

# Penerapan Pid-Fuzzy Berbasis Ladder Diagram Untuk Kontrol Kecepatan Dan Posisi Sejajar 2 Benda

Eko Budi Utomo<sup>1</sup>, Endah Suryawati Ningrum<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Mekatronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia

<sup>1</sup>email: ekobudi\_u@pens.ac.id, <sup>2</sup>email: endah@pens.ac.id

## Article Info

### Article history:

Diterima 11 April 2024

Revisi 13 April 2024

Diterbitkan 23 April 2024

### Keywords:

Fuzzy-PID Ladder

FunctionBlock

PLC Siemens S7-300

Simatic Manager

Master slave PLC

## ABSTRAK

Pada penelitian ini diimplementasikan sistem kontrol kecepatan dan posisi sejajar 2 benda pada conveyor yang berbeda. Setiap conveyor memiliki sensor jarak. Selisih data jarak pada masing masing conveyor digunakan untuk kontrol posisi sejajar saat conveyor aktif. Selain itu terdapat variasi beban yang perlu dikontrol untuk tetap mencapai kecepatan yang diperlukan. Sistem ini menggunakan hardware (PLC Siemens S7-300), Software (Simatic Manager), dan mekanik berupa motor conveyor untuk sinkronisasi posisi 2 benda. Pada Fuzzy terdapat 4 input dan 1 output berupa setpoint kecepatan motor. *Setpoint* ini diproses oleh kontrol PID dengan umpan balik yang berasal dari data rotary encoder atas kecepatan motor yang berubah karena variasi beban. Program Fuzzy-PID diimplementasikan dengan instruksi dasar (tidak menggunakan fitur *add-on software* atau *Function Block*) dan ditanam pada 2 buah PLC yang saling berkomunikasi. Hasil pengujian kecepatan motor paling cepat dan stabil pada 50 rpm terhadap variasi beban 2.5 kg sampai 9.5 kg dengan respon waktu kembali menuju steady state sebesar 200ms (pemberian beban) dan sebesar 350 ms (pelepasan beban). Hasil output fuzzy 1 mempunyai galat rata-rata sebesar 5% dan output fuzzy 2 sebesar 5.7%.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## Corresponding Author:

Eko Budi Utomo

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia

Email: ekobudi\_u@pens.ac.id

## 1. PENDAHULUAN

PLC (Programmable Logic Control) adalah sebuah device kontrol yang banyak dipakai di pabrik atau sektor industri di lingkup nasional bahkan internasional. PLC mengalami tranformasi baik dari segi hardware maupun software programming. Tidak hanya melakukan fungsi kontrol sekuensial input dan output dalam bentuk logic (diskrit), tapi juga dalam bentuk analog. Dalam pemenuhan kebutuhan proses otomasi untuk produksi, sistem kontrol yang sering diterapkan adalah berbasis PID. Dan beberapa keperluan juga membutuhkan kontrol Fuzzy. Dalam software programming, PLC menyediakan fungsi atau program khusus untuk penggunaan PID dan Fuzzy. Seperti pada penjelasan [1].

Sebagai contoh FuzzyControl++ software tool dari Siemens[9]. Tool tersebut dapat dioperasikan dengan mudah menggunakan hardware S7-300 atau S7-400 untuk menyelesaikan permasalahan kontrol dalam sebuah plant. Selanjutnya Rockwell Automation juga menawarkan FuzzyDesigner editor untuk RS Logix 5000 PLC yang digunakan dalam [2]. Atau pada PLC berukuran kecil (micro-PLC) implementasi Fuzzy dilakukan dengan bantuan SCADA system [3], jadi Fuzzy tidak dioperasikan langsung dari CPU PLC melainkan dari CPU computer.

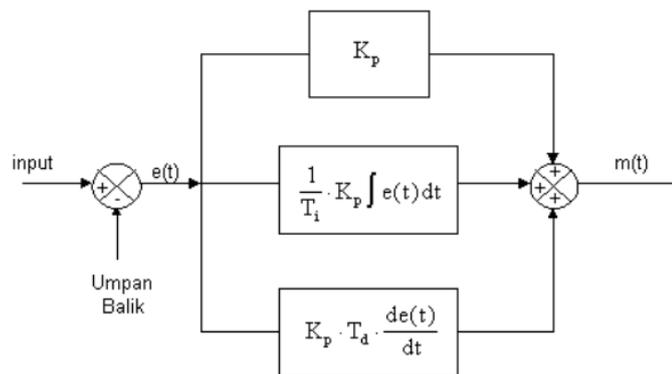
Kemudian dalam [4], rule based untuk fuzzy dibangun menggunakan microPLC S7-214 CPU dengan rule yang berukuran kecil. Kemudian untuk rule yang lebih besar dan complex dilakukan pada [5] menggunakan superbloc dari library Simatic. Pada penelitian ini implementasi PID dan Fuzzy dibangun menggunakan instruksi dasar yang disediakan oleh software dan tidak menggunakan fitur atau add-on tambahan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah pemahaman langkah untuk menanam (embed) program kontrol di

