

## Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Multilevel Inverter Dengan Metode *Fuzzy Logic Controller*

Maulana Malik Ibrahim<sup>1\*</sup>, Moch. Rafi Damas Abdilla<sup>2</sup>, Feby Chandra Arsandi<sup>3</sup>  
Era Purwanto<sup>4</sup>

<sup>1\*,2,3,4</sup>Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

\*E-mail: maulanai@pe.student.pens.ac.id

### Abstract

Along with the increasing progress of the industrial world in Indonesia, the need for equipment used in the production of goods has also increased. One of the most important equipment in an industry is a prime mover. An induction motor is a prime mover that has a big influence on the production system. Therefore, in this paper discuss the speed control of electric motors, especially 3-phase induction motors using a Neutral Point clamped–multilevel inverter which is regulated by a fuzzy logic controller. can maintain the speed at that value and it can also be seen that the Fuzzy Logic Controller (FLC) is able to regulate the speed of a 3-phase induction motor with an average error of 1.49% and can reach the desired speed for 0.36 seconds. However, the ratio between load and speed must be considered. Small loads cannot rotate at low speeds and large loads cannot rotate at high speeds. In the tests that have been carried out, it shows that the induction motor working system does not start at 0 rpm but starts from the highest speed of 1500 rpm. So it can be said that this system is run when the motor has rotated not from the starting condition of motor.

Keywords : Induction Motor, Multilevel Inverter, FLC

### Abstrak

Seiring dengan peningkatan kemajuan dunia Industri di Indonesia, kebutuhan akan peralatan yang digunakan dalam produksi barang juga mengalami peningkatan. Salah satu peralatan yang penting dalam sebuah industri adalah alat penggerak. Motor listrik merupakan suatu alat penggerak yang berpengaruh besar dalam sistem produksi barang. Oleh karena itu pada paper ini membahas mengenai pengaturan kecepatan motor listrik khususnya motor induksi 3 fasa menggunakan Neutral Point clamped–multilevel inverter yang diatur dengan *fuzzy logic controller*. Pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem kontrol *fuzzy* yang dirancang dapat mengatur kecepatan sesuai dengan set point yang diinginkan serta dapat mempertahankan kecepatan pada nilai tersebut dan juga dapat diketahui bahwa *Fuzzy Logic Controller* (FLC) mampu mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa dengan rata-rata error sebesar 1.49% dan dapat mencapai kecepatan yang diinginkan selama 0.36 detik. Akan tetapi harus diperhatikan perbandingan antara beban dan kecepatan. Beban yang kecil tidak dapat berputar pada kecepatan rendah dan beban yang besar tidak dapat berputar pada kecepatan tinggi. Pada pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem kerja motor induksi tidak dimulai pada kecepatan 0 rpm tetapi dimulaili dari kecepatan tertingginya yaitu 1500 rpm. Sehingga bisa dikatakan bahwa sistem ini dijalankan ketika motor telah berputar bukan dimulai dari starting motor.

Kata kunci: Motor Induksi, *Multilevel Inverter*, FLC

## 1. Pendahuluan

Kemajuan dunia industri di Indonesia meningkat secara pesat. Banyaknya industri yang berdiri di Indonesia baik dari skala kecil hingga besar. Seiring dengan peningkatan kemajuan dunia Industri di Indonesia, kebutuhan akan peralatan yang digunakan dalam produksi barang juga mengalami peningkatan. Salah satu peralatan yang penting dalam sebuah industri adalah alat penggerak. Dalam memproduksi barang, tentunya sebuah industri memerlukan alat penggerak untuk mengaduk, mencampur, mengolah, serta memindahkan barang.

Motor listrik merupakan suatu alat penggerak yang berpengaruh besar dalam sistem produksi barang. Motor induksi 3 fasa merupakan motor arus bolak-balik paling banyak digunakan sebagai aktuator untuk merubah energi listrik menjadi energi gerak untuk pada berbagai keperluan dalam proses produksi pada suatu industri [1]. Pemilihan motor induksi dikarenakan beberapa kelebihan yang dimiliki seperti konstruksinya yang sederhana, ringan, kuat, murah, dan memiliki efisiensi yang tinggi dibandingkan dengan motor DC [2].

