



MPPT Berbasis ANN Untuk Sistem Fotovoltaik : Analisis Kinerja Pada Suhu dan Irradiansi

Muhammad Silahurrobbani^a, Yanu Shalahuddin^b, Dian Efytra Yuliana^c

^{a,b,c}Teknik Elektro, Universitas Islam Kediri, Indonesia

^a banisilahurr@gmail.com

^b yanu@uniska-kediri.ac.id

^c dianefytra@uniska-kediri.ac.id ,

Kata Kunci :

Photovoltaic
MPPT
Artificial Neural Network
Boost Converter
Irradiasi
Suhu

ABSTRAK

Pemanfaatan energi surya melalui sistem fotovoltaik (PV) terkendala oleh fluktuasi iradiasi dan suhu yang memengaruhi titik daya maksimum (MPP). Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja MPPT berbasis Artificial Neural Network (ANN) dengan simulasi MATLAB/Simulink, menggunakan model single-diode PV array, dua input (iradiasi dan suhu), satu output (tegangan optimal), serta algoritma pelatihan Levenberg–Marquardt yang terintegrasi dengan boost converter 200 W. Hasil menunjukkan peningkatan iradiasi dari 400 W/m² ke 1000 W/m² pada suhu 25°C mampu menaikkan daya hingga **218%** (62,1 W menjadi 198,1 W), sedangkan kenaikan suhu dari 25°C ke 35°C pada iradiasi 1000 W/m² menurunkan daya sekitar **10,6%** (198,1 W menjadi 177 W). ANN terbukti mampu melacak MPP dengan cepat, menjaga kestabilan tegangan, serta meningkatkan efisiensi sistem PV, sehingga berpotensi diterapkan pada sistem energi surya di wilayah tropis.

he utilization of solar energy through photovoltaic (PV) systems is limited by fluctuations in irradiance and temperature that affect the maximum power point (MPP). This study aims to analyze the performance of Artificial Neural Network (ANN)-based MPPT using MATLAB/Simulink simulation with a single-diode PV array model, two inputs (irradiance and temperature), one output (optimal voltage), and Levenberg–Marquardt training algorithm integrated with a 200 W boost converter. The results show that increasing irradiance from 400 W/m² to 1000 W/m² at 25°C raised the power output by **218%** (62.1 W to 198.1 W), while increasing the temperature from 25°C to 35°C at 1000 W/m² reduced the power by about **10.6%** (198.1 W to 177 W). ANN demonstrated fast MPP tracking capability, maintained voltage stability, and improved PV system efficiency, making it a promising approach for solar energy applications in tropical regions.

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap energi fosil untuk pembangkit Listrik dapat dikurangi dengan memanfaatkan sistem Photovoltaic (PV). *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dikenal dapat menjaga efisiensi daya keluaran pada sistem PV, terutama di kondisi iradiansi dan temperatur yang berubah – ubah. Algoritma konvensional yaitu Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance (IncCond) memiliki kekurangan berupa minimnya respon perubahan lingkungan, terutama di kondisi partial shading. (Salile, Nisworo, and Sumardi 2024)

Pendekatan *Artificial Neural Network* (ANN) memperlihatkan pencarian pada daya puncak yang mudah beradaptasi pada lingkungan (Sholikhah et al. 2025). Jaringan saraf tiruan (ANN) jenis feed-forward bisa dengan cepat menemukan titik daya listrik tertinggi secara stabil, hanya dalam waktu kurang dari 80 milidetik, meskipun kondisi cahaya matahari berubah-ubah (1000, 800, 600 W/m²). (Putra 2025). ANN mampu mencapai efisiensi pelacakan hingga ~98% dengan respon kurang dari 0,5 detik (HABIBI et al. 2020). Sedangkan kombinasi ANN dan PSO secara signifikan meningkatkan efisiensi pelacakan MPPT dibandingkan ANN biasa, sekali igus memudahkan penerapan pada sistem nyata. Algoritma Levenberg–Marquardt dalam pelatihan ANN MPPT mampu menjaga stabilitas dan konvergensi sangat tinggi. (Hamzah, Aprillia, and Giyantara 2025).

