

Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Metode Logika Fuzzy Berbasis PLC

Sofian Yahya¹, Kartono Wijayanto², Maudya Nur Azrina³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40112
Email: ¹sofianyahya@polban.ac.id, ²kartono_el@yahoo.com, ³azrina.maudya@yahoo.com

ABSTRAK

Motor induksi banyak digunakan secara luas di domestik maupun industri dibandingkan dengan motor DC. Di industri motor induksi digunakan untuk menggerakkan peralatan seperti pompa, crane, dll. Kelebihan Motor induksi bila dibandingkan dengan motor DC adalah harganya murah, ringan, kecil, lebih efisien dan dapat beroperasi di lingkungan yang kotor dan *explosive*. Salah satu kekurangan dari motor induksi adalah kecepatannya sulit diatur, tapi dengan perkembangan elektronika daya kesulitan itu dapat diatasi dengan menggunakan alat seperti inverter. Untuk mengendalikan motor supaya berputar pada kecepatan yang dikehendaki secara otomatis walaupun terjadi perubahan beban, maka inverter harus dihubungkan dengan kontroler lain dalam konfigurasi kendali lup tertutup. Berbagai metode telah dikembangkan oleh para peneliti untuk memperoleh sistem pengendalian kecepatan motor induksi yang paling baik dan efisien, Dari kajian dengan metode logika fuzzy yang diimplementasikan dengan MATLAB/Simulink, rata-rata peneliti menyimpulkan bahwa pengendalian dengan metode logika fuzzy menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan pengendali konvensional. Penelitian yang dilakukan adalah merancang dan mengimplementasikan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode logika fuzzy berbasis PLC dengan kecepatan motor dijaga konstan 1.400 rpm sampai dengan torsi 6 N.m. Berdasarkan hasil pengujian motor dapat dibebani sampai 6 N.m dengan kecepatan 1.375 rpm, masih ada error -1,78 % dari kecepatan yang direncanakan.

Kata Kunci

Motor Induksi, Logika Fuzzy, Programmable Logic Controller, Kecepatan Motor

1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini motor induksi banyak digunakan secara luas di industri maupun domestik, karena biaya operasional yang lebih murah dibandingkan dengan motor jenis lain, seperti motor DC [1]. Pada sebuah motor DC adanya komutator dan sikat adalah kelemahan utama, membutuhkan perawatan yang sering sehingga membuatnya tidak cocok untuk digunakan pada lingkungan yang *explosive* dan kotor. Di sisi lain motor induksi, khususnya jenis rotor sangkar, murah, ringan, kecil, lebih efisien, membutuhkan perawatan yang lebih rendah dan dapat beroperasi di lingkungan yang kotor dan *explosive*. Walaupun pengendali kecepatan motor induksi lebih mahal dibandingkan pengendali DC, pengendali kecepatan motor AC banyak diaplikasikan pada peralatan industri seperti pompa, pabrik baja, crane, drive hoist, konveyor, dll [2], [3].

Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan cara mengubah frekuensi, kecepatan motor induksi dapat dikendalikan dengan presisi,

alternatif perubahan frekuensi dengan menggunakan inverter. Dengan tersedianya perangkat semikonduktor daya dengan kecepatan tinggi, inverter tiga fasa memainkan peran kunci untuk mengendalikan kecepatan variabel motor AC [4]. Ada dua tipe untuk mengendalikan motor induksi yaitu kendali skalar dan kendali vector, kecepatan menggunakan sistem skalar menunjukkan model yang paling sederhana dengan kesalahan steady state minimum [5]. Kontroler PID (proporsional-integral-derivatif) konvensional diterapkan secara luas pada otomatisasi industri dan kontrol proses, karena mode kontrolnya langsung, sederhana, dan kuat. Namun, ada beberapa kelemahan dari kontrol PID. Pertama, sulit untuk mengatur tiga parameter pengontrol PID: K_p , K_i , dan K_d dalam beberapa sistem kontrol. Kedua, pengendali PID konvensional umumnya tidak bekerja dengan baik untuk sistem nonlinier, sistem linier tertunda waktu, sistem kompleks dan samar, sistem waktu bervariasi [6].