Sebagai pengendali motor induksi 3 fasa memerlukan inverter untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi yang masuk ke motor [3]. Pengaturan frekuensi ini bertujuan untuk memperoleh kecepatan putaran sesuai dengan kebutuhan [4]. Berbagai macam inverter telah dikembangkan oleh peneliti. Salah satunya adalah multilevel inverter (MLI) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC, inverter ini seringkali diterapkan pada aplikasi energi terbarukan[5]. MLI umumnya digunakan untuk mengubah tegangan DC dari sumber energi terbarukan seperti turbin angin, panel surya, fuel cell, dan sebagainya. MLI memiliki beberapa keunggulan yaitu distorsi yang rendah, dapat beroperasi pada daya yang besar dan frekuensi switching tinggi.

Namun dalam inverter itu sendiri perlu ditambahkan sebuah kontroler sehingga nilai

kontrol terhadap motor dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan[6]. PWM adalah salah satu teknik untuk mengatur penyaklaran IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) dalam inverter[7]. Kontroler dapat dihasilkan dari beberapa metode antara lain PI, PID, *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dan Artificial Neural network (ANN). Pada penelitian ini digunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang dirancang digunakan untuk mengatur gerakan kecepatan putar motor induksi sesuai dengan yang dibutuhkan.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya umumnya mengubah tegangan AC dari grid sebesar 380 volt 50 Hz kemudian diatur untuk mencapai kecepatan yang diinginkan [8]–[12]. Sedangkan pada penelitian ini, sumber yang digunakan berasal dari energi terbarukan dan umumnya merupakan tegangan DC. Kemudian dari sumber DC tersebut melewati MLI untuk melakukan konversi dari DC ke AC dengan tegangan dan frekuensi yang sesuai untuk kecepatan yang diinginkan.

Penggunaan motor yang sangat masif untuk industri tentunya secara langsung berdampak terhadap lingkungan. Hal ini tidak disebabkan karena motor yang digunakan menyebabkan polusi secara langsung, akan tetapi disebabkan oleh proses pembangkitan listrik yang sebagian besar dihasilkan oleh energi fosil dan menyebabkan polusi [13]. Saat ini industri sangat bergantung pada saluran grid dari perusahaan listrik.

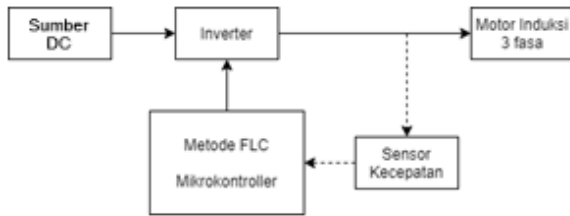
Penelitian yang dilakukan ini, sangat memungkinkan apabila penggunaan motor untuk industri menggunakan sumber energi terbarukan sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang semakin berkurang guna mewujudkan *net zero emission*.

## 2. Metoda Penelitian

### 2.1. Blok Diagram Sistem

Penelitian ini ditujukan untuk membuat sistem pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan desain sistem tertampil pada

Gambar 1. Sistem ini terdiri dari sumber DC yang digunakan sebagai pengganti sumber energi terbarukan, inverter berupa multilevel inverter, sensor kecepatan sebagai umpan balik untuk pengaturan kecepatan, mikrokontroler yang digunakan untuk melakukan proses FLC, dan motor induksi 3 fasa.



Gambar 1. Blok Diagram sistem

**2.2. Motor Induksi 3 Fasa**

Motor induksi 3 fasa memiliki konstruksi terdiri dari dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri: badan motor, inti stator, belitan stator, bearing, dan terminal box. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, dan poros rotor [14]. Konstruksi motor induksi tidak memiliki komutator dan sikat arang. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa [15].