beberapa PLC Siemens yang dikomunikasikan dengan jalur serial atau ethernet. Untuk mewujudkan kombinasi kontrol dari beberapa PLC maka plant yang digunakan adalah berupa 2 buah konveyor yang digerakkan oleh masing-masing motor dengan ditambahkan rotary encoder. Selisih data sensor ultrasonik pada konveyor pertama dan kedua dijadikan referensi untuk sinkronisasi posisi menggunakan fuzzy kontrol. Output dari fuzzy berupa setpoint untuk menggerakkan motor. Konveyor membawa benda dengan variasi beban yang berbeda-beda yang mengakibatkan efek pembebanan pada motor, untuk itu diperlukan kontrol PID untuk menjaga kestabilan kecepatan motor.

## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1. Pengendali PID

Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar [11].



Gambar 1. Blok diagram pengontrol PID

Dengan persamaan untuk kontrol PID adalah:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \cdot K_p \int_0^t e(t) dt + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

dengan:

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| $m(t)$ = sinyal output pengendali PID | $K_p$ = konstanta proporsional                   |
| $T_i$ = waktu integral                | $K_i$ = konstanta integral ( $K_p/T_i$ )         |
| $T_d$ = waktu derivative              | $K_d$ = konstanta derivative ( $K_p \cdot T_d$ ) |
|                                       | $e(t)$ = sinyal input – umpan balik              |

### 2.2. Metode tuning Zeigler-Nichols

Metode tuning Zeigler-Nichols ada dua metode, metode yang pertama didasarkan pada respon plant terhadap masukan fungsi step dalam *open loop*. Metode yang kedua tuning dilakukan dalam *close loop* dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step).

#### 2.2.1. Metode pertama Zeigler-Nichols

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter-parameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris Zielger-Nichols. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi dengan tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-1

| Pengendali | KP    | $\tau I$ | $\tau D$ |
|------------|-------|----------|----------|
| P          | 1/a   | -        | -        |
| PI         | 0,9/a | 3L       | -        |
| PID        | 1,2/a | 2L       | L/2      |

#### 2.2.2. Metode kedua Zeigler-Nichols

Pada metode kedua, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional.  $K_p$  dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis  $K_p$ , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai kritis  $K_p$  ini disebut sebagai *ultimated gain*. Nilai *ultimated periode*  $T_u$  diperoleh setelah

keluaran sistem mencapai kondisi yang terusmenerus beresilasi. Nilai perioda dasar  $T_u$ , dan penguatan dasar  $K_u$ , digunakan untuk menentukan konstanta-konstanta pengendali sesuai dengan tetapan empiris Ziegler-Nichols pada Tabel.

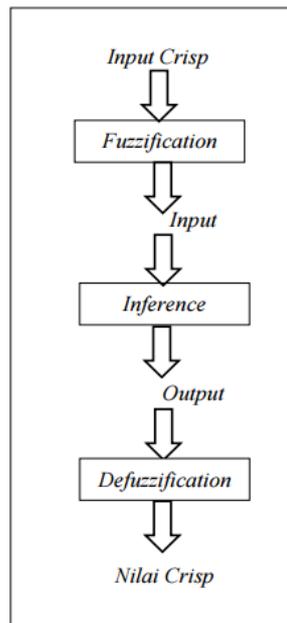
Tabel 2. Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-2

| Pengendali | $K_p$    | $\tau_i$ | $T_d$     |
|------------|----------|----------|-----------|
| P          | $K_u/2$  | -        | -         |
| PI         | $2K_u/5$ | $4T_u/5$ | -         |
| PID        | $3K_u/5$ | $T_u/2$  | $3T_u/25$ |

### 2.3. Fuzzy kontrol

Secara umum suatu sistem Logika Fuzzy terdiri dari tiga komponen utama yaitu Fuzzification, Inference dan Defuzzification [12].

Fuzzification merupakan proses pemetaan nilai input (crisp input) yang berasal dari sistem yang dikontrol kedalam himpunan fuzzy menurut fungsi keanggotaannya (membership function). Untuk mengubah crisp input menjadi fuzzy input, terlebih dahulu harus menentukan fungsi keanggotaan (membership function) untuk crisp input, kemudian proses fuzzification akan mengambil crisp input dan membandingkan dengan fungsi keanggotaan (membership function) yang telah ada untuk menghasilkan harga fuzzy input. Sistem Inferensi Fuzzy (Fuzzy Inference System) disebut juga fuzzy inference engine adalah sistem yang dapat melakukan penalaran (inference) dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurnya atau akan memperhitungkan semua aturan yang ada di dalam basis pengetahuan fuzzy. Bentuk umum dari aturan fuzzy dapat dituliskan "IF  $x$  is A THEN  $y$  is B" yang digunakan untuk menentukan relasi fuzzy antara input dan output kontrol.



