

Sistem Kendali Pemilihan Kecepatan pada Motor Stepper Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Berbasis PLC

Muhamad Alwi^{1,*}, Toto Tohir², Nanang Mulyono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

E-mail : ^{1,*}muhamad.alwi.toi19@polban.ac.id; ²toto.tohir@polban.ac.id; ³nanang.mulyono@polban.ac.id

ABSTRAK

Dalam industri logistik, pengendalian berbagai variabel seperti kecepatan motor, akurasi motor, dan efisiensi proses menjadi tantangan utama. Tujuan utamanya adalah menjaga variabel-variabel tersebut bekerja pada titik yang telah ditentukan. Proses pengendalian dimulai dengan menggunakan masukan berupa Berat dan Banyaknya Barang yang diperoleh dari sensor *Loadcell* dan *Proximity*. Kemudian, dilakukan pencarian derajat keanggotaan dan dilakukan operasi *AND* serta inferensi menggunakan metode Mamdani. Hasil inferensi berupa nilai *fuzzy* yang kemudian dijalani proses defuzzifikasi. Nilai keluaran yang diperoleh digunakan dalam pengambilan keputusan untuk menentukan pemilihan kecepatan *pulse/s* motor stepper. Penggunaan kendali *fuzzy* mempermudah sistem dalam menentukan nilai kecepatan yang sesuai dengan input. Analisis hasil percobaan menunjukkan bahwa error posisi dari target tidak melebihi 1% atau 2 mm. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat berjalan sesuai dengan perancangan yang diinginkan berdasarkan hasil dari 10 percobaan yang dilakukan. Berdasarkan pengujian dan analisis sistem, sistem pemilihan kecepatan motor stepper dapat diimplementasikan dengan hasil *error* posisi yang tidak melebihi 1% pada berbagai kecepatan yang dipilih sesuai dengan keluaran *fuzzy*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan logika *fuzzy* mempermudah sistem dalam menyesuaikan keluaran yang diinginkan, sejalan dengan hasil percobaan yang telah dilakukan.

Kata Kunci

Motor Stepper, Fuzzy Logic Mamdani, Pemilihan Kecepatan

1. PENDAHULUAN

Permasalahan yang sering dihadapi berbagai dunia industri logistik adalah pengontrolan berbagai macam variabel seperti kecepatan motor, ketepatan motor, dan efisiensi proses yang diharapkan bekerja pada titik yang telah ditentukan [1]. Sistem kontrol banyak dijumpai di industri pengemasan, kapasitas produksi yang tinggi menuntut proses produksi yang lebih cepat dan efisien. Manusia yang berperan dalam proses produksi pun diminimalisir agar produk bisa lebih baik hasilnya. Proses pembuatan produk-produk makanan hingga pengemasan sekarang ini banyak menggunakan sistem otomatis. Proses yang sangat menyita waktu dan tenaga kerja di industri salah satunya yaitu proses pengemasan produk ke dalam plastik [2]. Motor stepper adalah motor listrik yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital, bukan dengan memberikan tegangan yang terus menerus. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran *shaft*, dimana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu

pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau *step*, yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran yang diinginkan [3]. *Automation Forklift System* dapat berjalan secara otomatis dengan mengidentifikasi berdasarkan warna. *Lifter* dapat bergerak searah sumbu X, Y, dan Z dengan nilai *error* yang sangat kecil yaitu kurang dari 2%. Tingkat keberhasilan *lift* dalam mengirimkan produk ke rak penyimpanan mencapai 100%, serta sistem antarmuka menggunakan Labview berhasil menampilkan pergerakan dari *forklift* secara realtime [4]. Sistem penyimpanan otomatis berbasis PLC menghasilkan proses penyimpanan dan *outlet lifter* dalam memindahkan palet menuju proses, selanjutnya dapat bekerja sesuai perancangan. Selain itu, sistem penyimpanan barang terdiri dari dua mode yaitu mode otomatis dan mode manual. Menggunakan sistem 1 antrian, dan menggunakan sistem 2 antrian [5]. Pengubahan torsi merupakan poin utama untuk mengontrol pergerakan motor stepper sehingga

