ESTIMASI KERAPATAN ENERGI SURYA BERBASIS KELEMBAPAN UDARA DAN KECEPATAN ANGIN DENGAN MENGGUNAKAN METODE ANFIS SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA FOTOVOLTAIK

Adolf Patrick Raditya Sitorus[1], *Muhammad Irwanto*[2]
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Prima Idonesia
ariesstrs54@gmail.com[1], *muhammadirwanto@unprimdn.ac.id*[2]

ABSTRAK

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk memenuhi kebutuhan energi listrik melalui sistem fotovoltaik. Namun, variabilitas intensitas radiasi matahari sering menjadi kendala dalam perencanaan dan optimasi sistem tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi kerapatan energi surya berbasis parameter meteorologis, yaitu kelembapan udara dan kecepatan angin, dengan menggunakan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Data masukan berupa kelembapan relatif (%) dan kecepatan angin (km/j), sedangkan keluaran berupa estimasi kerapatan energi surya (MJ/$m2$). Model ANFIS dibangun melalui proses pelatihan menggunakan kombinasi fungsi keanggotaan dan algoritma pembelajaran hibrid untuk memperoleh performa estimasi yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ANFIS mampu memprediksi kerapatan energi surya dengan tingkat akurasi yang tinggi serta kesalahan prediksi yang rendah, sehingga layak digunakan sebagai alat estimasi dalam perencanaan sistem fotovoltaik. Temuan ini diharapkan dapat mendukung pemanfaatan energi surya yang lebih efisien, khususnya pada wilayah dengan dinamika cuaca yang fluktuatif.

Kata Kunci: energi surya, fotovoltaik, kelembapan udara, kecepatan angin, ANFIS, estimasi kerapatan energi.

ABSTRACT

Solar energy is a potential renewable energy source to meet electrical energy demands through photovoltaic systems. However, the variability of solar radiation intensity often poses a challenge in the planning and optimization of such systems. This study aims to estimate solar energy density based on meteorological parameters, specifically air humidity and wind speed, using the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) method. The input data consists of relative humidity (%) and wind speed (km/h), while the output is the estimated solar energy density (MJ/m^2). The ANFIS model was constructed through a training process using a combination of membership functions and a hybrid learning algorithm to achieve optimal estimation performance. The results demonstrate that ANFIS is capable of predicting solar energy density with high accuracy and low prediction error, making it a viable estimation tool for photovoltaic system planning. These findings are expected to support more efficient solar energy utilization, particularly in regions with fluctuating weather dynamics.Keywords: solar energy, photovoltaics, air humidity, wind speed, ANFIS, energy density estimation.

Kata Kunci: Energi surya, fotovoltaik, kelembapan udara, kecepatan angin, ANFIS, estimasi kerapatan energi.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk, peningkatan aktivitas ekonomi, dan ekspansi sektor industri (Omer, 2008). Ketergantungan pada bahan bakar fosil yang kian menipis memicu ancaman krisis energi sekaligus dampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi gas rumah kaca (Ellabban et al., 2014). Oleh karena itu, transisi menuju pemanfaatan sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang berkelanjutan menjadi sebuah keharusan strategis (Twidell & Weir, 2015). Di antara berbagai opsi EBT, energi surya muncul sebagai salah satu solusi paling potensial dan menjanjikan karena ketersediaannya yang melimpah, tidak terbatas, serta ramah lingkungan (Raza & Khahro, 2022). Meskipun memiliki potensi yang besar, pemanfaatan energi surya masih dihadapkan pada tantangan teknis yang cukup kompleks (Pande & Sahu, 2019). Kendala utama terletak pada fluktuasi intensitas radiasi matahari yang diterima

