



Sistem Kontrol Motor DC Pada Conveyor dengan metode Fuzzy Logic

Laporan Tugas Akhir

**Oleh:
Wahyu Ramadhan (4211801050)**

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Lembar Pengesahan

Laporan Tugas Akhir disusun untuk digunakan sebagai rencana kerja pada pelaksanaan Tugas Akhir


Disusun oleh:
Wahyu Ramadhan (4211801050)

Tanggal Sidang: 16 Juli, 2025

Disetujui oleh :



1. Ridwan, S.Tr.T, M.Tr.T.
NIK: 113113



1. Diono, S.Tr.T., M.Sc.
NIK: 120243



2. Muhammad Naufal Airlangga Diputra, S.Pd. M.P.H
NIK: 122281

[Sistem Kontrol Motor DC pada *Conveyor* dengan metode *Fuzzy Logic*]

Abstrak

Perkembangan sistem otomasi di industri mengharuskan penggunaan sistem kontrol yang efisien dan presisi, terutama pada mesin konveyor yang mendukung kelancaran proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol kecepatan motor DC berbasis metode fuzzy logic yang dapat mengatur kecepatan motor secara otomatis berdasarkan jarak objek pada konveyor. Metode yang digunakan adalah pengendalian *fuzzy logic* yang mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler Arduino, dan PLC OMRON CP1E – NA20DR – A. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa pengendalian menggunakan *fuzzy logic* dapat meningkatkan responsivitas dan kestabilan sistem kontrol kecepatan motor dibandingkan dengan metode kontrol tradisional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat mengatur kecepatan motor dengan akurasi tinggi, dengan error rata – rata sebesar 3.34%, dan respons sistem yang cepat dalam mengatur kecepatan motor berdasarkan jarak objek. Penggunaan metode *fuzzy logic* pada PLC OMRON terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional mesin konveyor dan stabilitas pengaturan kecepatan motor dalam berbagai kondisi.

Kata kunci: Fuzzy Logic, Arduino, PLC OMRON, Sensor Ultrasonik, kecepatan Motor DC, pengendalian otomatis

[DC Motor Control System on Conveyor using Fuzzy Logic Method]

Abstract

The development of automation systems in industry, demand the use of efficient and precise control systems, especially in conveyor machines that support smooth production processes. This study aims to design and implement a DC motor speed control system based on the fuzzy logic method, which can automatically adjust the motor speed based on the distance of objects on the conveyor. The method used is fuzzy logic control, integrating the HC-SR04 ultrasonic sensor, Arduino microcontroller, and OMRON CP1E-NA20DR-A PLC. The hypothesis proposed is that controlling using fuzzy logic can improve the responsiveness and stability of the speed control system compared to traditional control methods. The results of the study show that the designed system can regulate the motor speed with high accuracy, with an average error of 3.34%, and the system responds quickly in adjusting motor speed based on object distance. The use of fuzzy logic on the OMRON PLC proves to be effective in enhancing the operational efficiency of the conveyor machine and the stability of motor speed regulation under various conditions.

Keywords: Fuzzy Logic, Arduino, OMRON PLC, Ultrasonic Sensor, DC Motor Speed Control, Automated Control

Daftar Isi

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	ii
<i>Abstract</i>	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan penelitian	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1 Motor DC	4
2.2. Programmable Logic Controller (PLC)	5
2.3. Pemograman PLC	6
2.4 PLC OMRON CP1E-NA20DR-A	6
2.5 Sensor Ultrasonik HC-SR04	7
2.6 <i>Arduino Uno</i>	8
2.7 Penerapan Fuzzy Logic dalam sistem kontrol motor DC	9
2.8 Himpunan <i>Fuzzy Logic Controller</i>	10
Bab 3. Metodologi Penelitian	12
3.1. Perancangan	12
3.1.1. Perancangan Elektrikal Mesin	15
3.1.2. Perancangan Program Arduino Dan PLC	16
3.2. Alat dan Bahan	26

3.3. Pengujian.....	26
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	28
4.1 Hasil pengukuran kecepatan motor	28
4.2 Evaluasi kuantitatif.....	30
4.3 Analisis per kasus pengujian	31
4.4 Analisis respons waktu dan kestabilan sistem	32
4.5 Uji Validitas dan Reliabilitas Pengukuran	33
4.6 Pembahasan dari hasil pengukuran.	34
BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....	35
5.1 kesimpulan	35
5.1.1 Sistem kontrol kecepatan motor DC.....	35
4.1.2 Integrasi Komponen sistem	35
4.1.3 Analisa dari hasil pengujian	35
4.2 Saran	36
Daftar Pustaka	37
Biodata	38
Lampiran	39

Daftar Gambar

Gambar 1. Konstruksi motor DC.....	4
Gambar 2. PLC Omron CP1E-NA20DR-A.....	7
Gambar 3. Sensor Ultrasonik.....	8
Gambar 4. Arduino UNO	8
Gambar 5. Diagram Alir Proses perancangan.....	12
Gambar 6. Gambar fisik dari mesin	13
Gambar 7. 3D Design conveyor	14
Gambar 8. Wiring input.....	15
Gambar 9. Wiring Output.....	16
Gambar 10. Grafik Rule Fuzzy	19
Gambar 11. Arduino IDE.....	20
Gambar 12. Program Arduino	21
Gambar 13. Deklarasi Variabel	21
Gambar 14. Fungsi Setup	21
Gambar 15. Fungsi Loop.....	22
Gambar 16. Pemetaan jarak ke output PWM	22
Gambar 17. Penundaan.....	22
Gambar 18. CX - Programmer	23
Gambar 19. Pembacaan data sensor.....	23
Gambar 20. Pengolahan SCL	24
Gambar 21. <i>Fuzzyfication</i>	25
Gambar 22. Kontrol Output	25
Gambar 23. Diagram alir Pengujian.....	27
Gambar 24. Diagram Pembacaan.....	28
Gambar 25. Diagram Perbandingan	29
Gambar 26. Wiring Diagram.....	39
Gambar 27. Program Arduino	40
Gambar 28. Model 3D dari mesin konveyor.....	42
Gambar 29. Grafik Perbandingan Data	42

Daftar Tabel

Tabel 1. <i>Rule Fuzzy</i>	18
Tabel 2. Alat Dan bahan	26
Table 3. hasil pengukuran realtime	28
Tabel 4. Perbandingan data terhitung dan terukur	29
Tabel 5. Validasi pengulangan RPM	33
Tabel 6. Hasil validasi pengukuran	33
tabel 7. Daftar Lampiran	39
tabel 8. penjelasan setiap bagian	40
tabel 9. Hasil Pengujian	41

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomasi dalam industri manufaktur dan distribusi telah meningkatkan kebutuhan akan sistem pengendalian yang efisien dan presisi, khususnya pada mesin konveyor. Mesin konveyor berfungsi untuk memindahkan barang atau material secara otomatis dari satu titik ke titik lainnya dalam proses produksi atau distribusi. Dengan penggunaan mesin konveyor yang luas, efisiensi operasional dan pengurangan biaya tenaga kerja menjadi sangat penting. Penggunaan motor DC pada mesin konveyor menjadi pilihan utama karena kemudahan dalam pengaturan kecepatan dan torsi, yang sangat penting dalam aplikasi otomasi industri.

Meskipun telah ada berbagai sistem kontrol yang dikembangkan, seperti kontrol PID (proportional – integral – Derivative) atau kontrol ON – OFF, banyak di antaranya yang tidak dapat menangani ketidakpastian data sensor dan perubahan kondisi lingkungan secara efisien. Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode fuzzy logic pada sistem kontrol motor DC untuk konveyor, yang menunjukkan peningkatan dalam hal stabilitas dan responsivitas sistem terhadap perubahan jarak objek.

Penggunaan kontrol logika *fuzzy* dalam pengaturan kecepatan motor DC dinilai lebih efektif dibandingkan metode PIC konvensional, karena tidak memerlukan model matematis yang kompleks serta mampu menyesuaikan terhadap kondisi sistem yang bersifat non – linier. Pendekatan *fuzzy* bekerja berdasarkan aturan berbasis pengalaman operator, sehingga lebih fleksibel dalam merespons perubahan beban dan kondisi lingkungan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengontrol *fuzzy* memberikan respon sistem yang lebih cepat dan stabil, serta tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan pengontrol PID [1].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol kecepatan motor DC pada mesin konveyor menggunakan metode fuzzy logic?
2. Bagaimana mengimplementasikan sensor ultrasonik HC – SR04, Arduino, dan PLC OMRON CP1E-NA20DR-A untuk mengatur kecepatan motor DC secara otomatis berdasarkan jarak objek yang terdeteksi di mesin konveyor?
3. Bagaimana hasil analisa dari implementasi *fuzzy logic* pada mesin konveyor?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem kontrol kecepatan motor DC berbasis metode *fuzzy logic* yang dapat mengatur kecepatan motor pada mesin konveyor secara otomatis.
2. Mengintegrasikan sensor *HC-SR04*, *Arduino*, dan *PLC OMRON CP1E-NA20DR-A* untuk memproses data jarak objek dan mengontrol kecepatan motor DC.
3. Menganalisa implementasi *fuzzy logic* pada mesin konveyor.

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat praktis: Menjadi referensi bagi pengembangan sistem kontrol kecepatan motor DC berbasis *fuzzy logic*, khususnya dalam aplikasi mesin konveyor industri.
2. Manfaat teoritis: Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi kontrol cerdas dalam sistem otomatisasi industri, khususnya dalam pengendalian motor konveyor.
3. Manfaat ilmiah: Meningkatkan pemahaman tentang penggunaan *fuzzy logic* dalam kontrol motor dan integrasi perangkat keras serta perangkat lunak dalam sistem otomatisasi industri.

1.5. Batasan penelitian

Agar penelitian ini terfokus dan terarah, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem hanya menggunakan motor *DC* sebagai aktuator utama.
2. Pengontrol utama yang digunakan adalah *PLC OMRON CP1E-NA20DR-A*.
3. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi objek adalah sensor ultrasonik *HC-SR04*.
4. Metode kontrol yang digunakan adalah *fuzzy logic*.
4. Implementasi sistem dilakukan dalam skala laboratorium atau simulasi.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

Mesin konveyor adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk mengangkut material atau barang dari satu titik ke titik lainnya dalam proses produksi atau distribusi. Mesin ini sangat penting dalam industri manufaktur, logistik, dan penyimpanan, karena dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia. Ada berbagai jenis konveyor, seperti konveyor sabuk, konveyor roda gigi, dan konveyor roller, yang dipilih berdasarkan jenis barang yang diangkut dan kecepatan pengangkutan yang diinginkan.

Salah satu komponen utama dalam mesin konveyor adalah motor listrik, khususnya motor DC (*direct current*), yang memiliki keunggulan dalam pengaturan kecepatan yang lebih mudah dan responsif. Motor DC memungkinkan kontrol kecepatan yang lebih akurat dan efisien dibandingkan motor AC (*Alternating Current*), sehingga cocok untuk aplikasi otomatisasi industri. Motor DC umumnya diatur menggunakan teknik seperti *PWM (pulse width modulation)* untuk mengontrol kecepatan dan torsi.

