

PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR DC KONVEYOR *CHECKWEIGHER* MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

Andry Armadany¹, Akhmad Musafa², Indra Riyanto³, Nifty Fath⁴, Nazori AZ⁵

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Budi Luhur, Jakarta, Indonesia

¹andryarmadany74@gmail.com, ²akhmad.musafa@budiluhur.ac.id ³indra.riyanto@budiluhur.ac.id,
⁴nifty.fath@budiluhur.ac.id. ⁵nazori@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Konveyor *checkweigher* adalah jenis konveyor yang mempunyai fungsi memindahkan barang dari satu tempat ke tempat yang lain sekaligus menimbang berat dari barang yang dipindahkan.. Salah satu permasalahannya pada konveyor *checkweigher* adalah ketika pemberian beban pada konveyor terlalu berat yang mengakibatkan kecepatan konveyor melambat sehingga dapat memperlambat waktu proses perpindahan barang. Pada penelitian ini dirancang sistem kontrol logika fuzzy untuk mengatur kecepatan motor DC penggerak konveyor *checkweigher*. Sistem yang dirancang terdiri dari satu set konveyor dengan penggerak motor DC, sensor encoder, sensor berat menggunakan *load cell*, kontroler Arduino Mega, dan driver motor DC. Sensor encoder akan mengirimkan data kecepatan aktual motor konveyor ke kontroler untuk dibandingkan dengan kecepatan acuan yang telah ditentukan yaitu 120 rpm. Sinyal error dan delta error kecepatan akan diinputkan ke kontroler logika fuzzy. Masing-masing input error dan delta error kecepatan difuzifikasi menjadi lima fungsi keanggotaan untuk diolah dalam 25 aturan fuzzy. Proses defuzifikasi fuzzy Sugeno dilakukan dengan metode rata-rata terbobot untuk mengitung nilai PWM yang digunakan untuk mengatur kecepatan mtor konveyor. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban yang berbeda pada konveyor. Hasil pengujian menunjukkan dengan beban yang bervariasi, konveyor *checkweigher* dengan kontroler kecepatan menggunakan logika fuzzy dapat memindahkan barang dengan waktu yang lebih cepat dibandingkan konveyor *checkweigher* tanpa kontroler logika fuzzy.

Kata kunci: konveyor, Loadcell, Driver motor, motor DC, Encoder

ABSTRACT

The *checkweigher conveyor* is a type of conveyor that has the function of moving goods from one place to another while weighing the weight of the goods being moved. One of the problems with the *checkweigher conveyor* is when the load on the conveyor is too heavy which causes the conveyor speed to slow down so that it can slow down the process time of moving goods. In this final project, a fuzzy logic control system is designed to regulate the speed of the DC motor that drives the *checkweigher conveyor*. The designed system consists of a set of conveyors with DC motor drives, encoder sensors, weight sensors using *load cells*, Arduino Mega controllers, and DC motor drivers. The encoder sensor will send the actual speed data of the conveyor motor to the controller to be compared with the specified reference speed of 120 rpm. The error signal and speed delta error will be input to the fuzzy logic controller. Each error input and speed delta error are fuzzyfied into five membership functions to be processed in 25 fuzzy rules. The Sugeno fuzzy defuzzification process is carried out using the weighted average method to calculate the PWM value used to regulate the speed of the conveyor motor. Testing was conducted by giving different loads to the conveyor. The test results showed that with varying loads, the *checkweigher conveyor* with a speed controller using fuzzy logic can move goods in a faster time than the *checkweigher conveyor* without a fuzzy logic controller.

Keywords: conveyor, loadcell, motor driver, DC motor, encoder

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini, perkembangan teknologi berkembang sangat pesat serta menjadi kebutuhan bagi setiap orang, tanpa terkecuali pada perusahaan. Pada dasarnya setiap orang menggunakan teknologi untuk kebutuhannya serta untuk membantu pekerjaan manusia tanpa terkecuali dalam menjalankan perusahaan.

Dalam dunia industri modern, efisiensi dan akurasi dalam proses produksi adalah faktor kunci yang menentukan keberhasilan dan daya saing perusahaan. Salah satu komponen vital dalam sistem produksi adalah konveyor, yang digunakan untuk mengangkut barang dari satu titik ke titik lain. Checkweigher, sebagai bagian integral dari konveyor, berfungsi untuk menimbang produk secara otomatis dan memastikan setiap produk memiliki massa yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Penggunaan konveyor sering mengalami berbagai masalah, salah satu permasalahannya adalah ketika pemberian beban pada konveyor terlalu berat. Hal ini berdampak pada kecepatan konveyor yang semakin pelan, maka dari itu digunakanlah kontroler untuk memastikan kecepatan motor DC pada konveyor dapat diatur pada nilai yang tetap sesuai kecepatan yang diinginkan meskipun massa beban/objek yang dibawa berbeda-beda.

Mikrokontroler mempunyai kelebihan yaitu dapat membuat otomatisasi pada sebuah alat sehingga alat tersebut dapat digunakan dan membantu bagi pengguna. Pada penelitian ini merancang desain dan implementasi tentang kecepatan motor DC pada konveyor. Pada penelitian ini akan lebih berfokus pada bagaimana mengatur kecepatan motor DC pada konveyor checkweigher

Pada penelitian ini untuk mengatur kecepatan motor DC pada konveyor *checkweigher* menggunakan metode logika *fuzzy*. Kelebihan menggunakan metode ini adalah data yang didapat akan diolah dan diproses secara matematis serta memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat dari batas nilai yang telah ditentukan dengan menggunakan algoritma.

