



SNESTIK

Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi,
dan Teknik Informatika

<https://ejurnal.itats.ac.id/snestik> dan <https://snestik.itats.ac.id>



Informasi Pelaksanaan :

SNESTIK V - Surabaya, 26 April 2025

Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Informasi Artikel:

DOI : 10.31284/p.snestik.2025.7366

Prosiding ISSN 2775-5126

Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Gedung A-ITATS, Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya 60117 Telp. (031) 5945043
Email : snestik@itats.ac.id

Penerapan Kendali Logika Fuzzy Pada Proses Pendinginan Panel Surya

Ant. Ardath Kristi¹, Agus Risdiyanto¹, Erwin Susanto²

Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN),
Indonesia¹,

Fakultas Teknik Elektro, Telkom University²

e-mail: ardathmeca@gmail.com

ABSTRACT

One of the factors that can affect the performance of solar panels, in addition to solar radiation and also the environmental conditions around the panel, is temperature. Solar panels will receive heat from solar radiation, causing the temperature on the panel to increase beyond the recommended optimal temperature value, and this condition causes the performance and efficiency of the solar cells to drop drastically. Every 1°C increase in solar panel temperature from 25°C will result in a reduction in the output power produced by around 0.4-0.5%. The active water cooling system is one of several technologies that has been proven to reduce heat loss and increase electrical energy in photovoltaic (PV) modules. The application of various control methods can help optimize active water cooling techniques, such as PID, PID-Cuckoo, PID-PSO, and also fuzzy logic. Fuzzy logic control is chosen because it can work well when the controlled parameters, either input or output, are more than one parameter. The application of fuzzy logic control to the water-based solar panel cooling system produces superior clean energy gains of 43.90Wh or an increase of 13.55% when compared to the cooling process without fuzzy logic control, where the net energy gain is reduced by 9.72%. The efficiency value resulting from the cooling process with the application of fuzzy logic control is 20.33% greater when compared to the cooling process without fuzzy logic, which is 19.56%.

Keywords: photovoltaic, fuzzy logic, solar panel, water cooling

ABSTRAK

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya selain radiasi matahari, dan juga kondisi lingkungan sekitar panel adalah suhu. Panel surya akan menerima panas yang berasal dari radiasi matahari, sehingga menyebabkan suhu pada panel meningkat melebihi nilai suhu optimal yang disarankan dan kondisi ini menyebabkan kinerja dan juga efisiensi dari sel surya turun drastis. Setiap kenaikan suhu panel surya sebesar 1°C dari 25°C akan mengakibatkan pengurangan daya keluaran yang dihasilkan sebesar kisaran 0,4-0,5 %. Sistem pendingin air aktif merupakan salah satu dari beberapa teknologi yang telah terbukti mampu mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan energi listrik pada modul fotovoltaik (PV). Penerapan berbagai metode kendali dapat membantu mengoptimalkan teknik pendinginan air aktif, seperti PID, PID-Cuckoo, PID-PSO, dan juga logika fuzzy. Kendali logika fuzzy dipilih karena dapat bekerja dengan baik ketika parameter yang dikontrol baik itu input atau output berjumlah lebih dari satu parameter. Penerapan kendali logika fuzzy pada sistem pendingin panel surya berbasis air menghasilkan perolehan energi bersih yang lebih unggul sebesar 43,90Wh atau meningkat sebesar 13,55% jika dibandingkan proses pendinginan tanpa memasukkan kendali logika fuzzy dimana perolehan energi bersihnya berkurang sebesar 9,72%. Nilai efisiensi yang dihasilkan dari proses pendinginan dengan penerapan kendali logika fuzzy sebesar 20,33% lebih besar jika dibandingkan dengan proses pendinginan tanpa logika fuzzy yaitu 19,56%.

Kata kunci: *photovoltaic*, *fuzzy logic*, panel surya, sistem pendingin air

PENDAHULUAN

Untuk mengatasi permasalahan krisis energi listrik di masa depan penggunaan *photovoltaic* (PV) atau biasa dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bisa menjadi solusi yang dapat dijalankan. *Photovoltaic* (PV) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari sehingga lebih bersih, ramah lingkungan dan potensinya melimpah[1].

