

RANCANG BANGUN ALAT PERAGA TRAINER FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS ARDUINO DAN LABVIEW

Angga Riyan Pratama, Aulia Ullah^{*)}, Hilman Zarory dan Putut Son Maria

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. Km 15, Pekanbaru, Riau 28293 Indonesia

^{*)E-mail: aulia.ullah@uin-suska.ac.id}

Abstrak

Program studi Teknik Elektro di UIN Suska Riau menggunakan perangkat lunak berbasis simulasi untuk pembelajaran sistem kendali cerdas, yang menyebabkan kebosanan dan kesulitan dalam menerapkan konsep *fuzzy logic* pada sistem nyata. Ketidaktersediaan alat peraga memperburuk masalah ini. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang alat peraga yang menggabungkan simulasi dan pembelajaran langsung untuk mengontrol kecepatan motor DC. Alat ini menggunakan aplikasi LabVIEW dan Arduino untuk menerapkan konsep *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan sensor LM393 Optocoupler Speed, ACS712-5A, dan Voltage Divider. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat keras dan lunak yang dihasilkan efektif dalam meningkatkan desain sistem *fuzzy* dan memudahkan analisis respon sistem. Pengujian melibatkan variasi fungsi keanggotaan sebanyak 3, 5, dan 7 serta penerapan *rules* yang berbeda, memungkinkan pengguna mengamati perbedaan respon dengan lebih jelas. Secara spesifik, pengujian menunjukkan bahwa fungsi keanggotaan yang lebih banyak cenderung menghasilkan osilasi yang lebih banyak dan waktu yang lebih lama untuk mencapai keadaan *steady state*. Evaluasi hasil *usability* dengan mahasiswa sebagai responden menunjukkan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 92,37%, menunjukkan bahwa alat ini sangat efektif dan mudah digunakan dalam pembelajaran. Responden merasa bahwa alat ini meningkatkan pemahaman mereka tentang konsep FLC dan aplikasinya pada sistem nyata.

Kata kunci: *Fuzzy Logic*, LabVIEW, Arduino dan Alat Peraga Teknik Elektro

Abstract

The Electrical Engineering study program at UIN Suska Riau uses simulation-based software for intelligent control system learning, which causes boredom and difficulties in applying fuzzy logic concepts to real systems. The unavailability of teaching aids exacerbates this problem. To address this issue, this research aims to design a teaching aid that combines simulation and direct learning to control the speed of a DC motor. This tool uses LabVIEW and Arduino applications to implement the Fuzzy Logic Controller (FLC) concept with LM393 Optocoupler Speed, ACS712-5A, and Voltage Divider sensors. The research results show that the produced hardware and software are effective in enhancing fuzzy system design and facilitating system response analysis. Testing involved varying membership functions by 3, 5, and 7, as well as applying different rules, allowing users to observe response differences more clearly. Specifically, the testing indicated that more membership functions tend to result in higher oscillations and longer times to reach steady state. Usability evaluation with students as respondents showed an overall average score of 92.37%, indicating that this tool is very effective and easy to use in learning. Respondents felt that this tool improved their understanding of FLC concepts and their application to real systems.

Keywords: *Fuzzy Logic, LabVIEW, Arduino, and Electrical Engineering Demonstrator Tools*

1. Pendahuluan

Sistem kendali cerdas terutama dibidang *Fuzzy Logic* menjadi penting dalam mendukung perancangan perangkat pengendalian non-linier yang kompleks. Sistem kendali cerdas lebih mudah digunakan daripada kontrol PID karena tidak memerlukan pemodelan sistem sebagai fungsi transfer [1][2].

Di program studi Teknik Elektro UIN Sultan Syarif Kasim Riau, pembelajaran sistem kendali cerdas masih menggunakan perangkat lunak simulasi seperti MATLAB, ISIS Proteus, dan Code Vision AVR karena belum ada alat atau laboratorium yang mendukung penggunaan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) untuk pembelajaran langsung pada Plant[3][4].

Meskipun *Fuzzy Logic* merupakan konsep utama dalam sistem kendali cerdas, banyak program studi teknik elektro mengalami kesulitan memberikan pengalaman praktik yang memadai bagi mahasiswa, Ketidaktersediaan alat atau laboratorium yang mendukung penggunaan FLC untuk pembelajaran langsung menyebabkan mahasiswa kesulitan dalam memahami konsep ini secara praktis. Berdasarkan hasil wawancara dengan dosen mata kuliah sistem kendali cerdas, ditemukan bahwa kurangnya kesempatan praktik dalam sistem kendali cerdas yang menggunakan logika *Fuzzy*, dan penggunaan alat peraga berbasis simulasi dapat menyebabkan kebosanan dan kurangnya minat belajar bagi mahasiswa[3], mengurangi efektivitas pembelajaran dan pengalaman praktik mahasiswa [4][5].

Selain itu, kompleksitas perhitungan matematika juga membuat mata kuliah ini *intimidatif* bagi sebagian besar mahasiswa. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa hampir 90% responden tidak memahami konsep *Fuzzy Mamdani*, 40% tidak memahami teori inferensi, 40% tidak memahami teori *fuzzyfikasi*, dan 60% tidak memahami teori *defuzzyfikasi*, disebabkan oleh kurangnya ketersediaan alat peraga untuk *fuzzy logic* [6].

LabVIEW, singkatan dari Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, adalah bahasa pemrograman grafis yang dikembangkan oleh National Instruments (NI), dengan integrasi perangkat keras dan *library* yang mendukung berbagai aplikasi seperti instrumentasi, pengolahan sinyal, dan analisis data.[7-10].

Penerapan *fuzzy logic* dalam pembelajaran telah dilakukan[3], termasuk dalam pengaturan kecepatan motor DC menggunakan Arduino Uno[3][11][12]. Pada penelitian R. Maulidda, dkk, 2022 [13] mengembangkan alat peraga kendali cerdas menggunakan mikrokontroler AVR tanpa melibatkan *fuzzy logic* alat yang dirancang hanya dalam bentuk modul – modul dalam melakukan pengujian.

Pada penelitian M. Lutfi dan A. Kristanto, 2022 [6] pengembangan alat pembelajaran sudah melibatkan *fuzzy logic* dalam menyediakan alat *trainer* sebagai sarana praktikum mahasiswa, tetapi pada penelitian ini sistem *fuzzy* yang digunakan sudah tertanam pada prosesor dan untuk memodifikasi sistem *fuzzy* masih dengan cara mengubah ulang program sistem *fuzzy* pada prosesor yang membutuhkan waktu yang lama.

Serta pada penelitian R. Maulidda, dkk, 2022 [14] merancang alat pembelajaran logika *fuzzy* pada robot penghindar rintangan, pada penelitian pembelajaran dilakukan hanya dengan mengamati respon sistem motor DC pada pergerakan robot penghindar dengan sistem *fuzzy* yang sudah dirancang tanpa mahasiswa bisa merubah dan memodifikasi *fuzzy* sistem.