Dari beberapa uraian tersebut, maka dilakukan pengujian sistem dimana barang yang berjalan pada konveyor akan ditimbang menggunakan sensor *loadcell* yang berada di bawah *belt* konveyor. Kecepatan motor pada konveyor akan menyesuaikan dengan massa benda yang telah timbang oleh sensor *loadcell*. Error kecepatan dan delta error sebagai input dan PWM motor DC pada sistem bertindak sebagai output.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor DC

Motor DC, atau motor arus searah, adalah jenis mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Ini beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetisme.

Motor listrik adalah perangkat elektro magnetis yang dapat merubah energi listrik menjadi energi kinetik. Energi kinetic sendiri dapat digunakan sebagai berikut diantaranya, memutar *impeller* pompa, *fan* ataupun *blower*, menggerakan kompresor, mengangkat bahan,dll. Motor listrik juga berguna pada rumahan seperti (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan pada bagian industri. Motor listrik kadang kala bisa dinamai “*work horse*”, disebut *workhorse* (kuda kerja) karena konteks motor DC merujuk pada konsep daya atau kekuatan yang dapat dihasilkan oleh motor tersebut. Analogi ini sering digunakan untuk memberikan gambaran kepada user tentang kemampuan motor DC untuk melakukan pekerjaan atau menghasilkan daya[1]

• Cara Mengatur Kecepatan Motor DC (PWM)

PWM adalah teknik yang memungkinkan untuk mengontrol daya yang dikirim ke motor dengan mengubah rasio antara waktu ON dan OFF dari sinyal listrik[2]. Berikut adalah langkah-langkah umum untuk mengatur kecepatan motor DC menggunakan PWM:

1. Persiapkan Komponen
2. Motor DC: Motor yang akan dikendalikan.
3. Transistor atau MOSFET: Digunakan untuk mengendalikan arus ke motor berdasarkan sinyal PWM.
4. PWM Controller: Bisa berupa mikrokontroler seperti Arduino, atau modul PWM khusus.
5. Sumber Daya: Catu daya yang sesuai untuk motor.
6. Resistor (jika diperlukan): Untuk melindungi transistor atau MOSFET.
7. Dioda: Untuk melindungi sirkuit dari lonjakan arus saat motor dimatikan (flyback dioda).

• Rancang Rangkaian

1. Hubungkan Motor ke Transistor atau MOSFET:
 - Hubungkan terminal positif motor ke sumber daya positif.
 - Hubungkan terminal negatif motor ke drain (atau kolektor) transistor/MOSFET.
 - Hubungkan source (atau emitter) transistor/MOSFET ke ground.
2. Hubungkan PWM Controller:

- Sambungkan pin output PWM dari controller ke gate (atau basis) transistor/MOSFET.
 - Jika menggunakan transistor, pastikan ada resistor antara pin PWM dan basis transistor.
3. Tambahkan Dioda:
- Pasang dioda di paralel dengan motor, dengan arah yang membalikkan polaritas dari sumber daya, untuk melindungi sirkuit dari lonjakan arus.

B. Metode Sugeno (Takagi-Sugeno-Kang)

Metode Sugeno dikembangkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang pada tahun 1985. Metode ini berbeda dari metode Mamdani terutama dalam hal bentuk fungsi konsekuensi (THEN) dari aturan fuzzy-nya.

Karakteristik Metode Sugeno:

- Fuzzification: Mengubah input crisp menjadi nilai fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan.
- Inference: Menggunakan aturan IF-THEN, tetapi konsekuennya adalah fungsi linear atau konstan dari input variabel.
- Aggregation: Menggabungkan hasil evaluasi aturan menjadi satu output fuzzy.
- Defuzzification: Menggunakan output fungsi linear atau konstan langsung, sehingga proses defuzzifikasi lebih sederhana dan cepat[3]

Kelebihan:

- Proses defuzzifikasi lebih sederhana dan cepat.
- Cocok untuk aplikasi yang memerlukan komputasi cepat dan real-time.
- Mudah diintegrasikan dengan teknik optimasi dan kontrol adaptif.

Kekurangan:

- Kurang intuitif dibandingkan dengan metode Mamdani karena outputnya berbentuk fungsi matematis.
- Lebih sulit diinterpretasikan dalam beberapa kasus

Langkah-langkah Implementasi dengan Metode Sugeno

1. Definisikan Variabel Fuzzy
2. Buat Fungsi Keanggotaan
3. Buat Aturan Fuzzy
4. Fuzzification
5. Inference (Rule Evaluation)
6. Defuzzification

1. Definisikan Variabel Fuzzy

- Input: Error (deviasi antara kecepatan yang diinginkan dan kecepatan aktual), Perubahan error (derivative dari error).
- Output: PWM duty cycle.

2. Buat Fungsi Keanggotaan

Contoh Fungsi Keanggotaan untuk Input:

- Error: Negatif Besar (NB), Negatif Kecil (NK), Nol (Z), Positif Kecil (PK), Positif Besar (PB)
- Perubahan Error: Negatif (N), Nol (Z), Positif (P)

Buat Aturan Fuzzy

Tentukan aturan fuzzy berdasarkan pengetahuan sistem. Pada metode Sugeno, output dari aturan biasanya berupa fungsi linier atau konstan.