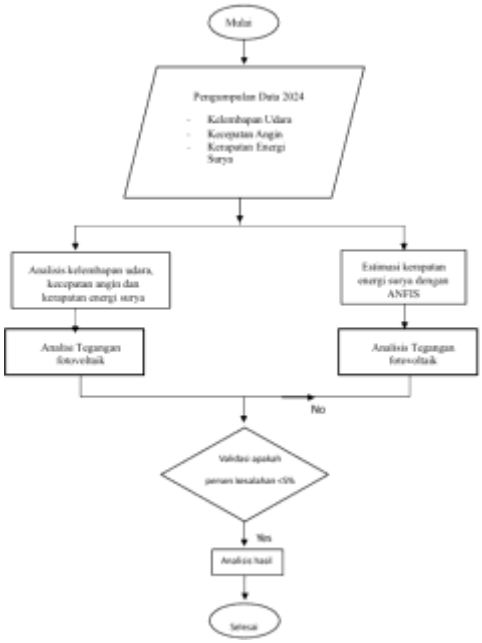
oleh permukaan bumi. Fluktuasi ini sangat dipengaruhi oleh dinamika kondisi atmosfer dan variasi parameter cuaca lokal, seperti tingkat kelembapan udara, kecepatan angin, suhu lingkungan, hingga tutupan awan (Ahmad & Zhang, 2020). Parameter-parameter cuaca tersebut saling berinteraksi secara kompleks dan membentuk hubungan non-linear terhadap kerapatan energi surya (Kocer & Kocer, 2018). Sifat intermiten dan ketidakpastian ini berpotensi menurunkan efisiensi konversi daya serta menyulitkan perencanaan integrasi sistem fotovoltaik (photovoltaic) ke dalam jaringan listrik (Mellit & Kalogirou, 2008).

Untuk mengatasi kompleksitas dan hubungan non-linear antarvariabel tersebut, pendekatan konvensional berbasis statistik sering kali memiliki keterbatasan dalam menangkap pola dinamis data (Yadav & Chandel, 2014). Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan komputasi cerdas yang adaptif. Salah satu metode hibrida yang terbukti efektif adalah Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) (Jang, 1993). ANFIS menggabungkan keunggulan logika fuzzy dalam menangani ketidakpastian dan kekaburan informasi dengan kemampuan jaringan saraf tiruan (artificial neural network) dalam mempelajari pola data secara otomatis (Olatomiwa et al., 2015). Kombinasi ini memberikan fleksibilitas tinggi dalam memodelkan hubungan antarvariabel cuaca yang rumit (Srivastava & Giri, 2021). Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini dikembangkan untuk membangun model estimasi kerapatan energi surya menggunakan metode ANFIS dengan memanfaatkan parameter cuaca berupa kelembapan udara dan kecepatan angin. Model yang dihasilkan diharapkan mampu meningkatkan akurasi estimasi kerapatan energi surya, sehingga dapat menjadi acuan yang andal dalam mendukung perencanaan, pemetaan potensi, serta optimasi kinerja sistem fotovoltaik, khususnya pada wilayah-wilayah yang memiliki karakteristik cuaca dinamis dan fluktuatif.

2. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini berisi tentang pengumpulan data kelembapan udara, kecepatan angin dan energi surya yang ada di wilayah Kota Medan melalui website (https://www.visualcrossing.com/weather-query-builder/). Kemudian data yang telah diambil digunakan untuk mengestimasi kerapatan energi surya, yang hasilnya akan divalidasi dengan analisis statistik. Kemudian hasil estimasi kerapatan energi surya digunakan untuk menghitung tegangan yang dihasilkan Fotovoltaik dengan menggunakan rumus matematika, sesuai dengan flowchart yang ditampilkan pada gambar 1.

Gambar 1. Flowchart Penelitian



2.1 PENGUMPULAN DATA KELEMBAPAN UDARA, KECEPATAN ANGIN DAN ENERGI SURYA DI KOTA MEDAN

Pengumpulan data atmosfer dan energi surya saat ini dapat dilakukan secara efisien melalui berbagai platform daring (web-based data acquisition). Pada penelitian ini data yang perlu dikumpulkan adalah kelembapan udara, kecepatan angin, dan energi surya di Kota Medan dalam tahun 2024. Semua data dikumpulkan berdasarkan hitungan hari dalam setahun (1 – 365 hari).

2.2 ANALISIS DATA HARIAN KELEMBAPAN UDARA, KECEPATAN ANGIN, DAN ENERGI SURYA

Dalam penelitian modern, salah satu metode yang sangat efektif untuk memodelkan hubungan non-linier antarparameter tersebut adalah ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). ANFIS sendiri merupakan sistem hibrid yang menggabungkan jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Network/ANN) sebagai kemampuan pembelajaran adaptif, dan Logika Fuzzy (Fuzzy Interface System/FIS) yang memiliki peran untuk menangani ketidakpastian, toleransi data kabur, dan penalaran linguistik. Dalam konteks penelitian ini, digunakan data harian Kelembapan udara (Humidity, %), Kecepatan Angin (Wind Speed, Km/j), dan Energi Surya (Solar Irradiance, kWh/$m2$, atau W/$m2$.

