

Kendali Kecepatan Vane Motor Pneumatik Berbasis Kendali Fuzzy

Fryma Zhafran Raihan¹, Budi Setiadi², Hari Purnama³, Varian Andika Wijayakusuma⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : fryma.zhafran.toi17@polban.ac.id

²E-mail : budi.setiadi@polban.ac.id

³E-mail : haripoernama@gmail.com

⁴E-mail : varian.andika.toi17@polban.ac.id

ABSTRAK

Seiring berkembangnya teknologi dalam bidang pneumatik, perlu dikembangkan model pembelajaran yang dapat meningkatkan kemampuan kognitif dan psikomotorik mahasiswa. Salah satunya pembelajaran demonstrasi menggunakan alat peraga untuk menambah kompetensi mahasiswa. Penggunaan aktuator vane motor pneumatik memiliki beberapa keuntungan dibandingkan listrik, seperti memiliki torsi yang cukup besar meskipun bentuk fisiknya yang kecil serta menggunakan sumber energi baru dan terbarukan ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini ialah menghasilkan prototipe alat peraga untuk mengetahui kinerja sistem dinamik pada aktuator vane motor pneumatik menggunakan metode kendali *fuzzy* inferensi Mamdani serta melihat respon melalui simulasi MATLAB dengan target minimal error lebih kecil dari 10%. Hasil pengujian secara keseluruhan menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan tingkat error sebesar 5.26%.

Kata Kunci

Fuzzy, pneumatik, vane motor, MATLAB

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi dalam bidang pneumatik, perlu dikembangkan model pembelajaran yang dapat meningkatkan kemampuan kognitif dan psikomotorik mahasiswa. Salah satunya pembelajaran demonstrasi menggunakan alat peraga untuk menambah kompetensi mahasiswa. Model pembelajaran digunakan untuk mengetahui efektifitas perbedaan hasil antara *problem based learning* (PBL) dan demonstrasi alat peraga [1].

Aplikasi vane motor pneumatik banyak ditemukan seperti pada bidang robotika untuk industri instrumentasi, otomotif, farmasi, dan sebagainya yang memerlukan sumber energi yang steril [2]. Konsep pengendalian yang diterapkan dalam industri telah dilakukan seperti pada belt conveyor dengan metode PID konvensional, BP *neural network*, dan PCC [3-5]. Kemudian dalam penelitian lainnya mengenai kendali kecepatan motor pneumatik telah dilakukan menggunakan kendali *full digital control valve* (FDCV) secara *switching*. Pengaturan kecepatan motor pneumatik diatur melalui katup 2/2 yang terpasang paralel dengan metode FDCV [6]. Penelitian lainnya mengenai motor pneumatik yaitu menggunakan *Variable Frequency Driver* (VFD) dan berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dalam aplikasi *line production* dari pengisian air botolan. Dalam penelitian ini dilakukan pengendalian penggunaan energi kompresor untuk suplai motor pneumatik sehingga torsi dan kecepatan motor meningkat dengan penggunaan energi kompresor yang rendah [7].

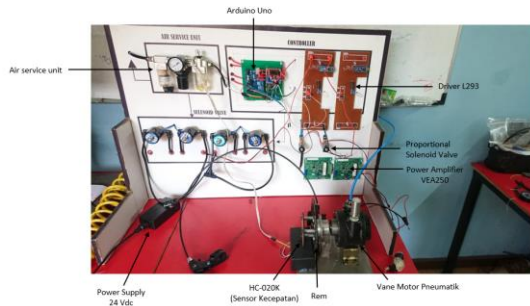
Penelitian ini bertujuan untuk melihat respon dinamik daripada vane motor pneumatik. Perubahan kecepatan