Arus ini akan mengalir melalui belitan yang akan menimbulkan fluks dan karena adanya perbedaan sudut fasa sebesar 120° antara ketiga fasanya, maka akan timbul medan putar, dengan kecepatan sinkron  $n_s$ .

$$n_s = \frac{120f}{p} (rpm) \tag{1}$$

Dengan keterangan:

- $n_s$  : kecepatan sinkron
- $f$  : frekuensi
- $p$  : jumlah kutub

Dalam stator sendiri akan timbul tegangan pada masing-masing fasa yang dinyatakan:

$$E_1 = 4,41fN_1\Phi \tag{2}$$

Dalam keadaan rotor masih diam, medan putar stator akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl) sebesar  $E_2$ :

$$E_2 = 4,41fN_2\Phi_m \tag{3}$$

Dengan keterangan:

- $E_1$  : tegangan stator
- $E_2$  : tegangan rotor
- $N_1$  : jumlah kumparan stator
- $N_2$  : jumlah kumparan rotor
- $\Phi_m$  : fluks maksimum

Perbedaan kecepatan sinkron medan putar stator ( $n_s$ ) dan kecepatan rotor ( $n_r$ ) disebut slip. Besarnya slip yang terjadi adalah,

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \tag{4}$$

Dengan keterangan:

- $S$  : slip motor
- $n_s$  : kecepatan stator
- $n_r$  : kecepatan rotor

Pada saat rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang terinduksi pada kumparan rotor akan bervariasi tergantung besarnya slip, dan tegangan induksi ini dinyatakan dengan  $E_{2s}$ .

$$E_{2s} = 4,41sfN_2\Phi_m \tag{5}$$

Dengan keterangan:

- $E_{2s}$  : tegangan rotor saat keadaan berputar
- $sf$  : frekuensi rotor

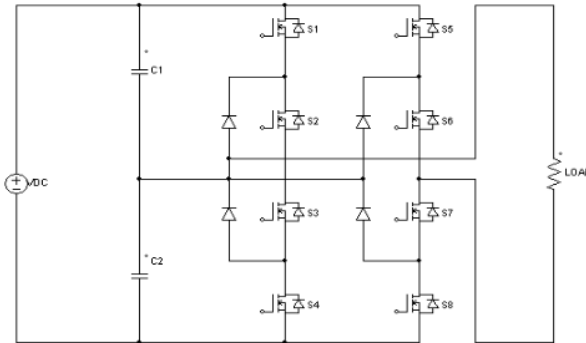
**2.3. Inverter**

Pengertian inverter multi level adalah konverter yang mengubah besaran DC menjadi besaran AC dimana keluaran (output) yang dihasilkan mempunyai beberapa (lebih dari dua) level tegangan atau arus[16], [17]. Secara umum terdapat tiga tipe inverter multi level, antara lain:

1. Inverter multi level tipe *Diode clamped*.
2. Inverter multi level tipe *Flying capacitor*.
3. Inverter multi level tipe jembatan (H-bridge).

Penelitian yang dilakukan menggunakan tipe *Diode clamped* juga dikenal sebagai *Neutral point clamped*–multilevel inverter. Terdiri dari dua pasang saklar seri (atas-bawah), dihubung paralel dengan dua kapasitor seri. Dimana anoda dari dioda atas

dihubungkan dengan titik tengah kapasitor dan katoda ke titik tengah dioda atas. Katoda dioda bawah terhubung dengan titik tengah kapasitor sehingga tegangannya setengah sumber ( $1/2$  Vdc) [18]. Titik tengah tersebut merupakan titik netral. Gambar 2 menunjukkan rangkaian inverter multi level tipe *Diode clamped*.