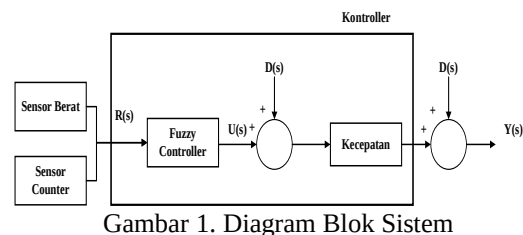
pengubahan nilai torsi dengan adjustment kecepatan putar motor yang menggunakan *setpoint* rpm. Pengaturan pwm menjadikan periode atau frekuensi gelombang berubah-ubah sesuai dengan kurva torque versus *speed* dari motor stepper, yang mana antara torsi dengan rpm pada motor berbanding terbalik. Metode yang digunakan untuk mengontrol posisi pada motor stepper menggunakan *fuzzy logic*, dimana *fuzzy logic* berfungsi untuk meminimalisir error pada pembacaan sensor dan untuk menstabilkan posisi pada mold [6].

Tulisan ini menyajikan perancangan pengendalian pemilihan kecepatan motor stepper berdasarkan berat barang dan banyak barang menggunakan metode *fuzzy Logic* berbasis PLC (*programmable Logic Controller*) yang dimana *output* sistem dapat memperbesar torsi motor dengan rentang nilai kecepatan 5000-20000 *pulse/s* dengan harapan nilai *error* posisi kurang dari 1% atau sama dengan 2 mm. penelitian ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh maulana dkk. Tetapi terdapat beberapa perbedaan dari mulai kontroller, input, dan serta nilai error yang ingin dicapai.

2. METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan sistem mulai dari diagram blok sistem, diagram alir pengendalian, perancangan desain *hardware* dan perancangan *software*.

2.1 Diagram Blok Sistem dan Deskripsi Kerja



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

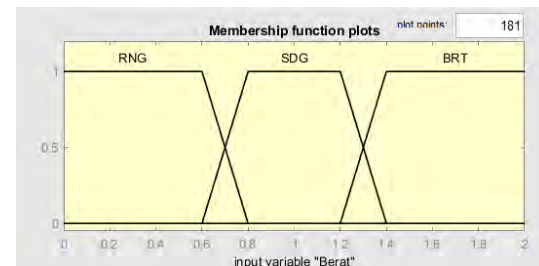
Proses dimulai dengan menggunakan masukan yang terdiri dari Berat dan Banyaknya Barang yang merupakan nilai dari sensor *Loadcell* dan *Proximity*. Kemudian, dilakukan pencarian nilai derajat keanggotaan. Setelah itu, nilai derajat keanggotaan tersebut diolah dengan proses AND dan diinferensi menggunakan metode Mamdani. Hasil inferensi berupa nilai *fuzzy*, sehingga diperlukan defuzzifikasi. Nilai keluaran yang diperoleh digunakan untuk pengambilan keputusan dalam menentukan apakah nilai numerik termasuk dalam kategori sangat lambat,

lambat, normal, cepat, atau sangat cepat untuk pemilihan kecepatan *pulse/s* motor stepper.