Berbagai metode telah dikembangkan oleh para peneliti untuk memperoleh sistem pengendalian kecepatan motor induksi yang paling baik dan efisien. Huna-sikatti et al, mengembangkan pengendali PI menggu-

nakan set blok Xilinx untuk meningkatkan kemampuan pelacakan pengendali [7]. Yan-xia et al, menganalisis fenomena windup saat PI standard digunakan untuk motor induksi dengan sistem kontrol vector [8]. Zhang et al, dalam papernya mempelajari *Model Predictive Control* (MPC) kecepatan tanpa sensor berdasarkan pengamatan gangguan untuk penggerak motor induksi [9]. Sedangkan Wasusatein et al, dalam penelitiannya mengaplikasikan metode jaringan syaraf tiruan pada pengendali auto-tuning PID untuk meningkatkan akurasi penggerak motor induksi pada kendaraan listrik dengan muatan yang tidak pasti [10].

Penelitian pengendalian kecepatan motor induksi dengan sistem kendali cerdas yang diimplementasikan menggunakan MATLAB/Simulink telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Hossain et al, menggunakan metode logika fuzzy Takagi_Sugeno [11], Isa, S.N et al, menganalisis pengaruh penskalaan pada pengendali kecepatan motor induksi dengan metode logika fuzzy [12], sedangkan Arun, Shankar V.K et al, dalam penelitiannya membandingkan kinerja pengendali PI, Adaptive PI, dan kendali logika fuzzy untuk mengendalikan laju aliran sistem pompa berbasis motor induksi [13]. Brainord et al, mengusulkan suatu metode untuk sistem kendali kecepatan motor induksi berbasis logika fuzzy dengan *indirect vector control* menggunakan metode PI sebagai pengendali kecepatan di lingkaran luar kecepatan. Hasil Simulink dari pengendali logika fuzzy menunjukkan kinerja yang sangat baik dibandingkan pengendali PI dengan parameter tetap [14]. Perbandingan antara metode DTC-PI konvensional dengan strategi heuristic DTC-PI Fuzzy-GA dilakukan oleh Benmessaoud et al, dari hasil simulasi dengan Matlab/Simulink bahwa pengendalian kecepatan fuzzy dengan algoritma genetika menunjukkan keunggulan regulator dalam pengendalian motor induksi untuk kecepatan rendah, memberikan respon yang lebih cepat dari sistem dan peningkatan kinerja pengendali termasuk pengurangan *torque ripple* dan *steady state error* [15]. S.W.Jadmiko et al, melakukan penelitian pengendalian motor induksi dengan metode hybrid Fuzzy-PID berbasis PLC untuk penggerak mula purwarupa pico hydro dan diperoleh hasil yang baik [16].

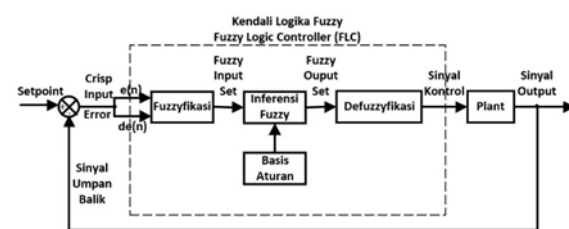
Berdasarkan kajian rujukan diatas, para peneliti telah mengaplikasikan metode logika Fuzzy untuk pengendalian kecepatan motor induksi dengan mengimplementasikannya menggunakan MATLAB/ Simulink, rata-rata peneliti menyimpulkan bahwa pengendali logika fuzzy menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan pengendali konvensional, baik dari segi responnya maupun dalam pengurangan error. Penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti adalah melanjutkan hasil kajian yang telah disimulasikan oleh para

peneliti, yaitu pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode logika fuzzy berbasis PLC, sehingga kecepatan motornya konstan 1.400 rpm walaupun beban berubah sampai dengan 6 N.m.