Gambar 2. Rangkaian MLI *Diode clamped*

#### 2.4. Fuzzy Logic Controller

Kontroler logika *fuzzy* dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*) [19]. Unit logika *fuzzy* memiliki realibity yang mampu menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks dan memiliki ketidakpastian. Pengendali logika *fuzzy* memiliki unjuk kerja sangat baik dibandingkan dengan sistem kontroler PID. Berbeda dengan sistem kontrol biasa, keluaran yang dihasilkan diolah dan didefinisikan secara pasti atau dengan istilah lain hanya mengenal logika ‘0’ dan ‘1’ atau bekerja pada daerah ON dan OFF sehingga didapatkan perubahan yang kasar.

Pada sistem logika *fuzzy*, nilai yang berada antara ‘0’ dan ‘1’ dapat didefinisikan, sehingga kontroler dapat bekerja seperti sistem syaraf manusia yang bisa merasakan lingkungan eksternalnya, yakni “kurang”, “agak”, “biasa”, dan “sangat”.

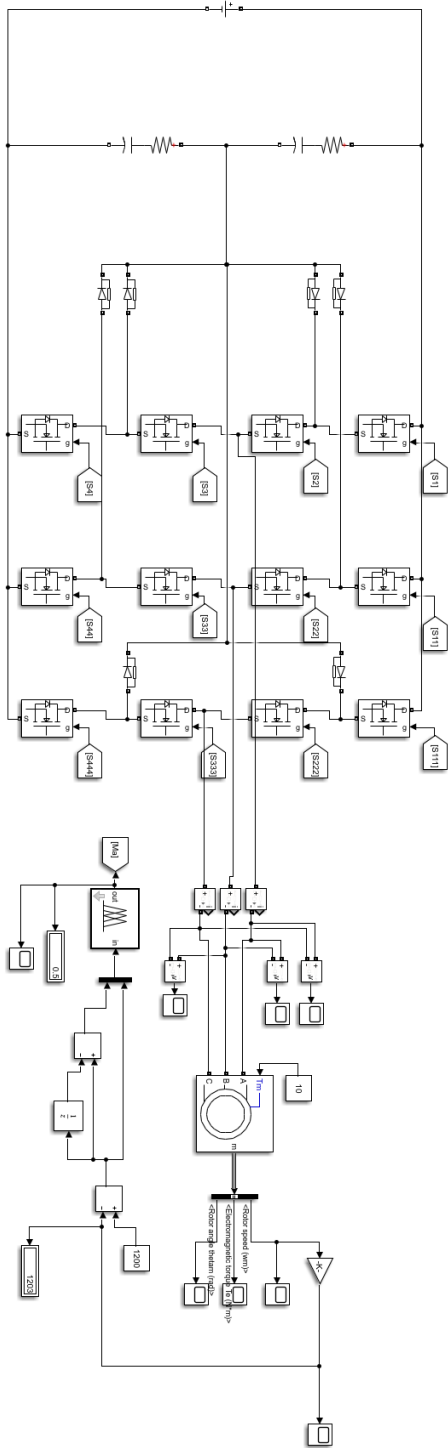
Kontroler yang berbasis logika *fuzzy* harus melalui beberapa tahapan sebelum sampai ke plant. Tahapan-tahapan tersebut kuantisasi, *fuzzifikasi*, penentuan *rule base* dan *inference* (reasoning), kemudian *defuzzifikasi*. Metode sistem inferensi *fuzzy* (*Fuzzy Inference System* "FIS") yang dikenal merupakan metode Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto [20].