Keuntungan mesin Konveyor dengan motor DC:

- a. Kontrol kecepatan yang halus: motor DC dapat dengan mudah mengubah kecepatan dan torsi lebih responsif.
- b. Pengaturan otomatis: dapat diatur untuk beroperasi secara otomatis sesuai kebutuhan produksi.
- c. Meningkatkan efisiensi: dengan pengaturan yang lebih baik, mesin konveyor dapat mengurangi pemborosan waktu dan tenaga.

Mesin konveyor bekerja dengan bantuan motor listrik yang berfungsi untuk menggerakkan sabuk atau roda gigi. Dalam sistem otomatisasi, pengendalian kecepatan motor menjadi faktor krusial agar proses pemindahan material berjalan lancar sesuai dengan kebutuhan produksi. Salah satu motor yang banyak digunakan adalah motor DC (*direct current*), yang memiliki karakteristik kemudahan dalam pengendalian kecepatan dan torsi.

PLC akan menerima input berupa jarak dari sensor ultrasonik, yang digunakan untuk mengatur kecepatan Motor DC. Kecepatan Motor DC akan bervariasi berdasarkan jarak antara benda dan motor. Jika jarak benda jauh, motor akan berputar lebih cepat, sedangkan jika jaraknya dekat, motor akan berhenti. Jika jaraknya berada pada nilai menengah, kecepatan motor akan disesuaikan.

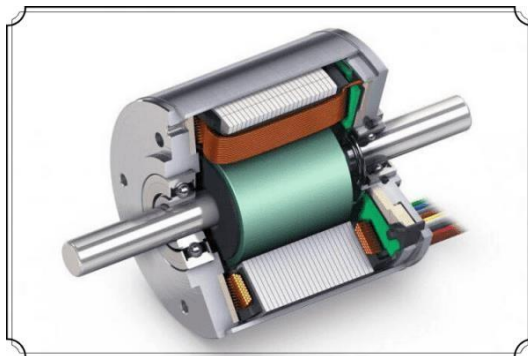
Untuk menangani nilai jarak yang berada antara nilai minimum dan maksimum, diperlukan metode Fuzzy logic dalam sistem kontrol. Penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji penerapan Fuzzy Logic untuk pengendalian motor DC, terutama pada sistem konveyor. Penelitian sebelumnya juga banyak membuktikan kalau sistem *fuzzy* bisa di pakai secara efektif untuk kontrol kecepatan motor.

Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem pengontrol kecepatan motor DC berbasis logika *fuzzy*. Dalam sistem ini, kontrol dilakukan dengan menggunakan aturan *fuzzy* yang diatur berdasarkan kesalahan kecepatan motor dan perubahan kesalahan tersebut. Hasil simulasi yang dilakukan dengan *MATLAB/SIMULINK* menunjukkan bahwa pengontrol logika *fuzzy* ini mampu memberikan waktu respons yang lebih cepat, tanpa overshoot, dan kesalahan *ready – state* yang lebih rendah [2].

Dan ada juga penelitian sebelumnya yang membahas desain dan implementasi pengontrol *fuzzy* untuk mengatur kecepatan motor DC. Sistem kontrol *fuzzy* dirancang menggunakan fungsi keanggotaan dan aturan berbasis pengetahuan praktis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengontrol *fuzzy* memberikan kinerja yang lebih baik dalam hal waktu respon dan kestabilan sistem dibandingkan dengan pengontrol PID konvensional [3].

2.1 Motor DC

Motor *DC* (*Direct Current*) merupakan jenis motor listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi gerak putar. Motor ini banyak digunakan dalam sistem otomatisasi industri karena kemudahan dalam pengendalian kecepatannya. Kecepatan motor *DC* dapat dikontrol melalui perubahan tegangan atau menggunakan sinyal *PWM* (*Pulse Width Modulation*). Motor ini juga memiliki karakteristik torsi awal yang besar, sehingga cocok untuk aplikasi seperti sistem *conveyor*.



Gambar 1. Konstruksi motor DC

Motor DC terdiri dari beberapa bagian utama, diantaranya:

- a. Kutub Medan. Motor DC sederhana memiliki 2 kutub medan yaitu kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetic energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih electromagnet.

- b. Kumputan Motor DC. Bila arus masuk menuju suatu kumparan, maka arus ini akan menjadi electromagnet. Dengan memanfaatkan Kumputan motor DC yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, kumparan motor DC berputar dalam medan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan kumparan motor DC.
- c. Komutator Motor DC. Komponen ini sering ditemukan pada motor DC. Kegunaannya adalah untuk mengembalikan arah arus listrik dalam kumparan motor DC dan juga membantu dalam transmisi arus antara kumparan motor DC dan sumber daya.

Motor DC digunakan untuk menggerakkan sabuk konveyor. Pengaturan kecepatan motor DC sangat penting dalam proses pengangkutan barang, karena kecepatan yang tidak sesuai dapat mengganggu proses produksi dan distribusi.

Motor DC memiliki berbagai jenis, termasuk:

- a. Motor DC seri: memiliki torsi tinggi pada kecepatan rendah, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan torsi besar pada saat startup.
- b. Motor DC Shunt: memberikan kecepatan yang relatif konstan dan banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kecepatan yang stabil.
- c. Motor DC komutator terpisah: memiliki kecepatan yang lebih stabil, tetapi lebih mahal dan lebih kompleks

2.2. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC (Programmable Logic Controller) adalah perangkat kontrol berbasis komputer yang digunakan untuk mengatur operasi mesin dan proses otomatis. PLC berfungsi untuk menerima input dari berbagai sensor dan memberikan output ke aktuator berdasarkan logika yang diprogramkan. PLC menjadi pilihan utama dalam aplikasi industri karena kemampuannya untuk menangani banyak input dan output (I/O) serta fleksibilitas dalam pemrograman.

Model OMRON CP1E-NA20DR-A yang digunakan dalam penelitian ini, adalah salah satu model PLC yang banyak digunakan dalam industri otomasi. PLC ini menawarkan kemampuan input analog yang memungkinkan kontrol yang lebih presisi, yang sangat penting dalam aplikasi konveyor yang membutuhkan penyesuaian kecepatan motor yang akurat. PLC ini juga dilengkapi dengan antarmuka pengguna yang memudahkan pemrograman dan pengaturan sistem secara efisien.

PLC digunakan dalam berbagai sistem otomasi untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem, serta memungkinkan pengendalian yang lebih tepat dan adaptif terhadap berbagai perubahan kondisi operasional.

2.3. Pemrograman PLC

Pada PLC terdapat beberapa Bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk melakukan suatu pekerjaan. Berikut adalah beberapa Bahasa pemrograman yang ada di PLC:

1. Bahasa tekstural

Bahasa pemrograman tekstural adalah Bahasa yang berbentuk teks dan terdiri dari perintah yang harus diketahui oleh semua pengguna untuk membuat program. Pada umumnya pemrograman tekstural dapat dibagi jadi 2 diantaranya:

- a. *Structured text*
- b. *Instruction List*

2. Bahasa Grafis/Visual

Terdapat tiga bagian dari Bahasa pemrograman berbentuk grafis/visual, seperti :

a. *Functional Block Diagram*

Diagram Blok Fungsi adalah cara sederhana pemrograman PLC Dimana ada "Blok Fungsi" tersedia dalam perangkat lunak pemrograman.

b. *Sequential Function Chart*

Sequential Function Chart, di sisi lain, berupa grafik yang mewakili masing – masing fungsi dalam sistem kontrol PLC secara berurutan. Bagan *Sequential Function* adalah representasi visual dari operasi sistem untuk menampilkan urutan Tindakan yang terlibat dalam operasi.

c. *Ladder diagram*

Ladder diagram adalah jenis pemrograman yang paling umum dipakai pada PLC, hal ini dikarenakan pemrograman ini lebih mudah di pahami sehingga penggunaan dan pengaplikasiannya bisa lebih mudah.

2.4 PLC OMRON CP1E-NA20DR-A

PLC OMRON CP1E – NA20DR-A adalah salah satu model dari seri CP1E yang dirancang untuk aplikasi otomasi industri skala kecil hingga menengah. PLC ini memiliki beberapa keunggulan dalam hal fleksibilitas dan kemampuan untuk menangani berbagai jenis input dan output, termasuk input analog. Fitur input analog memungkinkan PLC ini untuk menerima sinyal Kontinu dari berbagai sensor, seperti suhu, tekanan, atau level cairan, yang kemudian dapat di proses untuk kontrol yang lebih presisi. Keunggulan utama dari OMRON CP1E – NA20DR-A adalah:

- a. Kemampuan input analog ,dengan adanya input analog, PLC ini dapat mengolah data dari sensor yang menghasilkan sinyal kontinu, memungkinkan kontrol yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi di lapangan.

- b. Compact dan efisien, desain yang Compact membuatnya ideal untuk ruang terbatas, sementara efisiensi dalam pemrograman dan operasional mengurangi biaya dan waktu implementasi.
- c. Kompatibilitas dengan CX – Programmer, PLC ini dapat diprogram menggunakan perangkat lunak CX – Programmer dari OMRON, yang menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif dan berbagai fitur untuk mempermudah proses pengembangan aplikasi otomasi.
- d. Dukungan dan dokumentasi lengkap, OMRON menyediakan dokumentasi teknis yang lengkap dan dukungan purna jual yang baik, memastikan kelancaran selama fase implementasi dan operasional[6].

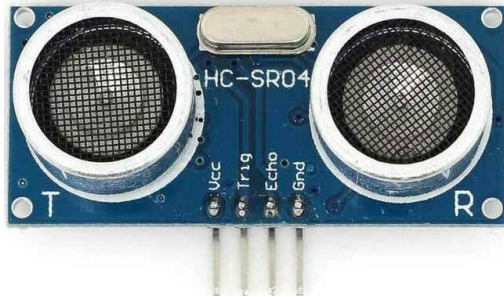


Gambar 2. PLC Omron CP1E-NA20DR-A

Dalam Penelitian Supramono dan Adi (2021) mengembangkan sistem kontrol pola air terjun menggunakan PLC Omron CP1E E60SDR-A yang dilengkapi dengan 24 katup solenoid. Sistem ini menggunakan metode logika fuzzy untuk mengatur waktu nyala katup berdasarkan tekanan air (input fuzzy) dan menghasilkan pola air terjun yang diinginkan (output fuzzy). Program dikembangkan menggunakan diagram tangga (ladder diagram) dengan perangkat lunak CX-Programmer. Penelitian ini juga mengintegrasikan pendekatan PLC-IoT untuk kontrol dan pemantauan sistem secara fleksibel[7].

