

# Sistem Pengaturan Tegangan Generator Berbeban pada *Remote Laboratory for Electric Motor Practice* Menggunakan *Fuzzy Logic*

Fauzi Nugraha, Joko Susila, dan Joko Priambodo

Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* jokosus@ee.its.ac.id.

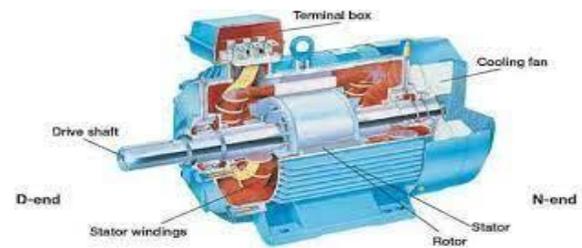
**Abstrak**—Banyak hal dari IoT yang dapat diterapkan dalam dunia pendidikan untuk mendukung proses pembelajaran, terutama pada pelajaran praktik di laboratorium. Sistem praktikum jarak jauh dirancang atau dalam istilah laboratorium jarak jauh yang dapat diakses oleh pengguna pada awal kemunculannya dengan internet, *Remote Laboratory for Electric Motor Practice* merupakan implementasi dari IoT. *Remote Laboratory for Electric Motor Practice* atau disingkat (RLEMP) ini memungkinkan terjadinya pengaksesan peralatan laboratorium melalui sebuah tampilan yang terdapat pada layar laptop masing-masing mahasiswa, selama terhubung dengan sebuah jaringan internet. Pada R-LEMP terdapat beberapa plant praktikum motor induksi, salah satunya adalah plant pengaturan kecepatan motor berbeban. Permasalahan pada proyek akhir ini adalah sulitnya menjaga tegangan pada generator yang dikopel dengan motor induksi tiga fasa agar tetap stabil pada saat terjadi perubahan beban. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sebuah desain kontroler menggunakan *fuzzy logic* sehingga diperoleh kestabilan *output* tegangan generator. Implementasi kontroler *fuzzy logic* dilakukan oleh Arduino Mega 2560 dengan bantuan *software* Matlab2023b. Hasil dari implementasi menunjukkan bahwa respon *output* dapat mempertahankan tegangan generator mendekati nilai *setpoint* dengan *error* 1,07%. Dan spesifikasi respon *output* terhadap variasi beban antara 0Watt – 125Watt telah mendekati nilai *setpoint* dengan rata – rata *tp* sebesar 0,0043 detik, *tr*(10% - 90%) sebesar 0,0027 detik, dan *ts*(5%) sebesar 3,25 detik.

**Kata Kunci**—*Remote Laboratory, Fuzzy Logic, Generator Dc, Motor Induksi, Iot.*

## I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN *Internet of Things* (IoT) dalam dunia pendidikan, terutama dalam konteks pembelajaran praktik di laboratorium, menawarkan berbagai peluang untuk mendukung pemahaman konsep-konsep teknis. Ketika berbicara tentang pembelajaran, tidak hanya menyediakan materi teori yang cukup, tetapi juga memberikan mahasiswa pengalaman praktik yang dapat memperkuat keterampilan teknis mereka. Laboratorium adalah salah satu fasilitas utama di lembaga pendidikan yang memainkan peran penting dalam hal ini. Pada R-LEMP terdapat beberapa *plant* praktikum motor induksi, salah satunya adalah *plant* pengaturan kecepatan motor berbeban. Pada aplikasinya saat generator diberi beban, maka *output* pada generator akan mengalami *drop* tegangan. Permasalahan ini menjadi dasar untuk mengontrol *output* tegangan yang dihasilkan oleh generator agar tetap stabil saat diberi beban.