Tabel 2. Spesifikasi

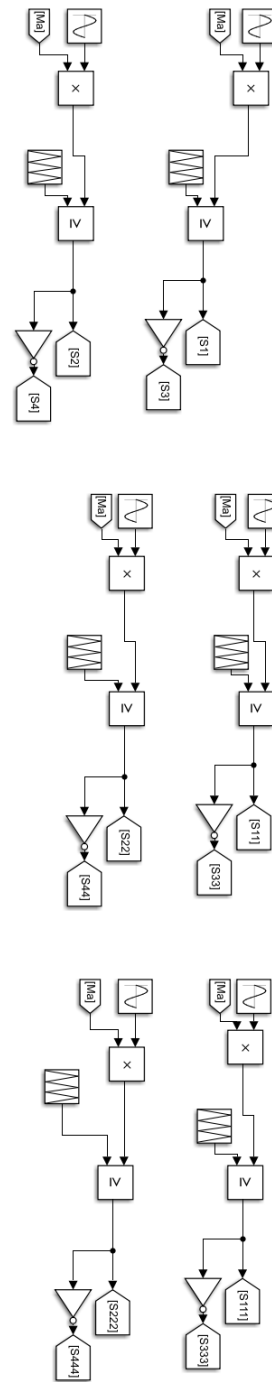
No.	Parameter	Nilai
1	Tegangan	400 volt
2	Daya	7.5 kW
3	Frekuensi	50 Hz
4	Kecepatan	1440 rpm
5	Tipe rotor	Squirrel Cage
6	Resistansi rotor	0.7402 $\Omega$
7	Resistansi stator	0.7384 $\Omega$
8	Induktansi rotor	0.003045 H
9	Induktansi stator	0.003045 H
10	Induktansi mutual	0.1241 H
11	Kutub	2
12	Inersia	0.0343 Kg

### 3. Hasil Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan menggunakan motor induksi tiga fasa yang telah dijelaskan sebelumnya. Dimana pengujian dilakukan di software MATLAB 2018 B. pengaturan kecepatan putar motor induksi dilakukan menggunakan multilevel inverter dengan *control switching* menggunakan *fuzzy* mamdani. Pengujian dilakukan secara *close loop* dengan kecepatan dan beban yang bervariasi. Rangkaian pengujian ditampilkan pada Gambar 3. Sedangkan rangkaian untuk proses switching ditampilkan pada Gambar 4.

