

Solar Tracker Elektro-Pneumatik Berbasis Kendali Fuzzy

Baisrum¹, Budi Setiadi², Sarjono Wahyu Jadmiko³, Sudrajat⁴, Varian Andika
Wijayakusuma⁵, Fryma Zhafran Raihan⁶

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

^{5,6} Teknik Otomasi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

Email: baisrum@polban.ac.id¹, budi.setiadi@polban.ac.id², sarjono@polban.ac.id³,
sudrajat@polban.ac.id⁴, varian.andika.toi17@polban.ac.id⁵,
fryma.zhafran.toi17@polban.ac.id⁶

Received 01 October 2020 | Revised 10 October 2020 | Accepted 27 October 2020

ABSTRAK

Salah satu faktor yang mempengaruhi daya keluaran listrik dari panel surya adalah posisi dan tingkat penyerapan sinar UV (Ultraviolet) dari matahari. Penggunaan aktuator motor servo untuk solar tracker membebani listrik yang dihasilkan dari pembangkit internal panel surya. Pada penelitian ini dirancang solar tracker menggunakan silinder pneumatik sebagai pengganti aktuator motor servo. Sedangkan, sensor UV digunakan untuk memantau sudut pergerakan matahari. Nilai error dan Δ error dari hasil pengolahan data sensor UV menjadi masukan bagi sistem pengambilan keputusan berbasis kendali fuzzy. Keluaran sistem pengambilan keputusan ini mengatur pergerakan posisi silinder pneumatik naik, turun, atau stop. Pengujian perangkat bekerja dengan baik, menghasilkan respon dinamik overshoot 5,3 % dan error steady state 1,6 %.

Kata kunci: ultraviolet, pneumatik, fuzzy, overshoot, error

ABSTRACT

One of the factors that affect the electrical output power of solar panels is the position and the absorption level of UV (Ultraviolet) rays from the sun. The use of a servo motor actuator for solar trackers burdens the generated electricity from the solar panels internal generator. In this study, a solar tracker was designed using a pneumatic cylinder as a replacement for the servo motor actuator. While a UV sensor was used to monitor the angle of the sun's movement. The error and Δ error values from UV sensor data processing results become an input for decision-making systems based on fuzzy control. The output of this decision-making system regulates the movement of the position of the pneumatic cylinder up, down, or stopping. The test device worked properly, resulting in a dynamic response overshoot of 5.3% and a steady-state error of 1.6%.

Keywords: ultraviolet, pneumatic, fuzzy, overshoot, error

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga angin dan matahari termasuk kategori pembangkit listrik terbarukan. Daya keluaran maksimum pada pembangkit listrik tersebut, sangat dipengaruhi posisi sudut turbin angin dan panel surya [1] [2]. Posisi sudut maksimum dari angin, sinar matahari tidak dapat diprediksi berdasar kalender dan waktu. Agar mendapatkan posisi sudut yang baik, generator turbin angin dan panel surya digerakan menggunakan *tracker* otomatis dengan aktuator motor servo [4] [5] [6] [7]. Integrasi motor servo-generator turbin angin dan motor servo-panel surya, arah gerakan rotasi translasi mengikuti masukan dari sensor [10] [12].

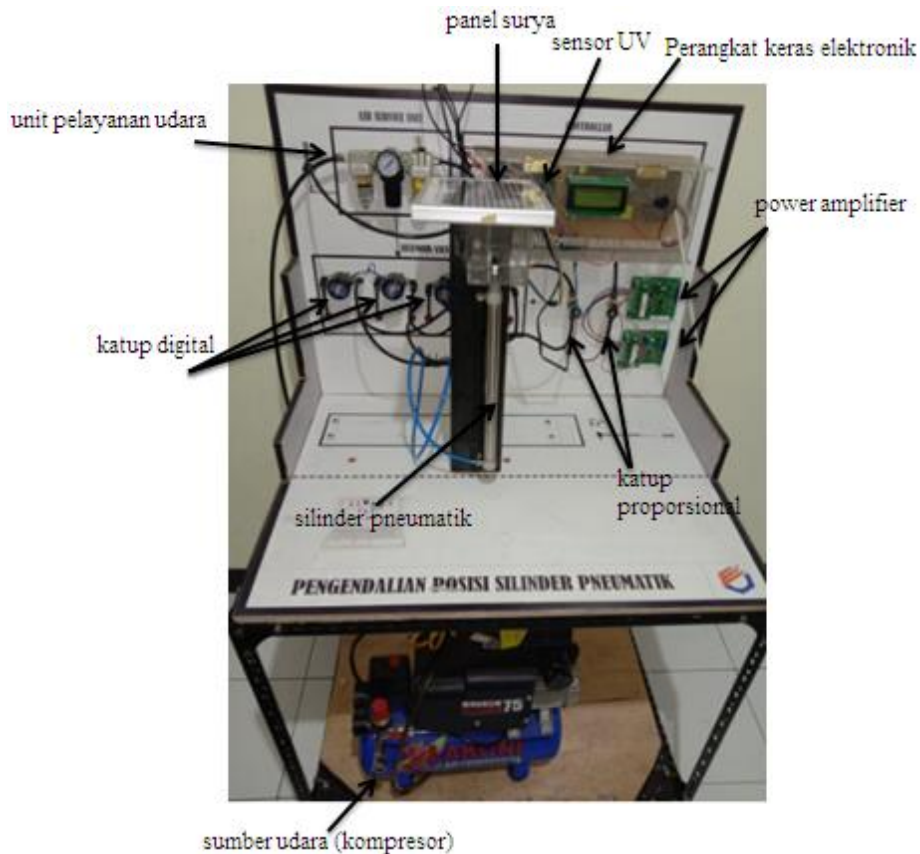
Penggunaan motor servo sebagai aktuator untuk menggerakkan posisi sudut generator turbin angin atau panel surya memiliki kekurangan. Pasokan energi listrik untuk menggerakkan motor servo berasal dari pembangkit internal yang dihasilkan [8] [9]. Dampak dari penggunaan motor servo adalah berkurangnya daya keluaran listrik untuk ke jaringan beban [11] [13].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat respon dinamik dari kombinasi elektro-pneumatik pada sistem solar *tracker*. Perubahan posisi sudut solar *tracker* digerakkan secara mekanik. Komponen mekanik yang digunakan sebagai aktuator solar *tracker* adalah tipe silinder pneumatik kerja ganda. Silinder pneumatik bergerak naik, turun, atau *stop* menggunakan sumber energi angin yang alirannya diatur melalui 4 katup digital dan 2 katup proporsional. Sedangkan untuk kendalinya menggunakan sistem elektronik berbasis *fuzzy*. Sensor UV untuk memantau sudut pergerakan matahari difungsikan sebagai umpan balik atau masukan bagi sistem pengambilan keputusan kendali *fuzzy*. Sebelumnya nilai masukan sensor UV diperbaharui menjadi variabel *error* dan $\Delta error$. Keluaran sistem pengambilan keputusan *fuzzy* sugeno digunakan untuk mengatur katup digital dan proporsional.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 *Plant Solar Tracker*