Sel surya atau *photovoltaic* (PV) terbuat dari bahan semikonduktor, dimana ketika semikonduktor mendapatkan energi foton maka elektron akan terlepas dari ikatan atom dan akan menjadi elektron yang bergerak bebas sehingga menghasilkan tegangan listrik arus searah[2].

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya selain radiasi matahari, dan juga kondisi lingkungan sekitar panel adalah suhu. Kondisi nyata yang terjadi dilapangan panel surya akan menerima panas yang berasal dari radiasi matahari, hal ini mengakibatkan suhu pada panel meningkat melebihi nilai suhu optimal yang disarankan pada buku panduan yang dikeluarkan oleh pabrikan dan kondisi ini menyebabkan kinerja dan juga efisiensi dari sel surya turun drastis. Setiap kenaikan suhu panel surya sebesar 1°C dari 25°C akan mengakibatkan pengurangan daya keluaran yang dihasilkan sebesar kisaran 0,4-0,5 % [3-5]. Peningkatan suhu pada sel surya juga dapat menyebabkan penurunan tegangan keluaran hingga mencapai $0,22\text{ V}/^{\circ}\text{C}$ [6-7].

Beberapa penelitian sudah banyak dilakukan untuk mengatasi permasalahan suhu ini, berbagai teknik pendinginan telah diciptakan agar dapat meningkatkan efisiensi pada PV seperti sistem pendingin menggunakan air [8-10] dan juga udara menggunakan kipas [11-12]. Begitu juga penerapan berbagai metode kendali untuk mengoptimalkan teknik pendinginan pada PV banyak dilakukan oleh para peneliti. Teknik seperti jaringan neural yang dilakukan oleh Ibtisan A. Hasan dan Mohammed J. Mohammed [13-14]. Mereka melakukan percobaan dengan mengembangkan tiga metode jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network*) yaitu NARX, NAR, dan input output non linier untuk memprediksi suhu panel PV berdasarkan MSE, dan tahap akhirnya menggunakan kontrol pencarian PID-Cuckoo yang cerdas yang digunakan untuk menahan suhu pada panel surya. Keunggulan dari metode ini adalah penelitian ini dibangun menggunakan 10.000 lebih basis data yang terdiri dari radiasi matahari, kelembaban relatif, suhu sekitar panel surya dan juga kecepatan angin sehingga dapat memprediksi dan mengontrol suhu pada panel surya dalam batasan yang dapat diterima. Kemudian penelitian yang lain metode *Fuzzy Logic* digunakan untuk mengatur aktuator seperti pompa air dan juga kipas angin ketika

menjalankan proses penurunan suhu pada panel surya [15-17] dan efisiensi pada PV dapat meningkat secara signifikan dengan menggunakan sistem pendingin hibrida MPPT berbasis *neuro-fuzzy* [18-19]. Metode ini memiliki keunggulan dalam hal pengaturan parameter *output* yang digunakan untuk mendinginkan panel surya, yaitu pompa air ataupun kipas angin, dimana parameter *output* dapat bekerja sesuai dengan kondisi aktual dari parameter *input* yaitu suhu pada panel surya, sehingga kinerja dari pompa air ataupun kipas angin bisa dibatasi dan suhu panel surya terjaga pada batasan yang diterima.