Contoh Aturan:

1. IF Error NB AND Perubahan Error N THEN
 $PWM = a1 * Error + b1 * Perubahan_Error + c1$
2. IF Error Z AND Perubahan Error Z THEN
 $PWM = a2 * Error + b2 * Perubahan_Error + c2$
3. IF Error PB AND Perubahan Error P THEN
 $PWM = a3 * Error + b3 * Perubahan_Error + c3$

1. Fuzzification

Ubah nilai input crisp menjadi nilai keanggotaan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibuat.

2. Inference (Rule Evaluation)

Contoh Aturan Fuzzy Sugeno:

1. IF Error is NB AND Perubahan Error is N THEN $PWM = 0$
2. IF Error is Z AND Perubahan Error is Z THEN $PWM = 50$
3. IF Error is PB AND Perubahan Error is P THEN $PWM = 100$

Dalam beberapa kasus, output dapat berupa fungsi linier dari input, misalnya:
 $PWM = a \cdot Error + b \cdot Perubahan_Error + c$

3. Defuzzification

Gunakan metode rata-rata tertimbang untuk menghitung nilai crisp dari output fuzzy.

Rumus Rata-rata Tertimbang:

$$Z = \frac{\sum i w_i \cdot Z_i}{\sum i W_i}$$

Dimana:

- w_i adalah nilai keanggotaan dari aturan ke-i.
- z_i adalah output dari aturan ke-i.

Contoh Implementasi

1. Definisikan Variabel Fuzzy

- Error: -30 to 30 (unit kecepatan)
- Perubahan Error: -10 to 10 (unit kecepatan per waktu)
- PWM: 0 to 100 (unit persen)

2. Buat Fungsi Keanggotaan

Error:

- Negatif Besar (NB): Trapezoid [-30, -30, -20, -10]
- Negatif Kecil (NK): Trapezoid [-20, -10, -5, 0]
- Nol (Z): Trapezoid [-5, 0, 0, 5]
- Positif Kecil (PK): Trapezoid [0, 5, 10, 20]
- Positif Besar (PB): Trapezoid [10, 20, 30, 30]

Perubahan Error:

- Negatif (N): Trapezoid [-10, -10, -5, 0]
- Nol (Z): Trapezoid [-5, 0, 0, 5]
- Positif (P): Trapezoid [0, 5, 10, 10]

3. Buat Aturan Fuzzy

1. IF Error NB AND Perubahan Error N THEN PWM = 100%
2. IF Error Z AND Perubahan Error Z THEN PWM = 50%
3. IF Error PB AND Perubahan Error P THEN PWM = 0%

4. Fuzzification

Misalkan:

- Error = -20 (Negatif Kecil)

- Perubahan Error = 5 (Positif Kecil)

Hitung nilai keanggotaan:

- $\mu_{NK}(-20) = 1$
- $\mu_{PK}(5) = 0.5$.

5. Inference (Rule Evaluation)

Evaluasi aturan:

1. PWM = $100\% \times 1$ (dari aturan pertama)
2. PWM = $50\% \times 0$ (dari aturan kedua)
3. PWM = $0\% \times 0.5$ (dari aturan ketiga)

6. Defuzzification

Gunakan rata-rata tertimbang untuk menghitung nilai crisp dari output fuzzy:

$$\text{PWM} = \frac{(1 \times 100) + (0 \times 50) + (0.5 \times 0)}{1+0+0.5} = \frac{100}{1.5} = 66.67\%$$

Kesimpulan :

Dengan langkah-langkah ini, Anda dapat menggunakan metode Sugeno untuk mengatur kecepatan motor DC pada konveyor dengan output PWM. Metode Sugeno memungkinkan defuzzifikasi yang cepat dan efisien, menghasilkan nilai crisp yang dapat langsung digunakan untuk mengendalikan PWM motor DC. Hal ini menjadikan metode Sugeno sangat cocok untuk aplikasi kontrol real-time yang memerlukan respons cepat dan presisi tinggi[4]

C. Load cell

Load cell adalah jenis transduser atau sensor yang mengubah gaya atau beban yang bekerja padanya menjadi sinyal listrik. Alat ini umumnya digunakan dalam aplikasi industri untuk mengukur gaya atau berat. Nilai ukur antara sensor load cell yang ada pada timbangan digital dan nilai ukur pada timbangan konvensional atau manual terkadang memiliki perbedaan yang sangat signifikan diantara keduanya[5]. Load cell memiliki berbagai bentuk dan ukuran, tetapi prinsip dasar operasinya adalah mengukur deformasi (regangan) dari suatu material ketika dikenai gaya.

Berikut beberapa poin penting tentang load cell:

1. Jenis Load Cell:

- Strain Gauge Load Cell: Jenis ini paling umum dan menggunakan strain gauge yang melekat pada bahan fleksibel. Ketika gaya diterapkan, bahan tersebut mengalami deformasi, menyebabkan perubahan resistansi

pada strain gauge.