Gambar 2. Sistem Logika Fuzzy

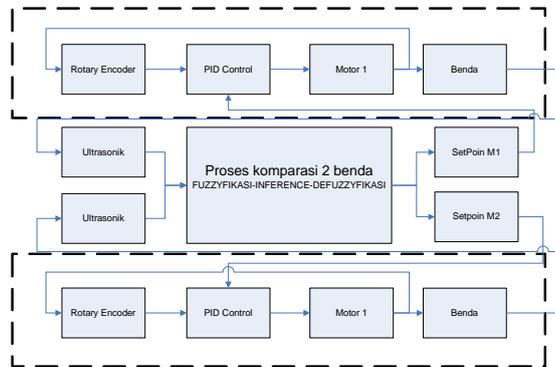
Relasi fuzzy dinyatakan dengan "R" yang juga disebut implikasi fuzzy. Dalam penerapannya "x" sebagai antecedent (kejadian) yaitu input yang telah difuzzifikasi dan "y" sebagai consequent (akibat) yaitu sebagai aksi kontrol (output) serta A dan B adalah himpunan fuzzy.

Defuzzification merupakan proses pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas (crisp) artinya kebalikan dari proses fuzzifikasi. Pada tahap ini dilakukan pemetaan bagi nilai-nilai fuzzy output yang dihasilkan pada tahap inference ke nilai-nilai output kuantitatif yang sesuai dengan sistem yang diharapkan. Proses defuzzifikasi diekspresikan  $Z^* = \text{defuzzifier}(Z)$  dimana  $Z$  = Hasil penalaran fuzzy dan  $Z^*$  = Keluaran kontrol Fuzzy Logic. Ada tiga metode defuzzification pada metode Mamdani, yaitu Mean of Maximum (MOM), Center of Area (COA) dan bisektor. Pada metode MOM, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

**3. PERANCANGAN SISTEM**

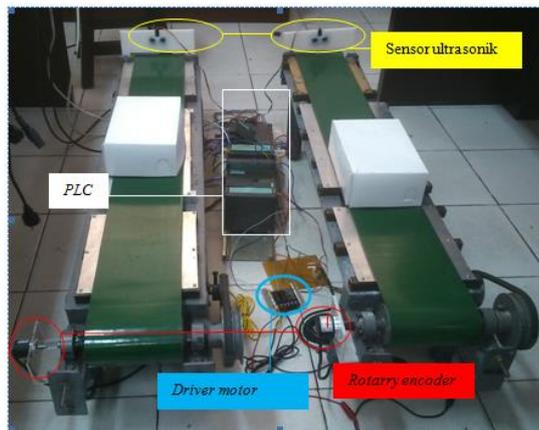
**3.1. Blok Diagram Sistem**

Blok diagram sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1 terdiri dari dua sub sistem: pertama adalah sinkronisasi posisi dua benda pada konveyor yang berbeda dengan input perbedaan data jarak oleh sensor ultrasonik dan sub sistem kedua yaitu stabilisasi kecepatan motor terhadap efek pembebanan yang diukur menggunakan rotary encoder.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

**3.2. Konfigurasi Hardware**

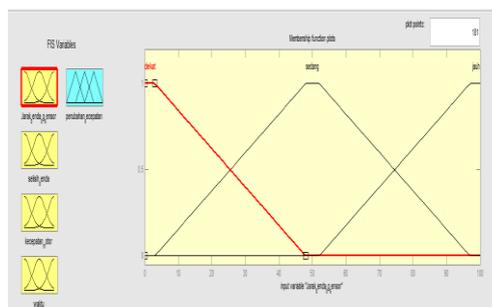


Gambar 4. Konfigurasi Hardware

Hardware yang digunakan adalah 2 buah CPU 315 2PN/DP, 2 buah FM350 counter module, 1buah AI 2x12bit, 1 buah AO 2x12 bit.

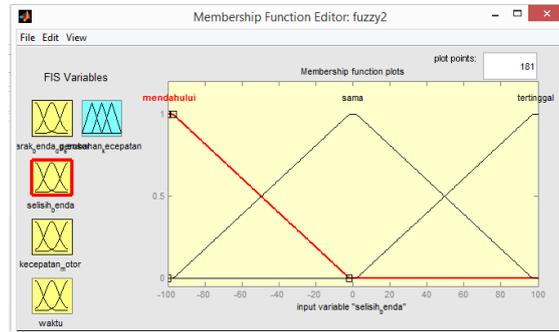
**3.3. Perancangan Fuzzy**

Tahapan pertama yang dilakukan adalah proses fuzzyfication. Terdapat 4 buah input dengan karakteristik sebagai berikut:



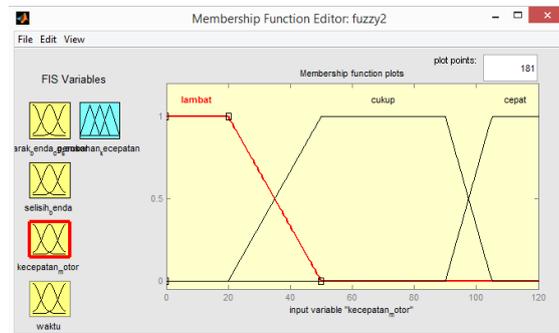
Gambar 5. Fuzzyfication input jarak benda

Pada input jarak benda mempunyai 3 variabel linguistik yaitu dekat (0cm - 48cm), sedang(3cm - 97cm), dan jauh(52cm - 100cm).