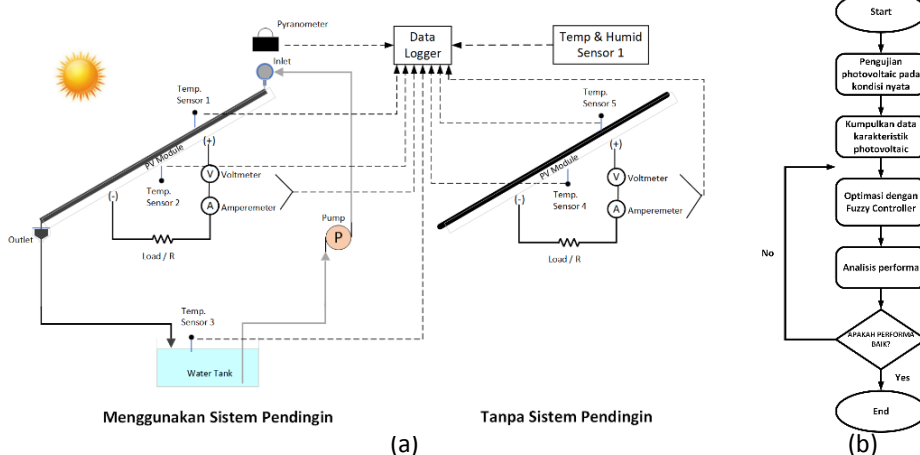
Meskipun pendekatan menggunakan sistem kendali cerdas seperti jaringan neural, *Fuzzy Logic*, PID-PSO, PID-Fuzzy dan juga *Neuro-Fuzzy* menunjukkan performa yang baik dalam menurunkan dan menjaga suhu panel surya pada batas yang diizinkan, namun masih terdapat beberapa kekurangan dari penelitian yang sudah dikembangkan sebelumnya dimana metode yang digunakan dapat berfungsi dengan baik jika dilakukan dalam skala kecil atau simulasi, ketika metode tersebut diterapkan dalam kondisi nyata dan dalam skala industri yang besar membutuhkan infrastruktur dan juga biaya produksi yang cukup mahal, selain itu parameter *input* dan *output* pada metode kontrol yang digunakan pada penelitian sebelumnya hanya terbatas pada pembacaan nilai suhu dan juga mengendalikan aktuator, kemudian hal yang paling penting adalah energi bersih yang dihasilkan oleh panel surya pada penelitian sebelumnya sama sekali tidak diperhitungkan.

Berdasarkan referensi yang ada, penelitian ini dilakukan untuk merancang sebuah sistem pendingin panel surya menggunakan media air dengan penerapan kendali logika *fuzzy*, dengan memperhatikan beberapa parameter seperti radiasi matahari, suhu pada panel surya dan juga daya listrik yang dihasilkan oleh pompa air. Adapun tujuan utama penelitian ini untuk mendapatkan nilai suhu yang optimal pada panel surya dan tetap memperhatikan energi bersih yang dihasilkan oleh panel surya.

METODE

Metodologi yang digunakan antara lain meliputi proses perancangan peralatan (hardware) berupa pembuatan sistem pendingin panel surya dengan menggunakan media air, pemasangan sensor-sensor pendukung dan mikrokontroler dalam suatu rangkaian *data logger*, melakukan pengujian sistem, pengamatan, pengambilan data, dan menganalisa hasil pengujian.

Perancangan sistem



Gambar 1. (a) Rancangan sistem pendingin panel surya dan pengujiannya, (b) *flowchart* proses sistem pendingin panel surya

Karakteristik yang dibaca pada panel surya yaitu nilai tegangan, arus, daya, suhu panel atas, suhu panel bawah, suhu air pendingin, suhu dan kelembaban udara sekitar panel surya, dan juga radiasi matahari, semua pembacaan ini dilakukan oleh sensor dan nilainya akan diolah dan disimpan oleh data logger. Terdapat lima buah sensor suhu (DS18B20), dimana empat buah digunakan untuk mengukur suhu pada panel surya, satu buah sisanya digunakan untuk mengukur suhu air pendingin. Resistor 3ohm digunakan sebagai beban yang terhubung pada terminal keluaran panel surya. Nilai tegangan, arus, dan daya pada panel surya dibaca menggunakan sensor PZEM-017. Untuk mengukur radiasi matahari menggunakan pyranometer (SEM228), dan sistem ini menggunakan DHT22 untuk membaca suhu dan kelembaban lingkungan disekitar panel surya.

Semua sensor tersebut terhubung dengan data logger yang dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, yang digunakan untuk mencatat dan menyimpan data karakteristik berbagai kondisi pada interval tertentu. Rincian spesifikasi komponen dan alat ukur ditunjukkan pada tabel 1, dan rincian spesifikai komponen untuk sistem pendingin ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi perangkat keras data logger panel surya

Perangkat	Spesifikasi
Photovoltaic	Shinyoku Polycrystalline Silicon Photovoltaic Module 100Wp
Mikrokontroler	ESP32
Sensor Suhu Pada Panel	DS18B20
Sensor Suhu Lingkungan	DHT22
Sensor Tegangan dan Arus	PZEM 017, PZEM 016
Pyranometer	SEM228
Beban	Resistor 3Ω 200 Watt