Pendekatan ANN berbasis Levenberg–Marquardt juga mendapat validasi kuat dalam penelitian terbaru. Hussain et al. membandingkan enam algoritma ANN—termasuk LM, Bayesian Regularization, dan lainnya—dan menemukan bahwa LM memberikan regresi hampir sempurna (nilai 1) serta gradien sangat kecil dalam simulasi MATLAB/Simulink menggunakan 1000 dataset iradiasi dan temperatur (Hussain et al. 2023). Roy et al. juga melaporkan bahwa LM mempertahankan korelasi input-output yang kuat dan error yang sangat rendah, sehingga daya maksimum tetap tercapai meskipun kondisi lingkungan berubah-ubah (Roy et al. 2021). Sementara itu, Sahraoui et al. menerapkan ANN feed-forward berbasis LM sebagai MPPT adaptif pada sistem grid-connected, menunjukkan peningkatan efisiensi real-time dan kualitas daya yang dapat diimplementasikan pada skala embedded (Sahraoui et al. 2021).

Meskipun memberikan efisiensi tinggi, sebagian besar ANN-MPPT masih sulit diimplementasikan pada sistem embedded karena arsitektur yang kompleks—dengan banyak layer dan neuron yang membutuhkan komputasi intensif. Metode berbasis ANN atau hibrida memang memiliki efisiensi tinggi, namun memerlukan resource besar untuk pengoperasian (Ananda et al. 2024).

Kenaikan temperatur permukaan panel surya secara signifikan menurunkan efisiensi output PV di daerah tropis. Temuan ini menekankan pentingnya validasi performa MPPT dalam kondisi iklim nyata di Indonesia (Sarna et al. 2021).

Menjawab tantangan tersebut, penelitian ini merancang ANN ringan dengan dua hidden layer (masing-masing 10 neuron), dioptimasi dengan algoritma Levenberg–Marquardt. Model dilatih menggunakan data yang telah diambil rata – rata di wilayah Indonesia, lalu diintegrasikan dengan boost converter 200 W melalui simulasi pada MATLAB-Simulink. Fokus evaluasi berada pada efisiensi pelacakan MPP, respons terhadap perubahan lingkungan, dan stabilitas tegangan output.

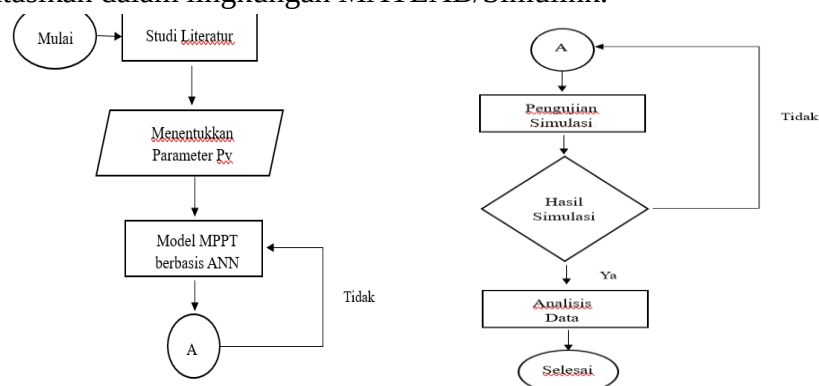
2. METODE

2.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara simulasi untuk menganalisis kinerja *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) pada sistem fotovoltaik (PV). Pemodelan sistem dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink dengan data iradiasi dan suhu yang merepresentasikan kondisi iklim. Konfigurasi PV array disesuaikan dengan panel komersial berdaya 200 W.