2.5 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor HC-SR04 adalah sensor jarak berbasis gelombang ultrasonik yang mampu mengukur jarak antara sensor dan objek dengan memanfaatkan prinsip pantulan gelombang suara frekuensi tinggi. Sensor ini memiliki dua komponen utama, yaitu transmitter dan receiver. Sensor akan mengirimkan gelombang ultrasonik melalui *transmitter* dan mendeteksi pantulannya melalui *receiver*. Jarak dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang tersebut.



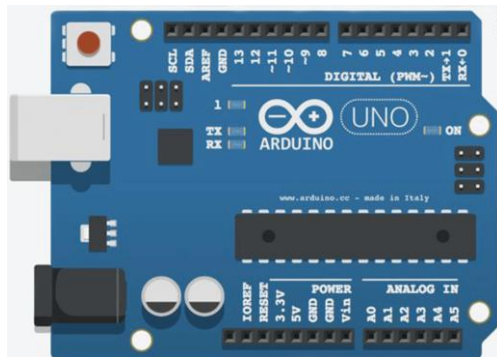
Gambar 3. Sensor Ultrasonik HC – SR04

Keunggulan sensor HC – SR04:

- Akurasi Tinggi: Mampu mengukur jarak dengan akurat antara 2 cm hingga 400 cm.
- Harga Terjangkau: Sensor ini sangat murah dan mudah didapatkan, sehingga cocok untuk aplikasi prototyping.
- Mudah Dipasang: Sensor ini mudah diintegrasikan dengan berbagai mikrokontroler seperti Arduino untuk pembacaan data.

2.6 *Arduino Uno*

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang umum digunakan untuk keperluan prototipe sistem elektronik. Dalam penelitian ini, Arduino digunakan untuk membaca data dari sensor HC-SR04 dan mengirimkan hasil pembacaan tersebut ke PLC. Kemampuan Arduino untuk memproses sinyal analog dan digital menjadikannya pilihan yang efisien dalam sistem pengukuran berbasis sensor.



Gambar 4. Arduino UNO

Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem kontrol industri pintar yang menggabungkan logika fuzzy dengan PLC untuk mengontrol level air dalam tangki. Arduino digunakan untuk membaca data dari sensor ultrasonik HC-SR04 dan mengirimkan data tersebut ke PLC melalui protokol Modbus. PLC kemudian memproses data menggunakan algoritma logika fuzzy untuk mengontrol pompa air secara otomatis.[8]

2.7 Penerapan Fuzzy Logic dalam sistem kontrol motor DC

Fuzzy Logic adalah metode logika matematika yang dikembangkan untuk menangani ketidakpastian dan informasi yang tidak pasti, mirip dengan cara manusia berpikir. *Fuzzy Logic* memungkinkan nilai kebenaran dalam rentang antara 0 dan 1, sehingga sistem dapat menangani input yang tidak pasti dan memberikan output yang lebih halus dan bertahap.

Fuzzy Logic digunakan dalam sistem kontrol motor DC pada mesin konveyor untuk menyesuaikan kecepatan motor secara bertahap berdasarkan jarak objek yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik. Sistem ini bekerja dengan mengubah input jarak menjadi nilai fuzzy, kemudian mengaplikasikan aturan logika "IF-THEN" untuk menghasilkan kecepatan motor yang sesuai. Setelah itu, output fuzzy diubah kembali menjadi nilai numerik melalui proses defuzzifikasi, yang menghasilkan sinyal PWM untuk mengontrol kecepatan motor.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Fuzzy Logic dapat meningkatkan fleksibilitas dalam kontrol motor dengan menangani ketidakpastian pada input sensor, yang membuat sistem lebih responsif terhadap perubahan jarak objek pada konveyor[9].

Sistem *Fuzzy logic* umumnya terdiri dari 4 komponen utama:

- a. *Fuzzification*: mengubah input numerik menjadi nilai Fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan.
- b. Basis aturan: sekumpulan aturan *IF – THEN* yang mendefinisikan hubungan antara *input* dan *output*.
- c. Mesin inferensi *Fuzzy*: memproses aturan – aturan untuk menghasilkan *Output fuzzy*.
- d. *Defuzzification*: mengubah output Fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat digunakan.

Fuzzy Logic dalam sistem kontrol motor DC digunakan untuk mengatasi masalah ketidakpastian yang muncul akibat fluktuasi jarak objek pada konveyor. Sistem *Fuzzy Logic* mengatur kecepatan motor berdasarkan beberapa kategori jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik, yang kemudian diterjemahkan ke dalam sinyal PWM untuk mengatur kecepatan motor secara lebih halus.

Fuzzy Logic memungkinkan sistem kontrol motor untuk bekerja lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan input, sehingga sistem dapat beroperasi dengan lebih efisien dalam kondisi yang tidak pasti.

2.8 Himpunan Fuzzy Logic Controller

Dalam teori Fuzzy Logic Controller dikenal himpunan Fuzzy Logic Controller (Fuzzy Logic Controller Sets) yang merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variable Bahasa (Linguistik Variable) yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Didalam semesta pembicaraan (Universe of discourse), fungsi keanggotaan dari suatu himpunan Fuzzy Logic Controller tersebut bernilai 0 sampai dengan 1.

Kontrol logika *fuzzy* menggunakan aturan *if – then* yang menyerupai logika manusia, bukan model matematika yang kompleks, sehingga memberikan perilaku dinamis yang lebih baik, waktu mencapai kestabilan yang lebih cepat, dan mengurangi overshoot ketika terjadi perubahan beban[4].

Penelitian sebelumnya menerapkan pengontrol logika fuzzy (FLC) untuk mengatur kecepatan motor DC dengan memanfaatkan MATLAB dan modul PCI – 6221. Sistem LFC dirancang berdasarkan fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy yang didasarkan pada pengalaman praktis operator, yang memungkinkan pengolahan sinyal kesalahan kecepatan dan menghasilkan tegangan kontrol yang optimal. Hasil dari implementasi ini menunjukkan bahwa FLC mampu memberikan kinerja yang lebih stabil dan responsif dibandingkan dengan kontrol tradisional, terutama ketika motor mengalami perubahan beban yang signifikan[5].

Secara umum Fuzzy Logic Controller memiliki beberapa komponen, diantaranya :

1. *Fuzzifikasi*

Fuzzifikasi adalah suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*Crisp*) menjadi *Fuzzy Logic Controller* (Variable linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan *Fuzzy Logic Controller* dengan suatu fungsi keanggotaannya masing – masing.

2. Aturan dasar *Fuzzy Logic Controller*

Aturan dasar atau Base Rule pada Fuzzy Logic Controller merupakan suatu bentuk aturan relasi/implikasi “jika-maka” (“*if – then*”) seperti pada pernyataan berikut “JIKA” $X = A$ dan “JIKA” $Y = B$ “MAKA” $Z = C$.

Contoh, dari aturan jika – maka ini pada pengendalian Lift barang dengan pengaturan kecepatan motor dc melalui frekuensi variable adalah sebagai berikut:

- a. “JIKA” setpoint besar
- b. “JIKA” Beban ringan
- c. “MAKA” sumber frekuensi diatur menjadi sedang agar
- d. kecepatan motor DC sedang.

3. Mesin penalaran *Fuzzy Logic Controller* (*inference engine*)

Mesin penalaran (*Inference Engine*) adalah proses implikasi dalam menalar nilai masukan guna penentuan nilai keluar sebagai bentuk pengambil keputusan. Dalam penalaran Max-Min proses pertama yang dilakukan

dalam melakukan operasi operasi Min-Sinyal keluaran lapisan Fuzzifikasi, yang diteruskan dengan operasi Max untuk mencari nilai keluaran.

4. *Defuzzifikasi*

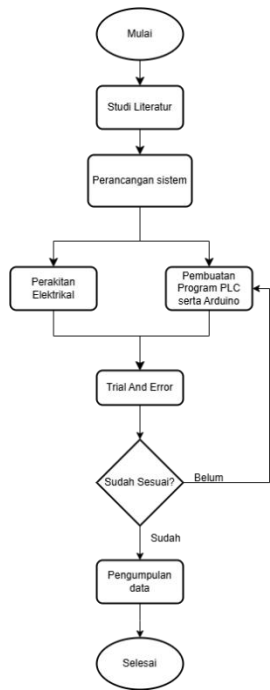
Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan *Fuzzy Logic Controller* kemampuan tegas (*Crisp*) proses ini merupakan kebalikan dari proses *fuzzifikasi*.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan

Dalam perancangan sistem kontrol motor DC pada mesin *conveyor* menggunakan metode *Fuzzy Logic*, tahapan yang dilakukan dimulai dengan studi literatur untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan mengenai teori dan perangkat yang relevan. Setelah itu, dilakukan perancangan elektrikal dan pembuatan program PLC menggunakan perangkat lunak *CX-Programmer* serta pemrograman Arduino untuk pembacaan sensor ultrasonic. Pembuatan diagram alir juga sangat penting untuk mempermudah proses perancangan dan memberikan struktur yang jelas pada sistem yang akan dibangun.

Berikut adalah diagram alir dari proses perancangan sistem kontrol motor DC pada mesin *conveyor* menggunakan metode *Fuzzy Logic* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



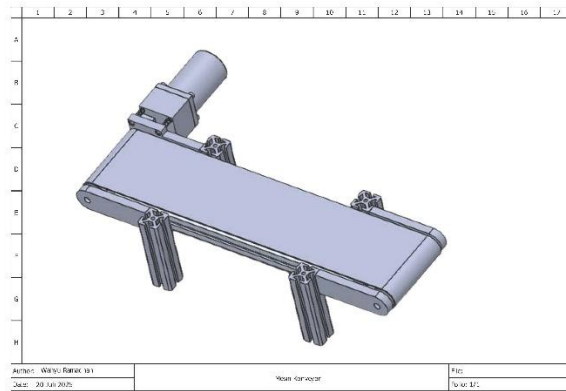
Gambar 5. Diagram Alir Proses perancangan

Pada gambar di atas, alur perancangan dimulai dengan studi literatur untuk menentukan perangkat keras yang diperlukan, seperti PLC, motor DC, dan sensor ultrasonic. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem, termasuk penghubungan antara komponen-komponen elektrikal dan pemrograman baik pada PLC maupun Arduino. Setelah itu, dilakukan *trial and error* untuk memastikan sistem berjalan dengan baik. Jika ditemukan kesalahan, program atau pengkabelan mesin akan diperbaiki. Setelah semuanya berfungsi dengan baik, pengumpulan data dilakukan untuk disusun dalam laporan akhir yang mencakup hasil analisis dari pengujian.



Gambar 6. Gambar fisik dari mesin

Pada gambar 6. dapat dilihat bentuk asli dari mesin *Conveyor* yang memiliki Panjang 50cm dan lebar 10.5cm, untuk kaki dan *Body* dari mesin terbuat dari alumunium profil dan belting yang terbuat dari karet dan kotak putih sebagai objek pengetesan.