2. METODE

2.1 Perancangan Kendali Logika Fuzzy

Gambar 1 memperlihatkan blok diagram kendali logika fuzzy, pengendalian dilakukan dengan memberikan nilai *crisp* (tegas) berupa *error* $e(n)$ dan *delta error* $de(n)$ ke pengendali fuzzy. Nilai tegas tersebut merupakan selisih antara nilai setpoint dengan sinyal umpan balik. Masukan nilai tegas tersebut dijadikan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy dalam proses fuzzyfikasi. Kemudian nilai keanggotaan dibuat suatu bentuk aturan/relasi dengan proses basis aturan dan untuk menentukan nilai keluaran sebagai acuan nilai keluaran dalam proses inferensi, selanjutnya dilakukan defuzzifikasi untuk memetakan himpunan fuzzy menjadi himpunan tegas yang merupakan kebalikan dari proses fuzzyfikasi keluaran dari kendali logika fuzzy.

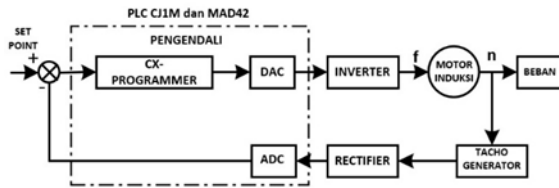


Gambar 1. Blok diagram kendali logika fuzzy

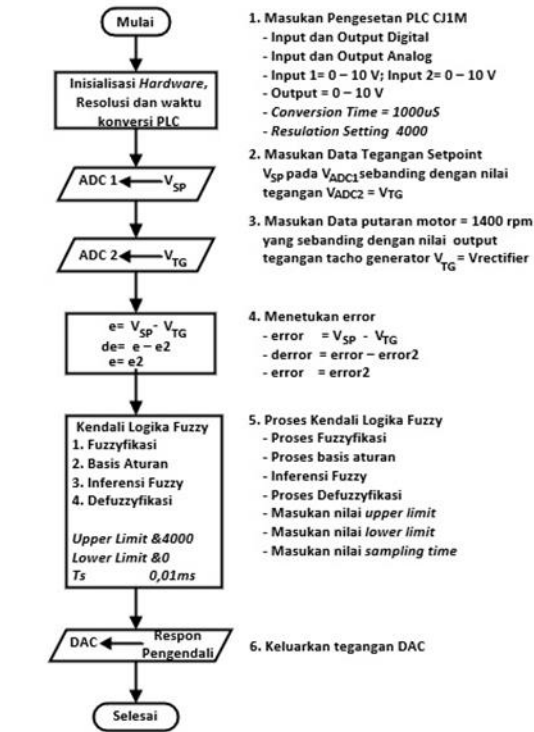
Rancangan blok diagram lup tertutup pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa 1,5 kW, 3 ϕ , 220/ 380 Volt, 50 Hz dengan metode logika fuzzy berbasis PLC diperlihatkan pada gambar 2. Pada rancangan ini terdapat satu buah PLC yaitu PLC Omron CJ1M yang dihubungkan dengan modul MAD42 (analog input output) dengan sinyal kontrol 0-10 V, input digitalnya ID211, dan output OC201 sebagai kontrolernya. Pada PLC CJ1M diberikan pemrograman pengendali (Cx-Programmer) dengan metode logika fuzzy. Sinyal kontrol tersebut dikirimkan ke inverter (VSD) Omron 3G3JV yang telah terhubung dengan motor induksi tiga fasa untuk mengatur kecepatan dengan mengubah frekuensi (0-50Hz). ID211 digunakan untuk input alarm dari VSD dan OC201 untuk command start inverter.