2.2 Alur Penelitian

Diagram alur penelitian (**gambar 1**) ditunjukkan tahapan sistematis sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis Artificial Neural Network (ANN). Proses dimulai dengan studi literatur mendalam untuk memahami prinsip kerja panel surya, teknik MPPT, dan penerapan ANN dalam sistem non-linear. Pemodelan matematis PV array menggunakan model satu dioda (single diode model) yang merepresentasikan hubungan antara iradiasi, suhu, dan parameter kelistrikan seperti arus fotogenerasi (I_{ph}), arus dioda (I_D), serta arus shunt (I_{sh}), yang diimplementasikan dalam lingkungan MATLAB/Simulink.



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

Tahapan ini merancang ANN dengan dua input (iradiasi dan suhu) dan satu output (tegangan optimal), menggunakan dua hidden layer dengan fungsi aktivasi *tansig* dan *purelin*. Data pelatihan diambil dari nilai tegangan dan arus acak dalam rentang kerja panel surya, dilatih dengan algoritma Levenberg-Marquardt. Hasil pelatihan dievaluasi dengan regresi dan grafik galat. Setelah model ANN dinyatakan akurat, dilakukan simulasi untuk menguji kinerja MPPT dalam berbagai kondisi. Tujuannya adalah mengembangkan sistem MPPT cerdas yang presisi dan efisien untuk energi surya.

2.3 Pemodelan Matematis PV Array *Single Diode Mode* (SDM)

pemodelan matematis berbasis *single-diode model*, kemudian memperluasnya menjadi pemodelan sistem PV array dengan konfigurasi seri-paralel (Purwoto et al. 2018). Model ini berawal dari persamaan dasar untuk satu sel fotovoltaik (single-diode model), yang terdiri dari sumber arus fotovoltaik (I_{ph}), arus dioda, resistansi seri (R_s), dan resistansi shunt (R_p) (Y. Shalahuddin, F. Yumono, 2018). Current Voltage (I–V) dari sel PV dinyatakan dalam persamaan nonlinear:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

Model matematis dari *Single D* (SDM) dijelaskan melalui persamaan (2) hingga (6). Photocurrent (I_{ph}) dimodelkan dalam persamaan (2), sedangkan arus diode (I_D) dinyatakan pada persamaan (3). Untuk arus saturasi diode (I_o), digunakan persamaan (4). Persamaan (5) merepresentasikan arus saturasi balik (reverse saturation current), sementara arus bocor yang mengalir melalui hambatan shunt dijelaskan dalam persamaan (6).

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_t(T - 298)] \cdot \frac{G}{1000} \quad (2)$$

$$I_D = I_o \left(\left[e^{\frac{(q(V+I.R_s))}{n.K.T}} \right] - 1 \right) \quad (3)$$

$$I_o = I_{rs} \cdot \left[\frac{T}{T_n} \right]^2 \cdot e^{\left[\frac{q.E_{go}(1/T_n - 1/T)}{n.k} \right]} \quad (4)$$

$$I_{rs} = I_{sc} / \left[e^{\left(\frac{q.V_{oc}}{n.k.T} \right)} - 1 \right] \quad (5)$$

$$I_{sh} = \left[\frac{V+I.R_s}{R_{sh}} \right] \quad (6)$$

Persamaan (6) menunjukkan besar arus bocor pada sel PV, yang nilainya berbanding terbalik dengan hambatan shunt (R_{sh}).

2.4 PV Array

PV array adalah kombinasi dari sel PV tunggal yang dirangkai dalam konfigurasi seri sebanyak N_s dan paralel sebanyak N_p (Mahmudatul Ula and Arief Rahmadani 2023). Dioda disusun paralel sebanyak N_p dengan setiap jalur dihubungkan seri sebanyak N_s . Photocurrent yang dihasilkan menjadi $N_p \times I_{ph}$, sementara hambatan seri dan hambatan shunt disesuaikan dengan rasio N_s/N_p . (Y. Shalahuddin, F. Yumono, 2018)