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan metode kontrol yang dapat beradaptasi dengan perubahan beban yang



Gambar 1. Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa.

diberikan. Metode kontrol dilakukan untuk mengatur besarnya *output* tegangan yang dihasilkan oleh generator dengan menggunakan metode *fuzzy logic* yang fleksibel. Saat tegangan keluaran turun, atau terjadi *drop* tegangan, maka besarnya tegangan yang dihasilkan generator akan dinaikkan secara otomatis oleh sistem, begitu juga sebaliknya saat tegangan keluaran naik, maka tegangan yang dihasilkan generator akan diturunkan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

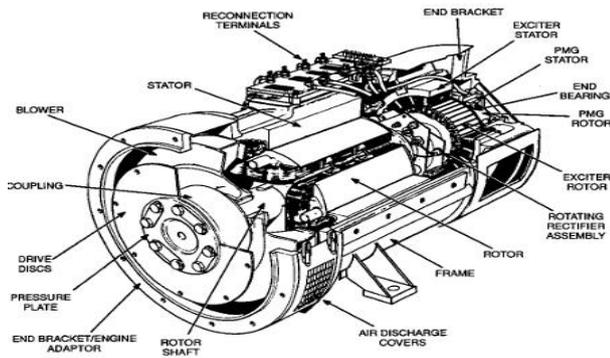
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Motor Induksi

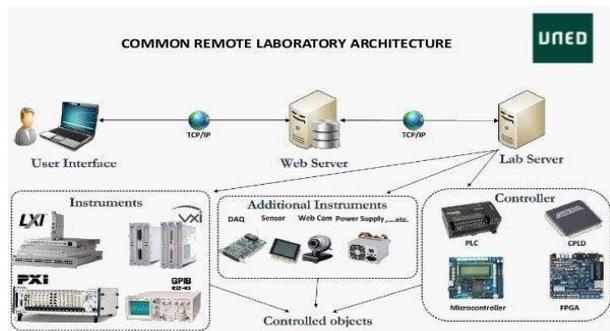
Motor induksi adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai kontruksi yang lebih sederhana, kokoh, harganya relative murah serta perawatannya yang mudah, Sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Selain keunggulan di atas motor induksi juga memiliki kelemahan yaitu pengaturan motor induksi lebih rumit dari motor DC. Hal ini disebabkan motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Kontruksi motor induksi 3 fasa ditunjukkan pada Gambar 1 [1].

### B. Generator

Generator listrik adalah suatu alat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari generator listrik adalah induksi elektromagnetik, generator menghasilkan energi listrik dengan cara memutar kumparan di antara celah kutub utara – selatan sebuah magnet. Jika kumparan diputar, jumlah garis gaya magnetik yang menembus kumparan akan berubah – ubah sesuai dengan posisi kumparan terhadap magnet. Perubahan jumlah garis gaya magnetik inilah yang menyebabkan timbulnya GGL induksi di ujung – ujung kumparan sehingga menghasilkan energi listrik. Berikut merupakan kontruksi generator yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kontruksi Generator.



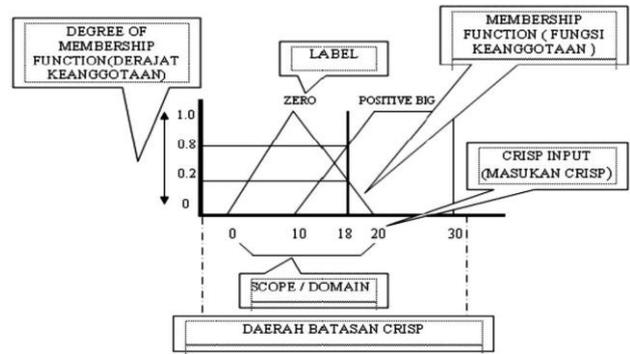
Gambar 3. Design of Remote Laboratory

C. Remote Laboratory

Laboratorium jarak jauh adalah laboratorium yang dapat dikelola dan diakses secara *online*. Mereka berbeda dari rekan-rekan virtual mereka karena mereka berurusan dengan peralatan fisik yang nyata. Karena evolusi teknologi informasi dan komunikasi, sejumlah besar laboratorium jarak jauh telah dikembangkan di banyak universitas. Ini telah menghasilkan minat besar pada desain laboratorium jarak jauh untuk meningkatkan kinerjanya. Gambar 3 menjelaskan mengenai design *remote laboratory* yang sudah ada [2].

