

ANALISIS PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROL*

Akbar Kurniawan

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
email : akbarkurniawan16050874028@mhs.unesa.ac.id

Bambang Suprianto, Tri Wrahatnolo, Nur Kholis

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
email : bambangsuprianto@unesa.ac.id, wrahatnolo@yahoo.co.id, kholisunesa@yahoo.com

Abstrak

Motor induksi tiga fasa merupakan perabot listrik yang dimanfaatkan sebagai penggerak utama mesin. Pemanfaatan motor induksi tiga fasa banyak ditemui pada industri karena harganya murah, perawatannya mudah dan desain yang handal, sehingga lebih dipilih untuk penggerak mesin dengan skala besar. Tetapi motor listrik memiliki kekurangan pada arus mula yang tinggi hingga berkali lipat. Dari kekurangan tersebut disebut juga motor dengan sifat tidak linear. Karena itu dibutuhkan inverter agar dapat mengatasi lonjakan arus mula dan overshoot motor. Inverter menggunakan sinyal PWM (Power With Modulation) sebagai pensaklaran pada komponen inverter yang berupa mosfet. Mosfet pada inverter disusun paralel yang berjumlah 6 buah. Pensaklaran PWM ini menggunakan logika fuzzy agar didapatkan hasil kecepatan dengan rise time yang sesingkat mungkin dan lonjakan arus yang dapat dikontrol sekecilnya. Dengan menggunakan logika fuzzy untuk pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa maka didapatkan rise time 0.2 s dan kecepatan tunak pada 0.3s.

Kata Kunci: Motor induksi tiga fasa, inverter, pengontrolan logika fuzzy.

Abstract

Three-phase induction motor is an electrical device that is used as the main engine. Utilization of three-phase induction motors are mostly found in industry because of their low cost, easy maintenance and reliable design, so they are preferred for large-scale engine drives. But electric motors have a lack of high initial currents many times. From this deficiency is also called a motor with non-linear nature. Therefore, an inverter is needed to be able to overcome the inrush current and motor overshoot. The inverter uses the PWM (Power With Modulation) signal as a switch on the inverter component in the form of MOSFETs. This PWM switching uses fuzzy logic to get the speed results with the shortest increment time and the smallest inrush current. By using fuzzy logic to control the speed of a three phase induction motor, the rise time is 0.2 seconds and the fixed speed is 0.3 seconds.

Keywords: three phase motor induction, inverter, fuzzy logic controller.

PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan perabot listrik yang dimanfaatkan sebagai penggerak utama dalam suatu alat, layaknya jantung sebagai pemompa darah pada manusia. Motor induksi tiga fasa termasuk motor listrik bolak balik yang dapat merubah *energy* listrik menjadi *energy* gerak (Suhardi, 2016). Pemanfaatan motor induksi tiga fasa paling banyak ditemui pada industri karena harganya murah, perawatannya mudah dan desain yang handal, sehingga lebih dipilih sebagai penggerak mesin dengan skala besar. Tetapi motor induksi tiga fasa juga memiliki arus *start* yang dapat dibidang sebagai kekurangan. Kekurangan tersebut mengakibatkan lonjakan arus mula dan *overshoot* motor yang mempengaruhi performa

mesin listrik (Yusuf, 2019).

Dari kekurangan motor induksi tiga fasa tersebut maka dapat dibidang motor yang sifatnya tidak linear. Pada prinsipnya motor induksi dioperasikan pada laju yang konstan, jika beban diubah maka kecepatan putaran motor juga berubah mengikuti beban (haryanto, dkk, 2014). Karena itu agar kecepatan motor dapat dipertahankan, maka dibutuhkan inverter sebagai pengatur tegangan dan frekuensi yang masuk pada motor induksi. Pengatur kecepatan Inverter ini dengan memanfaatkan sinyal digital yang dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan (Hasibuan, dkk, 2018). Pengaturan kecepatan ini umumnya dilakukan dengan cara manual, yakni dengan memutar *knob* pada inverter, sehingga dapat menyesuaikan kecepatan motor induksi.

Dari penelitian sebelumnya oleh Hartono tahun 2019 yang berjudul “Desain dan Simulasi Motor Induksi 3 Fasa dengan Menggunakan Matlab”, membuat simulasi pengendalian laju motor induksi tiga fasa. Pada penelitian tersebut menggunakan inverter tiga fasa untuk mengendalikan laju motor induksi yang disimulasikan pada software matlab. Proses pensimulasian tersebut menghasilkan sinyal gate: 1, arus: 25-30 A, rise time 0,7 s, kecepatan tunak pada waktu 0,85 detik (Hartono, 2019).