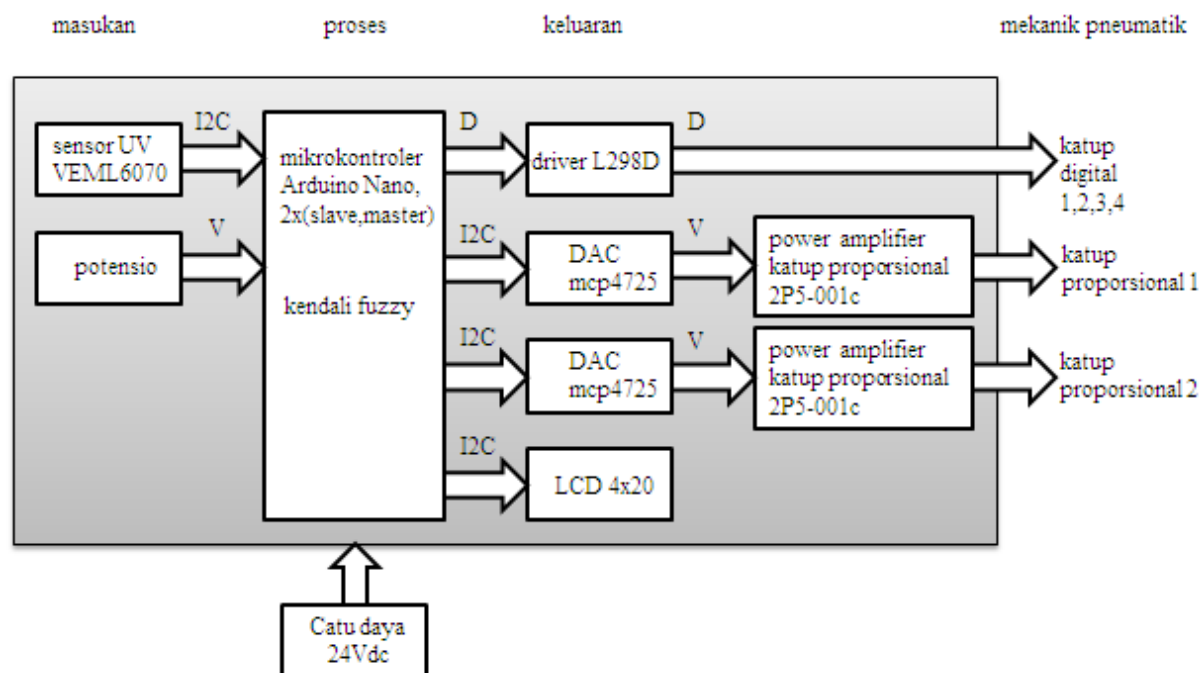
Gambar 1 menunjukkan realisasi solar *tracker*. Modul ini terdiri dari perangkat pneumatik dan elektronik. Modul ini dibangun pada skala laboratorium untuk kebutuhan penelitian dan pengajaran dengan ukuran panjang 80 cm, lebar 65 cm, dan tinggi 70 cm. Kapasitas berat beban panel surya yang digunakan 1 Kg dengan daya 6 WP.



Gambar 1. Realisasi solar tracker

2.2 Desain Perangkat Keras Elektronik

Gambar 2 menunjukkan desain sistem perangkat keras elektronik untuk solar *tracker*. Sistem terdiri dari perangkat masukan, proses, dan keluaran. Perangkat masukan terdiri dari sensor UV dan potensiometer. Sensor UV berfungsi untuk memantau pergerakan posisi matahari dan potensiometer berfungsi untuk kalibrasi nilai *setpoint*. Mikrokontroler berfungsi untuk pengolahan data sensor dan pengambilan keputusan pergerakan silinder pneumatik berbasis kendali *fuzzy*. Perangkat keluaran terdiri atas *driver* L298D, DAC (*digital to analog converter*), *power amplifier*, dan LCD (*liquid crystal display*). L298D difungsikan sebagai penguat arus untuk mengaktifkan koil katup digital. DAC berfungsi untuk mengubah data hasil keluaran *fuzzy* 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. LCD berfungsi untuk menampilkan informasi data hasil pengukuran.