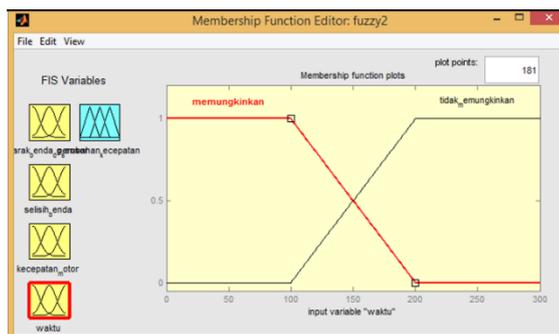
Gambar 6. Fuzzyfication input selisih jarak benda1 dengan 2

Pada input selisih jarak benda1 dengan benda 2 mempunyai 3 variabel linguistik yaitu mendahului ((-100)cm - (-2)cm), sama((-97)cm - 97cm), dan tertinggal (2cm - 100cm).



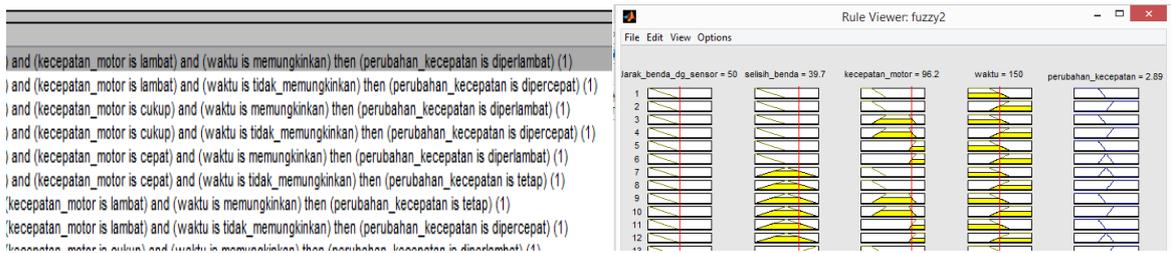
Gambar 7. Fuzzyfication input kecepatan motor

Pada input kecepatan motor mempunyai 3 variabel linguistik yaitu cepat (90rpm - 120rpm), medium (20cm - 105cm ), dan lambat(0rpm - 50rpm)



Gambar 8. Fuzzyfication input waktu

Pada input waktu mempunyai 2 variabel linguistik yaitu memungkinkan (0 detik-150 detik) dan tidak memungkinkan (150 detik-300 detik). Setelah itu dilanjutkan dengan tahapan kedua yang dilakukan adalah inferensi (rule based) dan dilanjutkan defuzzyfication



Gambar 9. Rule based (kiri) dan defuzzification (kanan)

**3.4. Tuning parameter PID menggunakan zeigler Nichols ke 2**

Tahapan yang dilakukan adalah:

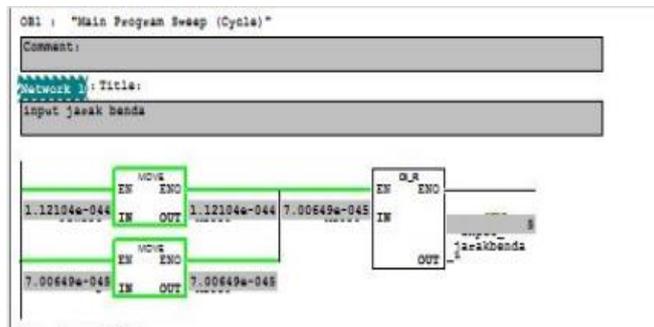
1. Pertama yang dilakukan yaitu mengaktifkan Gain saja untuk parameter  $T_i$ , dan  $T_d$  tidak diaktifkan atau memberi nilai  $T_i = \infty$  dan  $T_d = 0$ .
2. Selanjutnya ubah nilai gain mulai 0 dan tambah sedikit demi sedikit sampai mengalami osilasi yang konstan, tanpa mengalami pengurangan atau penambahan osilasi.
3. Apabila sudah mendapatkan nilai gain pada osilasi konstan catat gain sebagai  $K_u$  dan periode osilasi sebagai  $P_u$ .