Tabel 2. Spesifikasi perangkat keras sistem pendingin panel surya

Perangkat	Spesifikasi
Pipa	PVC ½ inch
Tangki Air	900x600x600 mm
Pompa Air	Brushless DC motor, 12 V, 20W, 13.3 L/min
Coolant	Air

Sistem pendingin pada panel surya bekerja dengan mengalirkan air baku atau air biasa yang ditampung pada sebuah wadah. Sistem pendingin bekerja dengan menggunakan pompa air DC, air tersebut dipompa dan mengalir keseluruhan bagian lapisan atas dari panel surya, kemudian air tersebut akan kembali menuju wadah penampungan dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Air akan bersirkulasi ketika melakukan pendinginan pada panel surya.

Pada Gambar 1 (b) menjelaskan proses pendinginan panel surya, langkah pertama adalah melakukan pengujian panel surya pada kondisi nyata di lokasi yang baik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua buah panel surya dengan jenis, tipe, ukuran dan nilai daya yang sama, dimana salah satu panel surya diberikan sistem pendingin dan lainnya tidak. Pengujian dilakukan selama 5 - 8 jam dalam satu hari untuk mendapatkan nilai tegangan, arus, daya, suhu panel atas, suhu panel bawah, suhu air pendingin, suhu dan kelembaban udara sekitar panel surya, dan juga radiasi matahari. Tahap selanjutnya optimasi dilakukan pada bagian panel surya yang diberikan sistem pendingin dengan menambahkan metode kendali logika fuzzy yang

digunakan untuk mengatur nilai keluaran daya yang dihasilkan oleh pompa air ketika mendinginkan panel surya, kemudian hasil keluaran akan diamati khususnya pada bagian daya yang dihasilkan oleh panel surya, baik yang diberikan sistem pendingin dan yang tidak.

Raw gain pada sistem PV/T membandingkan produksi kotor antara panel surya yang diberikan sistem pendingin dengan panel surya tanpa sistem pendingin. Dalam percobaan didefinisikan sebagai ΔE_{Raw} . Hal ini menilik adanya potensi energi tambahan yang terjadi akibat proses pendinginan (dalam kWh). Dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta E_{Raw} = E_{cooled} - E_{uncooled} \quad (1)$$

$$Raw\ Gain\ (\%) = \left(\frac{E_{cooled} - E_{uncooled}}{E_{uncooled}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Mengidentifikasi titik dimana gain optimal dalam hal laju aliran air dan juga energi efektif yang diserap oleh energi pompa sirkulasi (E_{CP}) sangatlah penting. Persamaan berikut membandingkan produksi raw energi antara panel surya yang didinginkan dan yang tidak didinginkan (ΔE_{Raw}), dengan tetap memperhitungkan konsumsi energi pompa sirkulasi (E_{CP}) yang digunakan untuk mendinginkan panel surya (dalam kWh)

$$\Delta E_{Net} = \Delta E_{Raw} - E_{CP} \quad (3)$$

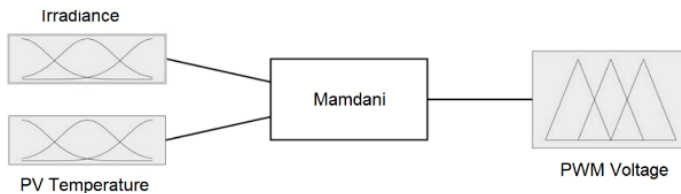
$$\Delta E_{Net} = (E_{cooled} - E_{uncooled}) - E_{cp} \quad (4)$$

$$Net\ Gain\ (\%) = \left(\frac{\Delta E_{Raw} - E_{CP}}{E_{uncooled}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Efisiensi pada sel photovoltaic (η_{pv}) dihitung menggunakan rasio daya maksimum (P_{max}) dibagi dengan radiasi sinar matahari (G) dalam satuan W/m² dan juga luasan dari sel photovoltaic dalam m². Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\eta_{pv} = \frac{P_m}{G \cdot A_c} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_i} = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_i} \quad (6)$$

Logika *fuzzy* yang digunakan pada sistem pendingin panel surya menggunakan metode inferensi Mamdani, dimana metode ini didesain menggunakan dua variabel input dan satu variabel *output*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Variabel *input* yang digunakan adalah *irradiance* dan suhu panel sedangkan untuk variabel *output* yang akan dihasilkan adalah tegangan pwm untuk pompa air.