Di samping itu, pada penelitian Triyani.Sabar, dkk, 2018 [15] sudah menggunakan kontrol kecepatan motor DC menggunakan LabVIEW dengan *fuzzy logic*, pada penelitian ini tidak berfokus pada alat peraga *trainer*, dan hanya menguji performansi pada kecepatan motor, dan belum tersedia fitur – fitur yang mempermudah pengguna dalam menggunakan tampilan *Graphical User Interface* (GUI) software dan hardware. Dan pada penelitian lainnya [7] ada yang menggunakan pengontrolan PID pada motor DC berbasis LabVIEW, namun tidak mendalami penggunaan *fuzzy logic* dalam pembelajaran.

Dari penelitian yang membahas metode pembelajaran *fuzzy logic* [6][7][13][14][15] alat pembelajaran/peraga yang hanya melihat *respon* sistem masih dari perangkat keras nyata, dan memiliki kekurangan masing-masing, dan ada metode pembelajaran FLC yang menggunakan metode simulasi matematis yang berlebihan.

Untuk mengatasi kesenjangan antara kedua model pembelajaran tersebut, peneliti menyediakan platform praktis yang mengintegrasikan simulasi menggunakan aplikasi LabVIEW dengan perangkat keras nyata, yakni motor DC.

Dengan adanya perancangan alat peraga/pembelajaran ini peneliti bertujuan mengatasi masalah tersebut dengan menyediakan alat peraga FLC untuk mengisi kekosongan alat peraga dilaboratorium UIN Suska Riau dan menjadikan alternatif pembelajaran gabungan antara simulasi dan pembelajaran alat peraga pada kecepatan motor DC berbasis labVIEW dan Arduino. Alat peraga ini akan memungkinkan mahasiswa untuk mempraktikkan konsep *fuzzy logic* dalam konteks yang realistis, sehingga meningkatkan pemahaman dan keterampilan mahasiswa dalam sistem kendali cerdas.

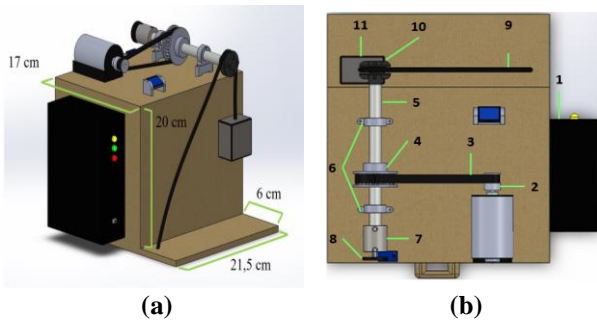
Pada penelitian ini akan melakukan perancangan alat peraga *trainer* FLC pada kecepatan motor DC berbasis Arduino dan LabVIEW, alat ini menggunakan software LabVIEW, hardware yang bisa melakukan pemantauan respon sistem motor DC dan memodifikasi *fuzzy* sistem sesuai keinginan pengguna, sebagai pembaruan alat peraga FLC pada penelitian sebelumnya. Selain itu, perancangan untuk mempermudah pengguna dalam memodifikasi *fuzzy* sistem, nantinya dapat dilakukan secara manual menggunakan program melalui tampilan GUI di LabVIEW atau menggunakan *Toolkit Fuzzy Logic*, alat ini dilengkapi dengan fitur On/Off untuk kontrol sistem, serta fitur menampilkan garis *Time Delay* (Td), *Time Rise* (Tr), dan *Time Settling* (Ts) untuk analisis grafik *respon* sistem, dan memungkinkan pengamatan respon kendali secara real-time di LabVIEW.

Penelitian ini juga akan menguji efektivitas alat peraga melalui variasi fungsi keanggotaan dan rules, serta melakukan evaluasi usability dengan melibatkan mahasiswa sebagai responden.

2. Metode

2.1. Desain Sistem

Desain sistem diperlukan sebagai representasi visual dari struktur sistem yang akan dikembangkan, mencakup penempatan sensor dan perangkat keras. Desain sistem dapat direpresentasikan secara visual dalam Gambar 1.

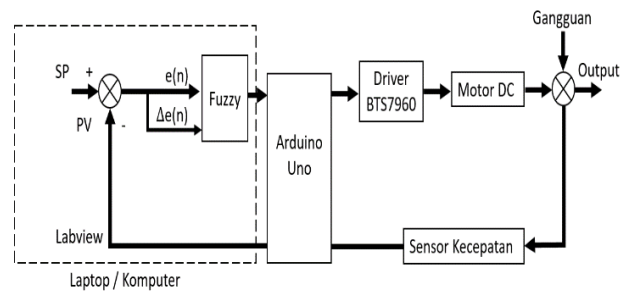


Gambar 1. (a) Desain 3d Sistem Tampak Depan, (b) Desain 3D Sistem Tampak Atas

Dalam pemilihan alat dan bahan penelitian ini, pertimbangan ekonomis, kemudahan dalam perawatan, dan kesesuaian dengan karakteristik motor DC yang digunakan menjadi faktor utama. Berikut penjelasan pemilihan komponen pada Gambar 1 (a) dan Gambar 1 (b):

1. *Project Box*: Digunakan untuk menampung dan melindungi komponen.
2. *Timing Pulley GT2 20 teeth Bore 3,17 mm width 8 mm*: Dipilih karena kemudahan perawatan dan kompatibilitas dengan motor DC yang digunakan.
3. *Timing belt 6 mm circumference 260 mm*: Dipilih karena keandalannya dan biaya yang terjangkau, sesuai dengan karakteristik motor DC.
4. *Timing Pulley GT2 60 teeth Bore 8 mm width 8 mm*: Dipilih untuk memastikan kesesuaian dengan motor DC.
5. *Batang As Shaft Stainless Steel 304 8 mm, Panjang 150 mm*: Dipilih untuk ketahanan dan kekuatan yang dibutuhkan dalam aplikasi motor DC.
6. *Pillow Block KP08 8 mm*: Dipilih karena kemudahan instalasi dan kemampuannya untuk menopang batang as dengan baik
7. *Flexible Coupling D19 L25 5x8 mm*: Dipilih untuk mempermudah pemasangan *encoder disk*
8. *Encoder disk 5 lubang*: Dipilih untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang posisi dan kecepatan motor DC.
9. *Tali beban 320 mm*: Dipilih karena kekuatan dan ketahanannya terhadap beban yang akan diangkat
10. *Pembatas tali beban*: Dipilih agar tali beban tidak bergeser
11. *Beban*: Dipilih sesuai dengan karakteristik motor DC dan kebutuhan alat secara keseluruhan

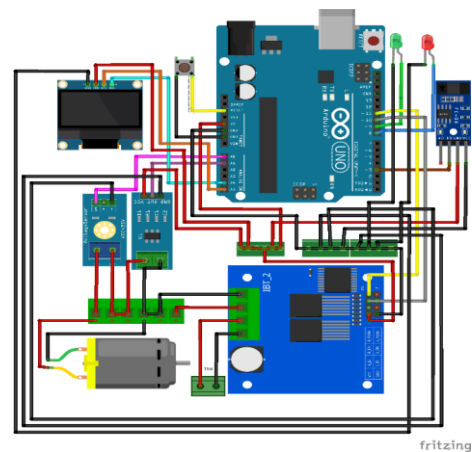
Untuk mempermudah memahami proses sistem dari alat praktik sistem kendali *fuzzy logic* dengan LabVIEW dapat dilihat pada blok diagram dari kendali pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Blok Diagram Sistem Alat Praktikum Sistem Kendali Fuzzy Logic Dengan LabVIEW

2.2. Perancangan Perangkat Keras

Pada sistem ini terdiri dari beberapa elemen, seperti sensor LM393 Optocoupler Speed, Sensor *voltage divider*, Sensor arus ACS712-5A, Oled *display* 123 x 64, Driver BTS7960, Motor DC 21 V, Adaptop 12 V 5A, LED, dan *Push button*. Rancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Rancangan Sistem Alat Praktikum FLC Dengan LabVIEW.