Tabel 3. Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-2 untuk plant

| Pengendali | $K_p$     | $\tau_i$    | $T_d$       |
|------------|-----------|-------------|-------------|
| P          | $0.5K_u$  | -           | -           |
| PI         | $0.45K_u$ | $1/1.2 T_u$ | -           |
| PID        | $0.6 K_u$ | $0.5 T_u$   | $0.125 T_u$ |

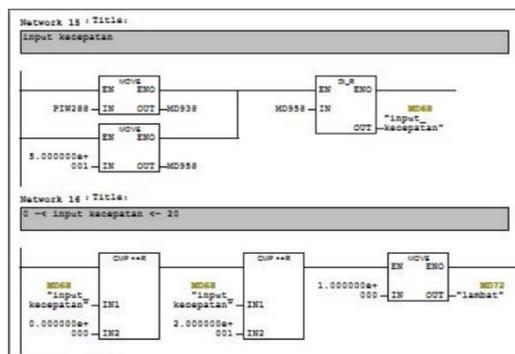
**4. IMPLEMENTASI SISTEM**

Untuk mengimplementasikan rancangan sistem PID-Fuzzy diatas maka dibuat program untuk setiap sub sistem sebagai berikut:



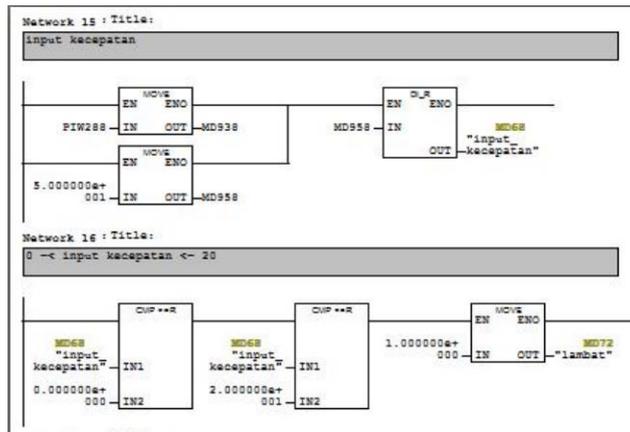
Gambar 10. Ladder diagram untuk input fuzzy jarak benda

Potongan program pada gambar 10 adalah membaca input yang masuk ke dalam analog input PLC yang berasal dari data sensor ultrasonik yang terlebih dahulu diproses di *microcontroller* kemudian dioutputkan dalam bentuk analog.



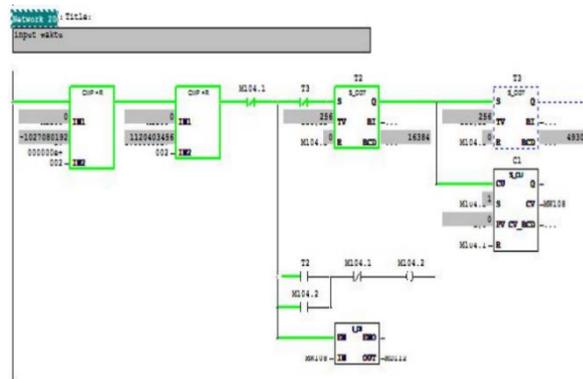
Gambar 12. Ladder diagram untuk input selisih jarak benda

Kemudian digunakan instruksi SUB\_I untuk mendapatkan selisih data jarak benda 1 dengan benda 2.



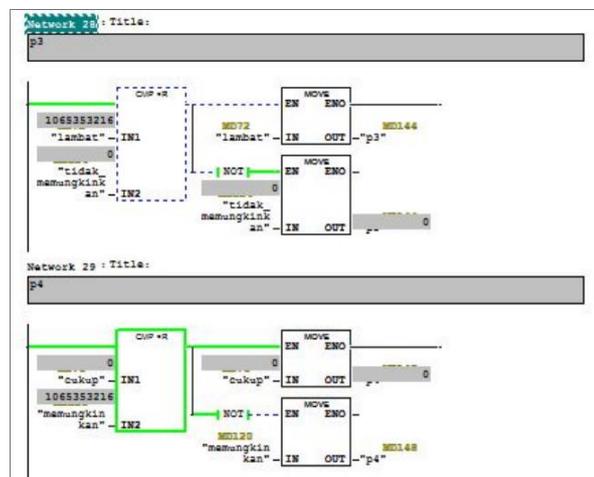
Gambar 13. Ladder diagram untuk input kecepatan motor

Selanjutnya dilakukan pembacaan data rotary encoder menggunakan FM350 block dan dikonversi menjadi data rpm.



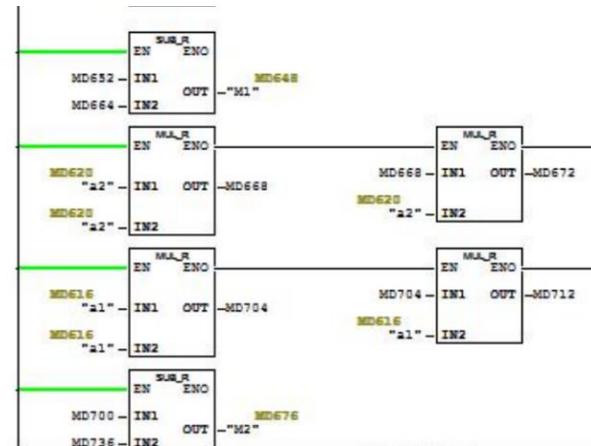
Gambar 14. Ladder diagram untuk input waktu

Mekanisme pembentukan waktu timeout menggunakan timer ODT yang waktunya ditentukan dalam rule based.