Penelitian pada artikel ini akan membuat simulasi pengendalian laju motor induksi tiga fasa dengan memanfaatkan inverter dan logika fuzzy pada software matlab 2018 dengan menampilkan durasi 3 detik. Pada star awal pengendalian fuzzy diberikan torsi sebesar 5 Nm dan pada detik 1,5 ditambahkan 20 Nm. Logika fuzzy merupakan suatu cara untuk memetakan suatu ruang masuk dalam suatu ruang keluar berupa set point yang didasari oleh konsep himpunan fuzzy secara tepat (Azwardi, 2015). Pada pengontrolan oleh logika fuzzy ini cukup sederhana karena motede ini menggunakan logika manusia yang mana penalarannya tidak ke benar atau salah saja, melainkan bisa sedikit benar atau sedikit salah. Tujuan dari penelitian yang dibuat secara simulasi ini merupakan pengendalian sinyal digital yang masuk pada inverter oleh logika fuzzy terhadap kecepatan putaran motor induksi tiga fasa.

Motor Induksi tiga fasa

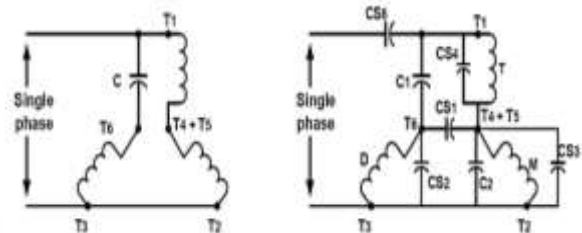
Motor induksi adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi gerak. Listrik yang digunakan motor induksi merupakan listrik arus bolak-balik (AC) tiga fasa.

Bagian pada motor ini terdiri dari 2 komponen komponen utama yakni stator dan rotor. Stator pada motor induksi ini mempunyai alur berkelipatan 3 karena menggunakan arus listrik tiga fasa, sehingga proses pembentukan medan magnet membentuk kutub medan magnet berkelipatan 3. Motor induksi tiga fasa memiliki dua pengendalian, yakni hubungan bintang dan hubungan delta pada Gambar 1.

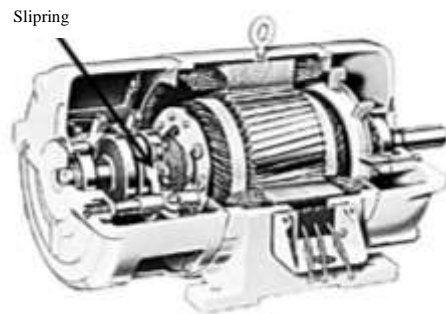
Dari dua pengendalian tersebut mempunyai perbedaan salah satunya tegangan maksimal pada hubungan bintang yakni 630V. Pada hubungan delta tegangan maksimal yakni 380V.

Rotor motor induksi terdapat dua tipe, yakni tipe belit dan tipe sangkar. Rotor belit berbeda dengan rotor tipe sangkar karena mempunyai slip ring. Rotor belit dapat dilihat pada gambar 2. Ciri motor induksi

salah satunya mempunyai nilai slip antara kecepatan rotor dann stator, karena Rotor pada motor induksi ini menggunakan batangan-batangan tembaga tanpa lapisan email yang disusun seperti sangkar.



Gambar 1. Hubungan bintang dan hunbungan delta (Anthony, 2013)



Gambar 2. Motor induksi tiga fasa tipe rotor belit. (Haryanto, 2014)

Perhitungan slip motor induksi tiga fasa:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \tag{1}$$

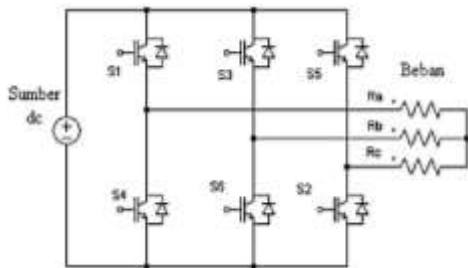
Keterangan:

- S = Slip
- N_s = laju putaran stator
- N_r = laju putaran rotor

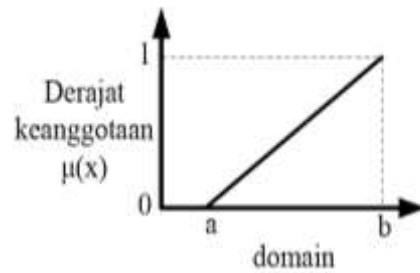
Inverter Tiga Fasa

Inverter adalah sebuah alat yang dapat mengubah arus dan tegangan searah menjadi arus dan tegangan bolak balik. Sinyal output pada inverter merupakan sinyal arus dan tegangan tiga fasa yang setiap fasanya mempunyai beda sudut 120° (Yusuf, 2019).

inverter tiga fasa memiliki Rangkaian dasar yang terdiri 6 buah komponen pensaklaran dengan sudut penghantar yang berbeda dapat dilihat pada Gambar3. Tehnik sudut pensaklaran umumnya yang digunakan adalah 120° dan 180° (Krismadinata, 2017).



Gambar 3. Rangkaian dasar inverter tiga fasa
(Krismadinata, 2017)



Gambar 4. Representasi linier naik
(Wahab, 2013)

Proses pensaklaran pada inverter dapat memanfaatkan sinyal *Power With Modulation* (PWM). Sinyal PWM mempunyai ayunan dan frekuensi dasar tetap, tetapi mempunyai lebar pulsa beragam. Lebar pulsa sinyal PWM berbanding lurus dengan ayunan sinyal murni yang masih belum pada proses modulasi. Maksudnya sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang tetap, tapi duty cycle beragam (1% sampai 100%).

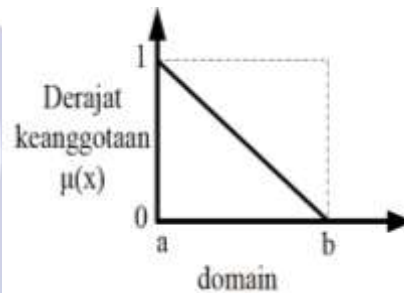
Fuzzy Logic

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 pemetakan tidak linier. Logika *fuzzy* didasarkan pada pemikiran dan bahasa manusia sehingga dapat diterapkan dalam desain sistem kontrol tanpa mengurangi dan mengubah tehknik desain sistem kontrol konvensional (Wahab, 2013).

Pada logika *fuzzy* mempunyai fungsi keanggotaan yang biasa disebut membership function. Fungsi keanggotaan mempunyai fungsi memetakan ruang input derajat keanggotaan antara 0 dan 1. Dalam menentukan fungsi keanggotaan pada penelitian ini dapat dilakukan dengan cara beberapa pendekatan fungsi, yakni:

1. Representasi linier

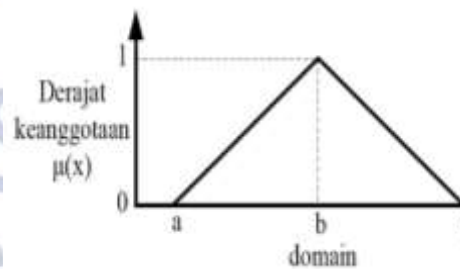
Pada *Representasi* ini terdapat dua keadaan himpunan *fuzzy linier*. Pertama himpunan *fuzzy linear* yang bergerak kekanan dari derajat keanggotaan nol (0) menuju derajat keanggotaan lebih tinggi dapat dilihat pada Gambar 4. Kedua berkebalikan dengan yang pertama, yang mana posisi derajatnya turun kebawah pada gambar 5.



Gambar 5. Representasi linier turun
(Wahab, 2013)