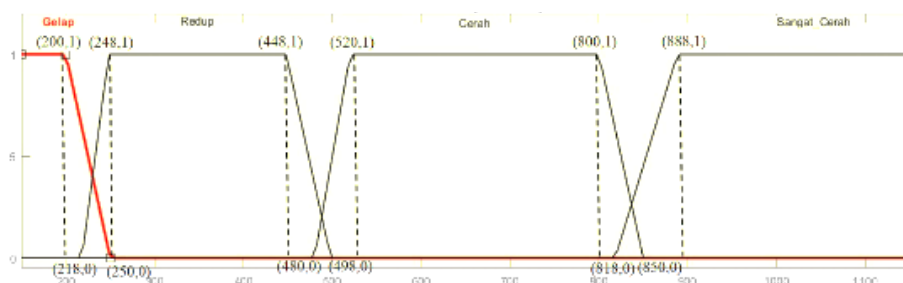


Gambar 2. Skema model *Fuzzy Logic* yang digunakan untuk sistem pendingin

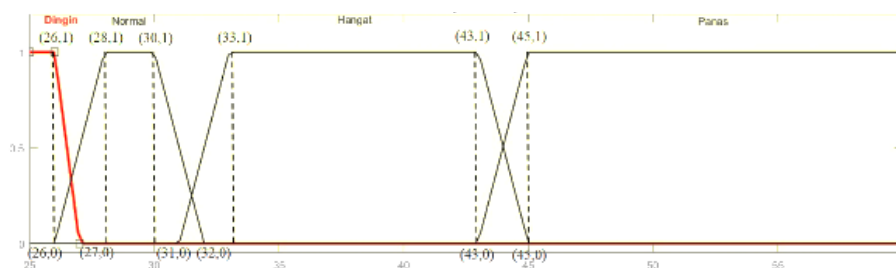
Dalam proses fuzzifikasi untuk variabel *input* dan *output* fungsi keanggotaan yang digunakan adalah trapesium (trapmf) ditandai dengan empat parameter (a,b,c,d) dimana parameter tersebut akan menentukan koordinat sumbu x dari empat sudut, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (7)

$$\mu[x] = \{0; x \leq a \text{ atau } x \geq d \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b; b \leq x \leq d \frac{d-x}{d-c}; c \leq x \leq d \quad (7)$$

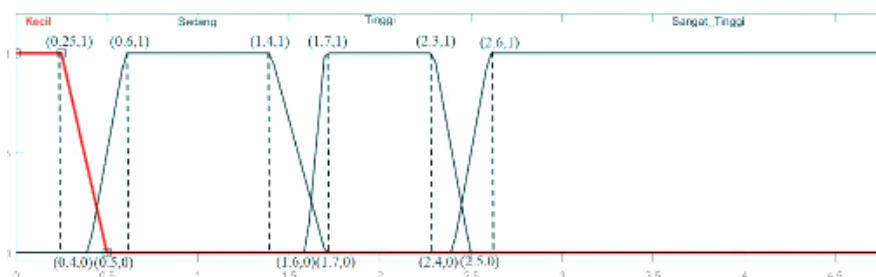
Pada setiap variabel dalam fungsi keanggotaannya akan dikelompokkan nilai keanggotaan berdasarkan variabel linguistik yang akan dimasukkan kedalam variabel *input* dan *output* seperti ditunjukkan pada gambar 3(a), 3(b), dan 3(c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. (a) fungsi keanggotaan irradiance, (b) suhu panel, (c) tegangan pwm

Untuk menentukan nilai kebenaran dari keluaran yang diinginkan perlu dilakukan pemetaan *input* dan *output* dengan menerapkan *inference fuzzy* atau aturan *fuzzy*, dan aturan *fuzzy* yang diterapkan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Aturan *fuzzy* yang digunakan untuk sistem pendingin