vane motor pneumatik dilakukan secara mekanik, yaitu menggunakan rem sepeda yang dikopel dengan as vane motor pneumatik. Komponen mekanik yang digunakan sebagai aktuator adalah vane motor pneumatik. Vane motor pneumatik bergerak cepat dan lambat menggunakan sumber energi angin yang alirannya diatur melalui katup *solenoid proportional valve*. Sedangkan untuk kendalinya menggunakan sistem elektronik berbasis inferensi *fuzzy* Mamdani. Inferensi *fuzzy* Mamdani dipilih karena hasil perhitungannya lebih mendekati hasil yang sebenarnya dibandingkan metode inferensi lainnya [8]. Sensor kecepatan optocoupler untuk mengukur kecepatan vane motor pneumatik berfungsi sebagai umpan balik atau masukan bagi sistem pengambilan keputusan kendali *fuzzy*. Sebelumnya nilai masukan sensor kecepatan optocoupler diubah menjadi variabel error dan Δ error. Keluaran sistem pengambilan keputusan *fuzzy* Mamdani berupa nilai *pulse width modulation* (PWM) digunakan untuk mengatur bukaan *solenoid proportional valve*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Plant Vane Motor Pneumatik

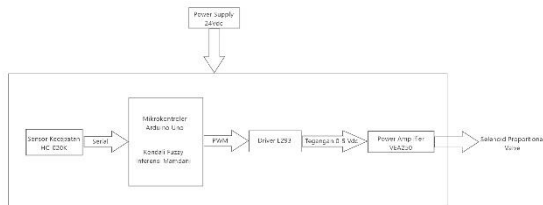
Gambar 1 menunjukkan realisasi alat peraga kendali kecepatan vane motor pneumatik. Modul ini terdiri dari perangkat pneumatik dan elektronik. Modul ini dibangun pada skala laboratorium untuk kebutuhan penelitian dan pengajaran dengan ukuran panjang 80 cm, lebar 65 cm, dan tinggi 70 cm.



Gambar 1. Realisasi Alat Peraga Kendali Vane Motor Pneumatik

2.2 Desain Perangkat Keras Elektronik

Gambar 2 menunjukkan desain sistem perangkat keras elektronik untuk alat peraga vane motor pneumatik. Sistem terdiri dari perangkat masukan, proses, dan keluaran. Perangkat masukan terdiri dari sensor kecepatan optocoupler. Sensor kecepatan optocoupler berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran motor dengan satuan *rotation per minute* (RPM). Mikrokontroler berfungsi untuk pengolahan data sensor dan pengambilan keputusan besaran bukaan selenoid proportional valve berbasis kendali *fuzzy*. Perangkat keluaran terdiri driver L293 dan power amplifier, L293 difungsikan sebagai penguat arus dan mengubah hasil keluaran fuzzy dalam PWM menjadi bentuk tegangan 1 sampai dengan 5 Vdc. *Power amplifier* berfungsi untuk mengubah besaran tegangan 1 sampai dengan 5 Vdc menjadi tegangan 0 sampai dengan 24 Vdc untuk mengatur bukaan katup proporsional.



Gambar 2. Desain Perangkat Keras Elektronik

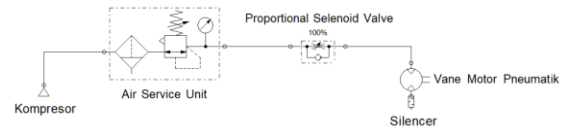
Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras Elektronik

No	Komponen	Keterangan
1	HC-020K	Sensor Kecepatan optocoupler, komunikasi serial, 5 Vdc
2	Arduino Uno	Mikrokontroler berbasis ATmega 328P
3	L293	H-bridge ganda, maksimum 32 Vdc/5 A
4	VEA250	Power amplifier, input tegangan kontrol 0-5 Vdc, output 0-24 Vdc, 4W

2.3 Desain Mekanik Pneumatik

Gambar 3 menunjukkan desain sistem perangkat keras pneumatik. Kompresor sebagai pembangkit udara bertekanan dan menyimpan dalam tangki udara untuk disuplai, lalu udara tersebut masuk ke *air service unit* dahulu yang terdiri dari: saringan udara untuk menyaring kotoran, regulator untuk mengatur besar kecilnya udara yang masuk, dan pelumas agar komponen sistem pneumatik tidak cepat aus. Kemudian

solenoid proportional valve berfungsi untuk mengatur kecepatan aliran udara yang masuk ke vane motor pneumatik, bukaan *valve* mengacu dari feedback sensor kecepatan.