2. Representasi kurva segitiga

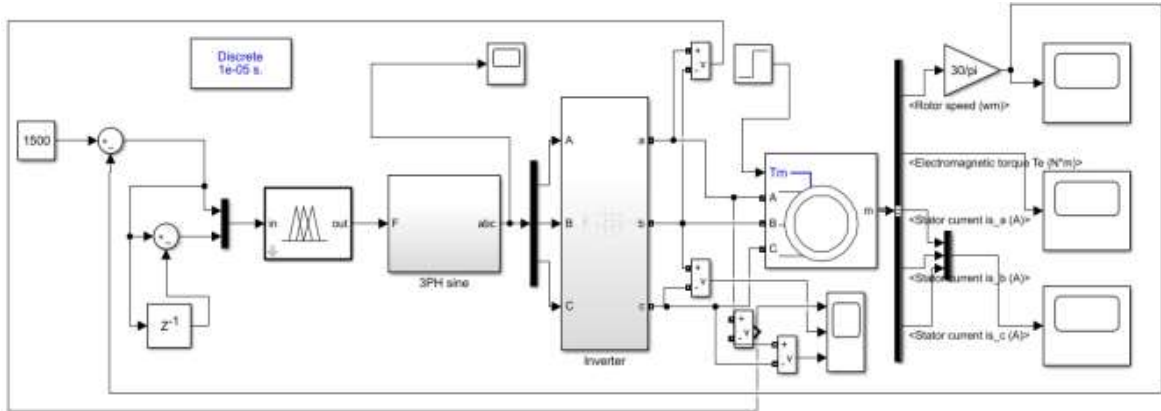
Pada kurva segitiga merupakan gabungan dua titik linier dari bawah ke atas dan dari atas kebawah sehingga berbentuk segitiga dan dari atas ke bawah dapat dilihat pada Gambar 6.



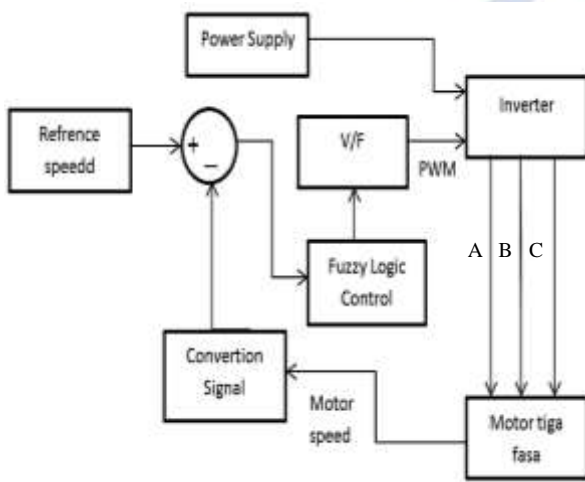
Gambar 6. Representasi kurva segitiga
(Wahab, 2013)

METODE PENELITIAN

Penelitian pada artikel ini berimplementasi dengan mensimulasikan pengendalian motor induksi tiga fasa menggunakan MATLAB/SIMULINK. Model pengendalian kecepatan dari artikel ini menggunakan logika *fuzzy* dan diagram blok dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 8. Bagan keseluruhan pengendalian kecepatan menggunakan logika fuzzy



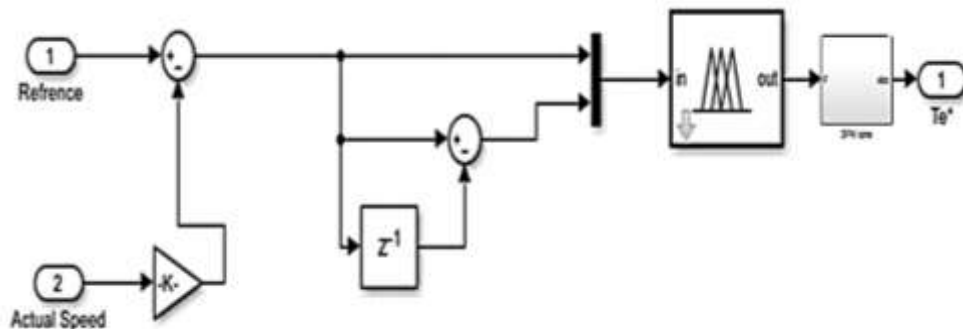
Gambar 7. Blok Diagram simulasi

Pada sistem pengendalian kecepatan motor, nilai masukan merupakan *set point* untuk kecepatan motor. Set point akan masuk pada kontrol logika fuzzy, yang mana dari kontrol logika fuzzy menghasilkan sinyal digital. Sinyal digital diubah menjadi sinyal PWM melewati sistem V/F. Pensaklaran komponen *mosfet* pada dilakukan oleh