2.2 Perancangan Kendali Fuzzy

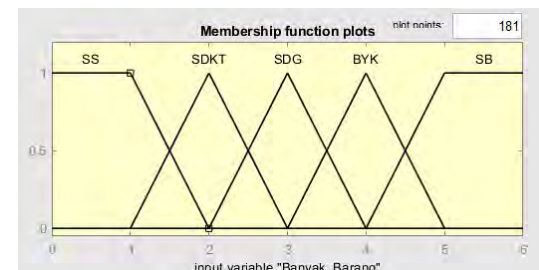
Dalam pembuatan sistem logika *fuzzy*, dibutuhkan nilai *input* yang diperoleh dari berat barang dan banyak barang. Nilai-nilai ini akan berpengaruh terhadap nilai *output*. Untuk merepresentasikan nilai input ini, diperlukan pemodelan ke dalam bahasa alami yang cenderung samar, sesuai dengan pemikiran umum manusia. Hal ini menghasilkan himpunan *fuzzy*. Setiap himpunan *fuzzy* kemudian dipetakan dengan nilai-nilainya, sehingga terbentuk fungsi keanggotaan. Dalam penelitian yang dilakukan, fungsi keanggotaan *input* didasarkan pada nilai berat barang dan banyak barang yang diperoleh dari sensor *loadcell* dan *proximity*.

2.2.1 Fungsi keanggotaan Input



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Input Berat Barang

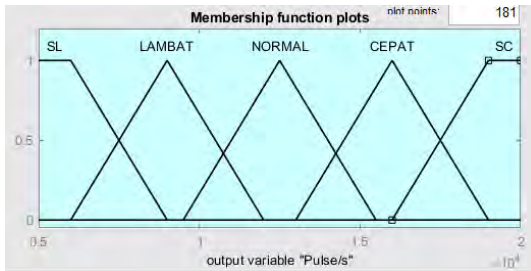
Fungsi keanggotaan untuk parameter *input* berat barang dikelompokkan menjadi tiga variabel linguistik yang disebut sebagai RNG, SDG, dan BRT, sebagaimana yang terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Input Banyak Barang

Fungsi keanggotaan untuk parameter *input* banyak barang dikelompokkan menjadi lima variabel linguistik yang disebut sebagai SS, SDKT, SDG, BYK, dan SB, sebagaimana yang terlihat dalam Gambar 3.

2.2.2 Fungsi Keanggotaan Output



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Output Pulse/s

Fungsi keanggotaan untuk *output*, yang merupakan nilai *pulse/s* untuk memilih kecepatan motor stepper, dikelompokkan menjadi lima variabel linguistik yaitu SL, Lambat, Normal, Cepat, dan SC, sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 4.

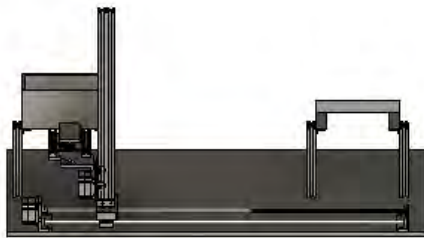
2.2.3 Aturan Fuzzy

Tabel 1. Aturan Fuzzy

		Banyak Barang				
		SS	SDKT	SDG	BYK	SB
Berat Barang	RNG	NML	CPT	CPT	SC	SC
	SDNG	LMBT	NML	NML	CPT	CPT
	BRT	SL	LMBT	LMBT	NML	NML

Dari perancangan yang telah dilakukan, terdapat 15 aturan *fuzzy* yang digunakan untuk memilih kecepatan motor stepper dengan tujuan untuk memaksimalkan torsi motor. Hal ini terlihat dalam Tabel 1.