Photocurrent yang dihasilkan berubah menjadi $N_p \times I_{ph}$, sedangkan hambatan seri dan hambatan shunt menyesuaikan rasio N_s/N_p . Persamaan untuk arus output (I) adalah sebagai berikut :

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_D - I_{sh} \quad (7)$$

$$I_D = I_o \left(\left[e^{\frac{(q(V+I.R_s))}{n.K.N_s.T}} \right] - 1 \right) \quad (8)$$

$$I_{rs} = I_{sc} / \left[e^{\left(\frac{q.V_{oc}}{n.K.N_s.T} \right)} - 1 \right] \quad (9)$$

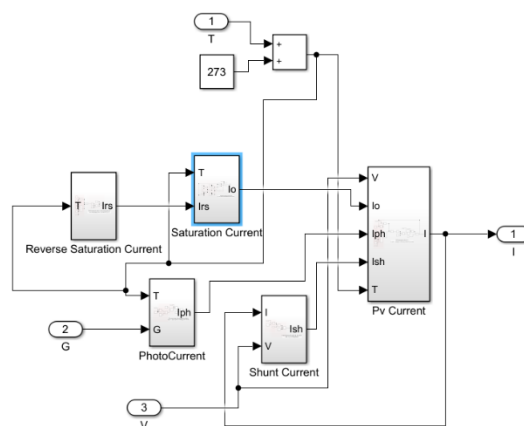
(Tabel 1). menyajikan definisi variabel dan konstanta yang digunakan dalam formulasi matematis, lengkap dengan satuan fisiknya masing-masing.

Tabel 1. Variabel dan Konstanta

Nama	Keterangan	Satuan	Nama	Keterangan	Satuan
I	Arus output PV	Ampere	K_i	Koefisien suhu $I_{sc} = 0,0017$	$A/^{\circ}C$
V	Tegangan output PV	Volt	n	Ideality factor diode	1.2
T_n	Suhu referensi = 298 K (=25°C)	Kelvin	E_{go}	Energi celah silikon = 1,1 eV	eV
T	Suhu kerja PV	Kelvin	I_{ph}	Arus terbangkit pada PV	Ampere
K	Konstanta Boltzman = $1,3805 \times 10^{-23}$	J/K	I_D	Arus diode	Ampere
q	Muatan Elektron = $1,6 \times 10^{-19}C$	Coulomb	I_O	Arus saturasi	Ampere
V_{oc}	Tegangan rangkaian terbuka	Volt	I_{rs}	Arus reverse saturasi	Ampere
R_s	Hambatan seri	Ohm	I_{sh}	Arus shunt	Ampere
R_p	Hambatan parallel	Ohm	I_{sc}	Arus hubung singkat	Ampere
G	Irradiansi	W/m^2	V_{oc}	Tegangan rangkaian terbuka	Volt

2.5 Blok Simulink Model PV

berdasarkan persamaan matematik PV Array dari persamaan (1) sampai (9). Dari persamaan tersebut akan dibuat blok model simulasi yang akan ditunjukkan mulai pada (**gambar 2**) dengan input tegangan (V), suhu (T), dan irradiansi matahari (G) dengan output arus (I).

**Gambar 2. Blok Model Simulasi PV Array**

Ketika membuat desain PV pada penelitian ini, penyusunan PV dan juga pemilihan data sheet pada simulasi diusahakan sesuai dengan yang ada dipasaran. Untuk PV yang dipakai di penelitian ini memiliki data sheet seperti (**tabel 2**).