Gambar 15. Proses mendapatkan nilai pada masing masing rules based

Kemudian untuk mewujudkan rule base adalah memasukkan nilai pembacaan data hasil fuzzyfikasi sebelumnya dan digunakan instruksi compare CMP\_I untuk membuat mekanisme IF THEN. Dilanjutkan dengan mengeluarkan hasil rulebase dengan kembali menerjemahkan variabel linguistik menjadi variabel numerik.

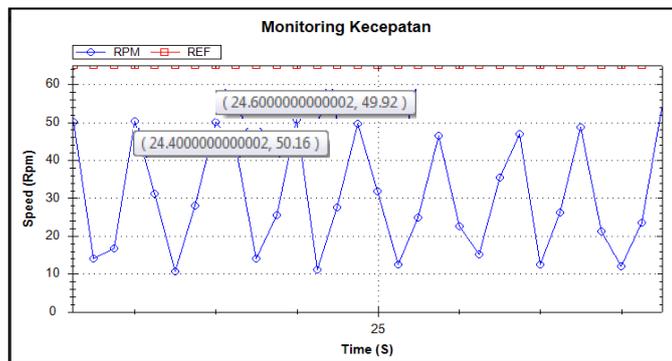


Gambar 16 Program ladder diagram untuk mendapatkan nilai akhir menggunakan metode centroid

**5. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**5.1. Tuning parameter PID Menggunakan Metode Zeigler Nichols Kedua**

Dari hasil tuning PID nilai didapatkan gain saat osilasi konstan pertama yaitu tabel 3, pada saat kondisi ini amplitudanya ada yang berbeda namun kondisi osilasi pada gain 1.0 tidak semakin teredam maupun semakin bertambah.



Gambar 17. Grafik kecepatan saat osilasi pada gain 1.

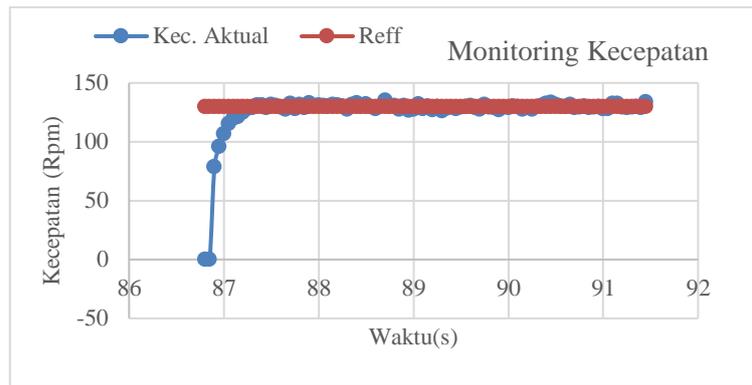
Dari grafik pada gambar 17 dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$K_p = K_u * 0.6 = 1 * 0.6 = 0.6$$

$$T_i = 200 \text{ ms} * 0.5 = 100 \text{ ms}$$

$$T_d = 200 \text{ ms} * 0.125 = 25 \text{ ms}$$

Dari nilai gain sebesar 1.0 dan periode sebesar 200 ms dihitung dengan metode Zeigler Nichols didapatkan nilai  $K_p$  sebesar 0.6,  $T_i$  sebesar 100 ms, dan  $T_d$  sebesar 25 ms. Selanjutnya parameter tersebut diujikan pada plant sehingga didapatkan karakteristik kurva pada gambar 18.



Gambar 18. Hasil pengujian tuning PID pada setpoint 130 rpm.

Didapatkan rise time sebesar 200 ms, over shoot sebesar 0,21 %, rata-rata error steady state sebesar 0.069 %.

**5.1. Pengujian Respon Kecepatan motor terhadap Pemberian Beban**

Selanjutnya dilakukan pengujian pembebanan pada motor dengan beban yang diberikan secara berbeda beda mulai dari 0kg - 22 kg seperti pada gambar 19.



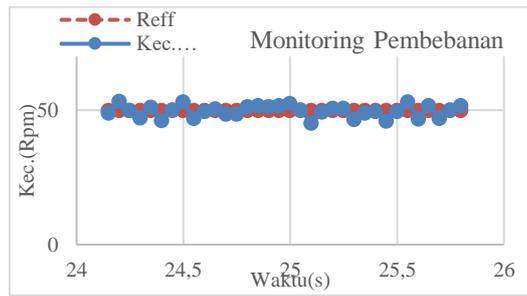
Gambar 19. Pemberian beban pada conveyor

Berikut hasil pengujian pembebanan motor dengan variasi beban 0-22kg dan kecepatan motor 50rpm dan 100rpm.

Tabel 4. Pengujian kestabilan terhadap pembebanan.