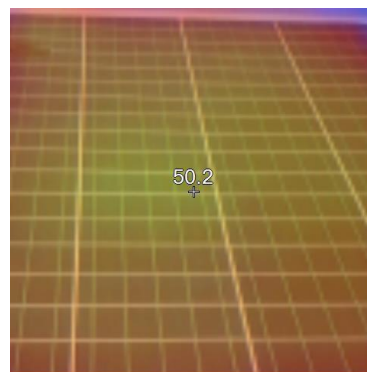
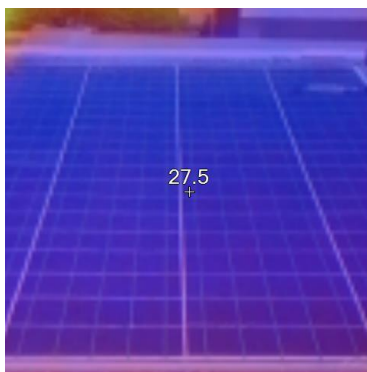
Input		Output
Irradiance	Suhu Panel Surya	Tegangan PWM Pompa Air
Gelap	Dingin	Kecil
Gelap	Normal	Kecil

Gelap	Hangat	Kecil
Gelap	Panas	Kecil
Redup	Dingin	Kecil
Redup	Normal	Kecil
Redup	Hangat	Kecil
Redup	Panas	Sedang
Cerah	Dingin	Kecil
Cerah	Normal	Sedang
Cerah	Hangat	Sedang
Cerah	Panas	Sedang
Sangat Cerah	Dingin	Kecil
Sangat Cerah	Normal	Sedang
Sangat Cerah	Hangat	Tinggi
Sangat Cerah	Panas	Sangat Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN



(a)

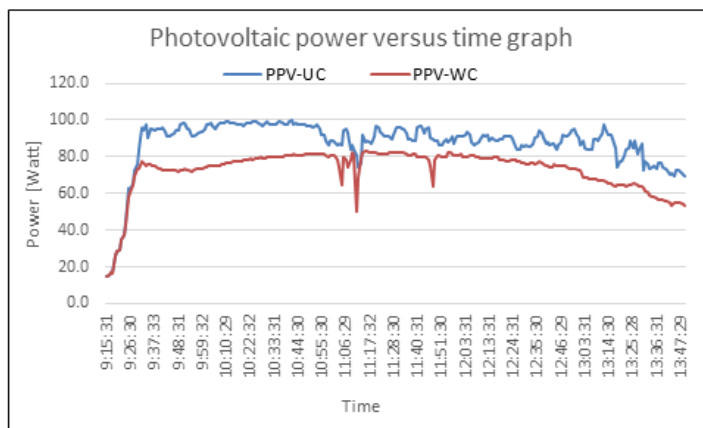


(b)

Gambar 4. (a) Pengujian sistem pendingin panel surya, (b) Hasil pengujian

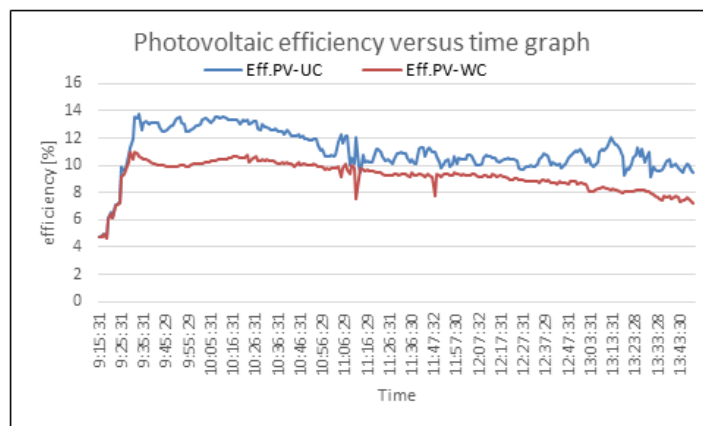
Hasil dari proses pendinginan pada panel surya dengan mengalirkan air pendingin pada permukaan atas panel surya dapat dilihat pada gambar 4 (b) dimana terlihat perbedaan warna dari gambar yang dihasilkan oleh alat ukur suhu Fluke VT04A, warna orange pada gambar menunjukkan kondisi panel surya tanpa sistem pendingin, dimana suhu menunjukkan angka 50.2°C dan disaat yang bersamaan panel surya yang diberikan sistem pendingin menunjukkan warna biru dan suhu yang terbaca 27.5°C , dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa sistem pendingin dengan rancangan yang dibuat sesuai dengan gambar 1 (a) dapat bekerja dengan baik untuk menurunkan suhu pada panel surya.