Tabel 2. Parameter PV Array

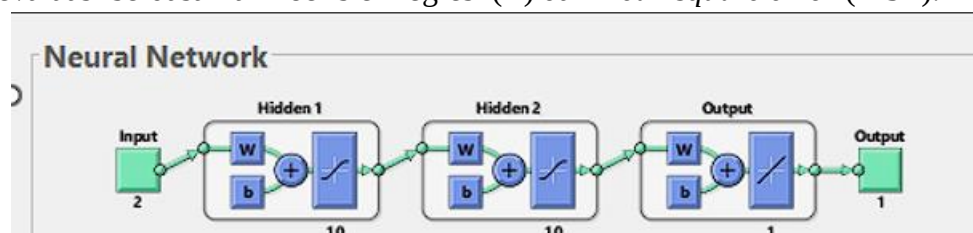
PARAMETER	NILAI
Rated Power (W_{mp})	200W
Tegangan ketika daya maksimum (V_{mp})	26.4V
Arus ketika daya maksimum (I_{mp})	7.52A
Tegangan Open Circuit (V_{oc})	32.9V
Arus short circuit (I_{sc})	8.21A
sambungan seri sel PV (N_s)	54
sambungan parallel sel PV (N_p)	1
Ideality Faktor	1.2

2.4 Desain Arsitektur ANN

Tabel 3 Sampel Data

Irradiansi	Suhu	Tegangan
419.1485	32.86769	16.2383
419.1485	32.86769	16.2383
660.1389	26.03097	26.29666
478.279	27.51206	18.93893

ANN dirancang dengan dua input (irradiansi dan suhu) dan satu output (tegangan optimal). Struktur ANN terdiri dari dua *hidden layer* masing-masing 10 neuron yang terlihat pada **(gambar 3)** dengan fungsi aktivasi *tansig* pada *hidden layer* dan *purelin* pada *output layer*. Data pelatihan sebanyak 5001 titik pada **(tabel 3)** dibagi menjadi 70% data latih, 15% validasi, dan 15% pengujian. Pelatihan dilakukan menggunakan algoritma *Levenberg–Marquardt* dengan evaluasi berdasarkan koefisien regresi (R) dan *mean square error* (MSE).

**Gambar 3. Perancangan Arsitektur ANN**

2.5 Desain Boost Konverter

Nilai parameter *boost converter* yang perlu diperhatikan nilai meliputi; *duty cycle*, induktor, kapasitor, serta nilai dari resistansi bebannya (Fauzi, Facta, and Sudjadi 2019). Terlihat nilai – nilai parameternya pada **(tabel 4)**.

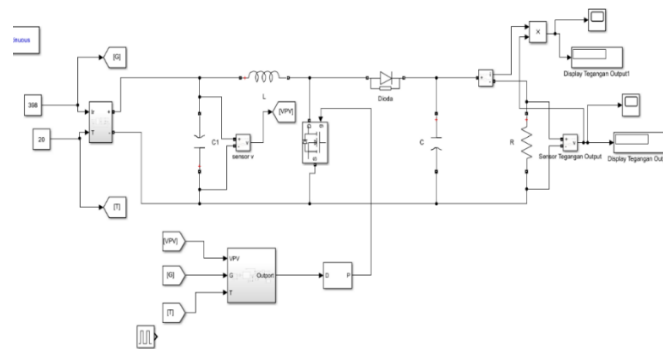
Tabel 4 Parameter Boost Konverter

Parameter	Nilai
Duty Cycle	0.837837
Resistor	27.38 Ω
Induktor	0.0074 H $\rightarrow$ 7.44mH
Kapasitor	30.5 * 10 ⁻⁶ $\rightarrow$ 30.5 μ F
Tegangan masuk (V_{in})	12 V
Tegangan Keluar (V_{out})	74 V

Boost converter digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran PV sesuai hasil prediksi ANN. Perancangan parameter meliputi nilai induktor, kapasitor, resistansi beban, dan duty cycle. Kendali PWM pada MOSFET dihasilkan dari keluaran ANN yang menentukan titik operasi optimal PV. (Hani and Nugroho 2021)

2.6 Blok Simulink Keseluruhan

Gambar (4) merupakan representasi simulasi sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang dikendalikan oleh Artificial Neural Network (ANN), dan diintegrasikan dengan panel surya (PV) serta kontroler boost. Tujuan utama dari sistem ini untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh PV melalui pengaturan titik kerja (operating point) yang optimal. Komponen utama yang digunakan dalam simulasi ini terdiri atas blok PV array, sensor tegangan dan arus, rangkaian boost converter, serta blok kendali ANN.