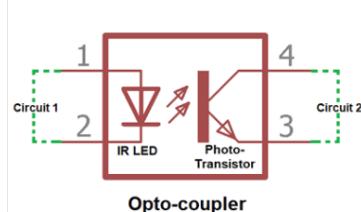
- Piezoelectric Load Cell: Menggunakan kristal yang menghasilkan muatan listrik sebagai respons terhadap gaya yang diterapkan.
 - Hydraulic Load Cell: Menggunakan cairan hidrolik untuk mengukur gaya. Gaya yang diterapkan menyebabkan deformasi diafragma, menyebabkan perubahan tekanan dalam cairan hidrolik.
2. Aplikasi:
- Pengukuran Industri: Load cell banyak digunakan dalam timbangan industri untuk tujuan pengukuran berat.
 - Uji Material: Di laboratorium dan manufaktur, load cell digunakan untuk menguji kekuatan dan properti material.
 - Aerospace: Load cell digunakan dalam aplikasi aerospace untuk mengukur gaya dan beban pada struktur selama pengujian dan penerbangan sebenarnya.
 - Perangkat Medis: Pada beberapa perangkat medis, load cell dapat digunakan untuk pengukuran berat pasien.
3. Kalibrasi dan Akurasi:
- Load cell perlu dikalibrasi secara teratur untuk memastikan pengukuran yang akurat.
 - Faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, dan getaran dapat mempengaruhi akurasi load cell, sehingga kondisi lingkungan yang tepat harus dipertahankan.
4. Output Sinyal:
- Load cell umumnya menghasilkan sinyal listrik, biasanya dalam bentuk tegangan atau arus, yang sebanding dengan gaya yang diterapkan.
5. Pertimbangan Pemasangan:
- Pemasangan dan instalasi yang benar sangat penting untuk pengukuran yang akurat. Beban harus diterapkan pada load cell sesuai dengan arah yang ditentukan.
6. Pemrosesan Sinyal003A
- Pada beberapa aplikasi, perangkat pengolahan sinyal dapat digunakan untuk memodifikasi dan meningkatkan sinyal load cell guna meningkatkan akurasi dan kompatibilitas dengan sistem akuisisi data.

Secara ringkas, load cell memainkan peran krusial dalam berbagai industri di mana pengukuran gaya atau berat diperlukan. Mereka menyediakan cara untuk mengubah gaya mekanis menjadi sinyal listrik

untuk pengolahan dan analisis lebih lanjut.

D. Encoder

Untuk mengetahui besar kecepatan suatu motor DC yang sedang berputar digunakan sensor kecepatan. Besar kecepatan motor biasanya dinyatakan dalam putaran per detik (rps) atau putaran permenit (rpm). Sensor kecepatan dapat dibangun dari komponen elektronik diantaranya adalah dengan menggunakan komponen encoder. Umumnya sebuah encoder terdiri dari Komponen diode pemancar cahaya dan fototransistor [6]. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 1 Sistem Sensor Encoder

Apabila diode pemancar cahaya diberi tegangan DC maka diode ini akan menghasilkan cahaya, selanjutnya cahaya yang dipancarkan oleh diode tersebut akan diterima oleh fototransistor, dan akan mengaktifkan fototransistor. Antara diode pemancar dengan fototransistor terdapat celah. Apabila pada celah tersebut diberi penghalang atau tabir sehingga cahaya yang dipancarkan oleh dioda. Pemancar tidak sampai mengenai basis dari fototransistor mengakibatkan fototransistor tidak aktif. Tegangan antara kolektor-emitor fototransistor tidaklah sama pada saat fototransistor aktif dengan tidak aktif[6]. Sebuah sensor kecepatan yang dibangun dari rangkaian elektronik Optocoupler dan piringan yang berlubang (yang di tempatkan pada poros motor) disebut sebagai rotary encoder.

Sebuah rotary encoder adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur rotasi poros atau motor. Ini mengubah posisi sudut atau gerakan poros menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler, komputer, atau sistem digital lainnya. Ada berbagai jenis rotary encoder, dan mereka dapat dikategorikan sebagai absolut atau inkremental.

E. Driver motor L298N

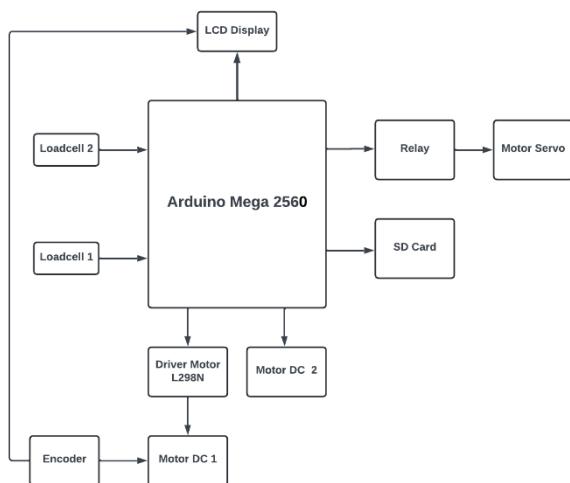
Driver motor L298N merupakan module driver motor DC yang paling banyak digunakan atau dipakai di dunia elektronika yang difungsikan untuk mengontrol kecepatan serta arah perputaran motor DC. IC L298 merupakan sebuah IC tipe H-bridge yang mampu

mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid, motor DC dan motor stepper. Kelebihan akan modul driver motor L298N ini yaitu dalam hal kepresisan dalam mengontrol motor sehingga motor lebih mudah untuk dikontrol[7]