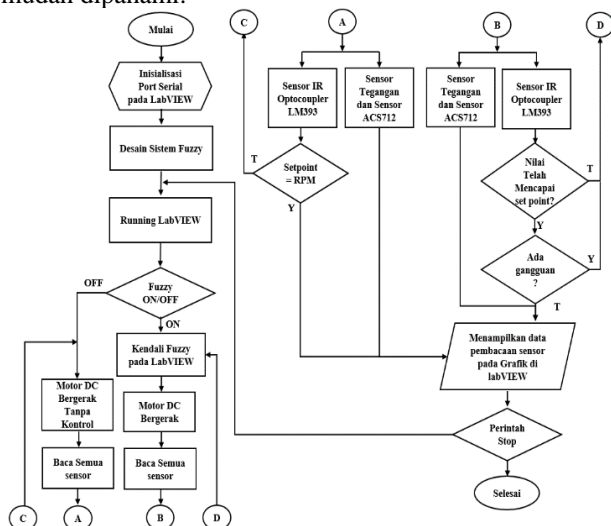
Penjelasan mengenai fungsi dari masing - masing komponen pada Gambar 3 adalah sebagai berikut:

1. Sensor LM393 *Optocoupler Speed* (Sensor Kecepatan): Memberikan masukan kecepatan putaran kepada Arduino Uno
2. Sensor arus ACS712-5A (Sensor Arus) : Mendeteksi arus dan mengirim sinyal ke Arduino Uno untuk pemantauan arus pada sistem kendali.
3. Sensor *voltage divider* (Sensor Tegangan): Mendeteksi tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan motor DC pada sistem kendali.
4. Arduino Uno : Mengendalikan operasi sistem dengan program yang terintegrasi, membaca masukan dari sensor-sensor, dan mengatur keluaran untuk mengatur motor DC.

5. Oled LCD *blue* 0.96" I2C 128 x 64 : Menampilkan pembacaan sensor kecepatan, tegangan, dan arus selama proses berlangsung.
6. Driver BTS7960 43A H – *bridge high power* modul : Mengirim sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengendalikan kecepatan motor DC.
7. Motor DC RS545 21V : Berfungsi sebagai *aktuator* untuk memutar as shaft.
8. LED 5mm 3.3V – 5V : Indikator status hidup/mati motor DC dan *power supply*.
9. *Push Button*, digunakan sebagai tombol reset program jika terjadi *error*.

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pada desain sistem instrumentasi kendali praktik menggunakan LabVIEW, penggunaan *flowchart* diadopsi karena mengandung simbol – simbol yang intuitif dan mudah dipahami.



Gambar 4. *Flowchart* Rancangan Sistem Alat Praktikum Sistem Kendali Fuzzy Logic Dengan LabVIEW.

Dari *flowchart* di atas pada Gambar 4, sensor – sensor yang ada pada sistem akan melakukan pembacaan pada objek berupa kecepatan motor (RPM), tegangan motor, dan arus motor pada alat praktik sistem kendali *fuzzy logic*. Data yang terbaca oleh sistem akan dikirim dan dimasukkan kedalam desain *control fuzzy logic* yang ada pada LabVIEW.

Sensor LM393 *Optocoupler Speed* atau sensor kecepatan yang diletakan pada ujung *as shaft* untuk mengukur kecepatan putaran yang terhubung dengan Motor DC. Nilai pengukuran yang dilakukan pada 0 hingga <4500 RPM, karena jumlah 5 *hole* pada disk encoder sensor *optocoupler* ini hanya bisa membaca ± 4500 RPM.

Data pembacaan sensor kecepatan ini nanti akan terukur pada tampilan GUI pada aplikasi LabVIEW. Selanjutnya data yang ditampilkan pada GUI dilakukan pengontrolan

dengan *fuzzy logic* menggunakan program blok diagram yang telah dirancang dengan bantuan aplikasi LabVIEW.

Sedangkan data pembacaan sensor arus dan sensor tegangan yang masuk pada GUI LabVIEW hanya menjadi bahan untuk melakukan pemantauan hasil yang terbaca dari sensor tersebut.

2.4. Fuzzy Logic

Fuzzy logic adalah representasi bentuk logika dari cara berpikir manusia yang mampu menangani ketidakpastian dan variabel linguistik. Penerapan *fuzzy logic* melibatkan aturan-aturan yang diekspresikan dalam bahasa yang tidak memerlukan ketelitian tinggi dan toleran terhadap data yang tidak sepenuhnya tepat.[15][16].

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah bentuk *triangel*. Bentuk ini dipilih karena menghasilkan respon yang lebih cepat dan menggunakan persamaan matematika yang lebih sederhana, dan bekerja dengan baik dengan teknik optimasi, *adaptif*, dan persamaan matematika yang sederhana [1][17].

Dalam penerapan teknik kontrol, aturan dijelaskan dengan struktur "IF - THEN" dalam basis aturan. Penggunaan operator *rule base* melibatkan penggunaan operator AND[17].

2.5. Pendefinisian Input – Output

Fuzzy logic yang ditanamkan pada sistem memiliki konsep *Multi Input Single Output* (MISO), 2 *input* berupa *error* dan $\Delta error$, dan 1 *output* berupa nilai PWM[17].

$$E(n) = SP - PV \quad (1)$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1) \quad (2)$$

Keterangan :

$E(n)$ = selisih nilai terbaca dengan *setting point*

$E(n-1)$ = *error* sebelumnya

SP = *setting point*

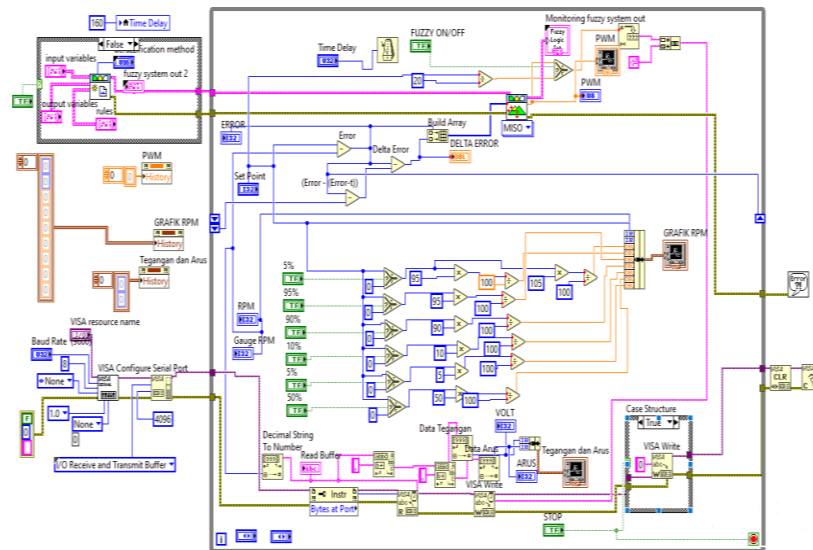
PV = *point value*

$\Delta E(n)$ = perubahan selisih kecepatan sekarang dengan yang sebelumnya

Output PWM pada penelitian ini memiliki rentangan nilai PWM yang digunakan yaitu 0 – 120 PWM, nilai tersebut berdasarkan hasil pengujian fungsional dari Motor DC, PWM < 120 tidak mampu memutar Motor DC dikarenakan kapasitas *power supply* hanya 12V 5A.