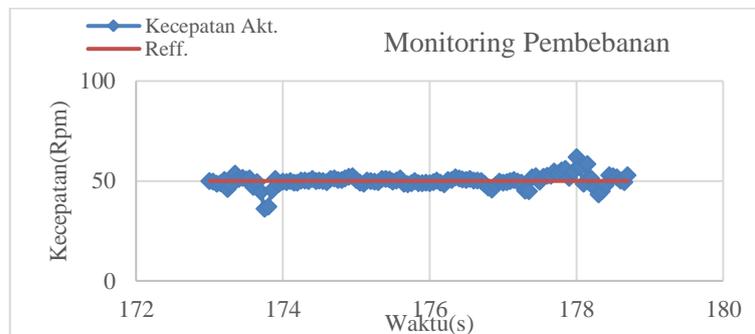
| Kecepatan (Rpm) | Beban (kg) | Waktu Kembali (ms) |                 |
|-----------------|------------|--------------------|-----------------|
|                 |            | Pemberian Beban    | Pelepasan Beban |
| 50              | 0          | 0                  | 0               |
|                 | 2.5        | 200                | 350             |
|                 | 9.5        | 400                | 1000            |
|                 | 11         | 550                | 1300            |
|                 | 16         | 600                | 1400            |
|                 | 19         | 900                | 1600            |
|                 | 22         | -                  | -               |
| 100             | 0          | 0                  | 0               |
|                 | 2.5        | 200                | 250             |
|                 | 9.5        | 300                | 550             |
|                 | 11         | 350                | 650             |
|                 | 16         | 500                | 800             |
|                 | 19         | -                  | -               |
|                 | 22         | -                  | -               |

Dari salah satu data pada tabel 4 yaitu pada beban 2.5 kg bisa diketahui bahwa pemberian beban tidak terlalu berpengaruh pada kecepatan motor.



Gambar 20. Respon pembebanan pada saat 2.5 kg, kecepatan 50 rpm.

Sedangkan dilihat dari Gambar 21 pada pembebanan 11 kg sangat berpengaruh bahwa waktu kembali saat diberi beban yaitu 550ms dan waktu kembali saat pelepasan 1300ms. Pada kecepatan 50 rpm beban maksimal yang dapat diterima yaitu 19 kg dimana pada beban tersebut kecepatan motor konveyor masih bisa stabil. Pada kecepatan 50 rpm saat beban diberikan maupun beban dilepas bisa dilihat waktu paling lama ketika diberi beban 19 kg saat kecepatan 50 rpm dengan waktu kembali saat diberi beban 900 ms dan pelepasan 1600 ms, sedangkan waktu kembali tercepat pada kecepatan 50 rpm yaitu pada beban 2.5 kg.

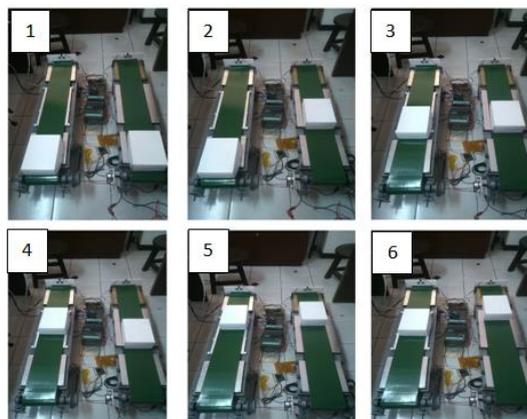


Gambar 21. Respon pembebanan pada saat 11 kg, kecepatan 50 rpm.

Untuk kecepatan 100 rpm beban maksimal yang bisa diberikan yaitu sebesar 16 kg, karena pada beban 19 kg dan 22 kg kecepatan motor tidak dapat kembali pada kecepatan referensi. Waktu kembali paling lama pada kecepatan 100 rpm yaitu pada beban 16 kg dimana waktu kembali saat diberi beban sebesar 500 ms dan waktu kembali saat beban dilepaskan sebesar 800 ms.

**5.3. Pengujian Dua Sistem Fuzzy Untuk Sinkronisasi Dua Benda (Menggunakan PLC)**

Gambar 22 merupakan proses sinkronisasi yang terjadi pada 2 buah konveyor.



Gambar 22. Pergerakan konveyor saat melakukan sinkronisasi

Dua benda diletakkan bersamaan (kondisi 1), kemudian sensor jarak menghasilkan data selisih jarak antara benda 1 dengan benda 2. Sesuai dengan rule based yang didesain maka pada saat terjadi kondisi 2 (konveyor kanan lebih cepat) maka dilakukan aksi berupa perlambatan konveyor kanan dan percepatan di konveyor kiri (kondisi 3). Saat konveyor kiri lebih cepat (kondisi 4) maka aksi berupa percepatan untuk konveyor kanan (kondisi 5 dan 6) dan seterusnya sampai didapatkan posisi yang sama.

| Address | Symbol          | Display format | Status value | Modify value |
|---------|-----------------|----------------|--------------|--------------|
| MD 0    | "input_jarak1"  | FLOATING_POINT | 99.74352     |              |
| MD 32   | "input_jarak2"  | FLOATING_POINT | 99.74352     |              |
| MD 36   | "selisih_jarak" | FLOATING_POINT | 0.0          |              |
| MD 68   | "input_kec"     | FLOATING_POINT | 73.08        |              |
| MD 708  | "perubahan_kec" | FLOATING_POINT | -1.0         |              |
| MD 1084 | "set_point"     | FLOATING_POINT | 72.08        |              |

Gambar 23. Monitoring parameter input dan output

Hasil monitoring data ditunjukkan pada gambar 23 dengan melihat beberapa parameter yaitu input jarak benda 1, input jarak benda 2, selisih jarak benda, input kecepatan, dan waktu dengan data type floating point.