Gambar 4. MPPT – ANN

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

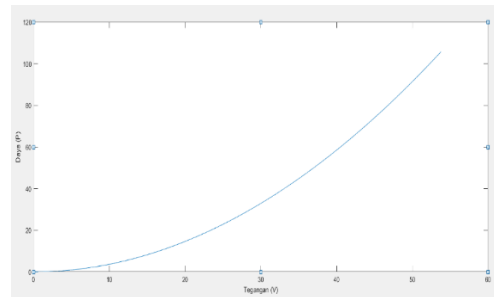
Hasil simulasi disajikan pada **tabel 4**. Parameter input PV berupa irradiansi dan suhu, sedangkan untuk parameter outputnya berupa daya maksimum dan tegangan optimal. Berikut hasil dari beberapa simulasi yang telah dilakukan :

Tabel 4 Hasil Simulasi

Iradiansi (W/m ²)	Suhu (°C)	Daya Maksimum (W)	Tegangan optimal (V)
400	25	62.1	41.2
500	25	83	47.7
600	25	105.1	53.6
700	25	128.4	59.4
800	25	152.3	64.6
1000	25	198.1	73.6
1000	30	189.3	72
800	30	149.9	64
600	30	104.8	53.6
400	30	62.6	41.2
600	35	104	53.36
800	35	146	63
1000	35	177	69

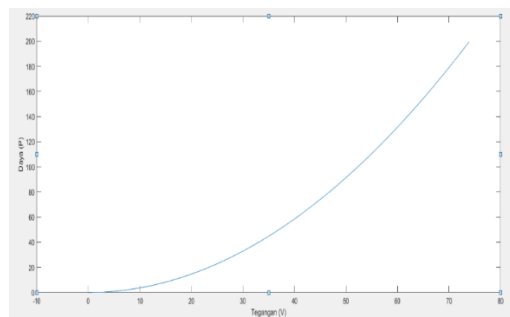
Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin besar cahaya matahari (iradiansi), semakin besar juga

daya listrik yang dihasilkan panel surya. Sebaliknya, jika suhu panel meningkat, daya yang dihasilkan justru menurun. Misalnya, pada suhu 25°C, daya meningkat dari 68,7 W ke 115,4 W saat iradiasi naik dari 600 ke 1000 W/m². Namun, saat suhu naik dari 25°C ke 35°C, daya menurun meskipun iradiasi tetap sama. Ini karena suhu tinggi mengurangi tegangan pada panel, sehingga menurunkan daya.



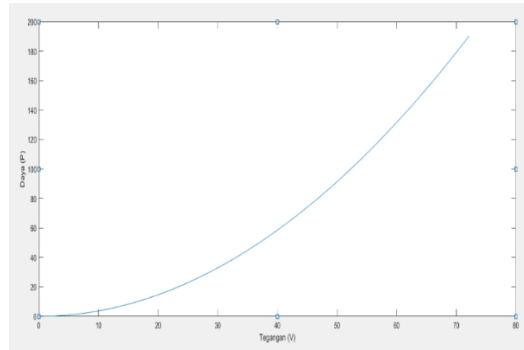
Gambar 5. Nilai Daya dan Tegangan PV pada Irrad 600 W/m² suhu 25 °

Pada kondisi iradiasi 600 W/m² dengan suhu tetap sebesar 25°C yang terlihat pada (**gambar 5**) , panel surya menghasilkan daya maksimum yang relatif rendah. Kurva karakteristik P–V yang diperoleh menunjukkan bahwa daya meningkat seiring tegangan, namun hanya sampai pada titik tertentu sebelum kemudian menurun. Puncak daya pada kondisi ini berada pada tegangan dan arus yang lebih kecil dibandingkan iradiasi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah foton yang diterima oleh permukaan panel belum cukup untuk mendorong pembangkitan arus secara optimal. Dengan kata lain, panel belum bekerja pada kapasitas idealnya, dan nilai daya maksimum yang dicapai masih terbatas.