2.3 Perancangan Desain Mekanik Sistem



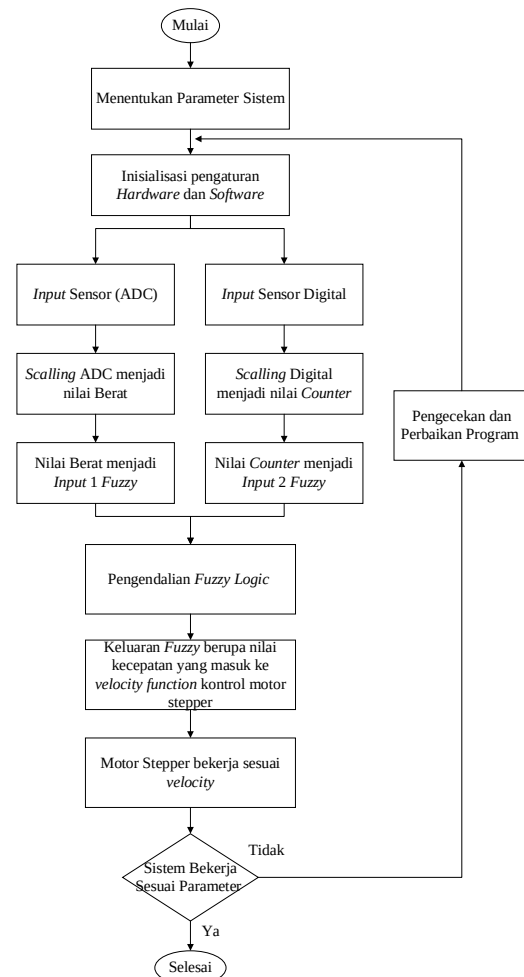
Gambar 6. Desain Mekanik Sistem

Dalam proses perancangan mekanik, langkah-langkah yang dilakukan meliputi menentukan bahan dan ukuran aluminium, ukuran *baseplate*, dan ukuran ulir yang akan digunakan untuk mengubah putaran motor menjadi gerakan sistem. Selanjutnya, rancangan tersebut dibuat menggunakan perangkat lunak Fusion 360.

Pada *design* mekanik tersebut terdapat beberapa komponen penting seperti motor stepper axis X dan axis Y, motor dc, rak pengambilan, rak penyimpanan, dan *screw* aluminium.

Prinsip kerja dari alat ini yaitu memindahkan barang dari rak pengambilan ke arak penyimpanan dengan bantuan motor dc sebagai aktuator axis z, serta motor stepper aktuator x dan y. Motor stepper ini dibuat setpoint dalam mencapai rak penyimpanan, lalu motor stepper ini juga dapat menyesuaikan pemilihan kecepatan sesuai dengan keluaran fuzzy.

2.4 Perancangan Algoritma Program



Gambar 5. Flowchart Pemrograman Sistem

Proses perancangan program untuk sistem kontrol pemilihan kecepatan motor stepper dapat ditemukan dalam Gambar 5. Proses dimulai dengan pembuatan program parameter, di mana program akan membaca berat dan banyaknya barang. Selanjutnya, berat akan diubah menjadi

tegangan, dan pembacaan tegangan akan dibandingkan dengan parameter yang akan menjadi input bagi pengendali *Fuzzy Logic Control* pada PLC.

Selain itu, jumlah barang akan dideteksi oleh sensor *proximity*, yang kemudian masuk ke fungsi *counter* dan data akan diproses menggunakan pengendali *fuzzy logic control*. Hasil dari pengendalian *fuzzy* ini akan menjadi keluaran dari PLC, yaitu jumlah pulse dalam satuan detik, yang akan mempengaruhi kecepatan motor stepper.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor Berat

Tabel 2. Pengujian Sensor Berat

Nilai Analog	Tegangan (mV)	Sensor Berat (gram)	Pengukuran (gram)	Error (%)
786	299	209	200	9
1058	387,6	409	400	4,5
1296	482,5	610	600	3,33
1576	580,1	805	800	1,25
1843	668,4	1009	1000	1,8
2096	767,5	1201	1200	0,1
2267	880,3	1412	1400	1,7
2496	977,4	1601	1600	0,5
2666	1093,5	1795	1800	1,3
2893	1200,4	1989	2000	1,2

Pengujian sensor *Loadcell* dilakukan dengan melakukan pengukuran dari rentang 0 hingga 2 Kg. Hasil pengukuran dibandingkan dengan pembacaan nilai resolusi analog. Hasilnya menunjukkan bahwa pembacaan sensor dengan menggunakan alat ukur memiliki tingkat linearitas yang baik. Terdapat rata-rata *error* sebesar 2,46%.