Modul L298N dilengkapi dengan dua jalur pengendalian motor independen, yang masing-masing dapat mengontrol satu motor. Modul ini dapat mengendalikan dua motor DC atau satu motor stepper. Terdapat terminal penghubung untuk koneksi motor, catu daya, dan sinyal kontrol[8]

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Diagram Blok Sistem



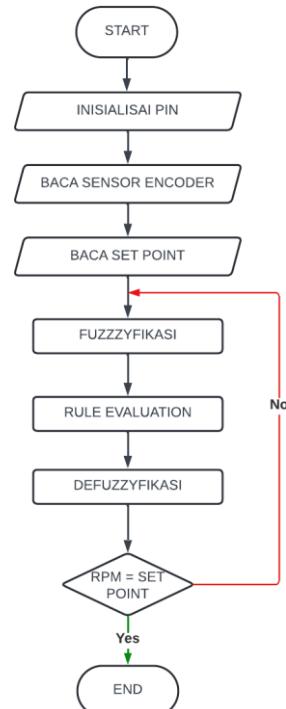
Gambar 2 Diagram Blok Sistem Alat

Penjelasan prinsip kerja pada diagram blok sistem alat adalah sebagai berikut :

1. Arduino Mega 2560: Ini adalah mikrokontroler utama yang mengendalikan semua komponen lain dalam sistem. Semua komponen terhubung ke Arduino Mega untuk menerima sinyal kontrol atau mengirim data.
2. Loadcell 1 dan Loadcell 2: Loadcell adalah sensor yang digunakan untuk mengukur berat atau gaya. Dalam diagram ini, ada dua loadcell yang masing-masing terhubung ke Arduino Mega. Data dari loadcell ini bisa digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti menimbang beban atau mendeteksi tekanan.
3. Encoder: Encoder adalah sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan atau posisi dari motor DC. Dalam diagram ini, encoder terhubung ke Motor DC 1 dan mengirimkan sinyal ke Arduino Mega untuk mengukur RPM motor, yang dapat digunakan dalam loop kontrol untuk menyesuaikan kecepatan motor.

4. Motor DC 1 dan Motor DC 2: Ini adalah motor DC yang dikendalikan oleh Arduino Mega. Motor DC 1 terhubung ke driver motor L298N untuk mengatur kecepatannya. Motor DC 2 juga dikendalikan oleh Arduino Mega tetapi tidak memerlukan driver tambahan dalam diagram ini.
5. Driver Motor L298N: Driver motor ini digunakan untuk mengontrol Motor DC 1. Driver L298N dapat mengendalikan arah dan kecepatan motor berdasarkan sinyal PWM dari Arduino Mega.
6. Motor Servo: Motor servo dikendalikan oleh sinyal dari Arduino Mega, biasanya digunakan untuk aplikasi yang memerlukan kontrol posisi yang presisi.
7. Relay: Relay adalah komponen saklar elektronik yang dikendalikan oleh Arduino Mega. Relay ini dapat digunakan untuk menghidupkan atau mematikan perangkat lain, seperti Motor Servo atau beban yang lebih besar.
8. LCD Display: Layar LCD ini digunakan untuk menampilkan informasi, seperti data dari sensor, status sistem, atau hasil pengukuran. LCD ini menerima data dari Arduino Mega.
9. SD Card: Modul kartu SD digunakan untuk menyimpan data secara permanen. Arduino Mega dapat menyimpan data dari sensor atau log operasional ke dalam kartu SD ini untuk analisis lebih lanjut atau penyimpanan.

B. Flowchart Cara Kerja Alat



Gambar 3 Flowchart Cara Kerja Alat

Gambar 2 adalah flowchart cara kerja alat yang menggambarkan alur sistem pada perangkat. Dari gambar di atas dijelaskan sebagai berikut :

1. START (Mulai): Program dimulai.
2. Inisialisasi Pin: Langkah ini melibatkan pengaturan pin yang diperlukan pada Arduino Mega. Ini bisa termasuk konfigurasi pin input untuk sensor dan pin output untuk mengontrol motor (misalnya, output PWM).
3. Baca Sensor Encoder: Program membaca RPM (kecepatan) saat ini dari sensor encoder yang terhubung ke motor DC. Sensor ini memberikan umpan balik mengenai kecepatan aktual motor.
4. Baca Set Point: Set point (RPM yang diinginkan) diambil. Nilai ini mewakili kecepatan target yang seharusnya dicapai oleh motor.
5. Fuzzyifikasi: Proses fuzzyifikasi mengubah nilai input yang jelas (misalnya, error kecepatan dan perubahan error) menjadi nilai fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan.
6. Evaluasi Aturan: Langkah ini melibatkan penerapan aturan logika fuzzy pada nilai fuzzy yang diperoleh pada langkah sebelumnya. Aturan-aturan ini menentukan output fuzzy berdasarkan kondisi input.
7. Defuzzyifikasi: Pada langkah ini, output fuzzy diubah kembali menjadi nilai yang jelas, yang akan digunakan sebagai sinyal kontrol (misalnya, nilai PWM) untuk menyesuaikan kecepatan motor.
8. RPM = Set Point?: Program memeriksa apakah RPM aktual sesuai dengan set point dalam batas toleransi yang telah ditentukan.
 - o Jika Ya: Jika kecepatan aktual sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, program berlanjut ke END.
 - o Jika Tidak: Jika kecepatan aktual tidak sesuai dengan set point, program kembali ke langkah membaca sensor encoder dan mengulangi proses kontrol.
9. END (Akhir): Program berakhir jika RPM aktual sesuai dengan set point.