Gambar 2. Desain perangkat keras elektronik

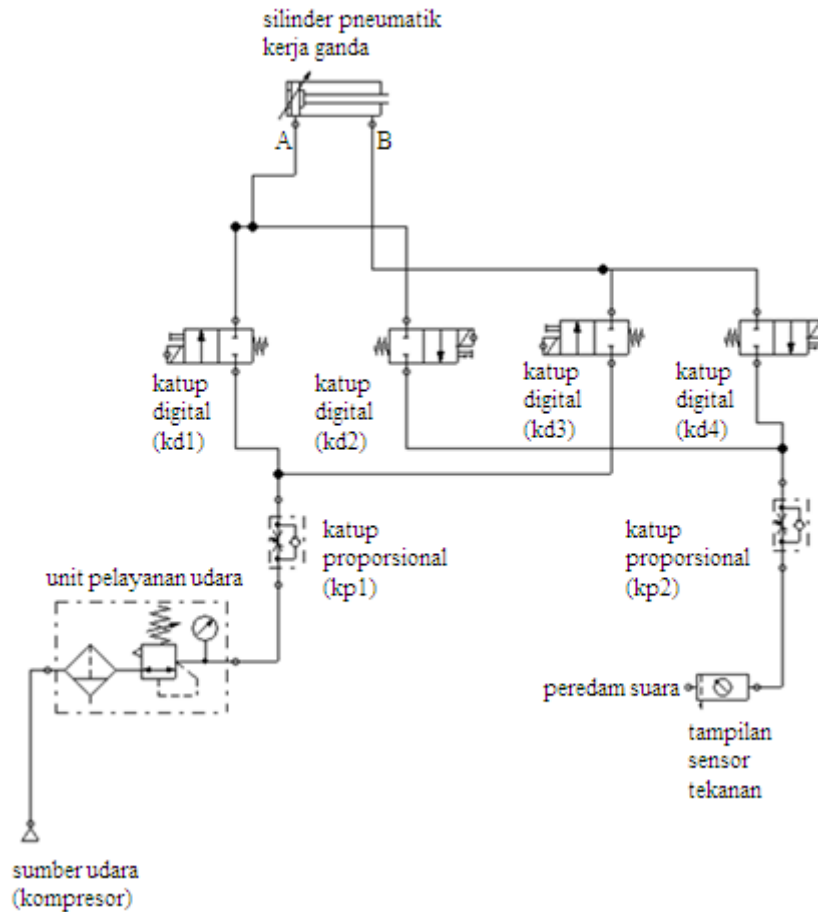
Berikut detail spesifikasi perangkat keras elektronik, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi perangkat keras elektronik

No	komponen	Keterangan
1	VEML6070	sensor UV, I2C, 2.7-5.5, indek UV, indek <i>infra-red</i> , float
2	potensio	karbon, 10 K Ω – 1/4 W
3	mikrokontroler	ATMega8, berbasis Arduino uno
4	L298D	<i>H-bridge</i> ganda, mak 32 Vdc/5 A
5	MCP4725	DAC 8-bit, I2C, 5 Vdc
6	LCD	4x20 karakter, I2C
7	power amplifier	Masukan tegangan 1-5 Vdc, keluaran 0-24 Vdc, 4W

2.3 Desain Mekanik Pneumatik

Gambar 3 menunjukkan desain sistem perangkat keras pneumatik. Desain sistem terdiri dari perangkat aktuator silinder pneumatik kerja ganda, 4 buah katup digital, 2 buah katup proporsional, unit pelayanan udara, sumber udara, peredam suara dan tampilan sensor tekanan. Silinder pneumatik berfungsi sebagai aktuator untuk mendorong naik, turun atau *stop solar tracker*, melalui pengaturan katup digital. Sedangkan katup proporsional berfungsi untuk mengendalikan kecepatan pergerakan silinder pneumatik melalui pengaturan aliran udara yang masuk maupun keluar. Besarnya bukaan katup proporsional 0 sampai dengan 20 %. Kedua bukaan katup dirancang sama untuk menjaga tekanan silinder tetap stabil. Unit pelayanan udara memiliki 3 fungsi, yaitu menyaring unsur air dalam udara, pengaturan tekanan, tampilan, dan pelumasan. Sensor tekanan berfungsi untuk tampilan tekanan. Peredam suara berfungsi untuk menyaring kotoran dan debu dari luar sistem.



Gambar 3. Desain perangkat keras pneumatik

Berikut mode deskripsi kerja sistem silinder pneumatik, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi kerja silinder pneumatik

mode	kd1	kd2	kd3	kd4	kp1 masukan(%)	kp2 luaran(%)	silinder pneumatik	keterangan
m1	ON	OFF	OFF	ON	0,1 s/d 20	0,1 s/d 20	naik	aliran udara (A→B)
m2	OFF	ON	ON	OFF	0,1 s/d 20	0,1 s/d 20	turun	aliran udara (B→A)
m3	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	stop	aliran udara terkunci didalam silinder

Spesifikasi lengkap sistem pneumatik yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 3. Komponen yang digunakan dipilih dengan mempertimbangkan biaya dan spesifikasi modul yang dibuat dalam bentuk teknologi tepat guna. Komponen yang digunakan merupakan standar industri proses yang sebenarnya.