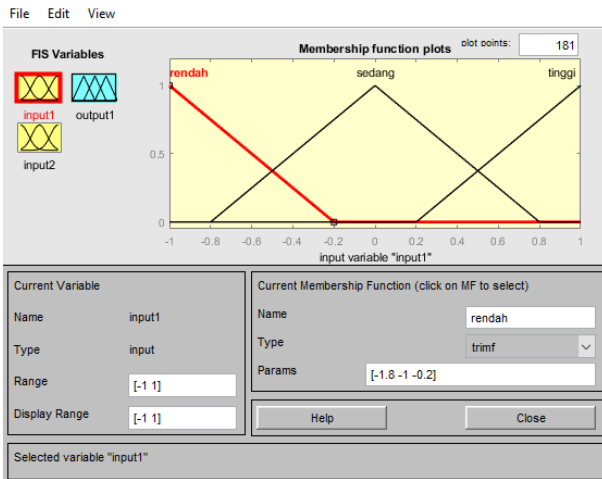


Gambar 3. Rangkaian pengujian

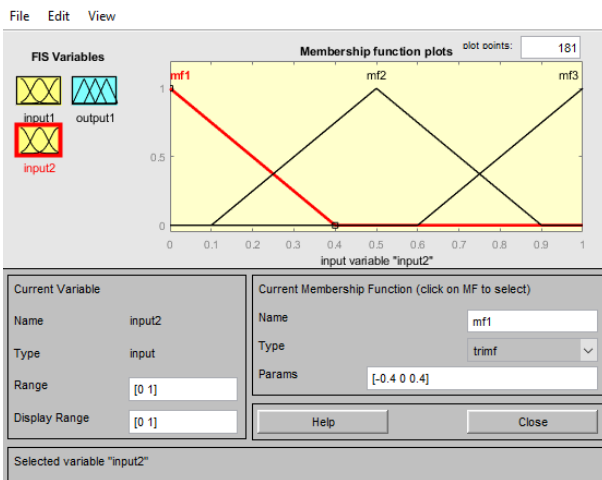


Gambar 4. Rangkaian switching

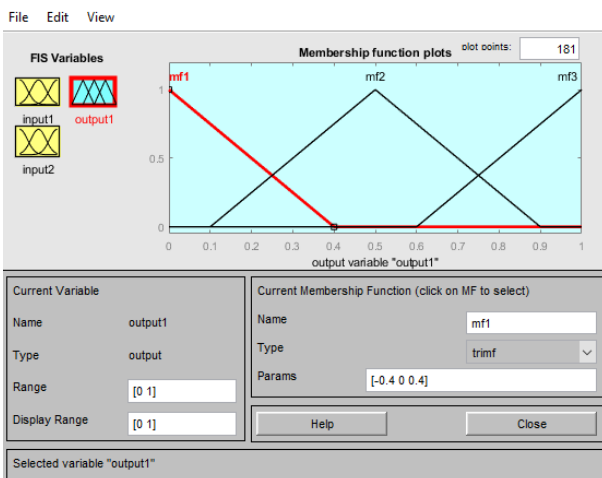
Kontrol *fuzzy* yang digunakan merupakan tipe mamdani dengan input berupa error dan delta error, serta output berupa *ma* yang digunakan untuk mengatur proses *switching* pada inverter. Gambar 5-7 menampilkan pengaturan FIS pada *fuzzy logic*.



Gambar 5. membership function input1



Gambar 6. membership function input2



Gambar 7. membership function output

### 3.1. Performa Fuzzy Logic Control

Dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa motor induksi dapat

berputar pada beban bervariasi dan kecepatan yang bervariasi pula. Pada gambar 8 menampilkan respon kecepatan putar akibat adanya pengaturan kecepatan. Dan hasil pengujian tertampil pada tabel 3.

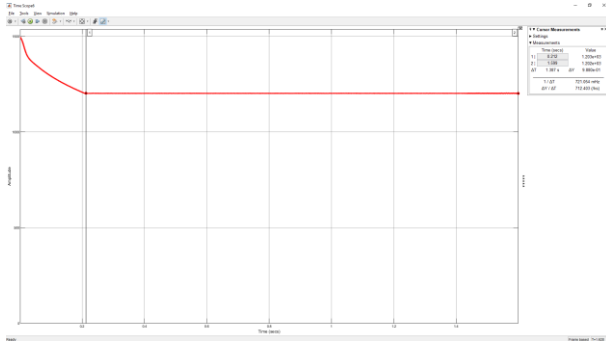
Pada beban 10 Nm, terdapat beberapa set point kecepatan yang diinginkan. Pada titik kecepatan yang diinginkan 1400 rpm memiliki waktu capai 0.1 detik dan error kecepatan sebesar 0.29%, sedangkan pada set poin 1000 rpm memperoleh kecepatan 999 rpm dalam waktu 0.34 detik. Pada set point 800 rpm, sistem gagal berfungsi karena beban yang terlalu rendah dan kecepatan yang rendah juga, sehingga pengaturan kecepatan menggunakan *fuzzy* gagal berfungsi. Rata-rata error kecepatan untuk beban 10 Nm sebesar 0.27% dan memiliki rata-rata waktu capai selama 0.27 detik.

Pada beban 20 Nm, terdapat beberapa set point kecepatan yang diinginkan dengan nilai error rata-rata bernilai 1.2%. Pada titik kecepatan yang diinginkan 1400 rpm memiliki waktu capai 0.1 detik untuk kecepatan 1359 rpm, sedangkan pada set poin 900 rpm sistem berjalan dalam kecepatan 891 rpm dengan waktu capai 0.14 detik. Pada set point 700 rpm, sistem gagal berfungsi karena beban dan kecepatan yang tidak seimbang, sehingga simulasi sistem yang dijalankan gagal.