Tabel 5. Nilai galat output fuzzy pada masing masing konveyor

| Hasil Fuzzy 1 plant (rpm) | Hasil Fuzzy 1 matlab (rpm) | Hasil Fuzzy 1 offline (rpm) | Galat (%) | Hasil Fuzzy 2 plant (rpm) | Hasil Fuzzy 2 matlab (rpm) | Hasil Fuzzy 2 offline (rpm) | Galat (%) |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|
| 25.3                      | 25.7                       | 25.3                        | 1.56      | 13.8                      | 14.1                       | 14.8                        | 2.1       |
| 14.1                      | 4.71                       | 4.5                         | 199.3     | -5.46                     | -5.45                      | -5.38                       | 0.2       |
| -15.8                     | -16.1                      | -15.9                       | 1.8       | 32.2                      | 32.6                       | 32.2                        | 1.2       |
| 16.9                      | -8.6                       | -8.5                        | 296.5     | -32.1                     | -32.1                      | -31.8                       | 0         |
| -29.5                     | -29.8                      | -29.5                       | 1         | 23.2                      | 24.4                       | 24.8                        | 5         |

## 6. KESIMPULAN

Hasil pengujian kecepatan motor paling cepat dan stabil pada 50 rpm terhadap variasi beban 2.5 kg sampai 9.5 kg dengan respon waktu kembali menuju steady state sebesar 200ms (pemberian beban) dan sebesar 350 ms (pelepasan beban). Hasil output fuzzy 1 mempunyai galat rata-rata sebesar 5% dan output fuzzy 2 sebesar 5.7%.

## REFERENSI

- [1] Bryan, L.A.; Bryan, E.A. (2003), Programmable Controllers: Theory and Implementation, 2nd ed., Amer Technical Pub
- [2] Neamtu, O. (2008), Motion Control with Fuzzy Logic in an High Speed PLC System, Journal of Electrical and Electronics Engineering, pp. 219– 222
- [3] Nikolić, Vlastimir; Čojbašić, Žarko; Ćirić, Ivan; Petrović, Emina (2010), Intelligent Decision Making In Wastewater Treatment Plant Scada System, Automatic Control and Robotics Vol. 9, No 1, pp. 69–77
- [4] Karasakal, Onur; Yeşil, Engin, Guzelkaya, Mujde; Eksin, Ibrahim (2005), Implementation of a New Self-Tuning Fuzzy PID Controller on PLC, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Vol.13, No.2, pp. 277- 286
- [5] Bogdan, S.; Kovačić, Z.; Krapinec, D. (2007), Sensitivity-based Self-learning Fuzzy Logic Controller as a PLC Super Block, Proceedings of the 15th Mediterranean Conference on Control & Automation
- [6] Adrian-Vasile DUKA (2012), PLC IMPLEMENTATION OF A FUZZY SYSTEM, The 6th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference
- [7] Kuswadi Son, 2007, Kendali Cerdas Teori dan Aplikasi Praktisnya, Andi.
- [8] Astrom, Karl J., Hagglund, Tore, (1995), "PID Controllers", 2nd Edition, Instrument Society of America, Northern California, United
- [9] Siemens AG (2003), FuzzyControl++ User's Manual
- [10] Rockwell Automation Inc. (2007), RSLogix 5000 Fuzzy Designer
- [11] Gunter, F. (1994). Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses. Jakarta :PT Elex Media Komputindo
- [12] Suyanto. (2008). Soft Computing, Membangun Mesin Ber-IQ Tinggi. Bandung: Informatika.
- [13] Setyobudi, R. (2023). Utilization of tds sensors for water quality monitoring and water filtering of carp pools using IoT. EUREKA: Physics and Engineering, (6), 69-77.
- [14] Prabowo, Y. A., Imaduddin, R. I., Pambudi, W. S., Firmansyah, R. A., & Fahruzi, A. (2021). Identification of automatic guided vehicle (agv) based on magnetic guided sensor for industrial material transfer. In IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1010, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.

- [15] Khairi, M., & Bahar, H. (2023). Penerapan Metode Promethee II dalam Penempatan Siswa Praktik Kerja Lapangan di SMKS Nurul Jadid Menggunakan Teknologi Web. *TRILOGI: Jurnal Ilmu Teknologi, Kesehatan, dan Humaniora*, 4(2), 80-89.