Pentingnya teknologi IoT dalam merancang laboratorium jarak jauh (*remote laboratory*). Laboratorium ini akan menjadi *platform* untuk memperoleh keterampilan dasar terkait teknologi IoT. Dengan tujuan mengembangkan kemampuan mahasiswa untuk berinovasi dan berkreasi. Laboratorium yang diusulkan terdiri dari sejumlah percobaan, dan setiap percobaan mencakup sekelompok perangkat dan komponen berdasarkan pengaturannya. Setiap komponen dapat dianggap sebagai simpul dalam jaringan sensor nirkabel. Sebuah simpul adalah perangkat atau alat yang dilengkapi dengan mikrokontroler terintegrasi dan modul komunikasi nirkabel. *Server* laboratorium jarak jauh mencakup *unit* kontrol dan pengukuran untuk peralatan dan instrumen laboratorium. Sementara itu, *server* web bertanggung jawab atas sistem manajemen pembelajaran yang menyediakan prosedur yang diperlukan untuk menjalankan setiap percobaan dan informasi terkait untuk setiap komponen dalam percobaan, serta penjadwalan akses ke percobaan [3].

Satu implementasi dari laboratorium desain *digital online*, *Lab Cyber*, digabungkan beberapa perangkat FPGA diimplementasikan sebagai *server* data dan sebagai *platform* eksperimental untuk siswa. *Lab Cyber* memperluas fungsionalitas di luar satu FPGA, memberi siswa kemampuan untuk memproses data besar secara paralel pada beberapa perangkat. *Lab Cyber* lagi menggunakan pengaturan *webcam*



Gambar 4. Konsep Dasar Logika Fuzzy.

yang populer untuk menampilkan antarmuka FPGA. Selanjutnya, *Lab Cyber* mengimplementasikan *scheduler* melalui *web server* untuk memastikan semua mahasiswa yang ingin mengakses FPGA yang tersedia memiliki kemampuan untuk melakukannya [4].

D. Fuzzy Logic

Dalam bahasa Inggris, *fuzzy* mempunyai arti kabur atau tidak jelas. Jadi, *fuzzy logic* adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian. Pada logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan *fuzzy logic* mengenal nilai antara benar dan salah. *Fuzzy logic* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk *linguistik*, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Kebenaran dalam *fuzzy logic* dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 sampai 1. Titik awal dari konsep modern mengenai ketidakpastian adalah paper yang dibuat oleh Lofti A Zadeh (1965), dimana Zadeh memperkenalkan teori yang memiliki obyek-obyek dari himpunan *fuzzy* yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*, dan bukan dalam bentuk logika benar atau salah, tapi dinyatakan dalam derajat. Konsep seperti ini disebut dengan *Fuzziness* dan teorinya dinamakan *Fuzzy Set Theory*. *Fuzziness* dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian, fenomena atau pernyataan itu sendiri [5].

Himpunan *fuzzy* mempunyai peranan yang penting dalam perkembangan matematika khususnya dalam matematika himpunan. Matematikawan Jerman George Cantor (1845-1918) adalah orang yang pertama kali secara formal mempelajari konsep tentang himpunan. Teori himpunan selalu dipelajari dan di terapkan sepanjang masa, bahkan sampai saat ini matematikawan selalu mengembangkan tentang bahasa matematika (teori himpunan). Banyak penelitian- penelitian yang menggunakan teori himpunan *fuzzy* dan saat ini banyak literatur- literatur tentang himpunan *fuzzy*, misalnya yang berkaitan dengan teknik kontrol *fuzzy logic* dan relasi *fuzzy* [6]. Gambaran umum konsep dasar logika ditunjukkan pada Gambar 4.

Dalam merancang pengendali berdasarkan logika *fuzzy*, faktor mendasar yang harus diperhatikan adalah penskalaan dari *input/output* aturan dasar kendali *fuzzy* dan tipe fungsi keanggotaan *fuzzy* yang digunakan. Suatu tipe fungsi keanggotaan dapat dirubah menjadi fungsi keanggotaan dengan tipe yang berlainan [7].