Gambar 7. 3D Design conveyor

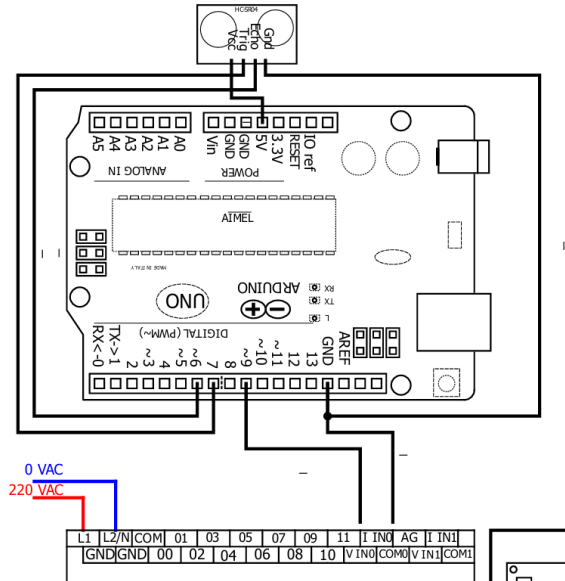
Gambar 7 menunjukkan desain conveyor dalam format 3D, yang merupakan bagian penting dari sistem transportasi material otomatis. *Conveyor* ini terdiri dari dua bagian utama yang saling melengkapi. Pada sisi kiri gambar, tampak bagian conveyor dengan mekanisme penggerak yang terdiri dari roller atau sabut yang dihubungkan dengan motor penggerak. Motor ini berfungsi untuk menggerakkan *Conveyor* dan dengan motor penggerak. Motor ini berfungsi untuk menggerakkan conveyor dan memindahkan material dari satu titik ke titik lainnya. Sementara itu, sisi kanan gambar menunjukkan desain *conveyor* dengan sabuk datar yang lebih sederhana, yang dapat digunakan untuk membawa barang permukaan rata.

Desain 3D *conveyor* ini memperlihatkan detail struktur dan komponen utama, seperti kerangka pendukung yang terbuat dari material yang kuat dan tahan lama. Setiap komponen dirancang untuk memastikan efisiensi operasional dalam proses transportasi material. *Conveyor* semacam ini umumnya digunakan dalam berbagai industry, seperti manufaktur, distribusi, dan pergudangan, untuk meningkatkan produktivitas dengan meminimalkan tenaga kerja manual dan mempercepat alur proses produksi.

Gambar ini memberikan Gambaran visual yang jelas mengenai susunan dan prinsip kerja conveyor yang dirancang, serta menunjukkan bagaimana sistem ini dapat diintegrasikan dalam alur produksi atau distribusi material.

3.1.1. Perancangan Elektrikal Mesin

Perancangan elektrikal dilakukan menggunakan breadboard dan rangkaian langsung pada PLC ke motor, dengan detail rangkaian sebagai berikut:



Gambar 8. Wiring input

Pada gambar 8 dapat dilihat rangkaian input dari sensor ultrasonic ke input analog PLC, Dimana VCC pada sensor terhubung ke 5V pada Arduino, trigger terhubung ke PIN 7 arduino dan echo terhubung ke PIN 6 arduino, dan GND sensor terhubung ke GND PLC, hal ini dilakukan agar pembacaan dapat terbaca lebih stabil karena groundnya berasal dari port yang sama, setelah itu output PWM 9 digunakan sebagai penghubung ke PLC, port 9 bertugas untuk mengirim data pengolahan yang sudah di olah pada Arduino untuk kemudian di olah lagi oleh PLC, data yang dikirim adalah berupa sinyal PWM, lalu pada sisi PLC port L1 dan L2 dihubungkan ke sumber arus AC, port ini berfungsi untuk mengaktifkan PLC, lalu VINO di hubungkan ke port 9 pada Arduino, port VINO ini yang akan menerima sinyal dari sensor ultrasonic, lalu common (com) dari PLC dihubungkan ke ground dari Arduino.

output yang diinginkan. Misalnya, aturan *Fuzzy* dapat berbunyi : “JIKA, jarak = dekat, MAKA kecepatan motor = pelan”. Aturan aturan ini digunakan oleh PLC untuk menentukan kecepatan motor yang harus diatur berdasarkan nilai jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonic.

3. Mesin inferensi *Fuzzy*

Mesin inferensi *fuzzy*, tahap terakhir adalah *defuzzification*, yang bertujuan untuk mengubah output *fuzzy* menjadi nilai *crisp* atau numerik yang dapat digunakan untuk mengatur motor. Dalam sistem ini, proses *defuzzification* menghasilkan sinyal PWM (*pulse width modulastion*) yang mengatur kecepatan motor DC. Proses ini dilakukan menggunakan metode *centroid* untuk mendapatkan nilai rata-rata tertimbang yang akan dikonversi menjadi nilai PWM yang mengontrol kecepatan motor.

Dengan penerapan *Fuzzy logic* pada PLC, sistem dapat mengendalikan kecepatan motor secara lebih adaptif dan responsive terhadap perubahan jarak objek pada konveyor. *Fuzzy logic* memberikan fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode kontrol *On – Off* yang lebih sederhana, serta memungkinkan sistem beroperasi dengan lebih halus meskipun terdapat ketidakpastian atau fluktuasi dalam input data sensor.

Untuk mengimplementasikan metode *fuzzy logic*, sistem ini menggunakan dua input utama:

- a. Jarak (*distance*): input ini diukur menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04 yang mendeteksi jarak antara objek dengan sensor.
- b. Kecepatan motor (*Speed*): output yang dihasilkan berupa kecepatan motor DC yang dikendalikan melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*)

Input jarak kemudian dipetakan kedalam kategori *Fuzzy* yang terdiri dari lima Tingkat keanggotaan, yaitu jauh, agak jauh, lumayan sedang, sedang, lumayan dekat, dan dekat

Table *rule fuzzy* yang disajikan berikut menggambarkan hubungan antara input jarak dan output kecepatan motor dalam bentuk aturan – aturan *If – Then* (jika – maka). Disetiap aturan menentukan Tingkat kecepatan motor berdasarkan kategori jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonic.

Jarak/kecepatan	Pelan	Agak pelan	Lumayan Sedang	Sedang	Lumayan cepat	cepat
Jauh	Cepat	Lumayan cepat	Sedang	Lumayan sedang	Agak pelan	Pelan
agak jauh	Lumayan jauh	Cepat	Lumayan cepat	Sedang	Agak pelan	Pelan
Lumayan sedang	Sedang	Lumayan sedang	Cepat	Lumayan cepat	Sedang	Agak pelan
Sedang	Lumayan sedang	Sedang	Lumayan cepat	Cepat	Lumayan cepat	Cepat

Lumayan dekat	Agak pelan	Agak pelan	Sedang	Lumayan cepat	Cepat	Cepat
Dekat	Pelan	Pelan	Agak pelan	Sedang	Lumayan cepat	cepat

Tabel 1. Rule Fuzzy

Setiap sel table *rule fuzzy* menunjukkan hubungan antara kategori jarak dan kategori kecepatan motor. Berikut adalah beberapa contoh aturan yang terdapat dalam table:

- a. Aturan 1: jika jarak = jauh, maka kecepatan motor = cepat
- b. Aturan 2: jika jarak = agak jauh, maka kecepatan motor = lumayan cepat.
- c. Aturan 3: jika jarak = lumayan sedang, maka kecepatan motor = sedang.
- d. Aturan 4: jika jarak = sedang, maka kecepatan motor = lumayan cepat.
- e. Aturan 5: jika jarak = lumayan dekat, maka kecepatan motor = agak pelan.
- f. Aturan 6: jika jarak = dekat, maka kecepatan motor = pelan.

Dengan menggunakan aturan – aturan ini, sistem kontrol motor DC dapat menyesuaikan kecepatan motor secara halus berdasarkan jarak objek yang terdeteksi oleh sensor ultrasonic. Pada tahap *fuzzification*, input jarak yang terukur oleh sensor ultrasonic dikonversi menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Nilai jarak yang terukur dari sensor akan dipetakan kedalam kategori jarak yang telah ditentukan, seperti jauh, sedang, dan sebagainya. Jika sensor ultrasonic mengukur 30cm, maka nilai tersebut akan dipetakan ke dalam kategori lumayan sedang atau sedang tergantung pada derajat keanggotaan yang dihitung berdasarkan fungsi keanggotaan yang ada. Setelah *fuzzifikasi*, sistem akan menggunakan aturan – aturan dalam table *Rule fuzzy* untuk menentukan kecepatan motor yang sesuai berdasarkan kategori jarak. Sistem akan memeriksa derajat keanggotaan dari jarak yang terdeteksi dan mengaplikasikan aturan yang relevan untuk menghasilkan *output fuzzy*. Jika Jarak = lumayan sedang, maka kecepatan motor akan berada pada kategori cepat atau lumayan cepat, tergantung pada aturan yang sesuai dengan nilai derajat keanggotaan. Setelah proses inferensi, hasilnya berupa nilai *fuzzy* (misalnya cepat, lumayan cepat, dll). Tahap selanjutnya adalah defuzzifikasi, yaitu mengubah *output fuzzy* tersebut menjadi nilai numerik yang dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan motor. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode centroid. Berikut adalah langkah – langkah *Defuzzifikasi*:

- a. Menentukan derajat keanggotaan output: berdasarkan output *Fuzzy* yang dihasilkan dari proses inferensi, kita akan memiliki beberapa kategori untuk kecepatan motor. Misalnya, jika jarak = lumayan sedang, maka output *fuzzy* bisa berada pada kategori lumayan cepat atau cepat.
- b. Menggunakan metode *centroid*: menghitung titik pusat dari fungsi keanggotaan output untuk mendapatkan nilai *crisp* yang dapat digunakan.

Rumus untuk menghitung centroid (Z) adalah:

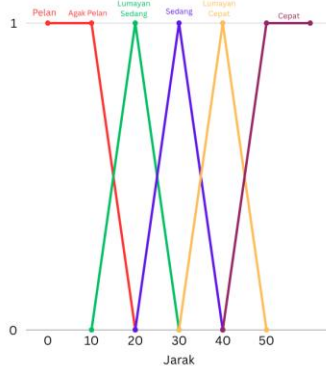
$$Z = \frac{\sum_i (x_i \cdot u_i)}{\sum_i u_i} \quad (1)$$

x_i = adalah nilai numerik dari kategori kecepatan motor (misalnya: 1000 RPM untuk cepat).

u_i = adalah derajat keanggotaan *fuzzy* untuk kategori tersebut.

Contoh: jika output *fuzzy* adalah lumayan cepat dan cepat, kita akan menghitung titik centroid berdasarkan derajat keanggotaan untuk masing – masing kategori kecepatan motor.

- c. Menghasilkan nilai *crisp*: nilai *crisp* yang dihasilkan dari *defuzzifikasi* ini akan digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM yang akan mengontrol kecepatan motor.