3.2 Pengujian Kecepatan Motor

Tabel 3. Pengujian Kecepatan Motor

Pulse/s	RPM (Perhitungan)	RPM (Pengukuran)	Error (%)
6000	90	90,6	0,6
8000	120	122,3	2,3
10000	150	150,8	0,8
12000	180	181,4	1,4

14000	210	212,2	2,2
16000	240	240,8	0,8
18000	270	270,2	0,2
20000	300	301,4	1,4
22000	330	332,2	2,2
24000	360	363,3	3,3

Pengukuran RPM ini menguji dengan membandingkan hasil pengukuran dan perhitungan pada nilai pulse/s.

Untuk perhitungan dapat dilihat sebagai berikut :

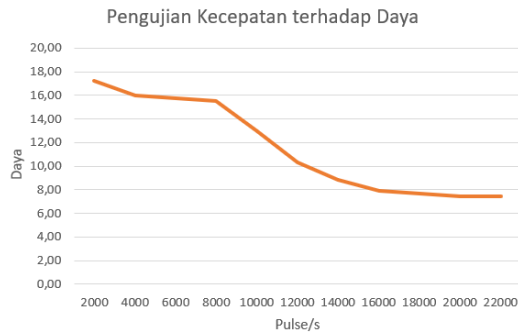
$$\begin{aligned} \text{RPM} &= \frac{\frac{\text{Pulse}}{\text{s}}}{\frac{\text{Pulse}}{\text{rev}}} \times 60 \\ &= \frac{6000}{4000} \times 60 \\ &= 90 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Pembacaan alat ukur dan perhitungan menunjukkan nilai linier yang baik. Terdapat rata-rata *error* sebesar 1,52%.

3.3 Pengujian Kecepatan terhadap Daya Motor

Tabel 4. Pengujian Kecepatan Terhadap Daya Motor

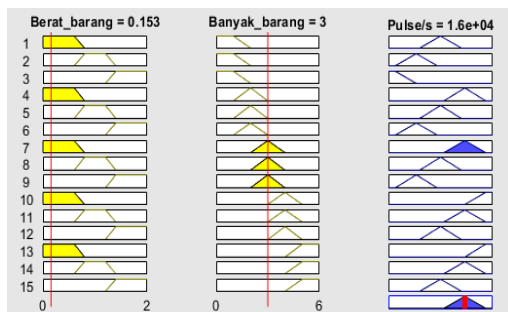
Pulse/s	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Daya (watt)
2000	0,72	23,9	17,21
4000	0,67	23,9	16,01
6000	0,66	23,9	15,77
8000	0,65	23,91	15,54
10000	0,54	23,94	12,93
12000	0,43	24,01	10,32
14000	0,37	24,01	8,88
16000	0,33	24,01	7,92
18000	0,32	24,01	7,68
20000	0,31	24,01	7,44
22000	0,31	24,01	7,44



Gambar 7. Garfik Pengujian Kecepatan Terhadap Daya

Pada pengujian kecepatan dan daya motor stepper, dapat dilihat dari Tabel 4 bahwa semakin tinggi kecepatan putaran motor stepper, semakin rendah arus yang dibutuhkan, dan hal ini berkaitan secara proporsional dengan daya motor. Hal ini juga dapat dilihat dalam Gambar 7, di mana terdapat perbandingan antara kecepatan dan daya motor. Semakin tinggi nilai *pulse/s*, maka semakin rendah daya yang dibutuhkan, dan sebaliknya.

3.4 Pengujian Kendali Fuzzy



Gambar 8. Hasil Simulasi MATLAB



Gambar 9. Hasil Perhitungan PLC

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 merupakan hasil keluaran dari perancangan MATLAB dan PLC, dimana keduanya memiliki keluaran nilai yang sama.