Secara umum, sistem *fuzzy* sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-

Tabel 1.  
Daftar Komponen Modul

No.	Komponen	Jumlah
1.	ADAM 3600	1
2.	ADAM 5052	1
3.	Router TP-Link	1
4.	MCB 10 A	1
5.	Inverter Altivar-12	1
6.	Arduino Mega 2056	1
7.	Sensor Tegangan	2
8.	Relay MY4N	5
9.	Lampu 25 watt, 24VDC	5
10.	Motor Induksi 3 fasa 0,25 HP	1
11.	Minertia Motor R Series type RO4SA	1

Tabel 2.  
Rule Base

No	Rule Base
1.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Positive Large</i> (PL), maka <i>Control</i> adalah <i>Positive Large</i> (PL)
2.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Negative Large</i> (NL), maka <i>Control</i> adalah <i>Negative Large</i> (NL)
3.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Zero</i> (Z) dan <i>Delta Error</i> adalah <i>Negative</i> (N), maka <i>Control</i> adalah <i>Negative Medium</i> (NM)
4.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Zero</i> (Z) dan <i>Delta Error</i> adalah <i>Positive</i> (P), maka <i>Control</i> adalah <i>Positive Medium</i> (PM)
5.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Zero</i> (Z), maka <i>Control</i> adalah <i>Zero</i> (Z)
6.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Negative Medium</i> (NM), maka <i>Control</i> adalah <i>Negative Medium</i> (NM)
7.	Jika <i>Error</i> adalah <i>Positive Medium</i> (PM), maka <i>Control</i> adalah <i>Positive Medium</i> (PM)

masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya [8].

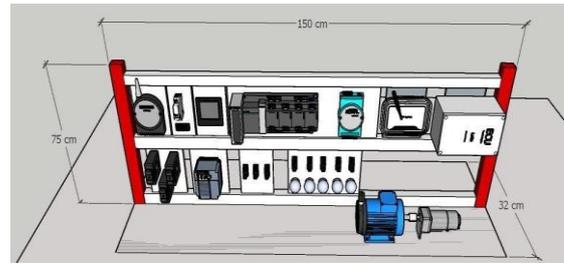
E. Desain Mekanik

Pada prancangan mekanik, dibuat kerangka menggunakan besi sebagai penopang komponen – komponen yang digunakan. Akrilik digunakan agar komponen dapat terpasang pada kerangka yang telah dibuat. Akrilik di potong sesuai dengan ukuran setiap kompenen dan dieratkan menggunakan baut. Desain mekanik dari modul yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil implementasi mekanik yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 7. Komponen - komponen yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALAT

A. Keseluruhan Sistem

Sistem keseluruhan dari *Remote Laboratory for Electric Motor Practice* (R-LEMP). Proyek akhir yang dikerjakan berfokus pada plant yang berada dalam kotak biru. Kontroler utama yang digunakan adalah *Remote Terminal Unit* ADAM 3600 yang terhubung dengan router menggunakan kabel ethernet. Data yang tersimpan akan ditampilkan pada *Webaccess Dashboard* dengan melakukan konfigurasi pada *Webaccess* terlebih dahulu. ADAM 3600 membaca data yang dikirim oleh *WebAcces* lalu mengirimkan data tersebut ke



Gambar 6. Desain Mekanik Rangka Modul



Gambar 7. Hasil Perancangan Mekanik

Arduino untuk mengatur frekuensi dari Inverter. Arsitektur keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 8.

B. Diagram Blok

Untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka sesuai dengan topik yang diambil untuk bentuk dari diagram sistem kontrol secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada Gambar 9.