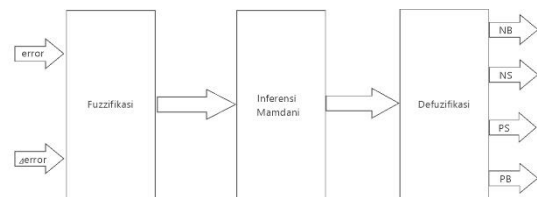
Gambar 3. Desain Pneumatik

Tabel 2. Spesifikasi Perangkat Keras Pneumatik

No	Komponen	Keterangan
1	Vane Motor Pneumatik	Max power = 2.8 HP, Max pressure = 7 bar, Max speed = 4000 rpm.
2	Solenoid Proportional Valve	Satu arah 1/8, 0.7 Mpa, analog 24 Vdc/4W
3	Air Service Unit	Terdiri dari lubrikan, regulator, oil. Max pressure = 10 bar.
4	Kompresor	¾ HP, 220 Vac
5	Selang	Ukuran 6mm pada motor dan valve serta ukuran 8 mm dari kompresor menuju air service unit.

2.4 Desain Perangkat Lunak

Gambar 4 menunjukkan desain sistem kendali *fuzzy*. Masukan kendali fuzzy adalah error dan Δ error yang didapat dari sensor kecepatan optocoupler. Selanjutnya dicari nilai derajat keanggotaannya. Hasil nilai derajat keanggotaan dilakukan proses AND dan selanjutnya diinferensi dengan metode Mamdani. Keluaran dari proses inferensi adalah nilai yang masih bersifat *fuzzy*, sehingga dilakukan defuzzyfikasi. Nilai keluaran selanjutnya digunakan untuk pengambilan keputusan apakah bukaan bernilai Negative Big, Negative Small, Positive Big, atau Positive Small.



Gambar 4. Diagram Blok Kendali Fuzzy

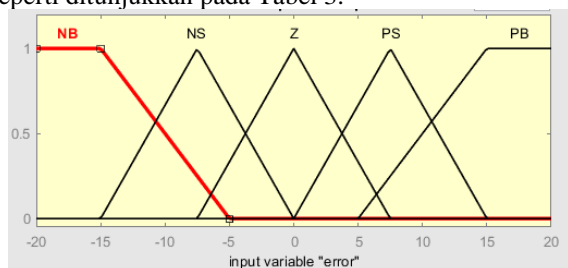
Data masukan error dan Δ error diperoleh dari persamaan fungsi waktu.

$$error(t) = SP - PV(t) \quad (1)$$

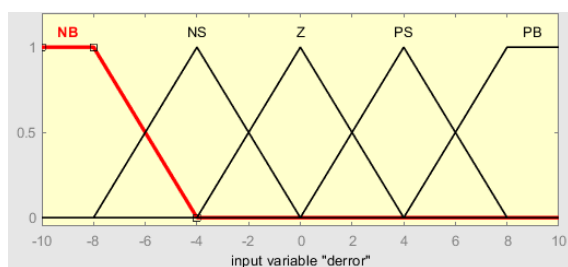
$$\Delta error = error(t) - error(t - 1) \quad (2)$$

Dimana SP adalah nilai *setpoint* yang merupakan kecepatan yang diinginkan, PV(t) adalah nilai keluaran pada waktu t, error(t) adalah nilai error saat ini, dan error(t-1) adalah nilai error sebelumnya. Fungsi keanggotaan masukan error kendali fuzzy, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan, fungsi keanggotaan masukan Δ error, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 7 menunjukkan fungsi keanggotaan