Pada beban 30 Nm, terdapat beberapa set point kecepatan yang diinginkan. Pada titik kecepatan yang diinginkan 1400 rpm sistem gagal berjalan, sedangkan pada set poin 800 rpm sistem berjalan dalam kecepatan 770 rpm sehingga errornya 3.75% dengan waktu capai 0.14 detik. Pada set point 500 rpm, motor berputar pada kecepatan 460 rpm dalam waktu capai selama 1.98 detik, kondisi merupakan kondisi terburuk ditandai dengan waktu capai yang lama dengan rata-rata 0.67 detik dan error yang besar diatas 3%.

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem control kecepatan menggunakan *fuzzy* mamdani yang telah dibuat dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi dengan error yang kecil untuk beban 10-20 Nm, sedangkan pada

beban 30 Nm error kecepatan cukup besar. Waktu capai dari titik awal hingga set point yang diinginkan berhubungan dengan besar perubahan kecepatannya, kecepatan pada titik awal merupakan 1500 rpm, sehingga semakin jauh set point dari titik awal menyebabkan waktu capai yang semakin lama.



Gambar 7. respon kecepatan motor

Tabel 3. Respon kecepatan motor

Beban (Nm)	Set Point (rpm)	Kecepatan (rpm)	Waktu capai (detik)	Error
10	1400	1396	0.1	0.29 %
	1200	1203	0.2	0.25 %
	1000	999	0.34	0.10 %
	900	896	0.43	0.44 %
	800	-	-	-
20	1400	1359	0.1	2.93 %
	1200	1191	0.15	0.75 %
	1000	991	0.22	0.9 %
	900	891	0.14	1.00 %
	800	796	0.17	0.50 %
30	1400	-	-	-
	1200	1164	0.08	3.00 %
	1000	974	0.22	2.60 %
	900	872	0.23	3.11 %
	800	770	0.32	3.75 %
	700	670	0.55	4.29 %
	600	568	1.22	5.33 %
	500	460	1.98	8 %

#### 4. Kesimpulan

Pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem *control fuzzy* yang dirancang dapat mengatur kecepatan sesuai dengan set point yang diinginkan serta dapat mempertahankan kecepatan pada nilai tersebut, akan tetapi harus diperhatikan perbandingan antara beban dan kecepatan.

Beban yang kecil tidak dapat berputar pada kecepatan rendah dan beban yang besar tidak dapat berputar pada kecepatan tinggi.

Waktu untuk mencapai nilai set point menunjukkan waktu yang cukup cepat dengan nilai error yang kecil.

#### 5. Saran

Pada pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem kerja motor induksi tidak dimulai pada kecepatan 0 rpm tetapi dimulai dari kecepatan tertingginya yaitu 1500 rpm. Sehingga bisa dikatakan bahwa sistem ini dijalankan ketika motor telah berputar bukan dimulai dari starting motor.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] R. I. Putri, M. Fauziyah, and A. Setiawan, "Penerapan Kontroler Neural *Fuzzy* Untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Sentrifugal," no. 1, p. 13, 2009.
- [2] N. Evalina, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," vol. 3, no. 2, p. 8.
- [3] E. Nurcahyo and B. Prio Hartono, "Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *Elektrika: Jurnal Teknik Elektro*, Rabu, Agustus 2017.
- [4] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," vol. 2, p. 10, 2018.
- [5] P. R. Bana, K. P. Panda, R. T. Naayagi, P. Siano, and G. Panda, "Recently Developed Reduced Switch Multilevel Inverter for Renewable Energy Integration and Drives Application: Topologies, Comprehensive Analysis and Comparative Evaluation," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 54888–54909, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913447.
- [6] H. Hartono, R. I. Sudjoko, and P. Iswahyudi, "Speed Control of Three Phase Induction Motor Using Universal Bridge and PID Controller," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1381, no. 1, p. 012053, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1381/1/012053.