2.6. Desain Program Blok Diagram LabVIEW

Diagram blok yang dirancang menggunakan LabVIEW 2020 terdapat pada Gambar 5. Diagram blok program adalah tempat di mana perintah atau fungsi dituliskan dalam bentuk simbol, *node*, dan garis yang mewakili aliran data untuk menjalankan program, termasuk kode dari *frontpanel* [7–10].



Gambar 5. Gambar Program Blok Diagram LabVIEW Alat Peraga FLC

Perancangan program blok diagram dalam eksperimen ini menggunakan "Fuzzy Logic Toolkit" atau desain manual dari program yang telah dibuat dalam LabVIEW. Program ini menyediakan fungsi-fungsi untuk menganalisis, merancang, mensimulasikan, memantau, dan mengontrol *fuzzy logic* pada *real plant* yang akan dirancang[15].

2.7. Pengujian Sistem

Setelah sistem selesai dirancang, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem secara praktis. Pengujian dilakukan di Laboratorium Elektronika Instrumentasi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska.

Proses pengujian mencakup beberapa tahapan yang mencakup pengujian fungsional sensor, pengujian FLC, pengujian performa kecepatan motor terhadap perbedaan jumlah fungsi keanggotaan *input-output* dan aturan, ketepatan nilai T_r , T_d , T_s , T_p , serta pengujian integrasi sistem yang memverifikasi fungsi optimal semua komponen dalam sistem terintegrasi.

Pengujian fungsional sistem sensor dilakukan dengan memberikan nilai PWM pada motor secara bertahap dari 0 hingga 120 PWM. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sensor yang terhubung mampu membaca perubahan dari nilai PWM yang diberikan.

Selanjutnya, pengujian FLC dilakukan dengan menguji keefektifan mendesain algoritma *fuzzy* dalam mengendalikan kecepatan rotasi motor DC. *Respon* sistem diamati saat menyesuaikan *input* berupa *setpoint*, untuk memastikan bahwa algoritma *fuzzy logic* dapat mencapai hasil yang diinginkan dengan akurasi dan stabilitas yang baik, dan melihat tampilan pada fitur *legerline*.

Pengujian performa kecepatan motor dilakukan dengan memvariasikan jumlah fungsi keanggotaan *input-output* dan *rules*. Evaluasi performa keseluruhan sistem mencakup kecepatan motor serta ketepatan nilai T_r , T_d , T_s , T_p , akurasi, dan keandalan dalam mengendalikan kecepatan motor. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi respon sistem terhadap variasi jumlah fungsi keanggotaan dan aturan, serta memperhatikan perbedaan yang dihasilkan dari variasi tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perancangan Perangkat Keras

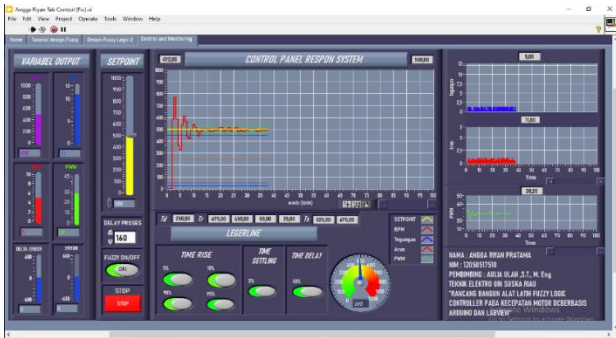
Untuk memudahkan pengguna dalam menggunakan alat praktik sistem kendali *fuzzy logic* menggunakan LabVIEW, OLED diletakkan dekat dengan alat agar pembacaan sensor kecepatan, tegangan, dan arus dapat dilihat tidak hanya di LabVIEW, tetapi juga pada layar OLED langsung. Dan komponen - komponen yang sudah dirancang sesuai rangkaian disusun ke dalam kotak proyek untuk melindungi dari getaran dan percikan air. Berikut adalah hasil desain fisiknya seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Perancangan Perangkat Keras

3.2. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Data pengukuran, respon kecepatan, tegangan arus, *error*, *delta error*, dan *Pulse Width Modulation (PWM)* motor ditampilkan secara *real-time* pada antarmuka pengguna (GUI) LabVIEW, yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gambar Front Panel LabVIEW (GUI) Alat Peraga FLC

Pengembangan dari studi sebelumnya menghasilkan perbaikan dan pembaruan pada antarmuka pengguna atau GUI LabVIEW yang lebih mudah dimengerti dan komprehensif. GUI menyediakan informasi tentang pengukuran nilai RPM, *error*, *delta error*, arus, dan tegangan serta menampilkan garis untuk T_d , T_r , dan T_s . Selain itu, tersedia opsi untuk merancang fungsi keanggotaan dan *rules fuzzy* secara manual atau menggunakan *toolkit* dari aplikasi LabVIEW. juga terdapat kontrol untuk menetapkan nilai *setpoint* RPM, serta kemampuan untuk memantau nilai pengukuran RPM, tegangan, dan arus pada motor DC [1][15][17].

3.3. Pengujian Kemampuan Fungsional Sensor LM393 Optocoupler Speed (Sensor RPM), Arus ACS712-5A, dan Voltager Divider Terhadap Nilai PWM Tanpa Beban

Tabel 1. Data pengukuran Sensor LM393 Optocoupler Speed, Arus ACS712-5A, dan Voltager Divider Terhadap Nilai PWM

D	PWM	Sensor Kecepatan (RPM)	Sensor Tegangan (V)	Sensor Arus (A)	Alat Ukur Multimeter			Error (%)		
					RPM	Volt	Ampere	Sensor Kecepatan (RPM)	Sensor Tegangan (V)	Sensor Arus (A)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	0	0,85	0,78	0	0,92	0,66	0	4,70	18,18
3	20	156	1,2	0,89	160	1,24	0,89	2,50	3,33	0,00
4	30	531	1,62	1,60	530	1,84	1,2	0,18	12,34	33,33
5	40	922	2,56	1,47	920	2,83	1,45	0,21	10,54	1,37
6	50	1289	3,41	1,65	1289	3,7	1,63	0,00	8,50	1,22
7	60	1599	4,19	2,02	1600	4,4	1,84	0,62	5,01	9,78
8	70	1953	4,89	2,17	1950	5,13	1,95	0,15	4,90	11,28
9	80	2226	5,53	2,05	2220	5,65	2,05	0,27	2,16	0,00
10	90	2434	6,12	2,20	2440	6,12	2,18	0,24	0,00	0,91
11	100	2723	6,68	2,29	2729	6,93	2,23	0,21	3,74	2,69
12	110	2925	7,25	2,37	2928	7,18	2,32	0,10	0,96	2,15
13	120	3156	7,65	2,40	3155	7,69	2,33	0,08	0,52	3,00
Rata-rata error								0,35	4,36	6,45

Pengujian fungsi Sensor Kecepatan LM393 *Optocoupler Speed*, sensor Arus ACS712-5A dan sensor *Voltage Divider* dilakukan dengan memberikan nilai PWM dari 0 hingga 120 secara bertahap pada program, untuk mengetahui hasil pembacaan nilai RPM, Arus, dan Tegangan. Rentang putaran motor dan perancangan *fuzzy* akan menggunakan rentangan nilai tersebut [17]. Pengujian kecepatan motor dilakukan pada motor DC tanpa beban.