Motor induksi dihubungkan dengan sebuah generator untuk memberikan beban pada motor induksi tiga fasa. Pada bagian rotor dari generator dihubungkan dengan tachogenerator yang dapat mengubah dari kecepatan menjadi tegangan. Keluaran dari tachogenerator yang berupa tegangan AC diubah terlebih dahulu menjadi

tegangan DC baru dihubungkan dengan modul MAD42 sebagai sinyal umpan balik.



Gambar 2. Blok diagram lup tertutup pengendalian kecepatan motor Induksi tiga fasa



Gambar 3. Diagram alir dan algoritma perancangan program kendali logika fuzzy

Pemrograman logika fuzzy untuk pengendalian kecepatan motor induksi berbasis PLC Omron CJ1M dengan perangkat lunak Cx-Programmer dibuat menggunakan bahasa pemrograman *Function Block Diagram* (FBD). Fungsi pada FBD itu dibuat dalam bahasa *structure text*. Diagram alir dan algoritma untuk pemrograman logika fuzzy diperlihatkan pada gambar 3.

2.2 Implementasi Kendali Logika Fuzzy

Untuk memudahkan dalam pembuatan program kendali logika fuzzy, program disimulasikan dahulu dengan menggunakan perangkat lunak yang terdapat pada *tool fuzzy logic* Matlab selanjutnya diimplementasikan pada PLC CJ1M dengan perangkat lunak Cx-Programmer (bahasa pemrograman FBD). Pengendalian kecepatan

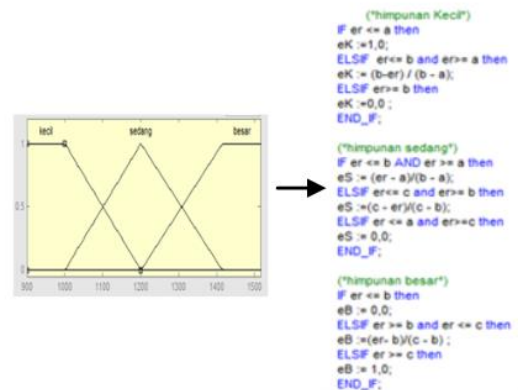
menggunakan logika fuzzy Sugeno, seperti telah dijelaskan diatas kendali logika fuzzy terdiri dari tiga tahapan penting yaitu fuzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzifikasi.

Fungsi keanggotaan masukan *error/ derror* memiliki model yang sama, dibagi masing-masing ke dalam 3 fungsi, untuk error yaitu *error kecil* (eK), *error sedang* (eS) dan *error besar* (eB), sedangkan untuk *delta error* yaitu *delta error kecil* (deK), *delta error sedang* (deS) serta *delta error besar* (deB). Untuk outputnya digolongkan menjadi tiga yaitu rendah (L), sedang (S), dan cepat (C).

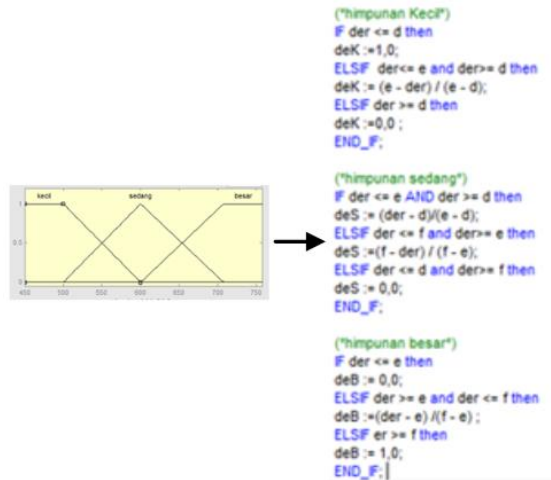
Tabel basis aturan memetakan keluaran (output) kendali fuzzy berdasarkan masukan *error* dan *derror*. Bentuk output dari fuzzy berupa nilai tegas, nilai tegas didapat dengan defuzzifikasi sistem inferensi Sugeno berdasarkan nilai rata-rata keluaran.