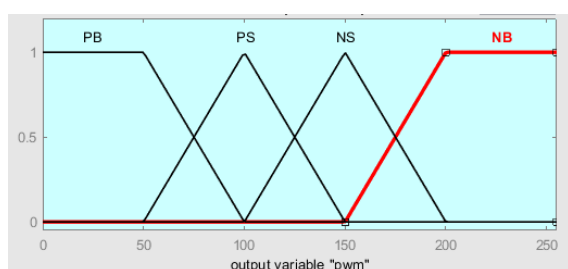
keluaran PWM dengan 4 himpunan linguistik berupa NB dan PB berbentuk trapesium dan NS serta PS berbentuk segitiga yang merepresentasikan variasi nilai PWM. Sedangkan, basis aturan fuzzy yang dirancang seperti ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Masukkan error (rpm)



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Masukkan Δ error (rpm)



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Keluaran PWM

Tabel 3. Aturan Fuzzy

e	NB	NS	Z	PS	PB
Δe					
NB	PB	PB	PB	PS	PS
NS	PB	PB	PS	NS	NS
Z	PB	PS	NS	NS	NB
PS	PS	PS	NS	NB	NB
PB	PS	NS	NB	NB	NB

3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian pada penelitian ini dilakukan melalui dua tahap, yaitu pengujian eksperimen dan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB.

3.1 Pengujian Eksperimen

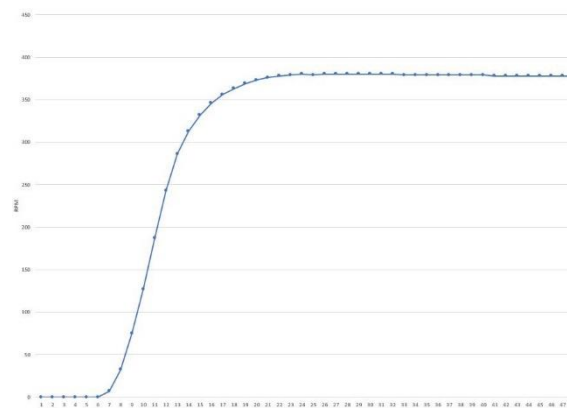
Pengujian eksperimen dilakukan dengan merakit alat peraga sesuai dengan desain mekanik pneumatik dan ditunjukkan pada Gambar 8. Dengan pengaturan

tekanan kompresor sebagai sumber udara yang konstan sebesar 5 bar, kemudian tekanan udara yang masuk ke sistem pneumatik diregulasi sebesar 1 bar. Dalam tahapan ini dilakukan pengujian untuk melihat respon dinamik vane motor pneumatik tanpa adanya gangguan.



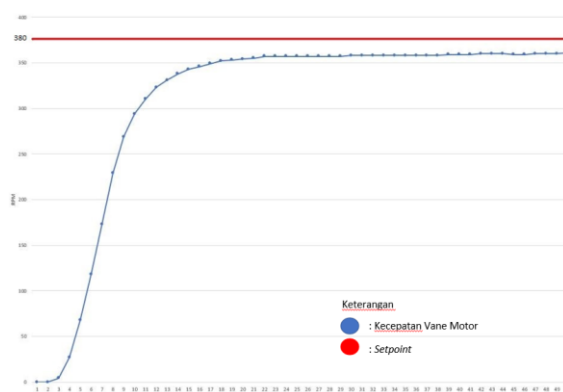
Gambar 8. Pengujian Vane Motor Pneumatik

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9. Dari grafik tersebut diperoleh rata-rata nilai kecepatan *steady state* dalam tekanan sistem sebesar 1 bar yaitu 380 RPM. Selain itu diperoleh pula waktu yang diperlukan untuk mencapai nilai kecepatan *steady state* sebesar 1,96 detik. Hal ini diperoleh dari titik sampel ke-6 hingga titik sampel ke-24, dengan nilai waktu sampel selama 100 milidetik.