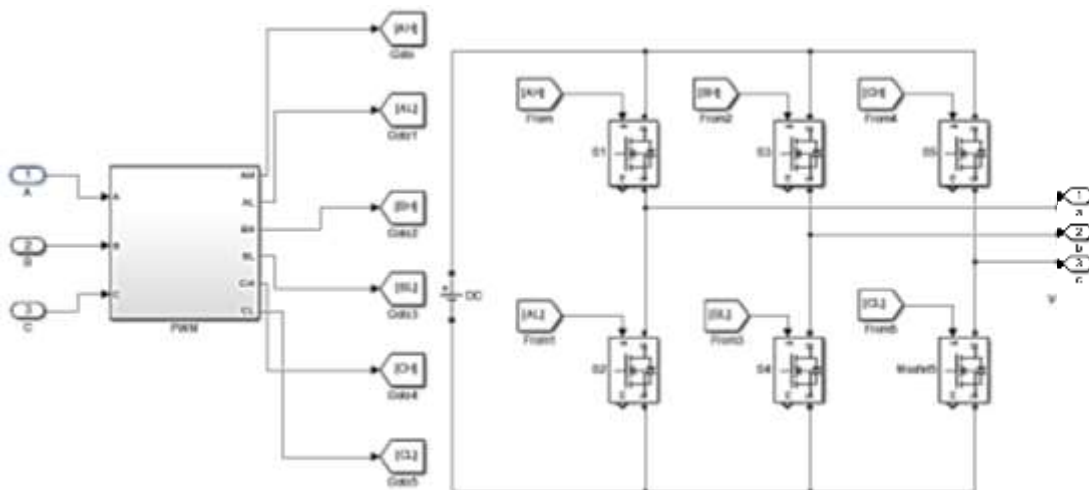
sinyal PWM dengan sinyal on dan off secara bergantian, sehingga inverter menghasilkan frekuensi dengan cepat dan rapat berbentuk sinyal sinusoidal ABC. Dari hasil keluaran inverter akan diteruskan pada motor, sehingga motor bisa berputar. Energi mekanik dari motor akan diubah menjadi sinyal digital yang kemudian masuk dan diolah pada kontrol logika fuzzy. Kontrol tersebut melakukan perbandingan antara putaran motor dengan masukan awal (*set point*). Perbandingan putaran tersebut dilakukan dengan cepat dan tepat sampai kecepatan motor mencapai masukan awal (*setpoint*).

Pemrograman simulasi pengendalian motor ditujukan pada gambar 8. Bagan tersebut berisikan macam-macam komponen simulink yang digunakan dalam simulasi pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan logika fuzzy.

Bagan pengendalian logika fuzzy ditujukan pada gambar 9. Bagan tersebut berisikan macam-macam komponen simulink, yakni: *reference*, *actual speed*, *sum*, *error*, *delta error*, *fuzzy logic*, *drive* pengendalian.