Gambar 10. Grafik Rule Fuzzy

Gambar 10 merupakan *Fuzzy Rule Diagram* yang digunakan dalam sistem kontrol motor berbasis *Fuzzy logic* pada PLC. Diagram ini menggambarkan hubungan antara dua variable utama, yaitu “jarak” dan “kecepatan”, dengan aturan aturan *Fuzzy* yang mengontrol motor. Pada sumbu horizontal (X), terdapat variable “jarak” yang memiliki lima kategori, yaitu pelan, agak pelan, lumayan sedang, sedang, dan cepat. Masing – masing kategori ini mewakili tingkatan jarak yang dapat dipahami oleh sistem. Sedangkan pada sumbu vertical (Y), terdapat variable kecepatan dengan kategori yang setara. Kecepatan ini mengindikasikan respons motor berdasarkan pembacaan jarak yang diterima. Setiap garis yang menghubungkan kategori “jarak” dan “kecepatan” mewakili aturan fuzzy, yang menunjukkan hubungan sebab-akibat. Misalnya, Ketika jarak berada pada kategori pelan, maka kecepatan motor akan dikendalikan pada kategori pelan juga. Begitu

pula dengan aturan lainnya, Dimana setiap kategori jarak memiliki aturan kecepatan yang sesuai untuk mengoptimalkan kontrol motor dalam sistem tersebut.

Dalam laporan tugas akhir, diagram ini dapat digunakan untuk menjelaskan cara sistem kontrol Fuzzy yang diimplementasikan pada PLC, Dimana input berupa jarak akan di proses melalui aturan *Fuzzy* untuk menghasilkan output yang mengatur kecepatan motor. Untuk menghitung sudut dari grafik diatas kitab bisa menggunakan rumus:

$$u_{\text{jarak}}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq A \\ \frac{A-x}{A-B} & B \leq x \leq A \\ 1; & x \leq 40 \end{cases} \quad (2)$$

Pemrograman Arduino dan PLC dilakukan di 2 aplikasi yang berbeda, yaitu arduino IDE, dan CX-Programmer



Gambar 11. Arduino IDE

Arduino IDE adalah platform elektronik open-source yang digunakan untuk membuat berbagai proyek interaktif. Pada dasarnya Arduino memiliki beberapa poin utama diantaranya adalah Arduino mikrokontroler sebagai otak untuk memproses instruksi yang diberikan melalui program yang di tulis dalam Bahasa pemrograman Arduino (C/C++), Arduino memiliki berbagai papan pengembangan yang beragam dengan berbagai fitur, seperti Arduino UNO, Arduino NANO, dan Arduino MEGA, yang dapat dipilih sesuai kebutuhan proyek, Program arduino di tulis di Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) dan diunggah ke papan Arduino melalui kabel USB, *Port input/output (I/O) Arduino* dilengkapi dengan pin untuk *Input* (misalnya sensor) dan *output* (misalnya motor atau LED) yang dapat di program sesuai dengan proyek, dan desain perangkat keras dan lunak Arduino bersifat terbuka sehingga memungkinkan siapa saja untuk membuat atau memodifikasi *Hardware* dan *Software*nya, Arduino berfungsi

sebagai mikrokontroler yang dapat diprogram untuk mengontrol perangkat elektronik seperti lampu, motor, sensor, dan berbagai komponen lainnya, dalam hal ini saya hanya akan menggunakan Arduino sebagai jembatan antara sensor HC-SR04 dan PLC OMRON CP1E-NA20DR-A, hal ini perlu dilakukan dikarenakan sensor tidak bisa langsung dihubungkan ke PLC sehingga membutuhkan Arduino sebagai media pemrosesan data agar dapat diolah oleh PLC.

```
long duration;
int distance;

void setup() {
  pinMode(7, OUTPUT); // Trig
  pinMode(6, INPUT); // Echo
}

void loop() {
  digitalWrite(7, LOW); delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(7, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(7, LOW);
  duration = pulseIn(6, HIGH);
  distance = duration * 0.034 / 2;

  int outputPWM = map(distance, 0, 100, 0, 255); // skala 0-100 cm ke 0-255
  analogWrite(9, outputPWM); // ke PLC V2R1
  delay(100);
}
```

Gambar 12. Program Arduino

Gambar 12 merupakan program Arduino yang digunakan untuk mengontrol Motor DC berdasarkan jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonic HC-SR04.

```
long duration;
int distance;
```

Gambar 13. Deklarasi Variabel

Disini, terdapat 2 variabel yang di deklarasikan. “Duration” digunakan untuk menyimpan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang ultrasonic untuk Kembali ke sensor setelah memantul dari objek. “Distance” digunakan untuk menyimpan jarak hitung berdasarkan waktu tersebut.

```
void setup() {
  pinMode(7, OUTPUT); // Trig
  pinMode(6, INPUT); // Echo
}
```

Gambar 14. Fungsi Setup

Pada fungsi *Setup()*, dua pin pada Arduino di setting dengan mode yang sesuai. Pin 7 digunakan untuk mengirimkan sinyal pemicu (*Trigger*) dan pin 6 digunakan untuk menerima sinyal pantulan (*Echo*) dari sensor ultrasonic.

```
void loop() {
  digitalWrite(7, LOW); delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(7, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(7, LOW);
  duration = pulseIn(6, HIGH);
  distance = duration * 0.034 / 2;
}
```

Gambar 15. Fungsi Loop

Pada bagian ini, kode mengirimkan sinyal pemicu (*Trig*) untuk sensor ultrasonic dengan mengubah pin 7 menjadi *High* selama 10 mikrodetik. Setelah itu, Pin 7 kembali menjadi *LOW*, kemudian, kode membaca waktu respons dari pin 6 menggunakan fungsi "*pulseIn()*", yang mengukur durasi sinyal yang diterima dari pin *Echo*. Berdasarkan durasi ini, jarak hitung dengan rumus $distance = duration * 0.034 / 2$, Di mana 0.034 adalah kecepatan suara dalam cm per mikrodetik, dan pembagian dengan 2 dilakukan untuk mendapatkan jarak 1 arah (sensor pengirim dan penerima sinyal).

```
int outputPWM = map(distance, 0, 100, 0, 255); // skala 0-100 cm ke 0-255
analogWrite(9, outputPWM); // ke PLC VIN1
```

Gambar 16. Pemetaan jarak ke Output PWM

Disini, fungsi *map()* digunakan untuk mengonversi nilai jarak dari 0-100cm menjadi nilai PWM antara 0-255. Ini digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC yang terhubung ke pin 9. Fungsi *analogWrite()* mengirimkan sinyal PWM ke pin 9 yang terhubung dengan motor.

```
delay(100);
```

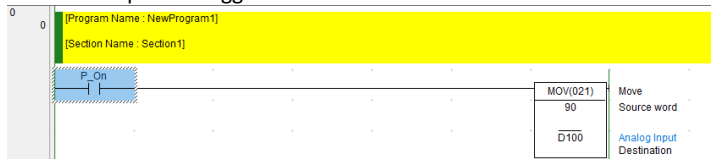
Gambar 17. Penundaan

Penundaan selama 100 milidetik setelah setiap pembacaan jarak dan pengiriman sinyal PWM, untuk memberi waktu pada motor dan sensor untuk merespon.



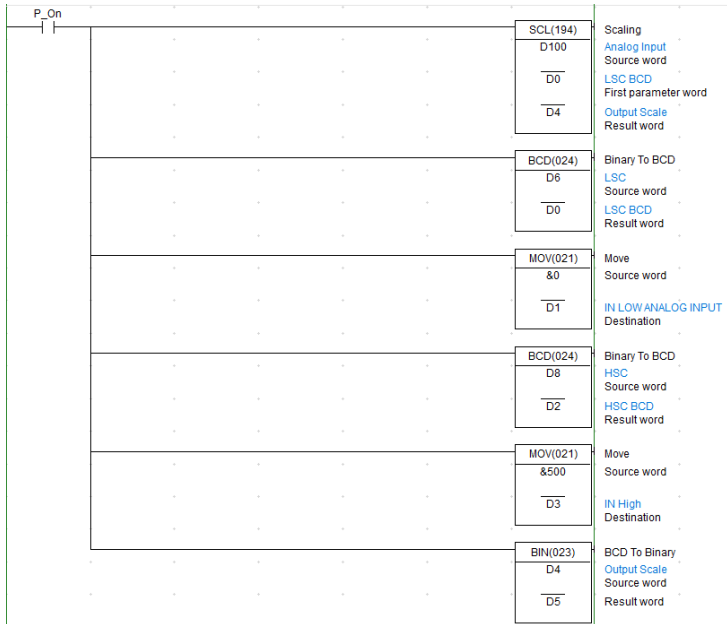
Gambar 18. CX-Programmer

PLC OMRON CP1E adalah kontroler logika terprogram (PLC) dari seri CP yang dirancang untuk aplikasi otomasi industri skala kecil hingga menengah. Dirilis oleh omron, PLC ini menawarkan kombinasi antara kinerja dan efisiensi biaya, fitur utama dari PLC ini adalah memiliki kapasitas I/O yang banyak dan sudah terkonfigurasi 10 hingga 60 titik I/O, dengan pilihan input dan output relay atau transistor, beberapa model dilengkapi dengan *Port USB*, *RS-232C*, dan *RS-485* bawaan, memudahkan konektivitas dengan perangkat lain dan komputer, mendukung penambahan unit ekspansi untuk I/O digital, analog, dan input suhu, memungkinkan penyesuaian sesuai kebutuhan aplikasi, dan menyediakan penghitung kecepatan tinggi, kontrol pulsa, dan output PWM, cocok untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi.



Gambar 19. Pembacaan data sensor

Pada gambar 19 diatas "*P_On*" digunakan sebagai pengganti tombol "*Start*", hal ini di lakukan karena pada desain fisiknya tidak ada tombol fisik untuk di tekan, dan perintah "*MOV*" digunakan untuk memindah data input yang terbaca pada "*90*" ke memory internal "*D100*".



Gambar 20. Pengolahan SCL

Pada *Ladder diagram* di gambar 20 instruksi SCL digunakan untuk pengolahan input analog. Sumber datanya berasal dari *memory* internal *D100* dan hasilnya di simpan di *D4* setelah menerapkan factor penskalaan, penskalaan ini membantu mengubah data mentah dari sensor menjadi format yang lebih berguna atau terkalibrasi. Fungsi SCL ini di gunakan agar data yang terbaca oleh sensor bisa diolah, Dimana “*Range*” analog input dari sensor tersebut adalah 0-5 Volt Dimana *low range* nya 0, dan *High Range* nya = 500, karena 1 volt DC terbaca oleh input analog sebagai 100 biner, lalu data 0-500 tersebut di konversi menjadi 0-50 meter maka *L SCL* = 0 dan *H SCL* = 50, dan data pada *D100* dan *D0* merupakan data *binary*, sedangkan outputnya *D4* merupakan data *BCD*, maka data *D0* sebagai *L SCL* dan *D2* sebagai *H SCL* harus di konversi ke *BCD*.



Gambar 21. Fuzzyfication

Gambar 21 menampilkan fungsi *Compare* untuk melakukan proses *Fuzzyfication* atau pengelompokan data, Dimana data di kelompokkan menjadi 5 bagian dan 5 output berbeda yang Dimana outputnya akan disimpan pada D200.