Gambar 9. Respon Dinamik Vane Motor Pneumatik Tanpa Gangguan

Kemudian pengujian secara keseluruhan dilakukan dengan mengimplementasikan kendali *fuzzy* dan menggunakan nilai rata-rata kecepatan dari pengujian tanpa gangguan sebagai nilai *setpoint* diperoleh respon dinamik seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Respon Dinamik Sistem Keseluruhan

Respon yang dihasilkan dengan persentase error sebesar 5.26%

$$\%ESS = \frac{|Rata - Rata Kecepatan Steady - Setpoint|}{Setpoint} \times 100\%$$

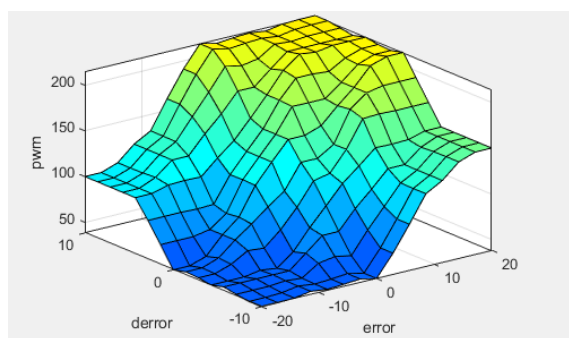
$$\%ESS = \frac{|360 - 380|}{380} \times 100\%$$

$$\%ESS = 5.26\%$$

Dari grafik pada Gambar 10 diperoleh keluaran sistem sudah sesuai dengan perancangan yang diinginkan.

3.2 Pengujian Simulasi MATLAB

Pengujian simulasi dengan menggunakan *toolbox* MATLAB bertujuan untuk memastikan rancangan basis aturan *fuzzy* sesuai dengan yang diharapkan. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 dari bentuk *surface* hasil simulasi di MATLAB. Bentuk *surface* tersebut telah menunjukkan bentuk respon kontrol telah logis.



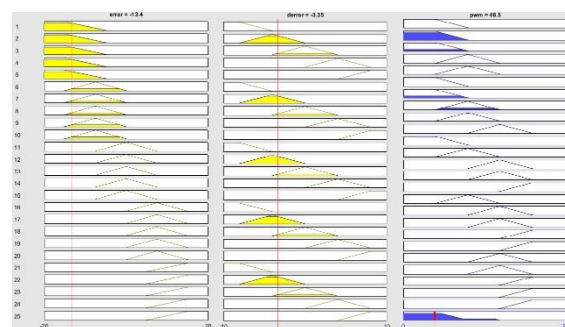
Gambar 11. Bentuk *Surface*

Berdasarkan hasil pengujian secara simulasi diperoleh bahwa inferensi *fuzzy* Mamdani yang dirancang mampu menghasilkan keluaran yang sesuai. Apabila nilai error dan Δ error mendekati nol maka akan menghasilkan kondisi NS yang berarti *solenoid proportional valve* dibuka secara normal dan motor dalam kecepatan sesuai *setpoint*. Apabila nilai error dan Δ error bernilai negatif dan semakin membesar berarti vane motor pneumatik dalam kondisi PB, dimana PWM dikeluarkan lebih kecil untuk mengurangi bukaan *solenoid proportional valve* karena kecepatan motor melebihi *setpoint*. Apabila nilai error dan Δ error positif dan semakin besar berarti vane motor pneumatik dalam kondisi NB, dimana PWM

dikeluarkan bernilai lebih besar untuk menambah bukaan *solenoid proportional valve* karena kecepatan motor lebih rendah dari *setpoint*. Adapun hasil pengujian untuk masing-masing nilai keluaran dapat dilihat pada Tabel 4, dan contoh simulasi dari kondisi keluaran PB dapat dilihat pada Gambar 11.