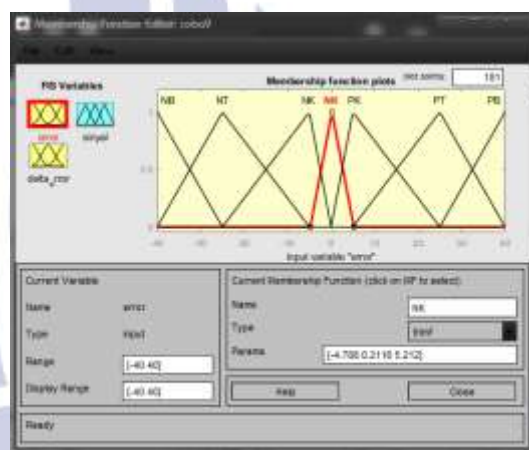


Gambar 9. Pengendalian logika fuzzy

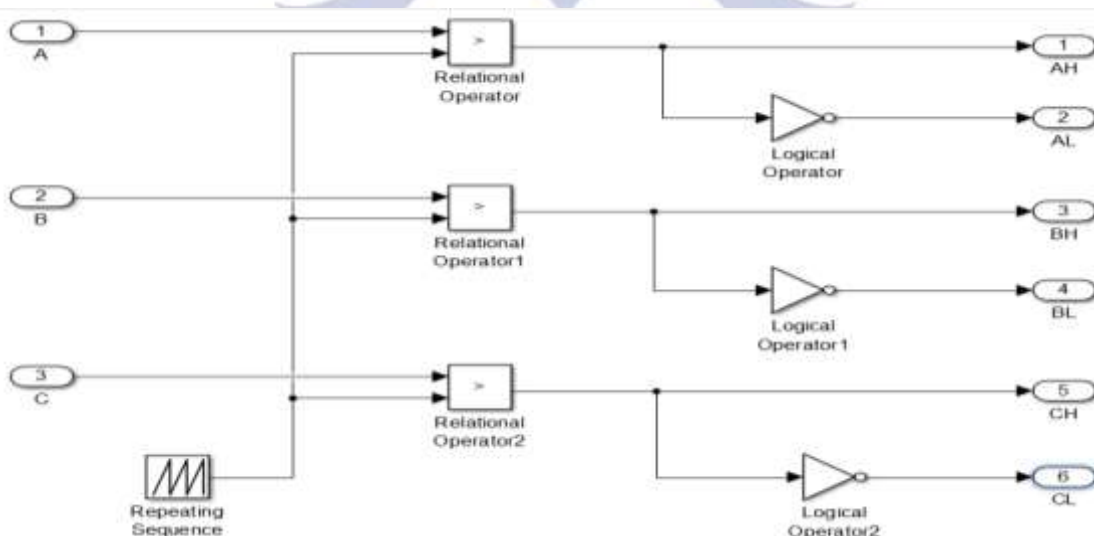


Gambar 10. Bagan inverter

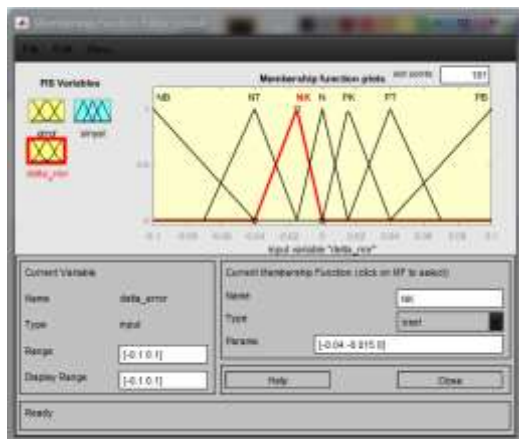
Bagan inverter dapat ditunjukkan pada gambar 10. Bagan tersebut berisikan simulink PWM dan beberapa mosfet yang disusun paralel. Pengendalian PWM ditunjukkan pada gambar 11. Bagan tersebut berisikan komponen simulink, seperti, *generator PWM*, *relation operator*, *logical operator*. Bagan pengendalian PWM pada gambar 11, menghasilkan sinyal PWM, yang mana akan melakukan pensaklaran pada mosfet yang disusun paralel secara bergantian. Pemrograman logika *fuzzy* pada simulasi artikel ini ditunjukkan pada gambar 12, 13, dan 14.



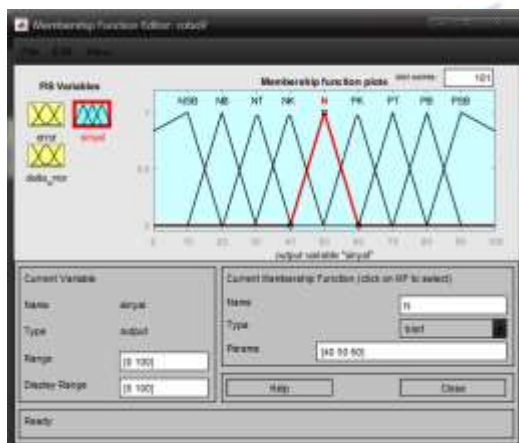
Gambar 12. Parameter input error *fuzzy*



Gambar 11. Bagan Pengendalian PWM



Gambar 13. Parameter input delta error



Gambar 14. Parameter output fuzzy

Pada penelitian ini memakai fuzzy mamdani karena pemakaiannya fleksibel karena memiliki toleransi pada data yang telah ditentukan. *Fuzzyfication Rule* dari program *Fuzzy* pengendalian kecepatan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. *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

Keterangan pada *rule*:

- E : error
- DE : delta error
- 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

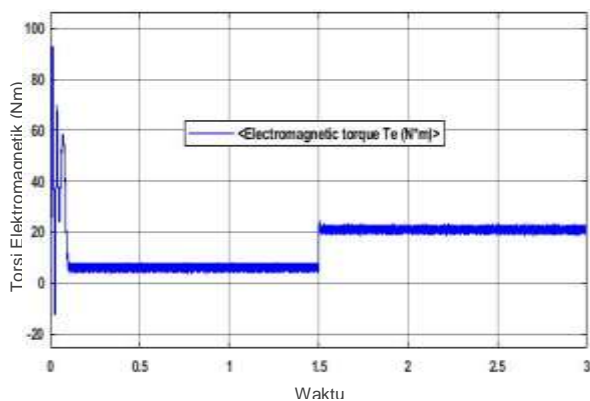
Parameter motor induksi tiga fasa pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter motor induksi