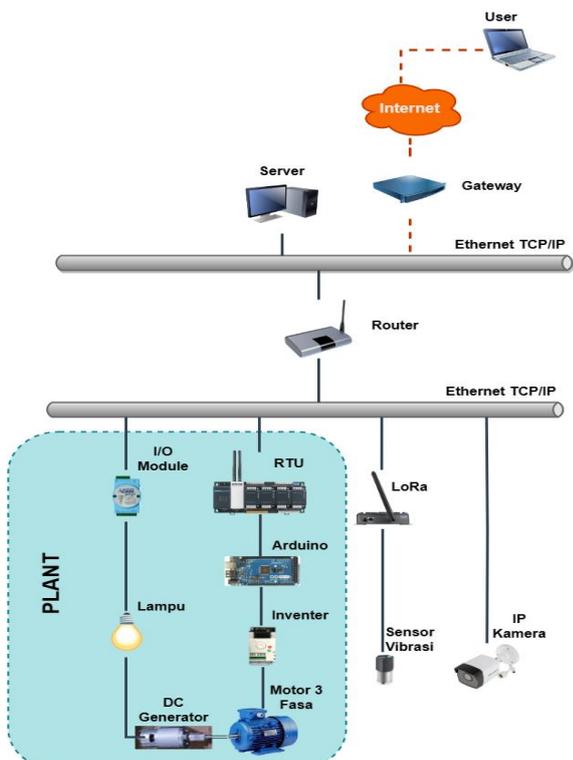
C. Perancangan Fuzzy Logic Kontroler

Perancangan kontrol *fuzzy* pada sistem ini dirancang dengan menggunakan *fuzzy logic designer* dari perangkat lunak Matlab 2023b. Dimana logika *fuzzy* ini akan diimplementasikan secara langsung kedalam sebuah *embedded system* yang berupa arduino. Tahap pembuatan *fuzzy logic control* ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu dimulai dari tahap fuzzyfikasi dimana terdiri dari pembuatan *membership fuction*, kemudian dilanjutkan ketahap *inferent* dimana pada tahap ini merupakan proses pembuatan *rule base* dan kemudian ketahap defuzzifikasi yaitu proses *output* yang diperoleh dari keseluruhan sistem seperti pada Gambar 10.

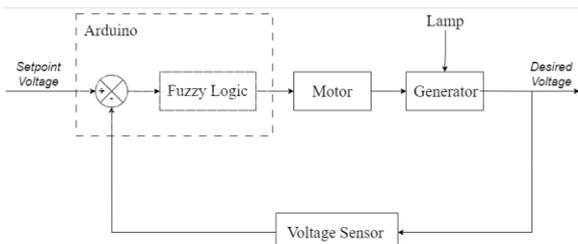
1) Tahap Fuzzifikasi

Tahap awal pembuatan *fuzzy* diawali dengan proses fuzzyfikasi dimana pada tahap ini dilakukan terhadap dua *membership input* yaitu *error* dan *delta error*, dan satu *membership output* yaitu *control*. Pada tahap ini terlebih dahulu ditentukan besarnya *setpoint* yang digunakan untuk membuat *membership fuction* dan juga pada proses perhitungan *error*, *delta error* dan *control*. Untuk besarnya nilai *setpoint* yang digunakan yaitu 10Volt, dimana nilai ini yang akan menjadi acuan kontrol agar tetap stabil pada nilai tersebut. Nilai dari *membership function error* ditunjukkan pada Gambar 11. Sedangkan nilai dari *membership function delta error* ditunjukkan pada Gambar 12.

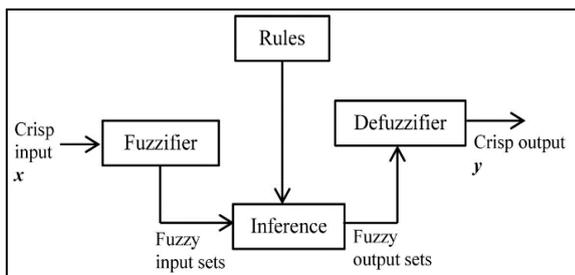
Hampir sama pada pembuatan *membership funtion error* dan *delta error*, pembuatan *membership function output control* dilakukan juga berdasarkan perhitungan sesuai



Gambar 8. Arsitektur Keseluruhan Sistem.