2.3 ESTIMASI DAN VALIDASI HASIL KERAPATAN ENERGI SURYA MENGUNAKAN ANFIS

Estimasi kerapatan energi surya menggunakan ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) merupakan pendekatan cerdas yang menggabungkan kemampuan pembelajaran jaringan saraf dan fleksibilitas logika fuzzy. ANFIS sangat cocok digunakan untuk memprediksi energi surya karena hubungan antara parameter atmosfer (kelembapan dan kecepatan angin) dengan radiasi matahari bersifat non-linear, dinamis, dan dipengaruhi kondisi lokal. Adapun tujuan dari proses estimasi sendiri untuk menghasilkan model prediksi kerapatan energi surya berdasarkan kelembapan udara dan kecepatan angin, Menilai keakuratan model melalui proses validasi menggunakan data harian di Kota Medan dalam tahun 2024, Menganalisis kemampuan ANFIS untuk mempelajari pola atmosfer harian di Kota Medan.

2.4 DATA MODUL FOTOVOLTAIK

Pada penelitian ini Fotovoltaik yang digunakan adalah fotovoltaik Silikon Multikristalin 250 W, 29,8 V (YLP250P-29b). Tabel 1 menunjukkan data Fotovoltaik dalam Kondisi Uji Standart (STC).

Tabel 1 Data PV Silikon Multikristalin 250W, 29,8V (YLPP250P-29b)

Parameter	Nilai
Maximum power point (P_{MPP})	250 W
Current in the maximum power point and STC conditions (I_{MPP})	8.39 A
Short circuit current under test condition (I_{SC})	8.92 A
Nominal temperature according to STC (T_N)	25°C
Temperature coefficient of the short circuit cureent (TC_I)	0.05% /°C

Temperature coefficient of the open circuit voltage (TC_V)	-0.32%/°C
Open voltage at 25°C and low solar irradiance (V_{min})	27.2°C
Open voltage at 25°C and high solar irradiance (V_{max})	29.8°C
Open voltage of an unload module (V_{oc})	37.6°C
Low solar irradiance (α_{min})	200 W/m^2
High solar irradiance (α_{max})	1000 W/m^2

2.5 MODEL MATEMATIKA MODUL FOTOVOLTAIK

Kemudian, pemodelan matematika digunakan untuk mengamati berbagai parameter kelistrikan modul fotovoltaik, termasuk arus hubung singkat, tegangan hubung terbuka, dan daya maksimum. Adapun pemodelan matematika tersebut ditampilkan pada gambar 2.

$$V_{OC}\,(\alpha, T) = \left[1 + \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max}} \cdot \frac{\alpha - \alpha_{max}}{\alpha_{max} - \alpha_{min}}\right] \cdot [V_{max} + \tau_v(T)]$$

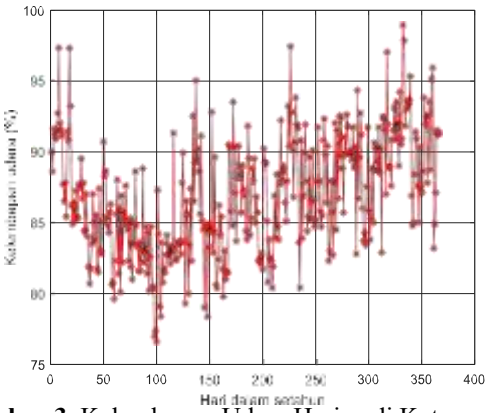
$$\tau_i\,(T) = 1 + \frac{TC_i}{100\%} \cdot (T - T_N)$$