Gambar 22. kontrol output

Gambar 22 menampilkan output PWM yang akan mengirim sinyal PWM ke motor DC dengan frekuensi 1000hz dan duty ratio yang di keluarkan akan mengikuti data yang di keluarkan dari proses *Fuzzyfication* yang sudah dilakukan sebelumnya.

3.2. Alat dan Bahan

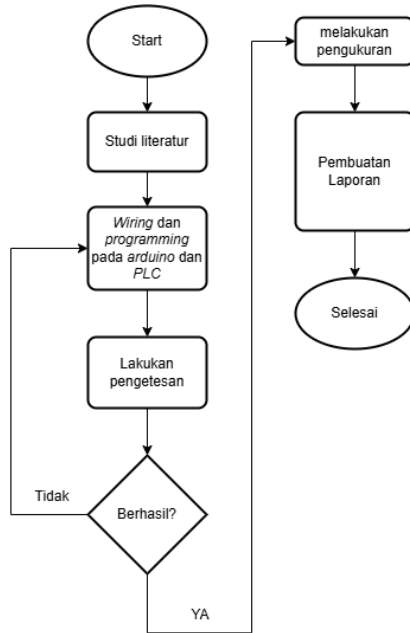
Adapun dalam pengerjaan tugas akhir tersebut, dibutuhkan alat dan bahan untuk melakukan perancangan serta pengerjaan alat. Berikut beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan rancangan dan pengerjaan tugas akhir terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Alat dan Bahan

No.	Alat/bahan	Jumlah
1	Laptop	1
2	PLC CP1E-NA20DR-A	1
3	Arduino UNO	1
4	Sensor HC-SR04	1
5	Kabel	4m
6	Driver motor L298N	1
7	HOULE Motor 24VDC	1
8	Tachometer	1

3.3. Pengujian

Metodologi pengujian dalam tugas akhir ini dilakukan dengan cara *Trial and Error* dan melakukan analisis menggunakan alat pengukuran seperti *Multi-meter*, *tacho-meter*, dan penggaris lalu menyesuaikan jaraknya pada CX – Programmer, tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa RPM yang dikeluarkan oleh motor pada saat masa percobaan.



Gambar 23. Diagram alir pengujian

Tahapan pertama dari pengujian adalah melakukan studi untuk memahami bagaimana wiring dan program dari project yang di kerjakan, setelah dipahami lalu lanjut melakukan wiring serta programming ke PLC dan Arduino, lalu lakukan pengtesan apakah sudah berjalan dengan benar atau belum, jika belum lakukan *debugging* pada program yang sudah dibuat, jika sudah sesuai, segera lakukan pengukuran, lalu di masukan ke laporan

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

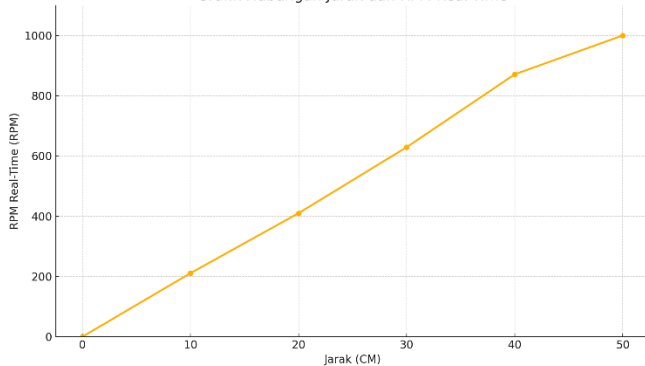
4.1 Hasil pengukuran kecepatan motor

Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* pada mesin konveyor. Pengujian difokuskan pada hubungan antara jarak objek terhadap sensor ultrasonik (HC-SR04) dengan kecepatan motor dalam satuan RPM (rotasi per menit). Hasil pengukuran disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3. hasil pengukuran *Real-Time*

Keanggotaan <i>fuzzy</i>	Jarak (CM)	RPM Real-Time (RPM)
Pelan	0	0
Agak pelan	10	211
lumayan sedang	20	410
Sedang	30	629
Lumayan cepat	40	871
Cepat	50	1000

Grafik Hubungan Jarak dan RPM Real-Time



Gambar 24. Diagram pembacaan

Pada tabel 3 bisa dilihat hasil pengukuran real time dari mesin konveyor, beserta keanggotaan *fuzzynya*, jarak yang digunakan untuk pengukuran ini sesuai dengan jarak panjang konveyor, yaitu 0-50cm, dan untuk RPMnya sesuai dengan RPM maksimum dari motor DC yaitu 1000RPM, untuk membuktikan apakah rotasi RPM nya sudah sesuai dengan yang kita ingin kan, kita bisa menggunakan pendekatan proporsionalitas linier dengan rumus perhitungan:

$$RPM(x) = RPM_{max} \times \left(\frac{jarak(x)}{jarak_{Max}} \right) \quad (3)$$

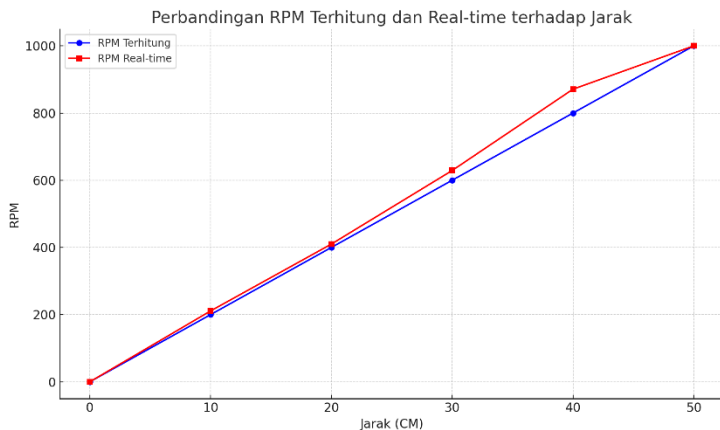
Dimana:

- RPM_{max} = kecepatan maksimum motor (1000 RPM)
- $Jarak(x)$ = jarak yang ingin dihitung RPM-nya
- $Jarak_{Max}$ = adalah jarak maksimum Dimana motor berputar pada kecepatan penuh, dalam hal ini 50 cm

Maka jika kita bandingkan pengukuran dengan menggunakan rumus dan real-time maka akan keluar seperti berikut:

Tabel 4. Perbandingan data terhitung dan terukur

Jarak (CM)	RPM terhitung (RPM)	RPM real-time (RPM)	Error (%)
0	0	0	0.0
10	200	211	5.5
20	400	410	2.5
30	600	629	4.83
40	800	871	8.88
50	1000	1000	0.0



Gambar 25. Diagram perbandingan

Pada tabel 4 dan gambar 25 dapat dilihat hasil pengukuran dan pembuktian dari data yang didapat, selisih yang lumayan tinggi tersebut di akibatkan oleh

factor lingkungan yang kurang steril dan sulitnya menjaga sensor agar mendapat pembacaan yang stabil.

4.2 Evaluasi kuantitatif

Evaluasi kuantitatif diperlukan untuk menilai sejauh mana sistem kontrol yang dirancang dapat berfungsi secara akurat. Dalam konteks tugas akhir ini, evaluasi dilakukan dengan menggunakan tiga metrik statistik utama yang umum digunakan pengukuran kinerja sistem kendali, yaitu:

a. MAE (Mean Absolute Error)

MAE Merupakan rata – rata dari selisih mutlak antara nilai real – time (hasil pengukuran aktual) dan nilai teoritis (hasil perhitungan berdasarkan proporsi jarak). MAE memberikan gambaran seberapa besar rata – rata kesalahan sistem tanpa memperhatikan arah deviasi (positif atau negatif).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y^i| \quad (4)$$

Di mana:

y_i = nilai real – time

y^i = nilai teoritis

n = jumlah sampel

Hasil: MAE = 20,17 RPM, artinya rata – rata kesalahan sistem dalam membaca dan mengatur RPM motor adalah sekitar 20 RPM dari target teoritis.

b. RMSE (Root Mean Square Error)

RMSE Merupakan akar dari rata – rata kuadrat selisih antara nilai real – time dan teoritis. RMSE lebih sensitif terhadap nilai error besar (outlier), sehingga cocok untuk mengukur kestabilan sistem secara menyeluruh.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y^i)^2} \quad (5)$$

Hasil: RMSE = 31,89 RPM, menunjukkan tingkat fluktuasi atau variasi error secara kuadrat. Nilai ini masih tergolong kecil jika di dibandingkan dengan kecepatan maksimum motor (1000 RPM).

c. MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

MAPE mengukur rata – rata kesalahan dalam bentuk persentase terhadap nilai teoritis. Metrik ini memberikan gambaran seberapa besar proporsi kesalahan nilai yang seharusnya di capai.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - y^i}{y^i} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Hasil: MAPE = 4.34%, menandakan bahwa secara rata – rata, sistemnya hanya meleset sekitar 3.34% dari nilai yang seharusnya, ini berada dalam batas toleransi.

4.3 Analisis per kasus pengujian

Pengujian dilakukan pada 6 titik jarak berbeda, yaitu 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40cm, dan 50cm. tujuannya adalah untuk mengevaluasi respons sistem dalam mengatur kecepatan motor DC secara otomatis.

Berikut adalah analisis untuk masing masing titik:

1. Jarak: 0 cm
RPM Teoritis: 0 RPM
RPM Real – Time: 0 RPM
Error: 0%
Analisis: Saat objek berada tepat didepan sensor (jarak 0 cm), motor benar – benar berhenti, sesuai dengan aturan *fuzzy logic* (dekat = pelan/berhenti). Tidak ditemukan error atau deviasi
2. Jarak: 10 cm
RPM Teoritis: 200 RPM
RPM Real – Time: 211 RPM
Error: 5.5%
Analisis: sedikit *overshoot* terjadi. Hal ini bisa disebabkan oleh kecepatan respons motor terhadap sinyal PWM yang di kirimkan oleh PLC, atau fluktuasi pembacaan sensor ultrasonik. Meski demikian, error masih dalam batas toleransi
3. Jarak: 20 cm
RPM Teoritis: 400 RPM
RPM Real – Time: 410 RPM
Error: 2.5%
Analisis: Hasil RPM Real – time sangat dekat dengan nilai teoritis, menandakan bahwa proses *fuzzifikasi* dan *defuzzifikasi* berjalan dengan efektif. Tidak ditemukan indikasi delay atau lonjakan abnormal.
4. Jarak: 30 cm
RPM Teoritis: 600 RPM
RPM Real – time: 629 RPM
Error: 4.83%

Analisis: terdapat deviasi yang lebih besar dari sebelumnya. Kemungkinan disebabkan oleh penempatan objek yang tidak tepat lurus dengan sensor atau sinyal PWM sedikit mengalami keterlambatan pemrosesan akibat waktu komputasi *fuzzy rule*.