Gambar 9. Blok Diagram



Gambar 10. Blok Sistem Kendali Fuzzy

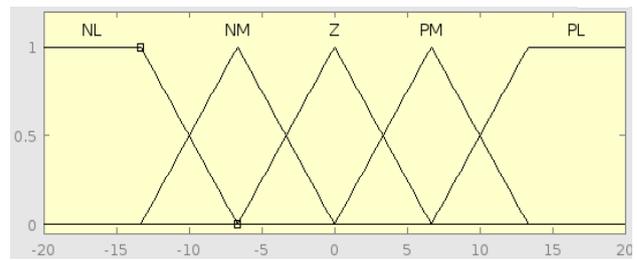
dengan aturan pada pembuatan fuzzy pada umumnya. Nilai dari membership function control ditunjukkan pada Gambar 13.

2) Tahap Inferensi

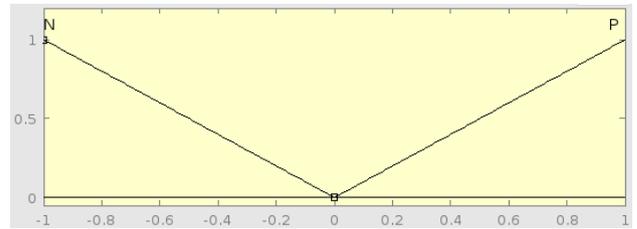
Inferensi dimulai dengan membuat perancangan rule base untuk kontroler fuzzy agar kontroler fuzzy dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Berdasarkan dua membership function error, delta error dan control, diperoleh tujuh rule base yang ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

3) Tahap Defuzzifikasi

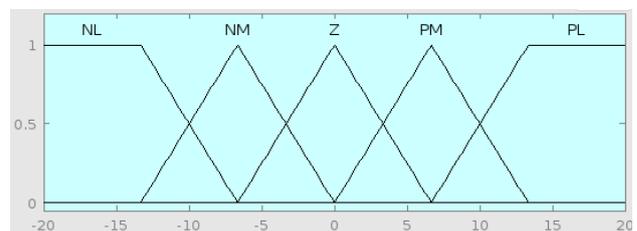
Pada toolbox perangkat lunak Matlab, terdapat beberapa pilihan metode defuzzifikasi. Untuk kontroler fuzzy mamdani, ada lima pilihan defuzzifikasi, yaitu centroid, bisector, mean of maximum (MOM), smallest of maximum (SOM), dan largest of maximum (LOM). Namun pada studi



Gambar 11. Membership Function Error



Gambar 12. Membership Function Delta Error



Gambar 13. Membership Function Control

ini hanya menggunakan centroid. Setelah semua tahap pembuatan fuzzy logic selesai maka setelah itu dilakukan pengujian untuk pengambilan data.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

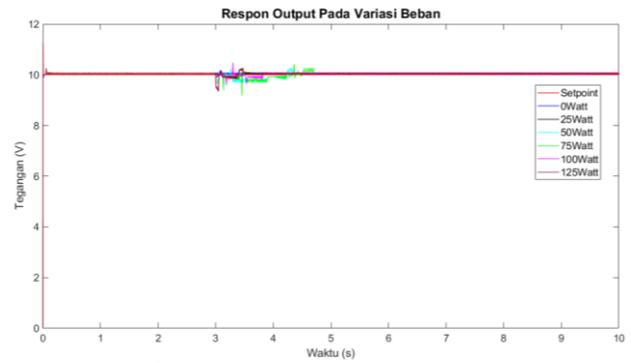
A. Pengujian Tegangan Generator Berbeban Tanpa Fuzzy Logic Controller

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui output tegangan dari generator tanpa fuzzy logic controller. Motor induksi 3 fasa digunakan sebagai prime mover generator DC yang langsung dikopel dengan rotor motor induksi 3 fasa menggunakan flexible shaft coupling agar generator dapat menghasilkan tegangan yang digunakan untuk menyalakan beban lampu. Pengujian dilakukan pada frekuensi maksimum inverter sebesar 50Hz, untuk beban yang digunakan terdapat 5 buah lampu 24VDC 25 watt. Lampu akan dinyalakan secara berurutan dan dicatat setiap perubahan tegangan pada generator. Hasil pengujian tegangan generator berbeban tanpa fuzzy logic controller dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa, semakin besar beban yang diberikan, maka tegangan yang dihasilkan generator akan semakin menurun. Penurunan ini disebabkan karena ketika beban diberikan, arus yang mengalir melalui gulungan jangkar ( $I_a$ ) meningkat, saat arus jangkar meningkat resistansi pada gulungan jangkar ( $R_a$ ) akan menyebabkan drop tegangan ( $E_a$ ) sehingga tegangan output generator ( $V_t$ ) menurun. Hal ini sesuai dengan persamaan pada rangkaian ekuivalen generator DC yaitu  $V_t = E_a - I_a R_a$ . Tanpa adanya fuzzy logic controller, tegangan akan menurun sesuai dengan besarnya beban yang diberikan. Dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa tegangan dari generator akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya beban, drop