Parameter	Symbol	Value	Unit
Stator Resistance	R_s	0.09961	Ohm
Rotor Resistance	R_r	0.05837	Ohm
Mutual Resistance	L_m	0.03039	H
Stator Inductance	L_{ls}	0.000867	H
Rotor Inductance	L_{lr}	0.000867	H
Inertia	J	0.4	$Kg.m^2$
Friction Factor	F	0.02187	$Nm.s$
Pole Pair	P	2	()

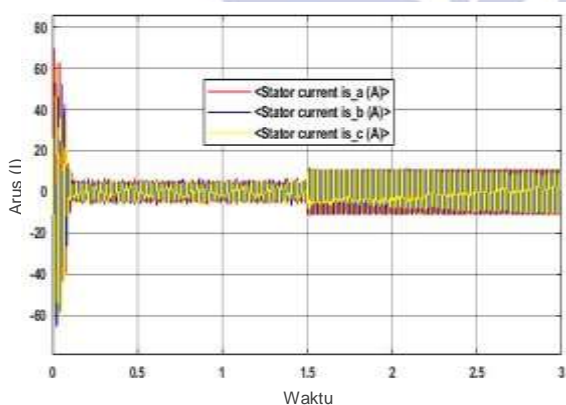
ANALISA DATA

Dari proses simulasi pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa ini diawali dengan torsi 5 Nm dan diberikan tambahan torsi 20 NM pada detik ke 1,5 dapat ditampilkan beberapa hasil dari proses running yakni, Torsi eletromagnetik motor dari proses simulasi ditunjukan pada gambar 15.



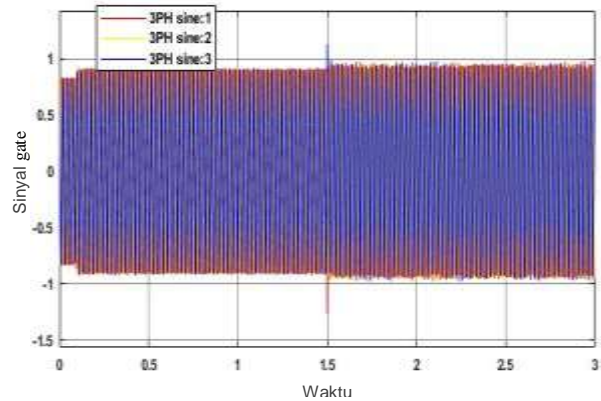
Gambar 15. Torsi elektromagnet motor induksi tiga hasil simulasi *fuzzy*

Torsi elektromagnetik motor induksi dipengaruhi oleh kecepatan putaran motor tersebut. Kecepatan putaran motor yang berubah-ubah akan mempengaruhi torsi sehingga berubah-ubah. Torsi awal dari simulasi memiliki hentakan hingga 90 Nm. Kemudian akan landai dan mencapai titik stabil 5 Nm. Pada saat detik 1,5 torsi berubah 20 Nm. Arus motor yang dihasilkan dari simulasi *fuzzy* ditunjukkan pada gambar 16.



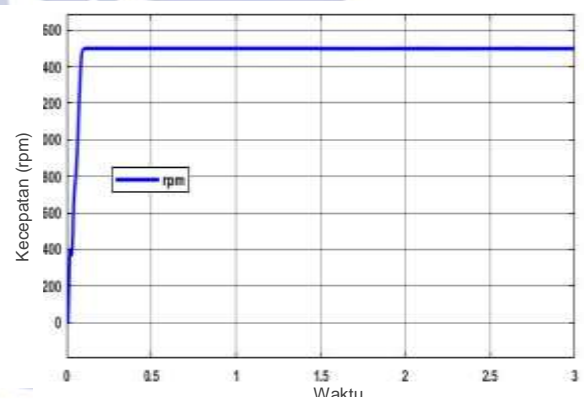
Gambar 16. Arus motor hasil simulasi *fuzzy*

Arus motor merupakan arus tiga jalur yang dijadikan satu. Untuk setiap arusnya mempunyai perbedaan fasa sebesar 120° pada setiap fasa. Arus mula menghasilkan 60A pada awal runnig dengan torsi 5 Nm. Arus akan stabil berada pada waktu 0,3 detik dengan arus nominal 5A. Ketika pada penambahan torsi 20 Nm maka arus naik menjadi 10 A. Sinyal PWM untuk *mosfet* ditunjukkan pada gambar 17.