- D : Data Ke-
- A : Ampere
- V : Volt
- RPM : Revolution Per Minute
- PWM : Pulse Width Modulation

Dari Tabel 1. Dapat dilihat bahwa nilai PWM 20 adalah nilai awal untuk memutar motor DC. Jika PWM yang diberikan kurang dari 20, tegangan motor belum cukup untuk memutar motor DC. Pembacaan RPM motor sudah akurat, dengan nilai pembacaan RPM sesuai dengan PWM yang diberikan. Semakin tinggi nilai PWM, maka motor DC akan berputar dengan kecepatan yang lebih tinggi [18].

Selanjutnya terlihat bahwa pembacaan sensor arus dan tegangan meningkat seiring dengan peningkatan nilai PWM, yang mengakibatkan arus yang terbaca semakin tinggi. Namun, nilai error melebihi 5,00% antara nilai yang diukur oleh alat ukur dan pembacaan sensor arus. Selisih pada sensor tegangan tidak lebih besar dari dari sensor arus, error yang melebihi 5,00% bisa disebabkan karena kabel sensor yang longgar.

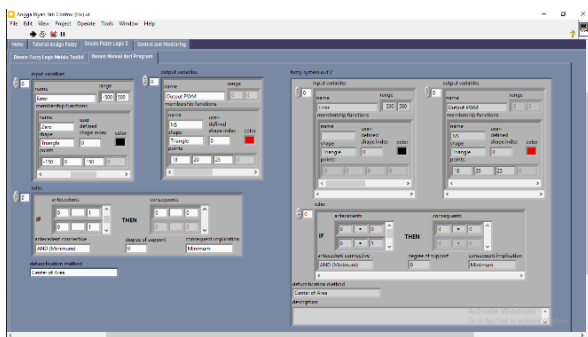
Dan pembacaan sensor arus dan tegang hanya digunakan untuk memonitoring, nilai error yang lebih dari 5,00% tidak mempengaruhi proses kontrol kecepatan motor DC, dikarenakan proses kontrol kecepatan motor hanya membutuhkan input berupa sensor kecepatan dimana error pada sensor ini tidak melebihi dari 1,00%.

3.4. Fitur pada Alat Peraga Fuzzy Logic

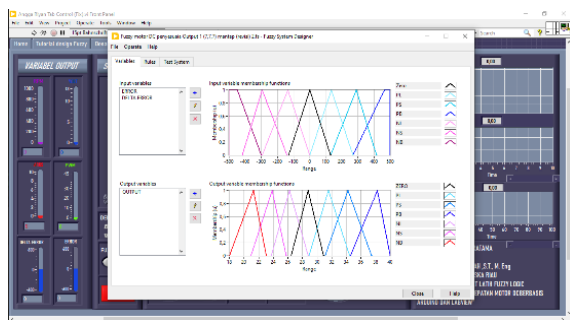
Fitur yang tersedia pada alat peraga ini bertujuan untuk memfasilitasi pengguna dalam merancang sistem *fuzzy* secara manual atau dengan menggunakan *Toolkit fuzzy*, serta memudahkan dalam menganalisis grafik respon sistem berdasarkan waktu Td, Tr, dan Ts.

3.4.1. Fitur Desain Sistem Fuzzy Logic

Sistem *fuzzy* yang akan diimplementasikan dalam sistem dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu dengan desain manual yang langsung diintegrasikan ke dalam sistem atau dengan menggunakan bantuan *Toolkit*, [1][9][15]. Berikut adalah tampilan dari desain sistem *fuzzy logic* pada Gambar 8.



(a)



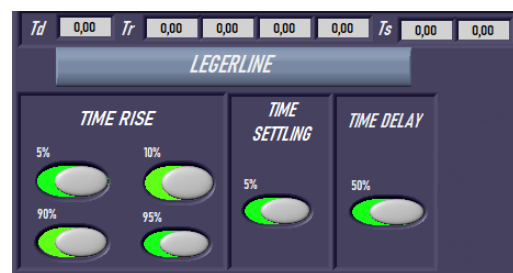
(b)

Gambar 8. (a) Desain Fuzzy Sistem Secara Manual, (b) Desain Fuzzy Sistem Dengan Toolkit Fuzzy

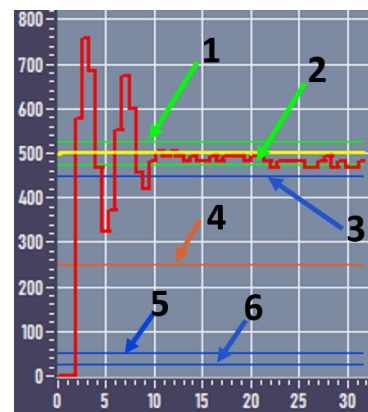
Desain *fuzzy* sistem akan digunakan oleh pengguna untuk merancang sistem *fuzzy* sesuai keinginan pengguna untuk melakukan percobaan pada alat peraga. Ini bertujuan untuk memberikan pemahaman langsung tentang *fuzzy logic* ke *Plant*. Pada Gambar 8 (a) melakukan desain *fuzzy* secara manual sedangkan Gambar 8 (b). Melakukan desain *fuzzy* dengan bantuan *toolkit* aplikasi LabVIEW, pengguna bebas memilih sesuai dengan keinginan dan kenyamanan dalam mendesain *fuzzy* sistem.

3.4.2. Fitur Penambahan Leger Line Td, Tr, Dan Ts Pada Grafik

Penambahan *Legerline* Td, Tr, dan Ts bertujuan untuk memfasilitasi pengguna dalam menganalisis grafik respon sistem yang telah mereka rancang, sehingga mereka dapat memahami apakah *fuzzy* sistem yang mereka rancang sudah mencapai keadaan *steady state* dengan *setpoint* yang diinginkan. Pada Gambar 9(a) dan Gambar 9(b). Adalah contoh tampilan fitur *Legerline* pada alat peraga *fuzzy logic* di LabVIEW.