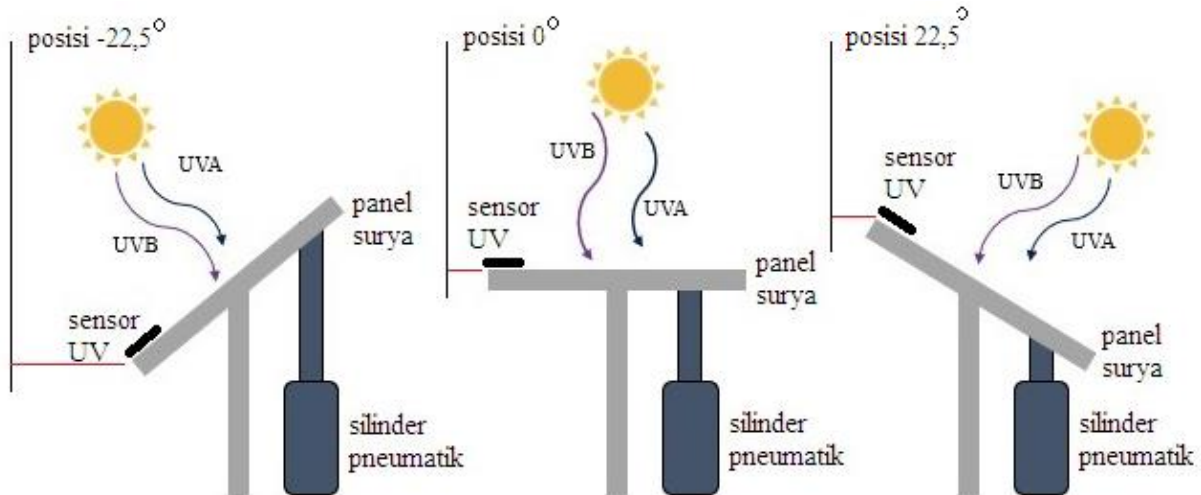
Tabel 3. Spesifikasi perangkat keras pneumatik

No	komponen	Keterangan
1	silinder pneumatik	kerja ganda, langkah 250mm, Ø tabug 20mm, selang 6mm
2	katup digital	2/2, pegas, koil 24 Vdc, selang 6mm
3	katup proporsional	satu arah, 1/8, 0.7 Mpa, analog 24 Vdc/4 W, selang 6mm
4	unit pelayanan udara	lubrikan, regulator, oil, 10 bar, selang 8mm
5	sumber udara	3/4 HP, 220 Vac

Gambar 4 menunjukkan prinsip kerja solar tracker. Solar tracker untuk menghasilkan titik penyerapan UV maksimum, bergerak satu sumbu dari -22,5° sampai 22,5°. Sensor yang digunakan untuk memantau

pergerakan matahari adalah UV. Sensor ini bekerja berdasarkan penyerapan sinar UV dengan indeks 0 sampai 14 *floating point*. Alasan penggunaan sensor UV dikarenakan penyerapan nilai indeks UV berbanding lurus dengan energi listrik yang dihasilkan, seperti ditunjukkan pada Persamaan (1).

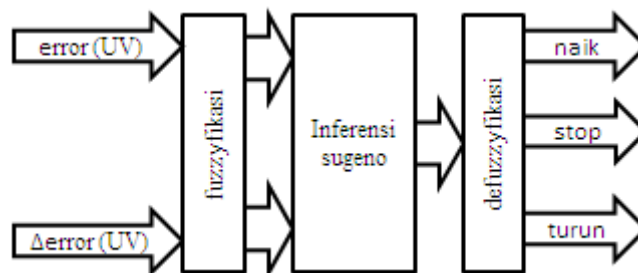
$$\text{besar energi panel surya} = 104 \times (\text{indek UV}) - 18,365 \tag{1}$$



Gambar 4. Prinsip kerja solar tracker

2.4 Desain Perangkat Lunak

Gambar 5 menunjukkan sistem kendali *fuzzy*.



Gambar 5. Diagram blok kendali *fuzzy*

Masukan kendali *fuzzy* adalah $error$ dan $\Delta error$ yang didapat dari sensor UV. Selanjutnya dicari nilai derajat keanggotaannya. Hasil nilai derajat keanggotaan dilakukan proses *AND* dan selanjutnya diinferensi dengan metode sugeno. Keluaran dari proses inferensi adalah nilai yang masih bersifat *fuzzy*, sehingga dilakukan defuzzyfikasi. Nilai keluaran selanjutnya digunakan untuk pengambilan keputusan apakah silinder peumatik bergerak naik, turun atau *stop*.

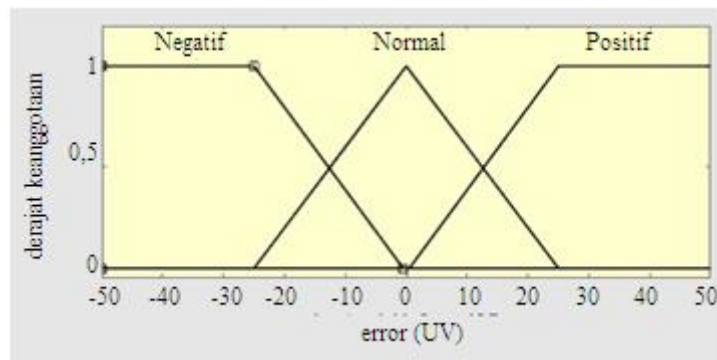
Data masukan $error$ dan $\Delta error$ diperoleh dari fungsi waktu, seperti ditunjukkan pada Persamaan (2) dan Persamaan (3).

