nol) didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,250 detik dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0%. Pada perubahan beban pertama didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,760 detik pada kecepatan 1793 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0,3889%. Pada perubahan beban kedua didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 1,506 detik pada kecepatan 1798 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0,111%. Pada perubahan beban ketiga didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 2,216 detik pada kecepatan 1800 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0%.

Sedangkan hasil pengujian tanpa *controller* pada beban awal (nol) didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,422 detik dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0%. Pada perubahan beban pertama didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 0,974 detik pada kecepatan 1575 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 12,5%. Pada perubahan beban kedua didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 1,677 detik pada kecepatan 1696 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 5,778%. Pada perubahan beban ketiga didapatkan *settling time* (ts) atau waktu tunak pada 2,382 detik pada kecepatan 1800 rpm dengan *error steady state* (Ess) sebesar 0%. Tabel 5 menunjukkan hasil dari pengujian dengan beban berubah.

Tabel 5. Hasil Pengujian dengan Beban Berubah

Parameter	Controller		Tanpa Controller	
	Waktu Tunak	Error Steady State	Waktu Tunak	Error Steady State
	Sebelum Beban	0,250 s	0%	0,422 s
Perubahan Beban 1	0,760 s	0,3889%	0,974 s	12,5%
Perubahan Beban 2	1,506 s	0,111%	1,677 s	5,778%
Perubahan Beban 3	2,216 s	0%	2,382 s	0%

PENUTUP

Simpulan

Dalam penelitian ini perancangan *controller* yaitu *fuzzy logic controller* pada motor induksi tiga fasa sebagai penggerak konveyor berhasil dibuat menggunakan software matlab 2019b dengan metode Mamdani, parameter masukan logika fuzzy yaitu *error* dan $\Delta error$ dari putaran motor induksi tiga fasa, sedangkan parameter keluarannya adalah frekuensi dari motor induksi tiga fasa.

Pengaruh *fuzzy logic controller* untuk pengendali pada motor tiga fasa sebagai penggerak konveyor adalah mempercepat motor menuju kondisi *steady state* atau waktu tunak (*settling time*) 0,570 detik dan dapat memperkecil *error steady state* sebesar 0,3889% pada beban konstan 100g (0,98 N.cm).

Pada pengujian sistem dengan beban konstan 100g (0,98 N.cm), hasil pengujian menggunakan *fuzzy logic controller* didapatkan waktu tunak (*settling time*) pada 0,570 detik pada kecepatan 1793 rpm dan *error steady state (Ess)* sebesar 0,3889%, Sedangkan hasil pengujian tanpa *controller* didapatkan waktu tunak (*settling time*) pada 0,670 detik pada kecepatan 1575 rpm detik dan *error steady state (Ess)* sebesar 12,5%. Dapat disimpulkan bahwa motor induksi tiga fasa setelah ditambahkan *fuzzy logic controller* dapat lebih optimal daripada tanpa *controller*.

Saran

Sistem pengendalian pada kecepatan motor induksi ini dapat dikembangkan menggunakan pengendalian yang lain, seperti PID dan fuzzy-PID supaya mendapatkan hasil yang lebih optimal lagi. Sistem pengendalian motor induksi sebagai penggerak konveyor ini juga dapat dikembangkan untuk diimplementasikan pada *real plan*.

DAFTAR PUSTAKA

Asnil, Krismadinata, dan Husaini. Irma. 2017. *Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro: hal. 163-166. ISBN 978-602-6204-24-0.

Atina. 2019. *Aplikasi Matlab pada Teknologi Pencitraan Medis*. Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya. Vol 1 (1) : hal. 28-34.

Budiarta. Laila R. 2018. *Perancangan Kontroler PI Untuk Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Dc Pada Mini Konveyor*. Skripsi: hal. 1-60. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Creswell. John W. 2012. *Fourth Edition Educational Research Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Reserch*. Boston, MA: Pearson.

Krisnan. R. 2001. *Electric Motor Drives Modeling, Analysis and Control*. ISBN 0-13-091014-7. USA: Prentice Hall. Inc.

Kurniawan. Akbar. 2022. *Analisis Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Fuzzy Logic Control*. Jurnal Teknik Elektro. Vol. 09 (03): hal. 733-740. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya,

Kusumadewi dan Purnomo. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Matalata. Hendi dan Johar. Leily W. 2018. *Analisa Buck Converter Dan Boost Converter Pada Perubahan Duty Cycle Pwm Dengan Membandingkan Frekuensi Pwm 1,7 Khz Dan 3,3 Khz*. Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi. Vol.18 No.1.

Maulana. Achmad Riza. 2018. *Desain Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC pada Rancang Bangun Mini Konveyor berbasis Fuzzy Logic Controller*. Jurnal Teknik Elektro. Vol. 7 (3): hal. 225-233. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Ogata. 2002. *Modern Control Engineering Fourth Edition*. Pearson Education International. ISBN: 0-13-043245-8

Pambudi. Dwi S.A., Sarwoko. M, dan Kurniawan. Ekki. 2016. *Kontrol Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Tegangan Dan Frekuensi Dengan Modulasi Vektor Ruang*. Jurnal Teknika. Vol. 1 (1): hal. 76-84.

Parekh. Rakesh. 2003. *AC Induction Motor Fundamentals*. USA: Microchip Technology Inc.

Setiawan. Bima, Habibi. M. Nizar, Windarko. Novie Ayub, dan Sutedjo. 2020. *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Dengan Metode V/F (Volt/Frekuensi) dan Kontrol PI-Fuzzy*. Jurnal Suara Teknik. Vol. 11 (2) hal. 1-13. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

Shah. K.P. 2018. *Construction and Maintenance of Belt Conveyors for Coal and Material Handling Plants*. India: Practical Maintenance.

Silva. Aderiano M. 2006. *Induction Motor Fault Diagnostic And Monitoring Methods*. Thesis: hal. 17. Milwaukee, Wisconsin: Marquette University.