Secara keseluruhan, diagram alir ini menggambarkan sistem kontrol tertutup yang menggunakan logika fuzzy untuk mempertahankan kecepatan motor DC pada set point yang diinginkan. Sistem ini secara terus-menerus membaca kecepatan saat ini, membandingkannya dengan set point, dan menyesuaikan sinyal PWM motor berdasarkan output dari pengontrol logika fuzzy hingga kecepatan aktual sesuai dengan kecepatan target.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Pengujian Driver Motor L298N

Pengujian driver motor dilakukan untuk memastikan bahwa driver tersebut berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan dalam mengontrol motor. Pengujian dilakukan dengan memastikan apakah driver motor cocok dengan spesifikasi motor yang akan dikontrol, termasuk tegangan, arus, dan jenis motor yang dikontrol oleh driver motor L298N, dan menguji respon driver terhadap perubahan kondisi operasi seperti perubahan beban atau kecepatan motor. Pastikan driver dapat menyesuaikan diri dengan cepat dan sesuai dengan perintah kontrol. Pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 1 Hasil pengujian Driver motor L296 tanpa beban

PWM	RPM	keterangan
0	0	Performa baik
10	0	Performa baik
20	0	Performa baik
30	0	Performa baik
40	0	Performa baik
50	0	Performa baik
60	0	Performa baik
70	0	Performa baik
80	0	Performa baik
90	0	Performa baik
100	0	Performa baik
110	85	Performa baik
120	98	Performa baik
130	120	Performa baik
135 -140	120	Apabila mengalami gangguan atau noise yang dapat mempengaruhi operasi driver

Setelah dilakukan pengujian pada driver motor L298N pada Tabel 4.8 diatas dapat disimpulkan pada PWM 1-100 motor DC masih belum menyala, motor DC mulai menyala pada PWM 110 dengan kecepatan 85

RPM, pada RPM 120 kecepatan motor DC 98 RPM, dan pada saat PWM 130 motor DC dapat mencapai kecepatan yang diinginkan yaitu 120 RPM. Apabila driver motor mengalami gangguan atau noise seperti sinyal kontrol yang masuk ke driver motor dapat menyebabkan keputaran mencapai set point pada PWM 120

B. Pengujian Loadcell Dengan Menggunakan Liquid dan Pada air mineral 220 ml

Pada pengujian ini membandingkan antara sensor loadcell dengan timbangan digital. Langkah pertama menimbang seluruh produk dengan timbangan digital. Produk terdapat empat macam massa yang mana massa produk pertama adalah 30 gram, produk kedua adalah 60 gram, produk ketiga adalah 90 gram, dan produk keempat adalah 120 gram.



Gambar 4 pengujian timbangan

Setelah dilakukan penimbangan menggunakan timbangan digital, selanjutnya membandingkan timbangan berat produk melalui sensor loadcell. Pada pengujian menggunakan sensor loadcell dan menggunakan timbangan digital, mendapatkan hasil pada produk sangat ringan setelah di timbang menggunakan sensor loadcell menunjukkan hasil 30 gram, produk ringan menunjukkan hasil 60 gram, produk sedang menunjukkan hasil 90 gram, produk berat menunjukkan hasil 120 gram.

Hasil menunjukkan adanya nilai error pada timbangan digital dengan timbangan loadcell, dapat dilihat melalui tabel sebagai berikut

Tabel 2 Hasil Pengujian sensor loadcell

n o	Massa Bend a (Gr)	LoadCel 1 (Gr)	LoadCel 1 2 (Gr)	Selisi h	Ero r
1	30	30	30	0	0%
2	60	60	60	0	0%
3	90	90	90	0	0%
4	120	120	120	0	0%

Pada Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian dari timbangan digital dan timbangan sensor loadcell. Persentase *error* pengukuran didapatkan dari pembagian nilai selisih pembacaan dengan nilai timbangan digital kemudian di kalikan 100%. Persentase *error* dapat dilihat pada rumus di bawah ini.

$$Error = \frac{Selisih\ nilai}{nilai\ timbangan} \times 100\%$$

Sehingga hasil perhitungan yang diperoleh dari rumus tersebut, adalah sebagai berikut :

$$error = \frac{0}{30} \times 100\% \\ error = 0 \times 100\% \\ error = 0\% \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

C. Pengujian LoadCell dengan massa beban Yang Bergerak Pada Conveyor

Pengujian dilakukan sama dengan sebelumnya yaitu pengujian pada loadcell yang membedakan yaitu pada pengujian ini pengukuran loadcell dilakukan pada benda yang bergerak pada konveyor. Karena timbangan digital yang diletakkan di bawah belt menunjukkan berat yang lebih besar untuk benda yang diam daripada benda yang bergerak



Gambar 5 Pengujian sensor *Loadcell*

Hasil menunjukkan adanya nilai error pada timbangan digital dengan timbangan loadcell pada benda yang bergerak dekan kecepatan 120 *RPM*, dapat dilihat melalui tabel sebagai berikut