$$error(t) = r(t) - y(t) \tag{2}$$

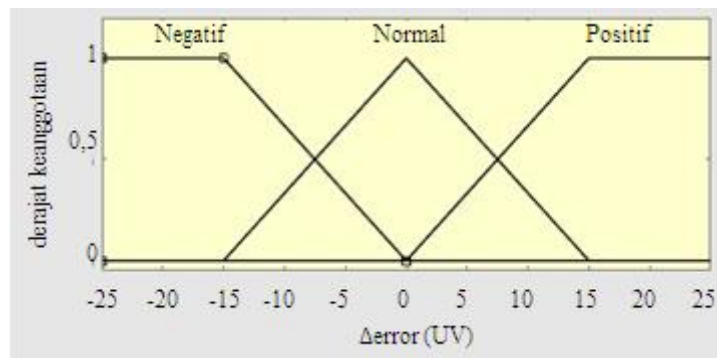
$$\Delta error(t) = error(t) - error(t - 1) \tag{3}$$

Dimana $r(t)$ adalah nilai *setpoint* merupakan referensi yang diinginkan, $y(t)$ adalah nilai keluaran, $error(t)$ adalah nilai $error$ saat ini, dan $error(t-1)$ adalah nilai $error$ sebelumnya. Fungsi keanggotaan masukan $error$ kendali *fuzzy*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Sedangkan, fungsi keanggotaan masukan $\Delta error$, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 8 menunjukkan fungsi keanggotaan dengan 5 himpunan *linguistic* berupa pulsa untuk menghasilkan keluaran yang lebih *smooth*. Sedangkan,

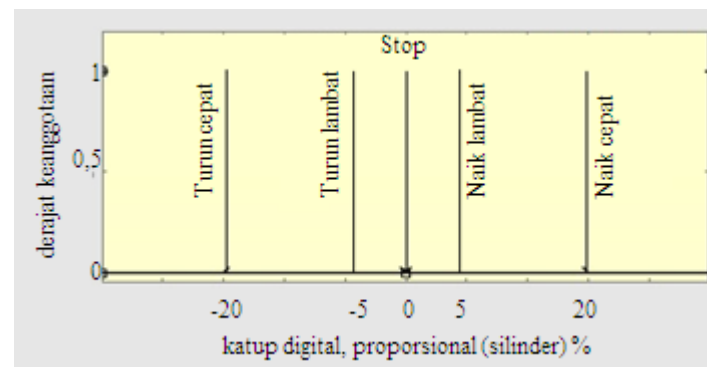
basis aturan *fuzzy* yang dirancang seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil simulasi perancangan kendali *fuzzy* dari sistem solar *tracker*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12. Gambar 9 menunjukkan hubungan antara masukan dan keluaran. Nilai masukan *error* dan $\Delta error$ mempengaruhi arah pergerakan aliran udara pada katup digital (negatif silinder pneumatik turun, positif silinder pneumatik naik, 0 silinder pneumatik *stop*). Sedangkan, besar kecil nilai negatif, positif mempengaruhi persentasi bukaan katup proporsional dan berdampak pada kecepatan pergerakan silinder pneumatik. Gambar 10 menunjukkan pengujian silinder pneumatik naik dengan nilai *error* positif 12, dan $\Delta error$ 0 menghasilkan nilai positif 9,49. Skala 0 sampai dengan 24 dan sebaliknya menunjukkan persentasi bukaan katup proporsional. Skala 0 menunjukkan katup tertutup, dan skala 24 atau -24 menunjukkan katup terbuka maksimum. Gambar 11 menunjukkan pengujian silinder pneumatik turun dengan nilai *error* negatif 12, dan $\Delta error$ 0 menghasilkan nilai negatif 9,49. Gambar 12 menunjukkan pengujian silinder pneumatik turun dengan nilai *error* 0, dan $\Delta error$ 0 menghasilkan nilai 0.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan masukan error (UV)



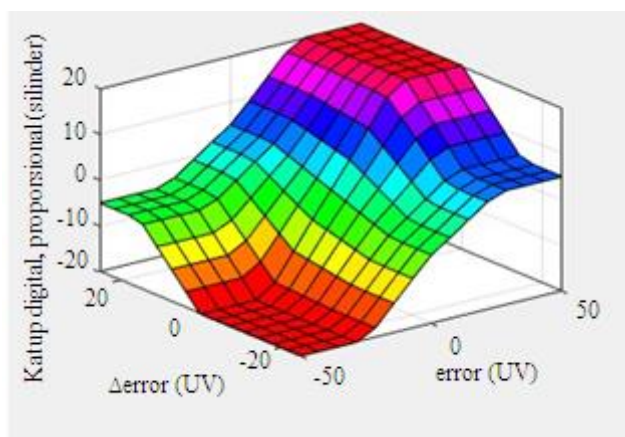
Gambar 7. Fungsi keanggotaan masukan $\Delta error$ (UV)



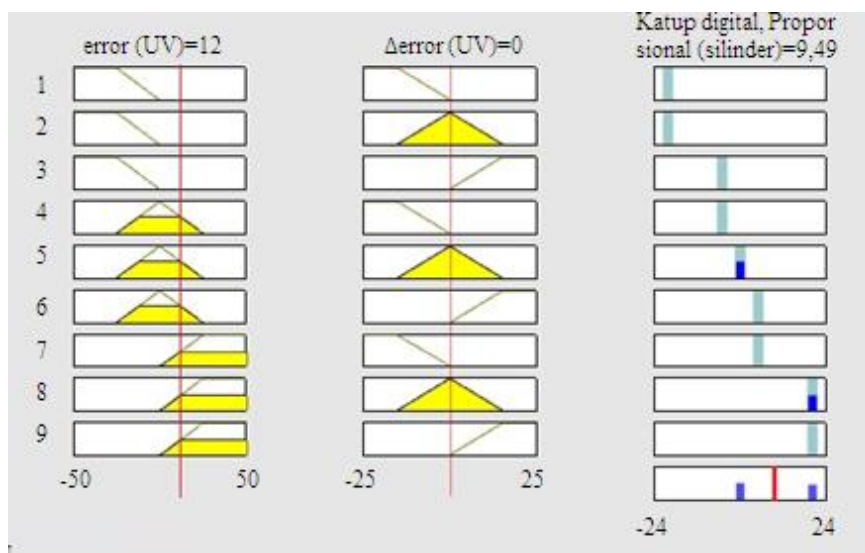
Gambar 8. Fungsi keanggotaan keluaran katup digital, proporsional (silinder)