Gambar 17. Sinyal gate

Sinyal gate untuk *mosfet* digunakan sebagai pengatur on atau off dari switch komponen inverter yg terdiri dari 6 pensaklaran. Pensaklaran ini akan diatur hidup dan mati secara bergiliran sesuai dengan sinyal gate untuk menghasilkan tegangan output 3 fasa. Sinyal gate pensimulasian adalah 0,8 pada torsi 5 Nm. Saat penambahan torsi 20 Nm maka sinyal gate naik 0,9 untuk proses penstabilan kecepatan sesuai masukan awal.. Kecepatan motor dari proses simulasi ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18. Rpm motor dari proses simulasi *fuzzy*

Set point pada kontrol logika *fuzzy* adalah 1500 rpm. Berdasarkan grafik simulasi, hasil *rise time* pada waktu 0,2 detik dan mencapai kecepatan tunak 0,3 detik. Ketika penambahan torsi 20 Nm pada waktu 1,5 detik mengalami lonjakan yang hampir tidak terlihat.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kontroler berbasis logika *fuzzy* dapat memperkecil *rise time* pada waktu 0,2 detik dan dapat mencapai

kecepatan tunak pada waktu 0,3 detik. Pada saat mulai awal simulasi memiliki torsi elektromagnetik dan arus hingga ± 7 kali lipat.

Dengan menggunakan kontrol *fuzzy* dapat menyetabilkan dari 1490 kecepatan hingga kembali 1500 rpm secara cepat dalam waktu 0,01 detik pada saat diberi perubahan torsi 20 Nm.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan. Sistem pengendalian kecepatan ini dapat dikembangkan menggunakan kontrol kecepatan yang lain, seperti *Fuzzy-PID*, *Fuzzy Inference System (ANFIS)*, dan pengontrolan lainnya agar mendapatkan *rise time* yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Zuriman. 2013. "A Simple Method For Operating The Three-Phase Induction Motor On Single Phase Supply (For Wye Connection Standard)", *Department of Electrical Engineering, Padang Institute of Technology*. Hal. 13-16.
- Azhari, Mochamad. 2016. "Desain Konverter Elektronika Daya". Surabaya. Informatika. Hal. 157-166.
- Azwardi. 2015. "Aplying Fuzzy Logic and Pulse Width Modulation for Speed Control System of Line Follower Robot", teknik komputer poltek negeri sriwijaya. Hal. 1-9.
- Hamed, B., & Almobaied, M. 2010. "Fuzzy Logic Speed Controllers Using FPGA Technique for Three-Phase Induction Motor Drives " *FPGA*. Hal. 1-10.
- Hartono. 2019. "Desain dan Simulasi Motor Induksii 3 Fasa dengan Menggunakan Matlab" poltek penerbangan Surabaya. Hal. 71-77.
- Haryanto, heri, Munarto, ri dan Fatmawati, ifat. 2014. "Analisis Karakteristik Motor Induksi Tiga Fasa XYZ Standar NEMA", Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia. Hal. 35-42.
- hasibuan, arnawan dan Nasution, Elvi Shanur. 2018." *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTVAR 12P*". Fakultas teknik Universitas Malikusaleh Lhokseumaw. Hal. 25-34.
- Krismadinata. 2017. "Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya", Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo. Hal. 163-166.
- Perfilieva, Irina. 2011. "Fuzzy Function: Theoretical and Practical Point of View", University of Ostrava. Hal. 480-486.
- Suhardi, Diding. 2016. "Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm", Universitas Muhammadiyah Malang. Hal. 23-32.
- Wahab, wahidin.. 2013. "Pengaruh Perubahan Set point pada Pengendali Fuzzy Logic untuk Pengendalian Suhu Mini Boiler", fakultas teknik, Universitas indonesia. Hal. 172-179.
- Yousef, Ayman. 2015. "Review on Field Oriented Control of Induction Motor". Faculty of Engginering Shoubra, Benha University. Hal. 5-16.
- Yusuf, muhammad. 2019. "Desain Simulasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasadengan Switching Space Vector Pulse Width Modulation", teknik elektro, politeknik negeri cilacap. Hal. 24-31.