(a)



(b)

Keterangan:

1. Line Ts toleransi 5% diatas *setpoint*
2. Line Ts toleransi 5% dibawah *setpoint*
3. Line Tr 90% dari *setpoint*
4. Line Td 50% dari *setpoint*
5. Line Td 10% dari *setpoint*
6. Line Tr 5% dari *setpoint*

Gambar 9. (a) Desain Fuzzy Sistem Secara Manual, (b) Desain Fuzzy Sistem Dengan Toolkit Fuzzy

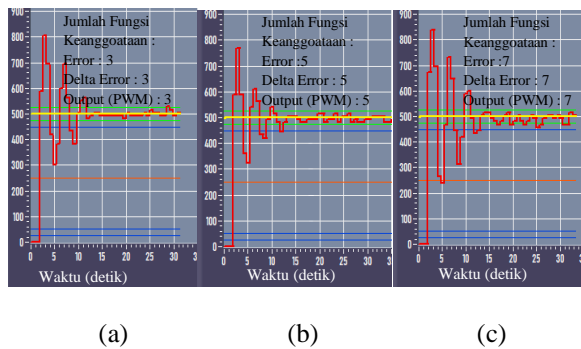
Selain fitur-fitur yang ada, alat peraga ini juga menyediakan *manual book* untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikan alat tersebut. *Manual book* ini dapat diakses melalui tautan URL yang disediakan, sehingga memfasilitasi akses daring yang lebih mudah. Berikut ini adalah tautan untuk mengakses *manual book* alat peraga : https://bit.ly/AlatPeragaFuzzy_UINSuska

3.5. Pengujian Fuzzy Logic Controller Pada Alat Peraga

Pengujian FLC yang telah dirancang pada program blok diagram LabVIEW ini apakah berkerja sesuai dengan sistem fuzzy yang telah di rancang pengguna. Dan dengan bervariasi jumlah fungsi keanggotaan dapat membedakan respon sistem Motor DC dengan bervariasi fungsi keanggotaan dan *rules fuzzy*.

3.5.1. Pengujian Fuzzy Logic Dampak Perubahan Jumlah Fungsi Keanggotaan Input Output Yang Berbeda Pada Motor Dc

Pengujian FLC ini dilakukan dengan 3 percobaan yang berbeda, perbedaan dari 3 percobaan ini adalah dengan jumlah keanggotaan yang berbeda, yaitu dengan jumlah fungsi keanggotaan 2 input dan 1 output yang berjumlah 3, 5 dan 7, dan *rules* yang berbeda pada *setpoint* 500 RPM. Pengujian ini bertujuan untuk menguji apakah alat peraga FLC ini bisa dilakukan percobaan jumlah fungsi keanggotaan yang bervariasi. Berikut *respon* sistem yang akan dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. (a) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 3, (b) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 5, (c) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 7

Dari hasil pengujian pada motor tanpa beban, terlihat bahwa respon motor DC berbeda-beda sesuai dengan jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan yang dapat dilihat pada Tabel 2. Semakin banyak jumlah fungsi keanggotaan, motor cenderung lebih sering berosilasi dalam keadaan *steady state*, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan *steady state* menjadi lebih lama. Hal ini bisa disebabkan oleh banyaknya *rules* dalam sistem fuzzy dan kepadatan masing-masing fungsi keanggotaan yang terlalu rapat, yang mengakibatkan pergeseran antar fungsi keanggotaan.

Dengan bervariasi respon sistem terhadap jumlah fungsi keanggotaan dan *rules* ini dapat dianalisis oleh pengguna untuk memahami sistem fuzzy yang pengguna rancang dengan lebih baik, menggunakan konsep-konsep fuzzy yang telah dipelajari. Hal ini membantu dalam

memperjelas pemahaman tentang fuzzy logic dalam aplikasi nyata.

Tabel 2. Parameter Output Motor Dc Terhadap Jumlah Keanggotaan Fuzzy

D	Jumlah Fungsi Keanggotaan			Jumlah rules	Parameter			
	Input		Output		Td	Tr	Tp	Ts
	Error	Delta Error	PWM					
1	3	3	3	9	0,5	0,5	2,6	12
2	5	5	5	25	0,5	0,5	2,5	13
3	7	7	7	49	0,5	0,5	2,5	16

D : Data Ke-

Td : Time Delay, waktu yang dibutuhkan output untuk mencapai 50%

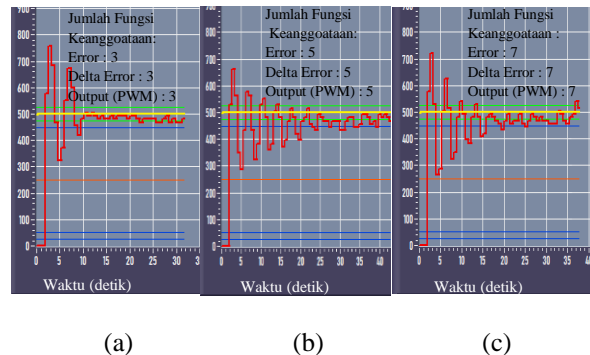
Tr : Time Rise, waktu yang dibutuhkan output dari motor menyala hingga mencapai *setpoint*

Tp : Time Peak, waktu yang dibutuhkan output pertama kali mencapai nilai maksimum

Ts : Time Settling, waktu yang dibutuhkan respon telah masuk 5 % dalam keadaan *steady state*

3.5.2. Pengujian Fuzzy Logic Dampak Perubahan Jumlah Fungsi Keanggotaan Input Output yang berbeda Pada Motor DC Berbeban

Pengujian FLC dilakukan melalui tiga percobaan yang berbeda. Tiap percobaan menggunakan jumlah fungsi keanggotaan yang berbeda, yaitu berjumlah 3, 5, dan 7 untuk dua input dan satu output yang berbeda pada *setpoint* 500 RPM. Namun, dalam pengujian ini, juga ada pergeseran fungsi keanggotaan output fuzzy logic dari sistem yang dirancang. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan dengan kecepatan motor DC yang diberikan beban, sehingga respon motor bisa mencapai *setpoint* yang diinginkan tanpa memperbesar selisih respon motor DC dari *setpoint*. Respon sistem yang diamati dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. (a) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 3, (b) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 5, (c) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 7

Tabel 3. Parameter Output Motor Dc Berbeban Terhadap Jumlah Keanggotaan Fuzzy

D	Jumlah Fungsi Keanggotaan			Jumlah rules	Parameter			
	Input	Output	Delta Error		Td	Tr	Tp	Ts
	Error	PWM						
1	3	3	3	9	0,5	0,5	2,6	10
2	5	5	5	25	0,5	0,5	2,5	25
3	7	7	7	49	0,5	0,5	2,5	20

D : Data Ke-

Td : Time Delay, waktu yang dibutuhkan output untuk mencapai 50%

Tr : Time Rise, waktu yang dibutuhkan output dari motor menyala hingga mencapai setpoint

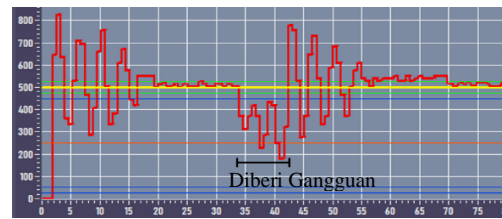
Tp : Time Peak, waktu yang dibutuhkan output pertama kali mencapai nilai maksimum