5. Jarak: 40 cm

RPM Teoritis: 800 RPM

RPM Real – Time: 871 RPM

Error: 8.88%

Analisis: di titik ini Error yang didapat sangat besar. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pantulan gelombang ultrasonik yang tidak optimal karena bentuk atau sudut permukaan objek atau sensor mengalami gangguan kecil dari interferensi lingkungan namun sistem tetap mempertahankan kestabilan dengan peningkatan RPM yang wajar, walau sedikit berlebih.

6. Jarak: 50 cm

RPM Teoritis: 1000 RPM

RPM Real – time: 1000RPM

Error: 0%

Analisis: pada jarak maksimal, Motor berputar pada kecepatan maksimal seperti yang diharapkan. Ini menunjukkan bahwa skala pada proses *defuzzifikasi* sesuai dengan target desain sistem.

4.4 Analisis respons waktu dan kestabilan sistem

salah satu aspek penting dalam sistem kontrol adalah bagaimana sistem merespons perubahan input secara real – time dan menjaga kestabilan saat menghadapi gangguan atau fluktuasi data sensor. Dalam sistem yang dikembangkan, respons waktu dan kestabilan dikaji berdasarkan perilaku sistem terhadap perubahan jarak objek pada konveyor. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik HC – SR04 yang mampu mendeteksi perubahan jarak, kemudian hasil pembacaan dikirim ke Arduino dan diteruskan ke PLC untuk diproses menggunakan logika *fuzzy*.

Delay sistem diperhitungkan dari total waktu:

- a. waktu sampling sensor
- b. pemrosesan data oleh arduino
- c. komunikasi serial arduino – PLC
- d. eksekusi program PLC dan pengiriman sinyal PWM ke motor.

Berdasarkan pengamatan lapangan, total respons sistem terhadap perubahan jarak berada dalam kisaran 100-300ms, tergantung kondisi aktual, nilai tersebut dapat dianggap responsif untuk aplikasi skala laboratorium hingga semi – industri karena tidak menunjukkan lag yang signifikan secara visual. Kestabilan sistem diuji melalui beberapa siklus perubahan jarak acak yang diberikan secara cepat dan perlahan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa:

- tidak terdapat osilasi kecepatan yang berulang atau fluktuasi liar pada RPM motor ketika sensor menerima perubahan input.
- Setiap perubahan jarak menghasilkan perubahan RPM yang lurus dan proporsional, sesuai aturan *fuzzy* yang dirancang.
- Motor tidak mengalami getaran berlebihan atau suara yang menunjukkan ketidakteraturan sinyal PWM.
- Sistem mampu kembali ke kondisi stabil setelah terjadi gangguan kecil, misalnya perubahan mendadak jarak dari 50 cm ke 10, hanya dalam waktu ± 0.5 detik.

Penggunaan metode *fuzzy logic* yang secara alami lebih toleran terhadap *noise* dan data ambigu. Pemetaan PWM yang menggunakan skala bertahap (dari 0-255) sehingga tidak terjadi perubahan drastis mendadak yang menyebabkan lonjakan tegangan atau RPM.

4.5 Uji Validitas dan Reliabilitas Pengukuran

Untuk memastikan keandalan sistem, dilakukan pengukuran ulang sebanyak 5 kali pada lima titik jarak (10 cm – 50cm). Dari pengukuran tersebut, dihitung nilai rata – rata, standar deviasi, dan persentase error terhadap RPM teoritis. Hasilnya disajikan dalam tabel berikut

Tabel 5. Validasi pengulangan RPM

	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
Uji ke 1	197	386	571	775	1011
Uji ke 2	209	382	628	784	964
Uji ke 3	205	415	620	802	979
Uji ke 4	202	404	583	795	987
Uji ke 5	193	408	581	783	996

Tabel 6. Hasil validasi pengukuran

Jarak (cm)	RPM Teoritis	Rata – rata RPM Real - Time	Standar Deviasi	Error (%)
10	200	201,2	6,34	0,60
20	400	399,0	14,32	0,25
30	600	596,6	25,58	0,57
40	800	787,8	10,66	1,53
50	1000	987,4	17,67	1,26

Rata – rata error semua titik berada di bawah 2%, menunjukkan bahwa sistem memiliki presisi tinggi dalam mengontrol kecepatan motor sesuai jarak input. Nilai standar deviasi tergolong kecil, membuktikan bahwa sistem mampu memberikan hasil yang konsisten pada setiap pengujian. Titik dengan standar deviasi tertinggi

(25,58 RPM) terjadi pada jarak 30cm. Namun, error terhadap nilai teoritis tetap rendah (0,57%), menandakan sistem tetap stabil meski ada sedikit fluktuasi. Sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* ini memiliki tingkat validitas dan reliabilitas yang tinggi, dengan performa pengukuran yang konsisten.

4.6 Pembahasan dari hasil pengukuran.

Hasil pengujian pada sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* menunjukkan adanya hubungan linier antara jarak objek dengan kecepatan putar motor (RPM). Sistem ini mampu mengubah variasi input dari sensor ultrasonik menjadi sinyal PWM yang menghasilkan output kecepatan secara bertahap dan halus, sesuai dengan prinsip kerja *fuzzy inference system*. Setiap tingkat keanggotaan *fuzzy* seperti pelan, agak pelan, sedang, hingga cepat telah bekerja sesuai ekspektasi, membentuk pengaturan kecepatan yang proporsional terhadap perubahan jarak.

Perbandingan antara RPM terhitung secara teoritis dan hasil pengukuran aktual (Real – Time) menunjukkan deviasi yang kecil dan masih dalam batas toleransi sistem, yakni di bawah 10%. Beberapa selisih disebabkan oleh faktor lingkungan yang tidak ideal, seperti pantulan gelombang ultrasonik yang tidak sempurna, ketidaktepatan posisi sensor, serta delay sinyal dari Arduino ke PLC. Namun, secara umum sistem menunjukkan performa responsif dan stabil terhadap perubahan input.

Penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* lebih fleksibel dan adaptif dibandingkan dengan sistem kontrol konvensional seperti PID, terutama saat menangani input yang bersifat tidak pasti atau mengandung *noise*. Penerapan metode *fuzzy* dalam sistem ini telah berhasil menjaga kestabilan output motor meskipun terdapat variasi pada input jarak, membuktikan efektivitas metode ini untuk aplikasi otomasi skala kecil hingga menengah[10].

Lebih jauh lagi, pengujian ini secara langsung menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan dalam bab 1, yakni menghasilkan sistem kontrol motor DC yang adaptif dan presisi terhadap perubahan jarak objek. RPM motor berhasil dikendalikan secara linier dan proporsional, membuktikan bahwa logika *fuzzy* mampu merepresentasikan skenario kontrol yang realistis sebagaimana cara kerja manusia dalam mengambil keputusan berbasis kondisi ambigu.

Dengan demikian, sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* yang dirancang dalam penelitian ini terbukti berhasil secara fungsional dan ilmiah. Nilai – nilai pengukuran menunjukkan kestabilan, adaptivitas, dan akurasi yang tinggi, menjadikan sistem ini layak diterapkan dan dikembangkan lebih lanjut untuk skala industri yang lebih luas.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

5.1 kesimpulan

5.1.1 Sistem kontrol kecepatan motor DC

Sistem kontrol kecepatan motor DC yang di rancang dalam penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic*, yang terbukti efektif dalam mengelola kecepatan motor pada mesin konveyor. Metode *fuzzy logic* memungkinkan pengaturan yang lebih halus dan responsif terhadap perubahan jarak objek yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik HC – SR04.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai presisi, tingkat tinggi, dengan error rata – rata 3,34%. Sistem ini mengatur kecepatan motor berdasarkan jarak objek yang terdeteksi, dengan hubungan linier yang jelas antara jarak dan kecepatan motor, memastikan kestabilan sistem dan efisiensi operasional. Error yang sangat rendah menunjukkan bahwa sistem dapat mengatasi ketidakpastian data sensor dan tetap menghasilkan kecepatan motor yang sesuai dengan kebutuhan.

4.1.2 Integrasi Komponen sistem

Sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* ini mengintegrasikan beberapa komponen utama, yaitu sensor ultrasonik HC – SR04, mikrokontroler Arduino, dan PLC OMRON CP1E – NA20DR – A. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak objek yang berada di sepanjang konveyor, yang kemudian diteruskan oleh Arduino untuk diolah dan dikirimkan ke PLC.

Arduino berfungsi sebagai penghubung antara sensor dan PLC, karena sensor HC – SR04 tidak dapat langsung terhubung ke PLC. Setelah mendapatkan data jarak, Arduino mengubahnya menjadi sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang kemudian diteruskan ke PLC. Di sisi PLC, penerapan *fuzzy logic* pada PLC OMRON memungkinkan sistem untuk mengolah data sensor secara adaptif, menghasilkan pengaturan kecepatan motor yang lebih halus dan responsif tanpa perubahan drastis. Integrasi komponen ini menunjukkan keberhasilan dalam merancang sistem yang dapat mengatur kecepatan motor secara otomatis berdasarkan jarak objek.

4.1.3 Analisa dari hasil pengujian

Pengujian dilakukan pada enam titik jarak berbeda (0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm), untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengatur kecepatan motor DC secara otomatis. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan deviasi error yang kecil antara RPM terhitung (perhitungan teoritis)

dan RPM Real – Time (hasil pengukuran nyata). Error rata – rata sistem adalah 4.34%, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat presisi yang lebih tinggi dan berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi jarak objek.

Evaluasi kuantitatif menggunakan metrik statistik seperti MAE (*Mean Absolute Error*), RMSE (*Root Mean Square Error*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) menghasilkan MAE = 20.17 RPM, RMSE = 31.89 RPM, dan MAPE = 3.34%, yang semuanya menunjukkan tingkat kesalahan yang sangat rendah dan dalam batas toleransi yang dapat diterima. Sistem ini juga mampu merespons perubahan jarak objek dalam waktu 100 – 300 ms, menunjukkan respons yang cepat dan stabil. Pengujian menunjukkan bahwa meskipun ada sedikit fluktuasi yang disebabkan oleh faktor lingkungan seperti gangguan pantulan ultrasonik atau ketidakakuratan posisi sensor, sistem tetap mampu menjaga kestabilan kecepatan motor dan responsivitasnya terhadap perubahan input secara efektif.

Dengan demikian, Sistem Kontrol Motor DC Pada Conveyor dengan metode *Fuzzy Logic* yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil memenuhi tujuan yang ditetapkan, yaitu merancang sistem yang adaptif, presisi, dan efisien dalam mengendalikan kecepatan motor pada mesin konveyor, dengan tingkat kesalahan yang kecil dan performa yang konsisten dalam berbagai pengujian.