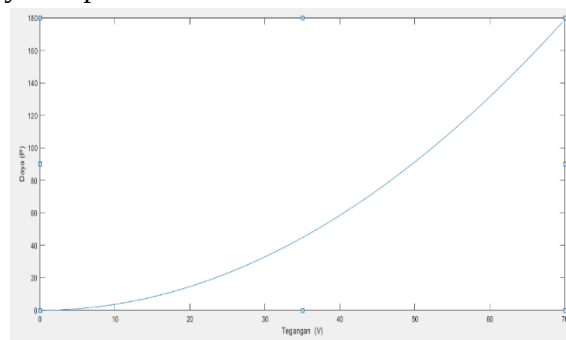
Gambar 6. Nilai Daya dan Tegangan PV pada Irrad 1000 W/m² suhu 25 °

Pada kondisi iradiasi tertinggi, yaitu **1000 W/m²**, performa panel mencapai titik paling optimal. Kurva P–V menunjukkan puncak daya tertinggi dengan tegangan operasi yang stabil. Peningkatan daya maksimum sangat signifikan dibandingkan kondisi sebelumnya, dan bentuk kurva menjadi lebih lebar serta mendekati bentuk ideal yang terlihat pada (**Gambar 6**). Peningkatan iradiasi ini menghasilkan lebih banyak foton yang dapat diserap oleh permukaan panel, sehingga meningkatkan arus dan daya yang dihasilkan secara keseluruhan. Dengan suhu dijaga tetap pada 25°C, efek pemanasan modul dapat diabaikan, sehingga peningkatan daya benar-benar dipengaruhi oleh perubahan nilai iradiasi saja.



Gambar 7. Nilai Daya dan Tegangan PV pada Irrad 1000 W/m² suhu 30°

Pada suhu **30°C**, kurva karakteristik P–V panel surya menunjukkan adanya sedikit penurunan pada daya maksimum dibandingkan dengan suhu 25°C untuk setiap nilai iradiasi yang sama. Meskipun bentuk kurva masih menunjukkan pola umum yang serupa, titik daya maksimum mengalami pergeseran ke arah tegangan yang lebih rendah yang terlihat pada **(Gambar 7)**. Sebagai contoh, pada iradiasi 1000 W/m², daya maksimum masih cukup tinggi, namun tidak sebesar saat suhu dijaga pada 25°C. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan suhu sel yang mempengaruhi tegangan keluaran panel. Secara fisik, kenaikan suhu akan memperbesar arus bocor pada diode dalam sel PV dan menurunkan tegangan open circuit (Voc), yang pada akhirnya mengurangi daya output.



Gambar 8. Nilai Data dan Tegangan PV pada Irrad 1000 W/m² suhu 35°

Ketika suhu dinaikkan lebih lanjut menjadi **35°C**, penurunan performa panel menjadi lebih jelas. Kurva P–V pada ketiga level iradiasi menunjukkan penurunan nilai puncak daya yang lebih signifikan, dan tegangan operasi pada titik maksimum semakin bergeser ke kiri (lebih rendah yang terlihat pada **(Gambar 8)**). Efek termal menjadi lebih dominan pada kondisi ini, terutama karena material semikonduktor dalam sel surya menjadi kurang efisien dalam mengonversi energi foton menjadi listrik. Pada iradiasi 1000 W/m² misalnya, meskipun intensitas cahaya masih tinggi, daya maksimum yang dihasilkan tetap menurun dibanding suhu 30°C maupun 25°C. Fenomena ini menunjukkan bahwa suhu modul merupakan faktor pembatas dalam pencapaian efisiensi maksimum sistem PV.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan algoritma MPPT berbasis Artificial Neural Network (ANN) mampu meningkatkan efisiensi daya maksimum pada sistem fotovoltaik, khususnya dalam kondisi lingkungan yang dinamis seperti variasi iradiasi dan suhu. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada berbagai kombinasi iradiasi (600, 800, dan 1000 W/m²) dan suhu