Tabel 1. Basis Aturan

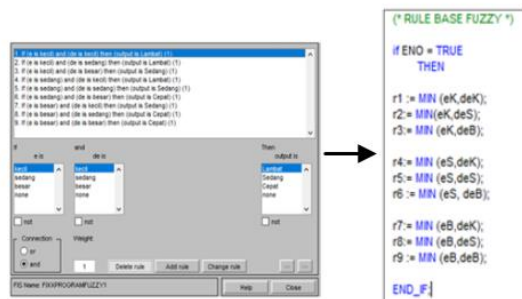
e \ de	eK	eS	eB
deK	L	L	S
deS	L	S	C
deB	S	C	C



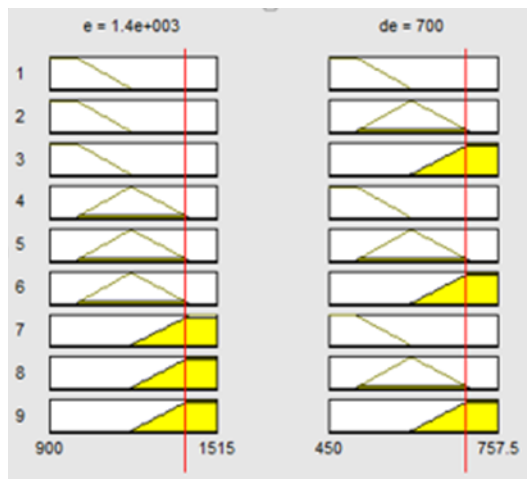
Gambar 4. Pemrograman fuzzyfikasi untuk masukan *error* dengan Matlab dan Cx-Programmer



Gambar 5. Pemrograman fuzzyfikasi untuk masukan *error* dengan Matlab dan Cx-Programmer



Gambar 6. Pemrograman basis aturan (rule base) dengan Matlab dan Cx-Programmer



Gambar 7. Pemrograman inferensi fuzzy dengan Matlab

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem kendali logika fuzzy berbasis PLC seperti yang telah direncanakan, maka perlu dilakukan beberapa pengujian sistem

dimulai dari kondisi saat motor induksi dibebani dengan kondisi tanpa pengendali.

3.1 Respon Motor Induksi Tanpa Kendali

Tabel 2. Pengujian motor induksi tanpa kendali

No	T(N.m)	N(rpm)	Vtg	Frek (Hz)
1	0,0	1.440	9,55	50
2	1,1	1.420	9,45	50
3	2,8	1.400	9,35	50
4	5,0	1.380	9,30	50
5	6,4	1.360	9,20	50
6	8,4	1.340	9,10	50

Keterangan:

T = Torsi beban dlm N.m

N = Putaran motor dlm rpm

Vtg = Teg tachogenerator dlm Vdc

Frek = Frekuensi motor dlm Hertz

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian saat motor induksi dibebani secara bertahap yang disimulasikan menggunakan generator dc yang dikopel dengan poros motor. Penambahan beban dari mulai 0,0 N.m sd 8,4 N.m mengakibatkan kecepatan turun dari 1.440 rpm menjadi 1.340 rpm, sedangkan nilai tegangan tachogenerator (Vtg) yang telah disearahkan nilai 9,55 Volt saat putaran 1.440 rpm turun sd 9,10 Volt saat putaran motor 1.340 rpm.

3.2 Respon Motor Induksi dengan Kendali Logika Fuzzy

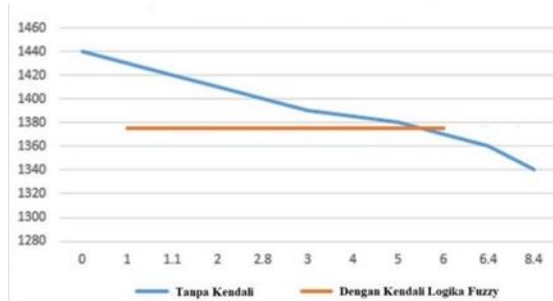
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kerja sistem saat kecepatan motor induksi tiga fasa dikendalikan menggunakan kendali logika fuzzy berbasis PLC CJ1M.