Hasil keluaran daya yang dihasilkan dari kedua panel surya dapat dilihat pada gambar 5. Dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* daya yang dihasilkan mendekati daya maksimum yang sesuai dengan buku panduan yang dikeluarkan oleh pabrikan ketika nilai *irradiance* tepat atau diatas 1000 W/m^2 .



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai daya panel surya dengan kendali logika *fuzzy*

Hasil rata-rata efisiensi yang dihasilkan dari kedua buah panel surya dapat dilihat pada gambar 6. Jika mengacu pada persamaan (6) nilai efisiensi panel surya dengan sistem pendingin sudah mendekati dari nilai efisiensi pada buku panduan yang dikeluarkan oleh pabrikan ketika nilai *irradiance* 1000 W/m^2 dan suhu pada panel 25°C , dimana nilai efisiensi standar pabrikan sebesar 13.8%



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai efisiensi panel surya dengan kendali logika *fuzzy*

Jika mengacu pada persamaan (1) dan (3) perolehan energi bersih ditentukan berdasarkan selisih antara perolehan energi kotor (ΔE_{Raw}) dan total energi yang dikonsumsi oleh pompa pendingin (ΣE_{cp}) selama pengujian. Berdasarkan perhitungan daya pada pengujian, energi kotor pada panel surya dengan sistem pendingin dengan laju aliran air pendingin yang disesuaikan dengan kendali logika *fuzzy* selama 4.4 jam pengujian sebesar 65,34 Wh. Sedangkan perolehan energi bersih sebesar 43,90 Wh. Dengan demikian proses pendinginan panel surya dengan kendali logika *fuzzy* untuk mengatur nilai daya pada pompa menghasilkan perolehan energi bersih yang lebih unggul jika dibandingkan dengan hasil dari pengujian nyata tanpa kendali logika *fuzzy*, dimana berdasarkan perhitungan daya total pengujian selama 5 jam energi kotor pada panel surya dengan sistem pendingin dengan laju aliran air pendingin yang konstan sebesar 70,22 Wh. Sedangkan perolehan energi bersih sebesar -34,18 Wh. Perolehan energi bersih yang *negative* menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan untuk proses pendinginan panel surya tidak efisien.

KESIMPULAN

Sistem pendingin dengan kendali logika *fuzzy* pada penelitian ini dapat menurunkan suhu pada panel surya dengan baik dan menjaga agar suhu tetap dalam kondisi yang optimal sehingga mendapatkan efisiensi energi bersih yang tinggi. Proses pendinginan dengan kendali logika *fuzzy* untuk mengatur nilai daya pada pompa menghasilkan perolehan energi bersih yang lebih unggul sebesar 43,90Wh atau meningkat sebesar 13,55%. Jika dibandingkan dengan proses pendinginan tanpa kendali logika *fuzzy* perolehan energi bersihnya berkurang sebesar 9,72%. Nilai efisiensi yang dihasilkan dengan penerapan kendali logika *fuzzy* sebesar 20,33% lebih besar jika dibandingkan dengan proses pendinginan tanpa logika *fuzzy* yaitu 19,56%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Risdiyanto, Ant. Ardath Kristi, Noviadi Arief Rachman, Ersalina Werda Mukti, Bambang Susanto, Agus Junaedi "Implementation of Photovoltaic Water Spray Cooling System and Its Feasibility Analysis", *2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, 2020.
- [2] Dr. E. D. Francis, B. Raghu, and D. V. Narayana, "Cooling Techniques for Photovoltaic Module for Improving Its Conversion Efficiency ", *International Journal of Engineering Inventions*, Vol. 5, Issue 5, pp. 69-73, May 2016.
- [3] I. Cho and H. Kim, "Study on PV Panel Cooling System using IoT with ESS for preventing Reduced Efficiency of Solar Panel," *2019 the 3rd International Conference on Sustainable Energy Engineering, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 342 (2019)*, pp. 1-6, 2019.
- [4] H. Tabaei and M. Ameri, "Improving the Effectiveness of a Photovoltaic Water Pumping System by Using Booster Reflector and Cooling Array Surface by A Film of Water," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, Vol. 39, No. M1, pp.51-60, 2015.
- [5] A. A. Sequeira, S. Shetty, S. S. Sampath, C. P. Selvan M., "Improvement of Power Output from Solar Panel Using Water Cooling System," *Global Journal of Advanced Engineering Technologies*, Vol. 5, Issue 1, pp. 58-63, 2016.
- [6] M. K. Yesilyurt, M. Nasiri, and A. N. Ozakin, "Techniques for Enhancing and Maintaining Electrical Efficiency of Photovoltaic Systems," *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, Vol. 4, Issue. 4, pp. 44-53, April 2018.
- [7] E. M. G. Rodrigues, R. Melicio, V. M. F. Mendes, and J. P. S. Catalao, "Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model," *Renewable Energy and Power Quality Journal*, Vol. 6, Issue 1, pp. 15-25, April 2020.