$$\tau_v\,(T) = TC_v \cdot (T - T_N)$$

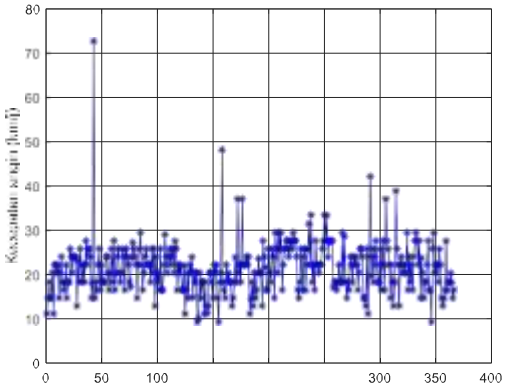
Gambar 2. Model Matematika Modul Fotovoltaik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data kelembapan udara dan kecepatan angin, serta data kerapatan energi surya yang sudah diperoleh akan ditampilkan dan dianalisa, beserta hasil estimasi kerapatan energi surya dan tegangan fotovoltaik yang akan didapatkan pada hasil dan pembahasan penelitian ini .Pada gambar 3 menunjukkan data kelembapan udara harian di Kota Medan pada tahun 2024 yang dinyatakan dalam satuan (%). Titik – titik merah menggambarkan pengukuran harian, sementara garis putus – putus pada grafik membantu membaca rentang nilai. Dari gambar tersebut didapatkan nilai kelembapan udara minimum, maximum dan rata – rata. Dimana nilai minimum dari kelembapan udara adalah 76,6%, kemudian nilai maximum dari kelembapan udara adalah 98,9%, dan rata – rata nilai kelembapan udara dalam setahun adalah 86, 9%, dimana nilai ini sesuai dengan iklim tropis lembab. pada awal tahun (hari 1 – 80) kelembapan udara di Kota Medan realtif tinggi, dapat dilihat dari titik merah yang berada pada 92 – 96%, Pada pertengahan tahun (hari 80 – 220) kelembapan udara cenderung menurun, banyak titik merah yang berada pada 76 – 85%, kelembapan udara kembali meningkat secara signifikan hingga mencapai nilai 98,9%. Periode ini sejalan dengan musim penghujan yang kembali meningkat di akhir tahun.



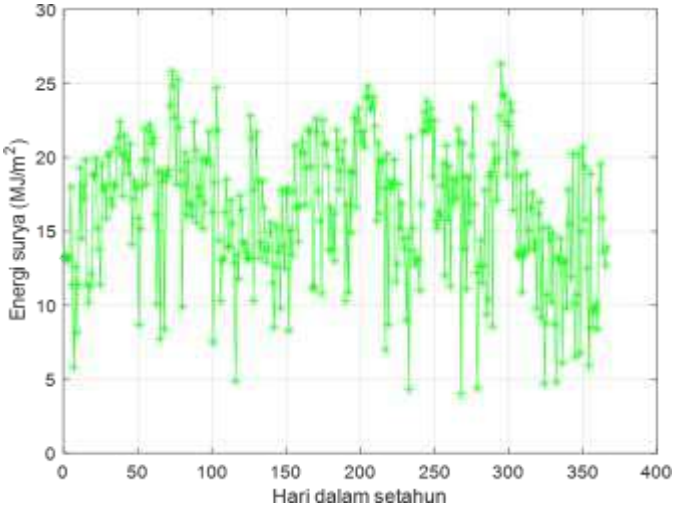
Gambar 3. Kelembapan Udara Harian di Kota Medan Tahun 2024



Gambar 4. Kecepatan Angin Harian di Kota Medan Tahun 2024

Kecepatan angin harian di Kota Medan pada tahun 2024 yang dinyatakan dalam satuan (Km/jam) ditampilkan pada Gambar 4 Dari hasil analisis data, diperoleh nilai minimum, maksimum, dan rata – rata kecepatan angin pada tahun 2024. Dimana, nilai minimum yang diperoleh adalah 9,4 Km/j, nilai maksimum yang diperoleh adalah 72,7 Km/j dan nilai rata – rata kecepatan angin di Kota Medan pada tahun 2024 addalah 21,42 Km/j. Titik biru menandai pengukuran harian, dan garis vertikal menggambarkan variasi atau rentang ketidakpastian harian. Pada awal tahun (hari 1 – 80) kecepatan angin berkisar antara 17 – 28 Km/j. Pada pertengahan tahun (hari 80 – 220) kecepatan angin terlihat lebih stabil dan cenderung sedikit menurun, dapat dilihat juga terdapat spike sekitar 48 – 50 Km/j di sekitar hari ke -150, kecepatan angin kembali meningkat secara bertahap pada akhir tahun (hari 220 – 365).