Tabel 3 Hasil Pengujian sensor loadcell

No	Berat Liquid Vape	Massa Benda (Gr)	LoadCell (Gr)	Selisih	Eror
1	Sangat Ringan	30	30	0	0 %
2	Ringan	60	60	0	0 %
3	Sedang	90	90	0	0 %
4	Berat	120	120	0	0 %

Pada Tabel 4.3 merupakan hasil pengujian dari timbangan otomatis dan timbangan sensor loadcell dengan produk yang bergerak. Persentase *error* pengukuran didapatkan dari pembagian nilai selisih pembacaan dengan nilai timbangan tepung kemudian dikalikan 100%. Persentase *error* dapat dilihat pada rumus di bawah ini.

$$Error = \frac{Selisih\ nilai}{nilai\ timbangan} \times 100\%$$

Sehingga hasil perhitungan yang diperoleh dari rumus tersebut, adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}error &= \frac{0}{90} \times 100\% \\error &= 0 \times 100\% \\error &= 0\%.....(4.2.3)\end{aligned}$$

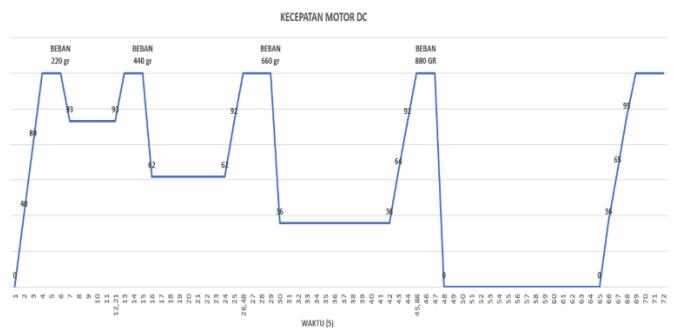
$$\text{error} = \frac{0}{120} \times 100\% \\ \text{error} = 0 \times 100\% \\ \text{error} = 0\% \dots \dots \dots \quad (4.2.4)$$

D. Pengujian Kecepatan Motor DC Dengan Diberi beban

Pada pengujian kecepatan motor dc dengan diberi beban ini dimaksudkan agar mengetahui berapa kecepatan motor DC yang turun apabila diberi beban. Pada pengujian ini motor DC akan jalankan terlebih dahulu ababila sudah mencapai kecepatan *set point* (120 RPM) barulah diberikan beban yaitu aqua gelas dengan massa beban 220 gram. Pada pengujian kecepatan motor Dc dapat dilihat Pada tabel 4.5.

Tabel 4 Hasil pengujian Motor DC Dengan Beban

Jumlah Beban	Berat Beban	RPM Turun	Jeda waktu naik ke 120
1	220 Gram	93	5,21 Detik
2	440 Gram	62	10,48 Detik
3	660 Gram	36	15,88 Detik
4	880 Gram	0	21,12 Detik



Gambar 6 Grafik kecepatan motor DC

Dari Gambar di atas dapat disimpulkan :

- Pada massa 220 gram, RPM turun dari kecepatan 120 RPM hingga ke 93 RPM dengan respon time 5,21 detik
 - Pada massa 440 gram, RPM turun dari kecepatan 120 RPM hingga ke 62 RPM dengan respon time 10,48 detik
 - Pada berat 220 gram, RPM turun dari kecepatan 120 RPM hingga ke 36 RPM dengan respon time 15,88 detik
 - Pada massa 880 gram, , RPM turun dari kecepatan 120 RPM hingga ke 0 RPM. 880 gram merupakan berat maksimal yang dapat dibawa oleh motor DC dengan respon time 21,12 detik
- . E. Pengujian massa beban yang dapat diterima oleh motor DC

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas massa beban yang dapat dijalankan oleh motor DC. Pada pengujian ini motor DC akan dijalankan terlebih dahulu apabila sudah mencapai kecepatan set point (120 RPM) barulah beban akan diberikan, beban akan diberikan terus menerus apabila kecepatan sudah mencapai kecepatan 120 RPM hingga motor berhenti atau tidak sanggup lagi membawa beban (aqua gelas). Pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 5 Hasil pengujian Motor DC dengan Beban

No	Berat Beban (gram)	RPM Motor DC	PWM
1	220	120	160
2	440	120	195
3.	660	120	235
4	880	120	490
5	1000	120	750

F. Pengujian Kecepatan Konveyor Dengan menggunakan Logika Fuzzy Logoc dan Tanpa Fuzzy Logic

Pada pengujian kecepatan konveyor ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan waktu tempuh benda yang berjalan pada konveyor. Pada pengujian ini akan dibuat dua program yang sama yang membedakan hanya pada metode(menggunakan fuzzy logic dan tanpa fuzzy logic), yang akan dibandingkan waktu tempuh benda tersebut dari awal konveyor ke akhir konveyor, waktu akan dihitung menggunakan stopwatch. Pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 6 Hasil pengujian Kecepatan konveyor dengan menggunakan metode fuzzy logic

No	Beban	Waktu Tempuh menggunakan metode fuzzy logic (detik)	Waktu Tempuh tanpa menggunakan metode fuzzy logic (detik)
1	0 gr	7 detik	7 detik
2	220 gr	7,73 detik	8,24 detik
3	440 gr	9,10 detik	10,58 detik
4.	660 gr	12,46 detik	14,90 detik
5.	880 gr	31,14 detik	35,11 detik
6.	1000 gr	53,86 detik	58,56 detik