Tabel 4. Aturan *fuzzy*

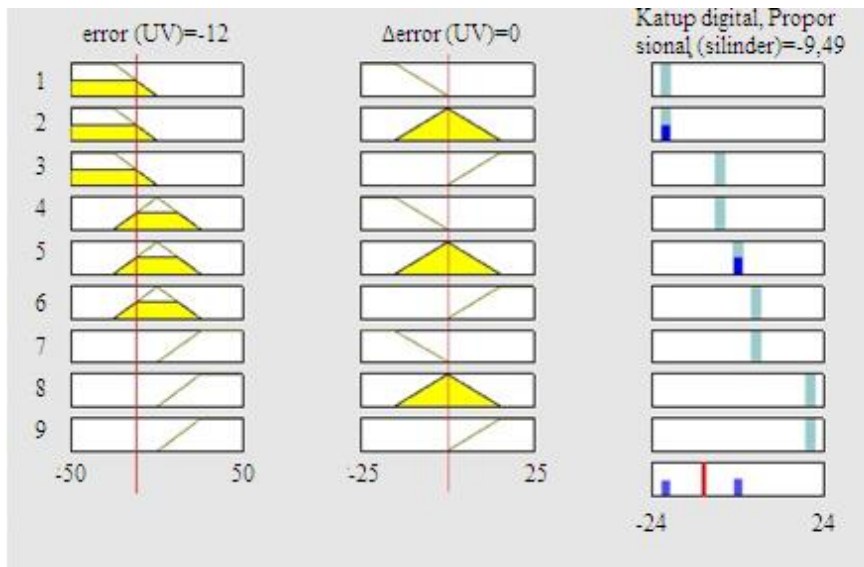
No	masukan error (UV)	masukan Δ error (UV)	keluaran katup digital, proporsional (silinder)
1	Negatif	Negatif	Turun cepat
2	Negatif	Normal	Turun cepat
3	Negatif	Positif	Turun lambat
4	Normal	Negatif	Turun lambat
5	Normal	Normal	Stop
6	Normal	Positif	Naik lambat
7	Positif	Negatif	Naik lambat
8	Positif	Normal	Naik cepat
9	Positif	Positif	Naik cepat



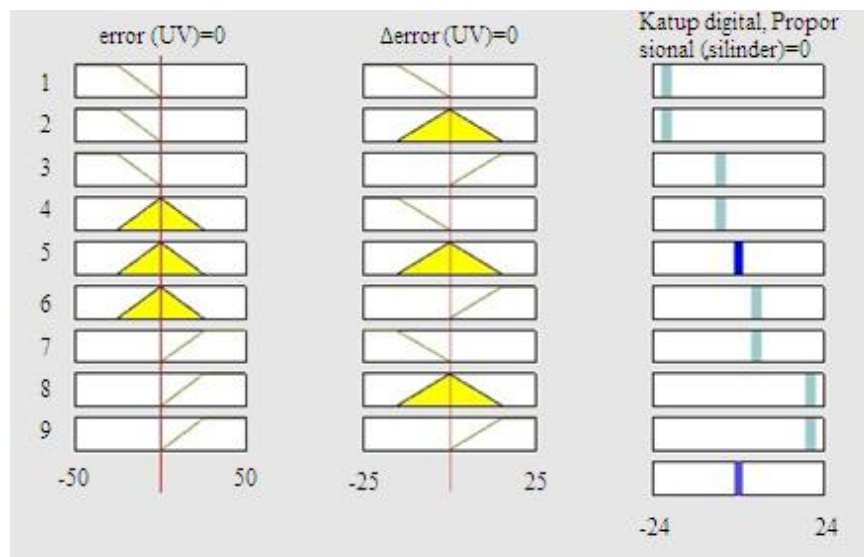
Gambar 9. Grafik hubungan masukan dan keluaran