- [8] M. K. Ghosal, Ashapura Sethi, D. Behera "Performance of Solar Photovoltaic Module Through Combined Air and Water Cooling in Warm and Humid Climatic Condition of India", *International Journal of Science and Technology*, Vol. 12, pp. 47-53, Oktober 2020.
- [9] Y. A. Sheikh, A. D. Butt, K. N. Paracha, A. B. Awan, A. R. Bhatti, M. Zubair, "An improved cooling system design to enhance energy efficiency of floating photovoltaic systems", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 12, September 2020.
- [10] Amirhosein Hadipour, Mehran Rajabi Zargarabadi, Saman Rashidi, "An efficient pulsed-spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis," *Renewable Energy, Elsevier*, Vol. 164, pp. 867-875, September 2020.
- [11] Aly M. A. Soliman, Hamdy Hassan, Shinichi Ookawara, "An experimental study of the performance of the solar cell with heat sink cooling system", *International Conference on Emerging and Renewable Energy: Generation and Automation, ICEREGA 2018, Elsevier*, Vol. 162, pp. 127-315, 2019.
- [12] Epsilon K A Fatoni, Ahmad Taqwa, Rd Kusmanto, "Solar Panel Performance Improvement using Heatsink Fan as the Cooling Effect", *Journal of Physics: Conference Series*, 2019.
- [13] Fadi M. Khaleel, Ibtisam A. Hasan, Mohammed J. Mohammed, "Control of PV Panel System Temperature Using PID Cuckoo Search", *Engineering and Technology Journal*, Vol. 40, pp. 249-256, January 2022.
- [14] Fatima A. Lafta, Ibtisam A. Hasan, Mohammed J. Mohammed, "PID-PSO Controller for PV Panel System Identification Models on ANFIS and NN-NARX System", *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 16, pp. 4505-4517, December 2021.
- [15] W. Ato'ur Rochim, W. Kurniawan, and S. R. Akbar, "Perancangan Sistem Pengendali Temperatur Untuk Optimalisasi Daya Modul Surya menggunakan Logika Fuzzy", *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [16] Maruto Swatara Loegimin, Bamabang Sumantri, Mochamad Ari Bagus Nugroho, Hasnira Novie Ayub Windarko, "Sistem Pendingin Air untuk Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic", *Jurnal Integrasi*, Vol. 12, pp. 21-30, April 2020.
- [17] Seflahir Dinata, Ahmad Faisal Mohamad Ayob, Aliashim Albani, Raynaldi Cristian, Donie Agus Ardianto, Ojak Abdul rijak, "Fuzzy Logic-based Integrated Colling System to Improve PV Efficiency", *AIJASET*, Vol. 03, pp. 114-124, July 2023.
- [18] Rickric O. Gratela, Joyce Ann S. Martes, Gerome I. Pagatpatan, Jessa P. Pagkaliwangan, Diether Kyle A. Torcuato, Timothy M. Amado, Aaron U. Aquino, John Peter M. Ramos, Edmon O. Fernandez, Ira C. Valenzuela, "Neuro-Fuzzy based MPPT for Solar PV Panel Hybrid Coolinf System" *IEEE*, 2019.
- [19] A. Bassam, O. May Tzuc, M. Escalante Soberanis, L.J. Ricalde, B. Cruz, "Temperature Estimation for Photovoltaic Array Using an Adaptive Neuro Fuzzy Inference System", *Sustainability MDPI Journal*, August 2017.