Dari table di atas dapat disimpulkan untuk dapat menghemat waktu produksi produk lebih efisien menggunakan sistem pengendali kecepatan motor DC menggunakan metode fuzzy logic daripada hanya menggunakan sistem control biasa. Pada tabel 4.8 dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Pada saat berat beban 220 gram menggunakan sistem pengendali kecepatan dengan fuzzy logic dapat menghemat waktu lebih cepat sebesar 0,51 detik
- Pada saat berat beban 440 gram menggunakan sistem pengendali kecepatan dengan fuzzy logic dapat menghemat waktu lebih cepat sebesar 1,48 detik
- Pada saat berat beban 660 gram menggunakan sistem pengendali kecepatan dengan fuzzy logic dapat menghemat waktu lebih cepat sebesar 2,44 detik
- Pada saat berat beban 880 gram menggunakan sistem pengendali kecepatan dengan fuzzy logic dapat menghemat waktu lebih cepat sebesar 3,97 detik
- Pada saat berat beban 1000 gram menggunakan sistem pengendali kecepatan dengan fuzzy logic dapat menghemat waktu lebih cepat sebesar 4,77 detik

V. KESIMPULAN

Pada kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Setelah dilakukan perancangan alat dan dilakukan percobaan pada perancangan sistem kontrol kecepatan motor dc konveyor check weigher dengan mempertimbangkan berat objek menggunakan logika fuzzy, maka dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Motor DC bergerak pada PWM 110
2. Pengujian sensor encoder menunjukkan bahwa

- sensor ini mampu mendeteksi dan menghitung putaran motor dengan akurasi yang memadai. Data RPM yang dihasilkan konsisten dengan kecepatan motor yang diinginkan, sehingga sensor ini dapat diandalkan untuk memberikan feedback yang akurat dalam sistem kontrol kecepatan.
3. Sensor loadcell berhasil mengukur berat beban dengan akurasi yang baik, sesuai dengan kalibrasi yang telah dilakukan. Variasi berat yang diterapkan selama pengujian menunjukkan bahwa sensor ini dapat memberikan pengukuran yang konsisten dan tepat, sehingga mampu mendukung aplikasi yang memerlukan monitoring beban pada konveyor.
 4. Pengujian driver motor menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengendalikan kecepatan motor dengan respons yang cepat dan tepat terhadap sinyal PWM yang diberikan. Rangkaian driver ini mampu menangani beban motor tanpa overheating atau penurunan kinerja yang signifikan, menandakan keandalan dan efisiensinya dalam pengoperasian motor DC.
 5. Implementasi kontroler logika fuzzy menunjukkan performa yang efektif dalam mengatur kecepatan motor sesuai dengan setpoint, meskipun terdapat variasi beban yang berbeda. Sistem kontrol fuzzy ini berhasil menyesuaikan output PWM secara adaptif, memastikan bahwa kecepatan motor tetap stabil di berbagai kondisi beban. Ini menunjukkan bahwa metode fuzzy logic sangat cocok untuk aplikasi pengendalian kecepatan yang memerlukan adaptasi dinamis terhadap perubahan kondisi.
 6. Bila motor DC dijalankan tanpa beban pada RPM 120 dengan besar PWM 130 bila sistem berjalan dengan efektif,bila sistem mengalami gangguan pada kecepatan 120 RPM besar PWM dapat mencapai 135-140
- [4] *Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 102–109, 2023, doi: 10.56211/helloworld.v2i2.297.
- [5] A. Maulana, “Penerapan Logika Fuzzy Sugeno Untuk Keputusan Kelayakan Kredit Bank,” *J. Desain Dan Anal. Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 44–58, 2024, doi: 10.58520/jddat.v3i1.45.
- [6] Wahyudi, Abdur Rahman, and Muhammad Nawawi, “Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual,” *J. ELKOMIKA*, vol. 5, no. 2, pp. 207–220, 2017.
- [7] P. Name *et al.*, “Injection Method to Increase Precision of Rotary Encoder on 2742 Words JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering),” no. 13, 2022.
- [8] T. Y. Candra and T. Taali, “Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah Berbeban dengan Teknik Kontrol PWM Berbasis Arduino,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 1, p. 199, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.107877.
- [9] A. Muis, “Rancang Bangun Konveyor Pengirim Makanan Pada Restoran Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode Pwm,” vol. XXII, no. 3, pp. 75–76, 2021.

REFERENSI

- [1] I. Hanafi, F. Hunaini, and D. Siswanto, “Monitoring And Control System Of Industrial Electric Motors Using The Internet Of Things Sistem Monitoring Dan Kontrol Motor Listrik Industri Menggunakan Internet Of Things (Iot),” *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 7, no. 1, 2023.
- [2] F. F. Kurniawan, P. Endramawan, and D. Hardiyanto, “JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro) Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor DC Dengan PWM Berbasis Arduino Nano,” *J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 07, no. 02, pp. 9–16, 2022.
- [3] D. Rifai and F. Fitriyadi, “Penerapan Logika Fuzzy Sugeno dalam Keputusan Jumlah Produksi Berbasis Website,” *Hello World J.*