Ts : Time Settling, waktu yang dibutuhkan respon telah masuk 5 % dalam keadaan steady state

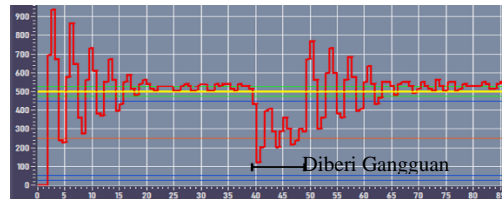
Dari hasil pengujian, teramati bahwa respon motor DC berubah-ubah sesuai dengan jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan yang dapat dilihat pada Tabel 3. Semakin banyak fungsi keanggotaan, maka dalam kondisi steady state, respon cenderung lebih berosilasi, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi steady state menjadi lebih lama. Terdapat lebih banyak osilasi dan waktu yang lebih lama untuk mencapai kondisi steady state pada jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 5, yang mungkin disebabkan oleh jumlah rules dalam sistem fuzzy dan kepadatan masing – masing fungsi keanggotaan yang mengakibatkan pergeseran ke fungsi keanggotaan lainnya. Dengan bervariasi respon sistem terhadap jumlah fungsi keanggotaan dan aturan pada pengujian berbeban ini memungkinkan mahasiswa untuk menganalisis sistem fuzzy yang mahasiswa rancang, dengan memanfaatkan konsep – konsep fuzzy yang telah dipelajari, serta membantu memperjelas pemahaman tentang fuzzy logic dalam penerapan pada aplikasi nyata.

3.5.3. Pengujian Fuzzy Logic Dampak Perubahan Jumlah Fungsi Keanggotaan Input Output yang berbeda Pada Motor DC Ketika Diberi Gangguan.

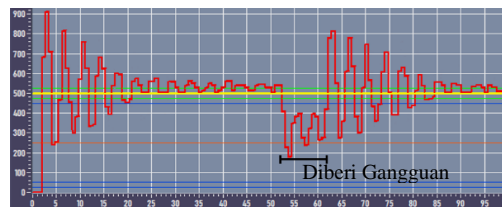
Pengujian FLC dilakukan melalui tiga percobaan yang berbeda. Tiap percobaan menggunakan jumlah fungsi keanggotaan yang berbeda, yaitu berjumlah 3, 5, dan 7 untuk dua input dan satu output, serta rules yang berbeda pada setpoint 500 RPM. Dalam pengujian ini, motor DC akan diberi gangguan setelah mencapai setpoint. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengamati apakah FLC pada motor DC mampu mengembalikan kecepatan motor ke setpoint semula. Respon sistem yang diamati dapat dilihat pada Gambar 12.



(a)



(b)



(c)

Gambar 12. (a) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 3, (b) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 5, (c) Fungsi Keanggotaan Input Output berjumlah 7

Pada pengujian yang melibatkan pemberian gangguan, sesudah diberikan gangguan FLC mampu mengendalikan motor DC yang terganggu saat beroperasi, dengan jumlah fungsi keanggotaan yang bervariasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12, ketika kecepatan motor mencapai setpoint dan kemudian diberikan gangguan secara tiba-tiba, FLC mampu mengembalikan kecepatan motor ke setpoint yang telah ditentukan. Keberhasilan ini tercapai pada berbagai variasi jumlah fungsi keanggotaan yang telah diuji.

3.6. Evaluasi Usability Alat Peraga FLC

Evaluasi usability adalah proses sistematis yang digunakan untuk menilai hasil rancangan agar mencapai tujuan efektif, efisien, dan memuaskan. Dalam hal ini, sistem diuji untuk alat peraga/pembelajaran dalam mata kuliah sistem kendali cerdas, dengan tujuan menerapkan FLC dalam kehidupan nyata. Evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan data dari mahasiswa yang pernah mempelajari FLC dan mengambil mata kuliah sistem kendali cerdas, melalui pengisian kuesioner tentang media peraga/pembelajaran FLC.

Kuesioner ini diberikan kepada 15 mahasiswa yang merupakan sampel representatif dari mereka yang pernah mempelajari FLC dan mengambil mata kuliah sistem kendali cerdas pada program studi Teknik Elektro, pemilihan 15 responden dilakukan karena angka tersebut cukup representatif untuk mewakili populasi mahasiswa yang homogen.

Penilaian menggunakan skala yang terdiri dari lima kategori, yaitu sangat baik (SB) = 5, baik (B) = 4, cukup (C) = 3, kurang (K) = 2, dan sangat kurang (SK) = 1, dengan karakteristik soal yang digunakan memiliki skala penilaiannya yang sama, dan berjumlah 16 pertanyaan, hasil dari kuesioner dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Usability Alat Peraga FLC

No	Aspek yang dinilai	Nilai (%)
1	Sebagian besar PC/Laptop yang digunakan mahasiswa kompatibel dengan aplikasi antarmuka LabVIEW	98
2	Pengguna merasa pemilihan desain, warna, dan layout pada antarmuka memiliki kualitas yang bagus sehingga mudah dipahami dan menyerupai tampilan HMI yang biasa digunakan dalam Industri	86
3	Fitur-fitur atau fungsi-fungsi yang pada antarmuka mudah dimengerti.	95
4	Pengguna dapat memodifikasi dan menghentikan setiap aktivitas yang terjadi pada antarmuka.	95
5	Fitur desain sistem fuzzy logic (meliputi desain fungsi keanggotaan dan) pada antarmuka mudah dimengerti dan digunakan	88
6	Pengguna dapat mengubah data pada grafik dalam bentuk excel untuk dianalisa lebih lanjut	98
7	Setiap tombol yang ditekan pada antarmuka mampu merespon dalam waktu yang cepat	91
8	Pengguna merasa grafik respon sistem yang ditampilkan memiliki nyaman untuk dipandang	98
9	Motor DC mampu berputar pada kecepatan maksimal tanpa mengalami overheating	88
10	Kotak alat terbuat dari bahan kayu yang ringan sehingga mudah dibawa.	88
11	LED memudahkan pengguna untuk mengetahui kondisi alat sebelum dan sedang beroperasi	100
12	Data yang dapat ditampilkan pada OLED Display mudah dimengerti	98
13	Pengguna dapat dengan mudah membuka/memasang project box jika terjadi kesalahan sistem.	86
14	Pengguna dapat dengan mudah memberikan gangguan pada sistem menggunakan beban yang telah disediakan.	96
15	Buku panduan penggunaan alat rancang bangun mudah dimengerti	80
16	Pengguna merasa dengan rancang bangun alat peraga fuzzy logic controller pada kecepatan motor DC berbeban berbasis LabVIEW dan arduino ini mampu meningkatkan kompetensi mahasiswa khususnya dalam pemahaman fuzzy logic controller	93
Rata rata		92,37

Dari Tabel 4. Dapat dilihat hasil yang didapatkan rata – rata responden memberikan penilaian yang tinggi untuk alat yang telah dirancang, nilai rata - rata keseluruhan evaluasi usability bernilai 92,37%, dan disimpulkan bahwa alat ini dapat digunakan untuk alat peraga yang akan digunakan mahasiswa dalam mempelajari FLC dengan menkombinasikan pembelajaran simulasi dan pembelajaran secara langsung.