Tabel 3. Pengujian motor induksi dengan kendali Logika fuzzy

No	T(N.m)	N(rpm)	Vtg	Frek (Hz)
1	1	1.375	9.2	46.9
2	2	1.375	9.2	47.3
3	3	1.375	9.2	47.5
4	4	1.375	9.2	48.0
5	5	1.375	9.2	48.5
6	6	1.375	9.2	49.1

Pengujian motor induksi dengan kendali logika fuzzy, dilakukan dengan cara menaikan beban motor secara bertahap mulai dari 1 N.m sd 6 N.m seperti yang di-

perlihatkan pada tabel 3, pada rentang beban tersebut kecepatan motor tetap konstan 1.375 rpm demikian juga dengan tegangan keluaran tachogenerator (Vtg) tetap 9,2 Volt. Untuk mengendalikan kecepatan supaya tetap konstan pada torsi yang berbeda, yang berubah adalah frekuensi tegangan motor induksi, pada saat 1 N.m frekuensi motor 46,9 Hz dan menjadi 49,1 Hz saat torsi 6 N.m.



Gambar 8. Kurva perbandingan motor induksi tanpa kendali dan dengan kendali logika fuzzy

Gambar 8 memperlihatkan kurva perbandingan kecepatan motor induksi saat tanpa kendali dan dengan kendali logika fuzzy saat diberi beban, saat tanpa kendali kecepatan motor turun 5,55 % dari kecepatan awal 1.440 rpm saat torsi beban 6,4 N.m. Dengan kendali logika fuzzy motor induksi dapat dikendalikan kecepatannya pada 1.375 rpm dengan reantang torsi beban 1 N.m sd 6 N.m.