Tabel 3.  
Hasil Pengujian Tegangan Generator Berbeban Tanpa Fuzzy Logic Controller

Beban Lampu (Watt)	Arus Beban (Ampere)	Kecepatan Motor (RPM)	Tegangan Generator (Volt)
0	0	1496	10,47
25	0,54	1494	10,46
50	1,08	1491	10,44
75	1,62	1484	10,39
100	2,16	1481	10,37
125	2,7	1478	10,35



Gambar 14. Grafik Respon Output Generator Terhadap Variasi Beban yang Diberikan

Tabel 4.  
Hasil Pengujian Tegangan Generator Berbeban Dengan Fuzzy Logic Controller

Respon Output Generator	Beban					
	0Watt	25Watt	50Watt	75Watt	100Watt	125Watt
Rise Time (Tr) (10%-90%) (detik)	0,0026	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027
Peak Time (Tp) (detik)	0,0043	0,0043	0,0043	0,0043	0,0043	0,0043
Settling Time (Ts) (±5%) (detik)	0,06	3,40	4,33	4,70	3,49	3,54
Overshoot Percentage (OS%)	12,90	12,37	12,63	12,14	12,82	12,79

tegangan terendah terjadi pada saat beban maksimum sebesar 125 Watt dengan output tegangan generator mencapai 10,35 Volt.

**B. Pengujian Tegangan Generator Berbeban Dengan Fuzzy Logic Controller**

Pengujian tegangan generator dengan fuzzy logic controller berbeban pada generator dilakukan secara bertahap. Pengujian dilakukan pada frekuensi maksimum inverter yaitu sebesar 50Hz, setpoint yang ditentukan adalah sebesar 10Volt, lalu untuk beban yang digunakan terdapat 5 buah lampu DC 24Volt 25 watt. Lampu akan dinyalakan secara berurutan dan dilihat perubahan output tegangan pada generator apakah sudah mengikuti setpoint yang ditentukan atau belum.

Hasil pengujian pemberian beban terhadap output tegangan generator dengan menggunakan fuzzy logic controller disajikan dalam bentuk grafik perbandingan respon kontrol dari masing-masing pengujian dengan variasi beban 0Watt – 125Watt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14. Grafik tersebut membandingkan besarnya nilai drop tegangan yang terjadi dan juga respon dari kontrol untuk mengembalikan kestabilan output tegangan dari generator.

Hasil dari keseluruhan pengujian pemberian beban menunjukkan bahwa, fuzzy logic controller telah berhasil mengembalikan output generator mencapai setpoint yang ditentukan yaitu sebesar 10Volt. Drop tegangan terendah terjadi pada saat pemberian beban maksimal yaitu sebesar 125Watt yang mencapai 9,62Volt. Pemakaian kontrol fuzzy logic dalam pengaturan output tegangan pada generator DC terbukti mampu mengatasi drop tegangan dari generator saat pemberian variasi beban yang dilakukan. Spesifikasi respon keseluruhan output generator terhadap variasi beban yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan spesifikasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa spesifikasi respon output generator terhadap variasi beban 0Watt – 125Watt dapat menghasilkan respon yang baik, output generator mencapai settling time terhadap setpoint yang ditentukan dengan rata – rata waktu 3,25 detik. Terdapat overshoot percentage terbesar pada saat kondisi tanpa beban sebesar 12,90% di peak time 0,0043 detik. Untuk nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator DC menggunakan fuzzy logic controller dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5. dapat dilihat bahwa hasil output tegangan generator dengan setpoint 10Volt memiliki rata-rata persentase error yang relatif kecil yaitu sebesar 1,07%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, kontroler fuzzy logic yang dirancang dapat mempertahankan tegangan generator DC mendekati nilai setpoint yang telah ditentukan dengan rata – rata error sebesar 1,07%. Adanya error ini dikarenakan tuning dari fuzzy logic yang masih belum maksimal dan kurangnya data yang diolah sebagai sample.