Hasil analisis data kerapatan energi surya di Kota Medan yang dinyatakan dalam satuan (MJ/m^2), ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan analisa dari gambar, dapat dilihat nilai kerapatan energi surya minimum, maksimum, dan rata – rata kerapatan energi surya di Kota Medan tahun 2024. Titik – titik berwarna hijau menampilkan nilai harian, dan garis vertikal menggambarkan rentang variasi atau ketidakpastian. Secara umum, grafik ini memperlihatkan fluktuasi energi surya yang kuat sepanjang tahun, yang berkaitan erat dengan kondisi cuaca tropis

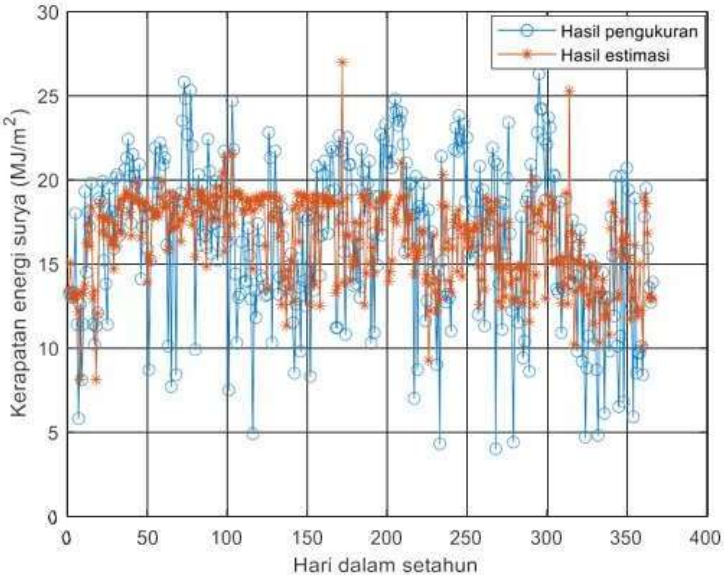


di Kota Medan.

Gambar 5. Kerapatan Energi Surya di Kota Medan Tahun 2024

Adapun nilai minimum kerapatan energi surya di Kota Medan adalah 4 – 6 MJ/m^2, nilai maksimum yang didapat berjumlah 25 – 27 MJ/m^2, dan nilai rata – rata kerapatan energi surya di Kota Medan yang didapat adalah 14 – 20 MJ/m^2. Berdasarkan hasil analisa kerapatan energi surya di Kota Medan dapat diketahui bahwa variabilitas yang ada cukup tinggi, hal ini diakibatkan oleh pola cuaca trpois lembab di Kota Medan.

Gambar 6. Kerapatan energi surya berdasarkan hasil pengukuran dan estimasi di Kota Medan tahun 2024.



Gambar 6 menunjukkan kerapatan energi surya dari hasil pengukuran dan estimasi menggunakan ANFIS. Secara umum, nilai kerapatan energi surya berada pada kisaran ±5 hingga 27 MJ/m², selain itu Terlihat pola fluktuatif yang tinggi, mencerminkan kondisi iklim Medan yang dipengaruhi tutupan awan, curha hujan, dan kelembapan udara yang tinggi. Selain itu pada gambar 6 juga dapat terlihat bahwa estimasi mengikuti pola umum pengukuran, artinya model estimasi cukup baik dalam menangkap dinamika radiasi surya, dengan kata lain model estimasi cukup representatif terhadap data pengukuran, namun masih memiliki keterbatasan dalam menangkap nilai ekstrem. Dari hasil pengukuran dan estimasi juga dapat disimpulkan bahwa Kota Medan memiliki potensi energi surya yang stabil sepanjang tahun 2024, meskipun dipengaruhi kondisi atmosfer tropis. Berdasarkan analisis statistika nilai coefficient of residual mass (CRM), Root Mean Square (RMS), Efesiensi Nash – Sutcliffe (NSE), dan penentuan eror (e) juga ditunjuukan pada table 2.

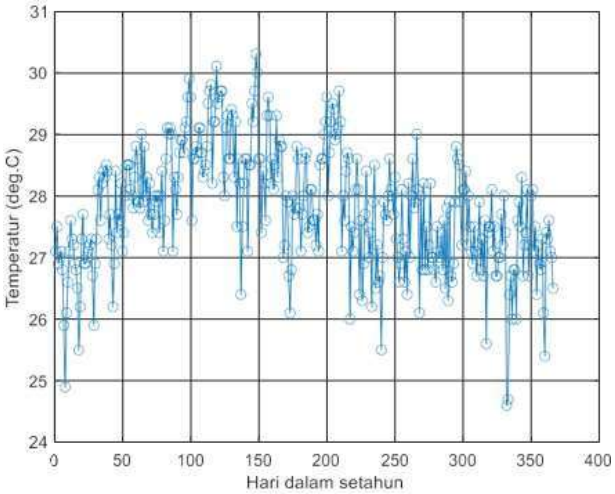
Tabel 2. Analisis Statistika

Parameter	Nilai
CRM	0,0022%
RMS	0,236%
NSE	0,276%
e	-0,22%

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai CRM, RMS, NSE dan e sangat kecil (>5%). Sehingga hasil estimasi kerapatan energi surya dinyatakan valid.