Tabel 5. Pengujian Fuzzy Logic

Berat Barang (gram)	Banyak Barang	Hasil Perhitungan MATLAB (Pulse/s)	Hasil Perhitungan PLC (Pulse/s)	Error (%)
1000	3	12500	12500	0
358	3	16000	16000	0
1840	3	9000	9000	0
1540	4	12500	12500	0
282	4	18600	18600	0
707	4	16800	16800	0
1420	1	6410	6410	0
963	1	9060	9060	0
633	1	1180	1180	0
144	1	12600	12600	0

1000	3	12500	12500	0
358	3	16000	16000	0
1840	3	9000	9000	0
1540	4	12500	12500	0
282	4	18600	18600	0
707	4	16800	16800	0
1420	1	6410	6410	0
963	1	9060	9060	0
633	1	1180	1180	0
144	1	12600	12600	0

Tabel 5 menunjukkan bahwa kendali *fuzzy* yang dirancang menggunakan PLC sesuai dengan perancangan MATLAB, di mana nilai keluaran PLC dapat sama dengan hasil MATLAB. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perancangan *Fuzzy Logic* di PLC berfungsi sebagaimana yang direncanakan.

3.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

Tabel 6. Pengujian Keseluruhan Sistem

Berat Barang (gram)	Banyak Barang	Kecepatan (Pulse/s)	Jarak Target (mm)	Mist ar Baja (mm)	Error (%)
1000	3	12500	360	358	0,56
358	3	16000	360	360	0,00
1840	3	9000	360	359	0,28
1540	4	12500	360	358	0,56
282	4	18600	360	359	0,00
707	4	16800	360	360	0,00
1420	1	6410	360	360	0,00
963	1	9060	360	359	0,28
633	1	1180	360	360	0,00
144	1	12600	360	360	0,00

Dari Tabel 6, terlihat bahwa kendali *fuzzy* memudahkan sistem dalam menentukan nilai kecepatan yang sesuai dengan inputan. Dalam tabel tersebut, terlihat bahwa *error* posisi dari target tidak melebihi 1% atau 2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan sesuai dengan perancangan yang diinginkan, dari 10 percobaan yang dilakukan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem, dapat dilihat bahwa pada pengujian kecepatan terhadap daya motor, semakin tinggi nilai *pulse/s*, semakin rendah arus yang dibutuhkan, dan hal ini berbanding lurus dengan daya motor. Selain itu, sistem pemilihan kecepatan motor stepper dapat diimplementasikan dengan hasil *error* posisi yang tidak melebihi 1% pada berbagai kecepatan yang dipilih sesuai dengan keluaran *fuzzy*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan logika *fuzzy* mempermudah sistem dalam menyesuaikan keluaran yang diinginkan, berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada politeknik negeri Bandung yang telah memberikan bantuan kepada penulis berupa dana tugas akhir tahun 2022/2023 sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan seminar prosiding nasional yang diharapkan dapat mendatangkan manfaat bagi banyak pihak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. - and W. Wiyono, "RANCANGBANGUN PERANGKAT KENDALI MOTOR STEPPER DENGAN MIKROKONTROLER," *JTe*, vol. 7, no. 3, pp. 99–107, Apr. 2022, doi: 10.52561/teknika.v7i3.180.
- [2] Y. Satriawan, "Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper Molding Microplastic Metode Fuzzy Logic Berbasis Myrio," vol. 9, 2022.
- [3] R. Hidayat and P. W. Rusimamto, "SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA INKUBATOR PENETAS TELUR OTOMATIS BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROL," vol. 08, 2019.
- [4] G. G. Maulana, H. Rudiansyah, and S. N. Tazkia, "Automation Forklift System untuk Penyimpanan Produk pada Gudang Berbasis Labview," *JuTISI*, vol. 6, no. 1, Apr. 2020, doi: 10.28932/jutisi.v6i1.2334.
- [5] D. M. R. Savana, S. D. Panjaitan, and M. Saleh, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI KENDALI MOTOR SERVO DAN STEPPER PADA MESIN EARLOOP MENGGUNAKAN PLC".
- [6] M. R. Athoillah, "Prototype Penyimpanan Benda Bertingkat Otomatis dengan Pengaman Password

dan RFID Berbasis PLC Menggunakan Human Machine Interface".