Gambar 10. Tampilan aturan fuzzy dengan keluaran naik



Gambar 11. Tampilan aturan fuzzy dengan keluaran turun

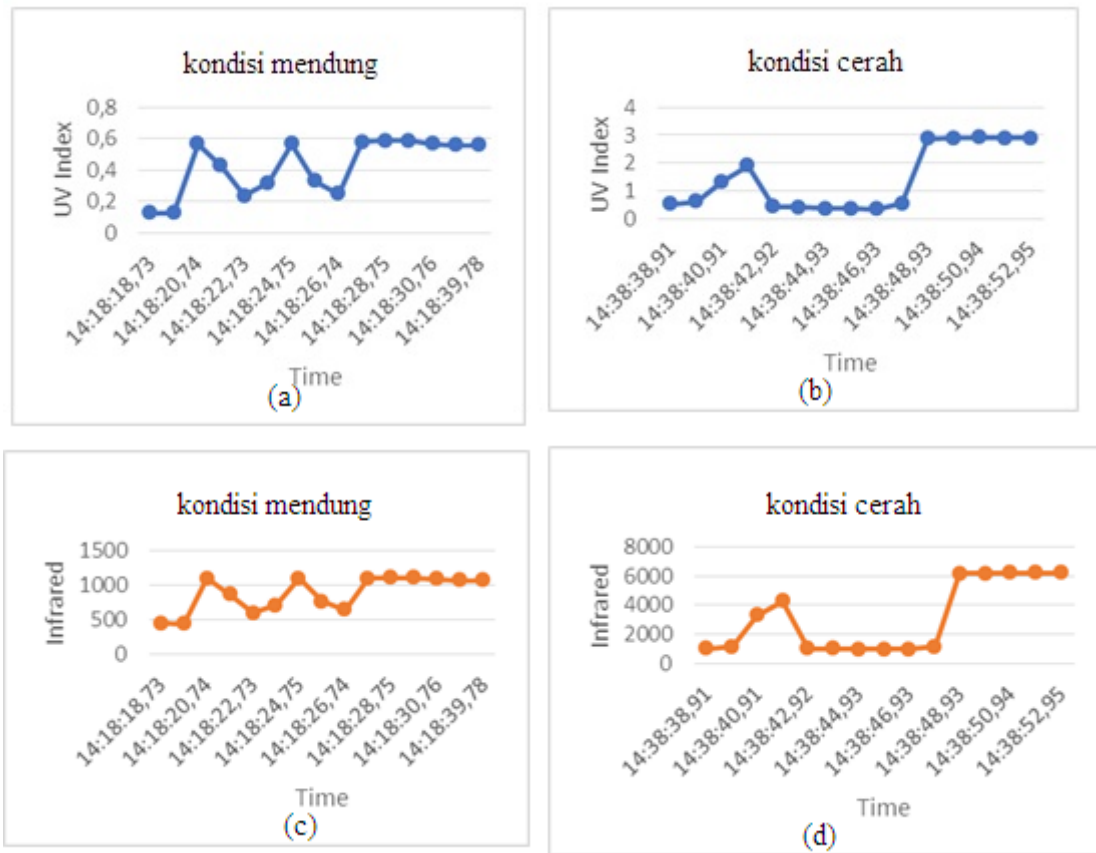


Gambar 12. Tampilan aturan fuzzy dengan keluaran stop

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

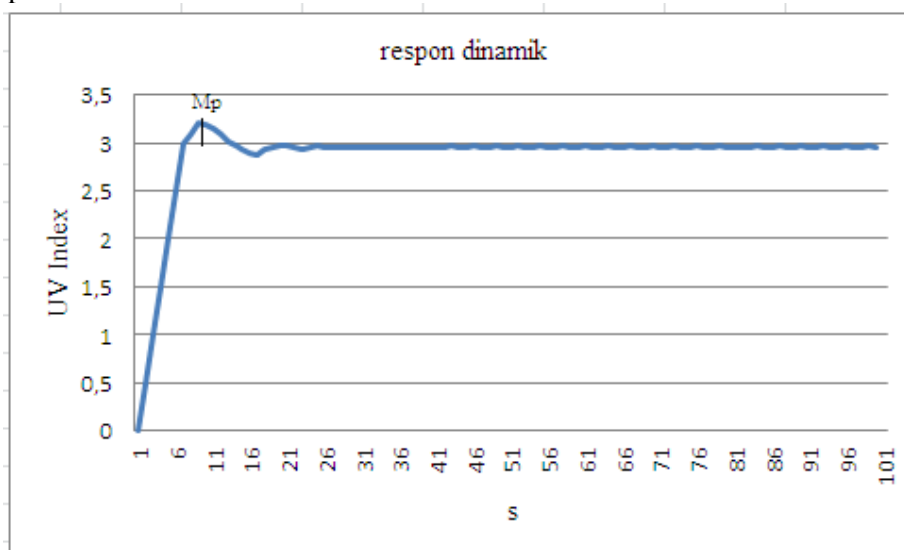
Pada tahap ini dilakukan pengujian perangkat keras dan lunak. Pengujian perangkat keras diawali pada sensor UV. Sensor UV bekerja membaca indeks UV dan *infra-red* sekaligus dalam satu waktu. Pengujian sensor UV dilakukan pada kondisi cuaca mendung dan cerah dengan menggerakkan sensor secara manual dari $-22,5^\circ$ ke 0° . Gambar 13a menunjukkan grafik hasil pengujian sensor pada kondisi mendung untuk cahaya matahari yang mengandung UV. Terlihat pembacaan pengolahan data perangkat lunak menghasilkan nilai indeks UV tidak stabil (berosilasi) setiap durasi 2 detik. Gambar 13b menunjukkan grafik hasil pengujian sensor pada kondisi cerah. Terlihat menghasilkan nilai indeks UV lebih stabil dibandingkan dengan kondisi mendung. Gambar 13c menunjukkan grafik hasil pengujian sensor pada kondisi mendung untuk cahaya matahari yang mengandung *infra-red*. Terlihat pembacaan pengolahan data perangkat lunak menghasilkan nilai indeks *infra-red* tidak stabil (berosilasi) setiap durasi 2 detik. Gambar 13d menunjukkan grafik hasil pengujian sensor pada kondisi cerah. Terlihat menghasilkan nilai indeks *infra-red* lebih stabil dibandingkan dengan kondisi mendung. Grafik hasil pembacaan satu waktu antara UV dan *infra-red* terlihat memiliki pola yang sama. Pada penelitian ini pembacaan data yang digunakan sebagai umpan balik pengambilan keputusan fuzzy adalah indeks UV, mengacu pada

Persamaan (1). Sedangkan nilai *setpoint* 3 digunakan sebagai acuan sistem solar *tracker*, berdasarkan tingkat rata-rata pembacaan indeks UV di Kota Bandung pada kondisi cerah seperti terlihat pada grafik.