Tabel 4. Hasil Pengujian Simulasi MATLAB

Masukan		Keluaran (PWM)
error	Δ error	
0.3	-0.7	139 (NS)
-3.5	-1.06	99 (PS)
-13.4	-3.35	48.4 (PB)
12	5.4	211 (NB)



Gambar 11. Tampilan Aturan *Fuzzy* dengan Keluaran PB

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, kendali kecepatan vane motor pneumatik menghasilkan error sebesar 5.26% dan memenuhi target minimal. Inferensi *fuzzy* Mamdani yang dirancang mampu menghasilkan nilai keluaran yang sesuai. Perbaikan fungsi keanggotaan masukan maupun keluaran perlu dilakukan agar kinerja sistem dapat lebih optimal. Selain itu penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan pengembangan metode seperti *fuzzy* Sugeno, ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference*), *fuzzy* tipe 2, dan metode lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir nomor B/402/PL1.R1/EP.00.08/2021 kelompok A1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rara G. P, Sudana I. M, and Suprptono E, (2015), "Penggunaan Model Demonstrasi dalam Materi Ajar Instalasi Sistem Operasi," *Jurnal Dinamika*, vol. 5, no. 3, pp. 6-13.
- [2] Y. Chen, I. S. Godage, Z. T. H. Tse, R. J. Webster, dan E. J. Barth, "Characterization and Control of a Pneumatic Motor for MR-Conditional Robotic Applications," *IEEEASME Trans. Mechatron.*, vol.

- 22, no. 6, hlm. 2780–2789, Des 2017, doi: 10.1109/TMECH.2017.2767906.
- [3] X. Guo dan B. Liu, “Research on Energy-Saving Optimization Control System of Mine Belt Conveyor,” dalam *2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)*, Haikou, China, Jun 2019, hlm. 46–49. doi: 10.1109/ICRIS.2019.00021.
- [4] C. Kim, “Robust Air-Gap Control of Superconducting-Hybrid MagLev Intelligent Conveyor System in Smart Factory,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 55, no. 6, hlm. 1–5, Jun 2019, doi: 10.1109/TMAG.2019.2900068.
- [5] S. U. Raj dan Tintu George T., “Speed sensorless induction motor drive with PCC in conveyor systems,” dalam *2016 Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS)*, Namakkal, India, Mar 2016, hlm. 97–112. doi: 10.1109/ICEDSS.2016.7587796.
- [6] Cheng C. Y, and Renn J. Y, (2012), “Improving the Steady-State Response of Full-Digital Pneumatic Motor Speed Control Using Two-Step Current Control Scheme,” *International Symposium on Computer, Consumer and Control 2012*, pp. 573-576, doi: 10.1109/IS3C.2012.150.
- [7] E. M. Abd Elsadek, H. Ashour, R. A. Refaat, dan M. Mostafa, “Efficiency Improvement and Saving Energy within Electro-Pneumatic System Using VFD: (case study: production line),” dalam *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, Aswan, Egypt, Feb 2019, hlm. 248–253. doi: 10.1109/ITCE.2019.8646536.
- [8] S. Batubara, “Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani Dan Fuzzy Sugeno Untuk Penentuan Kualitas Cor Beton Instan,” *IT J. Res. Dev.*, vol. 2, no. 1, hlm. 1–11, Nov 2017, doi: 10.25299/itjrd.2017.vol2 (1).644.
- [9] Al Tahtawi A. R, and Rohman A. S, (2016), “Perancangan Pengendali PI-AW pada Simulator Mobil Listrik untuk Kendali Kecepatan dan Torsi,” *Jurnal Teknik Elektro, Komputer, dan Informatika (ELECTRANS)*, vol. 14, no. 1, pp. 1-7.
- [10] Ibrahim D, (2006) “Microcontroller Based Applied Digital Control,” John Wiley and Sons, England.