4.2 Saran

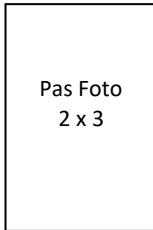
untuk meningkatkan performa dan akurasi sistem pada penelitian selanjutnya, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. peningkatan kualitas dan akurasi sensor dapat dilakukan dengan mengganti *HC-SR04* dengan sensor industry yang memiliki *Range* dan *resolusi* lebih tinggi, seperti sensor analog induktif atau optic yang telah dikalibrasi secara pabrik.
2. Penggunaan metode *fuzzy* yang lebih kompleks, seperti *adaptive fuzzy*, *neuro-fuzzy*, atau integrasi dengan algoritma *machine learning*, dapat dikembangkan agar sistem dapat belajar dan menyesuaikan aturan berdasarkan data historis, sehingga akurasi kontrol semakin meningkat.
3. Penambahan fitur monitoring berbasis HMI (*Human Machine Interface*) akan mempermudah pengguna dalam memantau dan mengontrol parameter sistem secara *Real-time*, seperti jarak, kecepatan motor, dan status sistem.
4. Lakukan pengujian dalam berbagai kondisi lingkungan dan beban, untuk mengevaluasi stabilitas sistem dalam skenario dunia nyata, termasuk gangguan eksternal seperti getaran, suara pantulan, atau perubahan suhu.

Daftar Pustaka

- [1] Raza, W. (2024). Fuzzy logic speed regulator for D.C. motor tuning. *Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika (JTAM)*, 8(1), 36–49.
- [2] Messaadi, N., & Amroun, A. (2021). *Speed control of DC motor using fuzzy PID controller*. *arXiv*.
- [3] Sahoo, S. K., & Saha, M. K. (2019). *Design and control of a DC motor using fuzzy logic controller*. *Fuzzy Systems and Soft Computing*, 4(1), 1–8.
- [4] Latif, A., Jalaluddin, R., & Wibowo, S. A. (2020, September 8). Fuzzy Logic Based Industrial Control System Design.
- [5] Rajagiri, A. K., Rani, S. M. N., Nawaz, S. S., & Kumar, S. (2019). Speed control of DC motor using Fuzzy Logic Controller by PCI 6221 with MATLAB. *E3S Web of Conferences, SeFet 2019*, 01004.
- [6] Omron Corporation, *SYSMAC CP Series CP1E CPU Unit Software User's Manual*, Cat. No. W480-E1-09, Omron Corporation, Kyoto, Japan, Sep. 2022, pp. 273- 276.
- [7] Supramono, S., & Adi, P. D. P. (2021). Waterfall pattern using Omron CP1E PLC, fuzzy logic method, and PLC-IoT approach. *IOTA: International Journal of Automation and Technology*, 1(3), 160–175.
- [8] Ali, M. A., Miry, A. H., & Salman, T. M. (2020). Implementation of Intelligent Industrial Controller Based On Fuzzy Logic and PLC. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, 13(1), 55–60.
- [9] Liu, P., Tian, H., Cao, X., Qiao, X., Gong, L., Duan, X., Qiu, Y., & Su, Y. (2022). Pick-and-place trajectory planning and robust adaptive fuzzy tracking control for cable-based gangue-sorting robots with model uncertainties and external disturbances. *Machines*, 10(8), 714.
- [10] Nchena, L. (2020, September 1). Fuzzy Logic Application in Automation Control. *International Conference "Advanced Computer Information Technologies."*

Biodata



Nama : Wahyu Ramadhan
TTL : 11 Desember 1999
Agama : Islam
Alamat : Wisma buana indah 2 blok 1b nomor 2
E-mail : wahyumeka2@gmail.com
Pendidikan : SDN 005 SAGULUNG
SD : SMPN 9 BATAM
SMP : SMKN 1 BATAM
SMA :

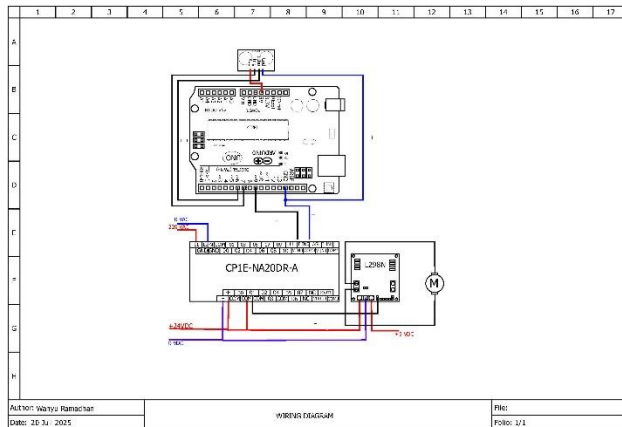
Lampiran

Tabel 7. Daftar lampiran

No	Lampiran	Halaman
A	Diagram Rangkaian Elektrikal	38
B	Kode Program Arduino	39
C	Hasil pengujian dan Analisis	40
D	Desain 3D konyeor	41
E	Tabel hasil pengukuran Real – Time	42
F	Grafik Perbandingan RPM Terhitung dan Terukur	43
G	Sertifikat Pengujian Sensor Ultrasonik	44

1. Lampiran A

Dibawah ini adalah diagram rangkaian yang digunakan dalam sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* untuk konveyor. Diagram ini menunjukkan hubungan antara sensor ultrasonik HC – SR04, Arduino, dan PLC OMRON CP1E-NA20DR-A, serta koneksi ke motor DC



Gambar 26. Wiring Diagram

gambar diatas merupakan wiring diagram lengkap dari sistem kontrol motor DC berbasis *fuzzy logic* pada konveyor. Diagram ini menunjukkan hubungan antara sensor ultrasonik HC – SR04, Arduino Uno, PLC OMRON CP1E-NA20DR-A, dan driver motor L298N.

penjelasan umum koneksi:

- Sensor HC – SR04 terhubung ke arduino untuk pengukuran jarak.
- Arduino memproses data dan mengirimkan sinyal PWM ke PLC melalui pin output digital.
- PLC menerima sinyal dari arduino dan mengatur output ke driver motor (L298N), yang kemudian mengontrol motor DC.
- Sumber daya yang di pakai terdiri dari, 5 VDC untuk sensor, Arduino, dan untuk mengaktifkan L298N. 24VDC untuk motor melalui driver L298N, dan 220VAC untuk mengaktifkan PLC.

2. Lampiran B

Program arduino pada proyek ini berfungsi untuk:

- Membaca data jarak dari sensor ultrasonik HC – SR04.
- Mengolah data jarak menjadi sinyal PWM.
- Mengirimkan sinyal PWM ke PLC OMRON CP1E-NA20DR-A melalui pin output digital, untuk dikendalikan lebih lanjut oleh logika *fuzzy* di sisi PLC.

Arduino berperan sebagai penghubung antara sensor dan PLC, karena sensor HC – SR04 tidak bisa langsung dihubungkan ke PLC.

```
1 long duration;
2 int distance;
3
4 void setup() {
5   pinMode(7, OUTPUT); // Trig
6   pinMode(6, INPUT); // Echo
7 }
8
9 void loop() {
10  digitalWrite(7, LOW); delayMicroseconds(2);
11  digitalWrite(7, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(7, LOW);
12  duration = pulseIn(6, HIGH);
13  distance = duration * 0.034 / 2;
14
15  int outputPWM = map(distance, 0, 100, 0, 255); // skala 0-100 cm ke 0-255
16  analogWrite(9, outputPWM); // ke PLC VIN1
17  delay(100);
18 }
19
```

Gambar 27. Program Arduino

Tabel 8. Penjelasan setiap bagian

Bagian kode	Penjelasan
#define	mendefinisikan pin – pin yang digunakan oleh sensor dan output PWM.
Duration	Menyimpan waktu tempuh sinyal ultrasonik bolak – balik.
Distance	Menyimpan jarak hasil konversi dari waktu

Pwmvalue	Nilai PWM (0-255) untuk di kirim ke PLC.
PulseIn()	Fungsi untuk membaca durasi sinyal pantulan dari sensor.
Constrain()	Membatasi jarak agar hanya berada pada rentang 0-50cm
Map()	Mengonversi jarak menjadi nilai PWM yang sesuai.
Analogwrite()	Mengirimkan sinyal PWM ke pin output

Nilai PWM yang dikirim ke PLC adalah representasi dari jarak objek. Semakin jauh objek dari sensor, nilai PWM akan semakin besar, sehingga kecepatan motor yang dikendalikan oleh PLC juga meningkat secara proporsional.

3. Lampiran C

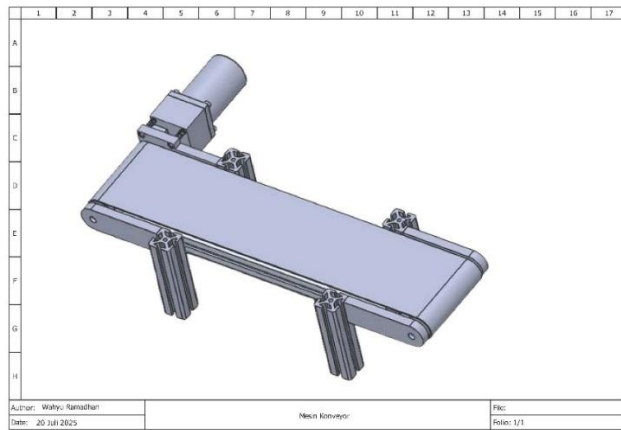
Berikut adalah hasil tabel pengujian kecepatan motor DC berdasarkan jarak objek yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik. Data ini digunakan untuk menganalisis kinerja sistem kontrol berbasis *fuzzy logic*.

Tabel 9. Hasil pengujian

Jarak (cm)	RPM Terhitung (RPM)	RPM Real – Time (RPM)	Error (%)
0	0	0	0.0
10	200	211	5.5
20	400	410	2.5
30	600	629	4.83
40	800	871	8.88
50	1000	1000	0.0

4. Lampiran D

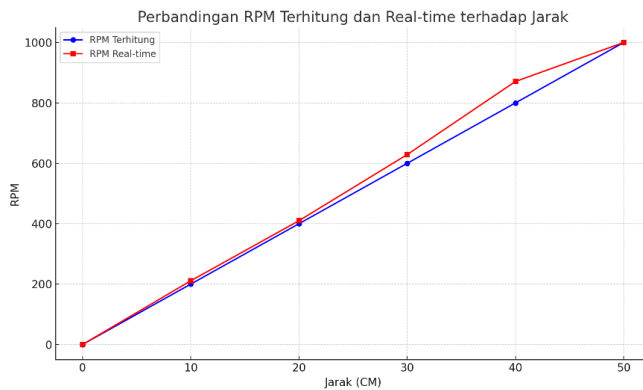
Gambar berikut merupakan model 3D dari sistem konveyor yang dikembangkan dalam proyek tugas akhir ini. Desain dibuat menggunakan perangkat lunak Solidworks dan merepresentasikan struktur fisik utama dari mesin konveyor. Yang berfungsi sebagai media pengangkutan objek dalam proses uji kontrol kecepatan motor DC berbasis *fuzzy logic*.



Gambar 28. Model 3D dari mesin konveyor

5. Lampiran E

Berikut adalah grafik perbandingan antara RPM yang dihitung secara teoritis dan hasil pengukuran Real – Time. Grafik ini menunjukkan deviasi yang terjadi pada masing – masing jarak yang diuji.



Gambar 29. Grafik perbandingan data