**V. KESIMPULAN**

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada proyek akhir dengan judul Sistem Pengaturan Tegangan Generator Berbeban Pada Remote Laboratory for Electric Motor Practice dengan Menggunakan Fuzzy Logic dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Pada pengujian RTU dan Inverter, didapatkan drop tegangan sebesar 0,02Volt. Dan besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh inverter terjadi penurunan sebesar 0,22Hz disetiap titik cobanya. (2) Hasil dari keseluruhan pengujian pemberian variasi beban 0Watt – 125Watt menunjukkan bahwa, fuzzy logic controller telah berhasil mengembalikan output generator mencapai setpoint yang ditentukan yaitu sebesar

Tabel 5.

Tegangan Ouput Generator Berbeban Dengan Fuzzy Logic Controller

Beban Lampu (Watt)	Arus Beban (Ampere)	Kecepatan Motor (RPM)	Tegangan Generator (Volt)	Error (%)
0	0	1423	9,96	0,4
25	0,54	1417	9,94	0,6
50	1,08	1416	9,91	0,9
75	1,62	1413	9,89	1,1
100	2,16	1407	9,85	1,5
125	2,7	1401	9,81	1,9
Rata – Rata				1,07

10Volt. *Drop* tegangan terendah terjadi pada saat pemberian beban maksimal yaitu sebesar 125Watt dengan nilai 9,81Volt. (3) Kontroler *fuzzy logic* yang dirancang dapat mempertahankan tegangan generator DC mendekati nilai *setpoint* dengan *error* sebesar 1,07%. Adanya *error* ini dikarenakan *tuning* dari *fuzzy logic* yang masih belum maksimal dan kurangnya data yang diolah sebagai sample.

REFERENSI

[1] Z. Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*. Yogyakarta: ANDI, 2019, ISBN: 978-623-01-0331-5.

[2] M. Tawfik *et al.*, “Shareable Educational Architectures For Remote Laboratories,” *Proceedings - 2012 Technologies Applied to Electronics Teaching, TAE 2012*, pp. 122–127, 2012, doi: 10.1109/TAE.2012.6235420.

[3] M. Q. Al-Obaidi and N. Derbel, “Design of IoT based temote renewable energy laboratory,” *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, vol. 18, no. 12, pp. 75–87, 2023, doi: 10.3991/IJET.V18I12.38659.

[4] A. M. Magyari, “FPGA Remote Laboratory Using IoT Approaches,” 2021. doi: 10.3390/ELECTRONICS10182229.

[5] L. A. Zadeh and R. A. Aliev, “Complex Fuzzy Sets and Complex Fuzzy Logic. An Overview of Theory and Applications,” in *Fuzzy Logic Theory and Applications*, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2018, pp. 309–325. doi: 10.1142/9789813238183\_0011.

[6] I. M. Yasna, “Mengenal himpunan kabur (fuzzy set) dalam pembelajaran matematika,” *SULUH PENDIDIKAN: Jurnal Ilmu-Ilmu Pendidikan*, vol. 16, no. 1, pp. 9–19, 2018.

[7] D. Nofriansyah and S. Defit, *Multi Criteria Decision Making (MCDM) pada Sistem Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Deepublish, 2017, . ISBN: 978-602-453-575-9

[8] R. Dewi, “Evaluasi membangkitkan fungsi keanggotaan pada fuzzy model Mamdani,” *Jurasik (Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknik Informatika)*, vol. 1, no. 1, pp. 41–45, 2017, doi: 10.30645/JURASIK.V1I1.7.