Gambar 13. Hasil pengujian dan pengukuran sensor UV

Pengujian sistem solar *tracker* merupakan kombinasi perangkat lunak algoritma *fuzzy* yang dirancang dengan perangkat keras elektronik. Pengujian kombinasi ini bertujuan untuk mengetahui respon dinamik silinder pneumatik pada solar *tracker*. Pengujian dilakukan dengan skenario tanpa gangguan, seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik respon dinamik silinder pneumatik pada solar *tracker*

Dari Gambar 14 didapatkan nilai *time settling* atau t_s dan *error steady state*. *Setpoint* indeks UV=3 ditanam secara program di mikrokontroler. Berikut penjelasan perhitungannya.

a. *Time settling* didapatkan $T_s=17s$;

b. *Error steady state* yang didapatkan:

$$ess = \frac{(3,05-3)}{3} \times 100 \% = 1,6 \% \quad (4)$$

c. Maksimum *Overshoot* (Mp) merupakan nilai tertinggi dari grafik adalah 3,16 maka :

$$Mp = \frac{(3,16-3)}{3} \times 100\% = 5,3 \% \quad (5)$$

Berdasarkan prosentase kesalahan yang ditetapkan pada penelitian ini adalah *ess* maksimum 5% dan *Mp* maksimum 25%. Sehingga nilai pengujian sistem pada *setpoint* 3 yang diperbolehkan adalah $2,85 \leq ess \leq 3,15$ dan $2,25 \leq Mp \leq 3,75$. Grafik hasil pengujian Gambar 14 (garis tebal warna biru) memperlihatkan nilai keluaran mencapai *steady state* 2,95 pada *time settling* 17s. Sehingga diperoleh prosentasi nilai *ess* 1,6%, seperti ditunjukkan pada Persamaan (4). Sedangkan, nilai keluaran *overshoot* 3,16 pada *time peak* 10s. Sehingga diperoleh prosentasi nilai *Mp* 5,3%, seperti ditunjukkan pada Persamaan (5).

4. KESIMPULAN

Pengaturan otomatis aktuator silinder pneumatik pada solar *tracker* menggunakan *fuzzy* sugeno telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mempertahankan *setpoint* dengan respon dinamik *overshoot* 5,3 % dan *error steady state* 1,6%. Penelitian lebih lanjut yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan metode *fuzzy*, ANFIS untuk menghasilkan respon yang lebih baik dan cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Bandung atas pendanaan penelitian melalui skema Peningkatan Kapasitas Laboratorium dengan SK Nomor B/186.21/PL1.R7/PG.00.03/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smirnov, A.A., Vozmilov, G., and Romanov, P.A., (2019). "Comparison of Discrete Sun Tracking Methods for Photovoltaic Panels", *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Sochi, Russia, pp. 1-5.
- [2] Díaz, A., Garrido, R., and Soto-Bernal, J.J., (2019). "A Filtered Sun Sensor for Solar Tracking in HCPV and CSP Systems", in *IEEE Sensors Journal*, 19, pp. 917-925.
- [3] Rouzbeh, B., Bone, G.M., and Ashby, G., (2018). "High-Accuracy Position Control of a Rotary Pneumatic Actuator", in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 23, pp. 2774-2781.
- [4] Rahmanian, E., Akbari, H., and Sheisi, G.H., (2017). "Maximum Power Point Tracking in Grid Connected Wind Plant by Using Intelligent Controller and Switched Reluctance Generator", in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8, pp.1313-1320.
- [5] Jabr, H.M., Lu, D., and Kar, N.C., (2011). "Design and Implementation of Neuro-Fuzzy Vector Control for Wind-Driven Doubly-Fed Induction Generator", in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2, pp. 404-413.
- [6] Chern, T., et al., (2014). "Excitation Synchronous Wind Power Generators With Maximum Power Tracking Scheme", in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5, pp. 1090-1098.
- [7] Cui, Z., Song, L., and Li, S., (2017). "Maximum Power Point Tracking Strategy for a New Wind Power System and Its Design Details", in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 32, pp. 1063-1071.

- [8] Lin, Z., Zhang, T., Xie, Q., and Wei, Q., (2018). "Intelligent Electro-Pneumatic Position Tracking System Using Improved Mode-Switching Sliding Control With Fuzzy Nonlinear Gain", in *IEEE Access*, 6, pp. 34462-34476.
- [9] Amelia, A.R., et al (2019). "Technologies of solar tracking systems: A review", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1st International Symposium on Engineering and Technology (ISETech)*, 767, pp. 1-10.
- [10] Smirnov, A.A., Vozmilov, G., and Sultonov. O.O., (2018). "Investigating the Effectiveness of Solar Tracking for a PV Facility in Chelyabinsk", *Int. Conf. On Industrial Engineering, Application and Manufacturing*.
- [11] Hamid, A.R., Azim, K., and Bakar, M.H., (2017). "A review on Solar Tracking System", *e-Proceeding National Innovation and Invention Competition Through*, pp 1-9.
- [12] Smirnov, A.A., Malugin, S.A., and Bakanov, A.V., (2017). "Designing Integrated PV Facility with Dual-axis Solar Tracking System Mounted on the South Building Face", *Int. Conf. On Industrial Engineering, Application and Manufacturing*, pp. 1-4.
- [13] Sumathi, V., Jayapragash, R., Bakshi, A., and Akella, P.K., (2017). "Solar Tracking Methods to Maximize PV System Output – A review of the Methods Adopted in Recent Decade", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, pp. 130-138.