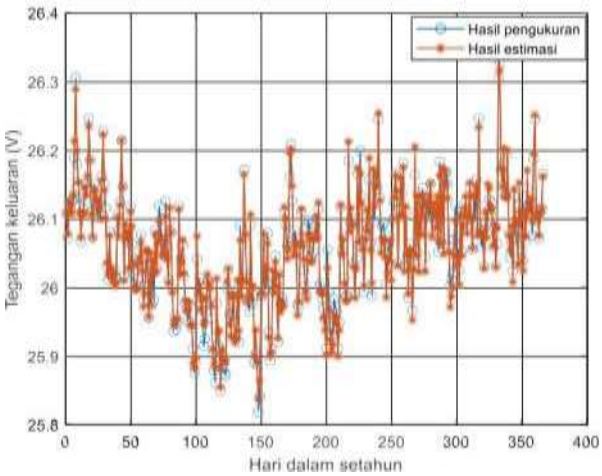
3.3 ESTIMASI KELUARAN TEGANGAN FOTOVOLTAIK

Pada gambar 7 menunjukkkan temperature harian di Kota Medan tahun 2024. Dari grafik, temperatur harian berada pada rentang 25°C hingga 31°C, dengan sebagian besar data terkumpul di sekitar 27 - 29°C. Dari visualisai pada grafik, dapat dilihat juga pada awal tahun temperatur di Kota Medan cenderung lebih rendah, dimana hal ini sesuai dengan musim penghujan yang terjadi di awal tahun. Pada pertengahan tahun, dapat dilihat peningkatan temperatur yang cukup jelas, terdapat banyak titik berada pada 28 - 30°C. Hal ini berkaitan dengan musim panas/kemarau yang terjadi di Kota Medan, dimana pada periode ini durasi penyinaran matahari lebih tinggi. Fluktuasi yang terjadi juga lebih besar, dapat dilihat dari banyaknya titik yang naik hingga mendekati 30 - 31°C. Pada akhir tahun, temperatur secara umum mulai menurun kembali ke rentang 27 - 28°C. Fluktuasi juga ada terjadi, namun tetap lebih stabil daripada pertengahan tahun. Dimana hal ini berkaitan dengan periode kembali memasuki musim penghujan.



Gambar 7. Temperatur Harian di Kota Medan Tahun 2024

Tegangan keluaran fotovoltaik dari hasil pengukuran dan estimasi menggunakan ANFIS ditunjukkan pada gambar 8. Dari grafik yang ditampilkan terdapat variasi tegangan yang dihasilkan dalam satu tahun, tegangan tersebut berada pada rentang 25,9V hingga 26,3V serta mengalami fluktuasi harian dan variasi musiman. Pada awal tahun, tegangan yang dihasilkan relatif tinggi berkisar antara (26,1V – 26,3V), Pada pertengahan tahun, tegangan yang



dihasilkan cenderung menurun ke rentang 25,9 – 26,0V, menandakan kemungkinan peningkatan suhu modul atau berkurangnya iradiasi. Pada akhir tahun, tegangan yang dihasilkan perlahan kembali meningkat ke sekitar 26,1 – 26,3V. Pola ini konsisten dengan karakteristik panel fotovoltaik, dimana tegangan menurun saat suhu meningkat, dan naik pada kondisi suhu lingkungan yang lebih rendah.