4. KESIMPULAN

Rancangan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode logika fuzzy berbasis PLC Omron CJ1M yang dihubungkan dengan modul MAD42 dan Inverter Omron 3G3JV dapat direalisasikan. Berdasarkan pengujian dengan torsi beban sampai dengan 6 N.m, motor dapat dikendalikan dengan kecepatan 1.375 rpm, berarti masih ada error 1,78% dari kecepatan yang direncanakan 1.400 rpm. Metode hasil penelitian ini bisa dimanfaatkan di industri-industri yang membutuhkan pengendalian kecepatan motor induksi konstan walaupun bebannya berubah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung yang telah membiayai penelitian melalui skema Penelitian Mandiri pada tahun anggaran 2020 dengan No Kontrak: B/249.42/ PL1. R7/PG.00.03/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Uddin, Mn, Mm Rashid, Ahmad M Tahir, M Parvez, Mfm Elias, Mm Sultan, and Raddadi. "Hybrid Fuzzy and PID Controller Based Inverter to Control Speed of AC Induction Motor." In *2015 International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE)*, 9–12. Rajshahi, Bangladesh: IEEE, 2015.
- [2] Utkin, Vadim, Jürgen Guldner, and Jingxin Shi. *Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems, Second Edition*. Vol. 31. Automation and Control Engineering. CRC Press, 2009.
- [3] Hegde, Sachin, Sachin Angadi, and A. B. Raju. "Speed Control of 3-Phase Induction Motor Using Volt/Hz Control for Automotive Application." In *2016 International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)*, 1–5. Bangalore, India: IEEE, 2016.
- [4] Latif, M A, M J Alam, M A Rashid, A Karim, N H Ramly, and I Daut. "Microcontroller Based PWM Inverter for Speed Control of a Three Phase Induction Motor." *International Journal of Engineering and Technology*, 5(2):624-630, April 2013.
- [5] Aspalli, M. S., and Sushma J. Patil. "Study of AI and PI Controller Using SVPWM Technique for Induction Motor Speed Control." In *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*, 1–6. Mysuru: IEEE, 2017.
- [6] Lu, Wei, Jian Hua Yang, and Xiao Dong Liu. "The PID Controller Based on the Artificial Neural Network and the Differential Evolution Algorithm." *Journal of Computers* 7, no. 10 (October 1, 2012): 2368–75.
- [7] Hunasikatti, Kavita B., Raghuram L Naik, and Basayya V Hiremath. "Implementation of FPGA Based Closed Loop V/f Speed Control of Induction Motor Employed for Industrial Applications." In *2018 Second International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAIECC)*, 1–6. Bangalore: IEEE, 2018.
- [8] Yan-xia, Shen, and Chen Zhong-wei. "Induction Motor Vector Control System Based on Anti-Windup Controller." In *2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2729–32. Beijing, China: IEEE, 2011.
- [9] Zhang, Yanqing, Zhonggang Yin, Wei Li, Xiangqian Tong, and Yanru Zhong. "Speed Sensorless Model Predictive Control Based on Disturbance Observer for Induction Motor Drives." In *2019 IEEE International Symposium on Predictive Control of Electrical Drives and Power Electronics (PREDEDE)*, 1–4. Quanzhou, China: IEEE, 2019.
- [10] Wasusatein, Wasu, Sukhumpat Nittayawan, and Waree Kongprawechnon. "Speed Control Under Load Uncertainty of Induction Motor Using Neural Network Auto-Tuning PID Controller." In *2018 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology & International Conference on Information and Communication Technology for Embedded Systems (ICESIT-ICICTES)*, 1–4. Khon Kaen: IEEE, 2018.
- [11] Hossain, Md Ismail, Md Shafiul Alam, Md Shafiullah, and Md Al Emran. "Asynchronous Induction Motor

- Speed Control Using Takagi-Sugeno Fuzzy Logic.” In *2018 10th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)*, 249–52. Dhaka, Bangladesh: IEEE, 2018.
- [12] Isa, S.N. Mat, M. Azri, Z. Ibrahim, M.H.N. Talib, M. Sulaiman, Q.L. Meng, N. H. Abu Khanipah, and N. Abd Rahim. “Experimental Investigation on Scaling Factor of Fuzzy Logic Speed Control for Induction Motor Drives.” In *2017 6th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 1–6. Langkawi: IEEE, 2017.
- [13] Arun, Shankar V.K., Umashankar Subramaniam, Sanjeevikumar Padmanaban, Mahajan Sagar Bhaskar, and Dhafer Almkhles. “Investigation for Performances Comparison PI, Adaptive PI, Fuzzy Speed Control Induction Motor for Centrifugal Pumping Application.” In *2019 IEEE 13th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 1–6. Sonderborg, Denmark: IEEE, 2019.
- [14] Brainord, Polimetla Stephen, Kamminana Swetha Sri, and L. Dinesh. “Speed Control of Three-Phase Induction Motor Drives Using Automatically Sensing Controller Based on Fuzzy Logic.” In *2015 International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO)*, 1–6. Visakhapatnam: IEEE, 2015.
- [15] Benmessaoud, Fouzia, Abdesselem Chikhi, Sebti Belkacem, and Ghoulemallah Boukhalfa. “Multi-Level Direct Torque Control of Induction Motor Using Fuzzy-Genetic Speed Regulation.” In *2019 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET)*, 1–5. Istanbul, Turkey: IEEE, 2019.
- [16] S. W. Jadmiko, S. Yahya, K. Wijayanto and H. Agung, "Aplikasi Kendali Hibrid Fuzzy-PID Kecepatan Motor Induksi Untuk Purwarupa Pembangkit Listrik Pico Hidro Berbasis PLC," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015* Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, 2015.