4. Kesimpulan

Alat peraga ini menyediakan pendekatan pembelajaran praktis yang efektif, memungkinkan pengguna untuk berinteraksi langsung dengan konsep *fuzzy logic* dan kontrol *real-time*. Fitur yang tersedia berupa desain sistem *fuzzy*, penambahan garis *legerline* untuk mempermudah dalam merancang *fuzzy* sistem, serta hasil pengujian pengendalian memungkinkan pengguna merancang sistem *fuzzy* sesuai dengan teori yang dipelajari.

Tersedianya fitur desain *fuzzy* sistem, fitur menampilkan grafik *legerline* T_d , T_r , dan T_s untuk mempermudah analisis respon sistem motor DC, dan tampilan GUI LabVIEW yang mempermudah pengguna dalam mengamati perbedaan respon sistem dengan lebih jelas dari sistem *fuzzy* yang telah dirancang. Serta pengujian FLC langsung pada motor DC dilakukan dengan memvariasikan jumlah fungsi keanggotaan berjumlah 3, 5, dan 7 untuk input dan output sistem, serta menggunakan rules yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan respon motor DC dalam keadaan tanpa beban dan berbeban. Jumlah fungsi keanggotaan dan rules yang lebih banyak cenderung menghasilkan osilasi lebih banyak dan waktu lebih lama untuk mencapai keadaan *steady state*. Dan pada pengujian dengan gangguan, sistem *fuzzy* dapat mengembalikan kecepatan motor ke *setpoint* setelah motor diberi gangguan.

Alat ini mampu menjalankan fitur – fitur yang tersedia dengan baik setelah dilakukan uji coba. Dan pengujian evaluasi *usability* langsung melibatkan mahasiswa/i yang telah menggunakan alat peraga FLC ini dengan tingkat kepuasan rata – rata pengguna adalah 92,37%. Alat peraga FLC ini dapat digunakan oleh mahasiswa untuk mempelajari FLC dengan mengombinasikan pembelajaran simulasi dan pembelajaran langsung.

Referensi

- [1]. A. Riza Maulana, “Desain Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Dc Pada Rancang Bangun Mini Konveyor Berbasis Fuzzy Logic Controller Endryansyah,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 3, hlm. 225–233, 2018, Diakses: 28 April 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/25093/22984>
- [2]. Q. Hidayati dan E. Prasetyo, “Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Fuzzy-PID.” *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 4, no. 1, hlm.12–17, 2016, doi: 10.32487/jtt.v4i1.123
- [3]. H. Prabowo dan F. Arifin, “Pengembangan Media Pembelajaran Kendali Fuzzy Logic Berbasis Arduino Nano Pada Mata Kuliah Praktik Sistem Kendali Cerdas,” *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 3, no. 1, hlm. 39–45, Jul 2018, doi: 10.21831/elinvo.v3i1.19739.

- [4]. S. J. Sokop, D. J. Mamahit, dan S. R. U. A. Sompie, "Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Journal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 5, no. 3, 2016, doi: <https://doi.org/10.35793/jtek.v5i3.11999>.
- [5]. A. Aziz dan H. Akmaludin, "Modul Latih Pid Pada Putaran Motor Dc," 2021. Diakses: 28 April 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/1101/1/PembukaISI_penutup.pdf
- [6]. M. Lutfi dan A. Kristanto, "Trainer Fuzzy Sebagai Sarana Praktikum Mahasiswa," *Jurnal Transformasi (Informasi & Pengembangan Iptek)*, vol. 18 No.1, hlm. 86–99, 2022, doi: 10.56357/jt.v18i1.307.
- [7]. N. R. Wibowo, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Sistem Kendali Menggunakan Labview," *JST (Jurnal Sains Terapan)*, vol. 6, no. 2, Sep 2020, doi: 10.32487/jst.v6i2.775.
- [8]. H. Khoirunnisa, F. Suryatini, A. S. Sunarya, A. F. Rifai, A. Mulyadewi, dan S. D. Prasenda, "Rancang Bangun Fuzzy-PID Controller pada Ball Balancing Tabel dengan Universal Joint berbasis NI MyRIO dan LabVIEW," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 4, hlm. 1089, Okt 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i4.1089.
- [9]. N. O. Dewi dan P. W. Rusimamto, "Perancangan Sistem Keseimbangan Ball And Beam Menggunakan Perangkat Lunak Labview Berbasis Fuzzy Logic Controller," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 08, hlm. 249–257, 2019, [Daring]. Tersedia pada: www.generationrobots.com
- [10]. A. I. Soehartono dan B. Suprianto, "Sistem Kontrol Mini Lift Barang Menggunakan Fuzzy Logic controller sebagai pengendali kecepatan motor dc berbasis labview," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, hlm. 203–211, 2020, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v9n1.p%25p>.
- [11]. Nugroho Terry Intan, B. Sujanarko, dan W. Hadi, "Kontrol Kecepatan Motor DC Berbasis Logika Fuzzy," hlm. 1–6, 2014.
- [12]. Rizky Naufal Farid, Saiful Karim, dan Gusti Eddy Wira Pratama, "Studi Penerapan Fuzzy Logic Pada Pengaturan Kecepatan Motor Dc Menggunakan Arduino Uno At 328," *Jurnal EEICT*, vol. 12, no. 1, hlm. 33–43, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.31602/eeict.v2i1.2352>.
- [13]. Rahmat dan Wiyono, "Rancang Bangun Alat Peraga Pembelajaran Kendali Cerdas Dengan Mikrokontroler AVR," *Jurnal Teknika*, vol. 7, hlm. 62–72, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.sttw.ac.id/index.php/jte>
- [14]. R. Maulidda, S. Muslimin, dan H. Ami, "Penerapan Pembelajaran Logika Fuzzy pada Robot Penghinder Rintangan," *Jurnal JUPITER*, vol. 14, no. 1, hlm. 106–115, 2022, doi: 10.5281./4657/5.jupiter.2022.04.
- [15]. Sabar Triyani dan ST. MT Sumantri K.Risandriya, "Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Fuzzy Setting Point pada Labview," *JOURNAL OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING*, vol. 2, No 1, hlm. 6–11, 2018, doi: 10.30871/jaee.v2i1.1076.
- [16]. I. Nawawi dan B. Fatkhurrozi, "Studi Komparasi Kendali Motor Dc Dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani Dan Sugeno," vol. 2, no. 2, hlm. 35–43, 2016.
- [17]. R. Pratiwi, A. Waris, dan S. Salengke, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor Dc Berbasis Logika Fuzzy Untuk Mesin Pengaduk Hasil Pertanian (Studi Kasus Pengadukan Biji Kedelai)," *Jurnal Agritechno*, hlm. 44–55, Mei 2019, doi: 10.20956/at.v12i1.185.
- [18]. T. Suhendra, A. Uperiati, D. A. Purnamasari, dan A. H. Yudianto, "Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode Pulse Width Modulation Menggunakan N-channel Mosfet," vol. 07, no. 02, hlm. 78–85, 2018, doi: 10.31629/sustainable.v7i2.701.