Gambar 8. Tegangan keluaran fotovoltaik dari hasil pengukuran dan estimasi menggunakan ANFIS

Model ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Interface System) menghasilkan estimasi tegangan keluaran yang ditunjukkan oleh markah merah pada grafik. Pada grafik tersebut dapat dilihat tingkat kesesuaian visual yaitu, titik estimasi (merah) sangat dekat dengan titik pengukuran (biru), kedua kurva saling tumpang tindih dalam sebagian besar titik sepanjang tahun, deviasi hanya muncul pada beberapa titik ekstrem (lonjakan atau drop mendadak). Hal ini menunjukkan bahwa ANFIS berhasil mempelajari pola dinamika sistem PV dengan sangat baik. Dari hasil estimasi dan pengukuran juga dapat dilihat ANFIS mampu mengikuti sebagian besar fluktuasi tersebut, baik pengukuran maupun estimasi menunjukkan fluktuasi harian yang tajam, serta perbedaan kecil biasanya terjadi saat adanya outlier pada pengukuran, yang cenderung sulit dipredksi oleh model berbasis data.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, analisis grafik, dan evaluasi performa model ANFIS terhadap tegangan keluaran sistem fotovoltaik, maka diperoleh beberapa kesimpulan teknis yaitu, model ANFIS mampu melakukan estimasi tegangan keluaran fotovoltaik dengan tingkat akurasi yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan oleh kecocokan visual yang tinggi antara data hasil pengukuran (biru) dan hasil estimasi (merah), di mana kedua kurva saling tumpang tindih hampir di seluruh rentang waktu pengamatan., ANFIS dapat menangkap pola fluktuasi harian maupun musiman pada tegangan keluaran PV. Perubahan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti iradiasi matahari dan suhu modul berhasil direplikasi oleh model dengan cukup baik, secara keseluruhan, model ANFIS terbukti efektif dan reliabel sebagai alat estimasi dalam memprediksi tegangan keluaran panel fotovoltaik. Dengan demikian, ANFIS dapat diimplementasikan sebagai komponen sistem monitoring cerdas atau sistem prediksi energi pada pembangkit listrik tenaga surya.

6. DAFTAR PUSTAKA

Fahriannur, A.; Ambas, H.; Rahmanto, D. E. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Radiasi Matahari, Kecepatan Angin dan Arah Angin sebagai Studi Potensi Energi Terbarukan. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, 3(1), 10–16.

Al Ghifari, R. M. (tahun tidak disebut). Analisis Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Parameter Cuaca dan Potensi Energi Surya. WAFI: Wahana Fisika dan Informasi.

Sagala, M. B., & Ramadhan, A. (2020). Model ANFIS untuk estimasi iradiasi matahari berbasis kelembapan udara dan kecepatan angin sebagai input energi fotovoltaik. Jurnal Energi Terbarukan, 5(1), 25–34.

Rahimi, M., & Kasmaei, H. (2017). Solar irradiance estimation model using neuro-fuzzy inference system under uncertain atmospheric conditions. Energy Procedia, 141, 231–238.

Gani, A., & Shaaban, M. (2019). Neuro-fuzzy modeling of solar radiation influenced by wind speed and humidity for PV system performance assessment. Journal of Cleaner Production, 212, 1302–1315.

Abed, M. F., Abdullah, M. K., & Rahman, H. A. (2019). Solar irradiation prediction using ANFIS based on humidity and wind speed parameters. International Journal of Renewable Energy Research, 9(2), 456–464.

Wijoyo, A. (2018). Studi Perbandingan Peramalan Intensitas Radiasi Matahari di Lingkungan Kota Menggunakan ANFIS dan Regresi Linier Berganda. Universitas Brawijaya.

Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685. https://doi.org/10.1109/21.256541

Kocer, A. M., & Kocer, C. (2018). Modeling solar energy density using soft computing approaches under dynamic weather conditions. *Applied Energy*, 210, 432–441. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.025

Mellit, A., & Kalogirou, S. A. (2008). Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5), 574–632. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.01.001

Olatomiwa, L., Mekhilef, S., Shamshirband, S., & Petković, D. (2015). Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model for estimating global solar radiation using meteorological data. *Energy Conversion and Management*, 102, 190–199. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.042

Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265–2300. https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001

Pande, A. D., & Sahu, B. K. (2019). Solar radiation estimation techniques: A review. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1100–1115. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.287

Raza, A., & Khahro, S. F. (2022). Solar energy forecasting models: Current trends and future directions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102110. https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102110

Srivastava, R., & Giri, S. (2021). Solar irradiance estimation using hybrid neuro-fuzzy intelligence techniques. *Solar Energy*, 214, 112–124. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.11.054

Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources* (3rd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315766416

Yadav, A. K., & Chandel, S. S. (2014). Solar radiation prediction using Artificial Neural Network models: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 772–781. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.016