- [7] Y. Xia, B. Gou, and Y. Xu, "A new ensemble-based classifier for IGBT open-circuit fault diagnosis in three-phase PWM converter," *Prot Control Mod Power Syst*, vol. 3, no. 1, p. 33, Dec. 2018, doi: 10.1186/s41601-018-0109-x.
- [8] M. T. Setiawan, A. D. Efendi, and G. J. Rusmadi, "Kontrol Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa melalui Arus Rotor menggunakan PI," *triac*, vol. 7, no. 2, pp. 40–42, Dec. 2020, doi: 10.21107/triac.v7i2.5921.
- [9] S. Eddine Rezgoui, H. Benalla, and H. Bouhebel, "Hybrid bacteria foraging-particle swarm optimization algorithm in DTC performance improving for induction motor drive," *IJECS*, vol. 22, no. 2, p. 660, May 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v22.i2.pp660-669.
- [10] I. Ferdiansyah, E. Purwanto, and N. A. Windarko, "Fuzzy Gain Scheduling of PID (FGS-PID) for Speed Control Three Phase Induction Motor Based on Indirect Field Oriented Control (IFOC)," *emitter*, vol. 4, no. 2, Dec. 2016, doi: 10.24003/emitter.v4i2.147.
- [11] Electrical Eng. Department, University of Sulaimani, Sulaimani, Iraq, A. Omar, A. M. Abdulrahman, Department of Physics, College of Science, University of Sulaimani, Kurdistan Region, Iraq, G. I. Rashed, and Department of Physics, College of Science, University of Sulaimani, Kurdistan Region, Iraq, "Direct on Line Operation of Three Phase Induction Motor using MATLAB," *JZS-A*, vol. 21, no. 2, pp. 21–34, Aug. 2019, doi: 10.17656/jzs.10754.
- [12] M. A. Awdaa, A. A. Obed, and A. L. Saleh, "Three-phase Induction Motor SVPWM-FOC Control Based on PLC Matlab Translation Approach," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 745, no. 1, p. 012028, Feb. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/745/1/012028.
- [13] X.-C. Wang *et al.*, "Air pollution terrain nexus: A review considering energy generation and consumption," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 105, pp. 71–85, May 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.01.049.
- [14] P. Ewert, "Application of Neural Networks and Axial Flux for the Detection of Stator and Rotor Faults of an Induction Motor," *Power Electronics and Drives*, vol. 4, no. 1, pp. 203–215, Jun. 2019, doi: 10.2478/pead-2019-0001.
- [15] G. Nugroho and I. T. Sukmadi, "Perbandingan Sistem Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metode Field Oriented Control Menggunakan Pi Controller Dan Fuzzy Logic Controller," p. 12.
- [16] E. A. T. Yuwono, A. Warsito, and M. Facta, "Inverter Multi Level Tipe Jembatan Satu Fasa Tiga Tingkat Dengan Mikrokontroler AT89S5," p. 6, 2011.
- [17] F. N. Budiman, N. A. Windarko, and S. Kuswadi, "Application of Genetic Algorithm to Minimize Harmonic in Multilevel Inverter," *JNTE*, vol. 5, no. 1, Mar. 2016, doi: 10.20449/jnte.v5i1.192.
- [18] F. A. Izzaqi, N. A. Windarko, and O. A. Qudsi, "Minimization of total harmonic distortion in neutral point clamped multilevel inverter using grey wolf optimizer," *IJPEDS*, vol. 13, no. 3, p. 1486, Sep. 2022, doi: 10.11591/ijpeds.v13.i3.pp1486-1497.
- [19] O. V. Kryukov, D. A. Blagodarov, N. N. Dulnev, Y. M. Safonov, N. N. Fedortsov, and A. A. Kostin, "Intelligent Control of Electric Machine Drive Systems," in *2018 X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*, Novochoerkassk, Oct. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICEPDS.2018.8571670.
- [20] I. P. Sutawinaya, "Pengembangan Model Fuzzy Mamdani Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Metode Kontrol Field Oriented," vol. 13, no. 2, p. 6, 2013.