(25°C, 30°C, dan 35°C), ditemukan bahwa:

1. Peningkatan iradiasi secara konsisten meningkatkan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel PV. Hal ini menunjukkan hubungan linier antara jumlah foton yang diterima dan jumlah daya listrik yang dikonversi.
2. Peningkatan suhu, di sisi lain, berdampak negatif terhadap performa panel. Suhu yang lebih tinggi menurunkan tegangan output akibat peningkatan arus bocor dalam sel PV, sehingga menurunkan daya total yang dihasilkan.
3. Sistem MPPT berbasis ANN terbukti mampu menyesuaikan titik daya maksimum (MPP) dengan akurat dalam setiap skenario pengujian, menjaga kestabilan tegangan dan daya pada beban, serta menunjukkan respons cepat terhadap fluktuasi lingkungan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pendekatan ANN dalam implementasi MPPT memberikan solusi adaptif dan efisien untuk optimasi sistem fotovoltaik di lingkungan tropis seperti Indonesia, serta berpotensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut pada sistem PV nyata yang terhubung dengan grid maupun sistem off-grid mandiri.

Daftar Pustaka

- Ananda, Briska Putra, Faiq Mananul Faqih, Muhammad Faizal Alkindi, Feddy Setio Pribadi, and Rizky Ajie Aprilianto. 2024. "Tren Algoritma InC, PID Dan FLC Untuk MPPT Pada Sistem Fotovoltaik: Sistematis Review." *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 5(2): 78–89. doi:10.14710/jebt.2024.23089.
- Fauzi, Akhmad, Mochammad Facta, and Sudjadi Sudjadi. 2019. "Perencanaan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Metode Perturb and Observe Pada Panel Surya." *Transient* 7(4): 918. doi:10.14710/transient.7.4.918-924.
- HABIBI, MUHAMMAD NIZAR, DIMAS NUR PRAKOSO, NOVIE AYUB WINDARKO, and ANANG TJAHJONO. 2020. "Perbaikan MPPT Incremental Conductance Menggunakan ANN Pada Berbayang Sebagian Dengan Hubungan Paralel." *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 8(3): 546. doi:10.26760/elkomika.v8i3.546.
- Hamzah, Muhammad Ilham hasby, Happy Aprillia, and Andhika Giyantara. 2025. "Hybrid ANN-PSO Based MPPT Optimization for Enhanced Solar Panel Efficiency." *Elkha* 17(1): 32–37. doi:10.26418/elkha.v17i1.88711.
- Hani, Slamet, and Indar Ary Nugroho. 2021. "Analisa Penggunaan Boost Converter Terhadap Daya Output Panel Surya Pada Warning Light." *Jurnal Elektrikal* 8(2): 28–36.
- Hussain, Md Tahmid, Adil Sarwar, Mohd Tariq, Shabana Urooj, Amal BaQais, and Md Alamgir Hossain. 2023. "An Evaluation of ANN Algorithm Performance for MPPT Energy Harvesting in Solar PV Systems." *Sustainability (Switzerland)* 15(14). doi:10.3390/su151411144.
- Mahmudatul Ula, and Arief Rahmadani. 2023. "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking Pada Panel Surya Dengan Metode Incremental Conductance Menggunakan Zeta Konverter." *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika* 22(1): 1–20. doi:10.31358/techné.v22i1.334.
- Purwoto, Bambang Hari, Jatmiko Jatmiko, Muhamad Alimul Fadilah, and Ilham Fahmi Huda. 2018. "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif." *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 18(1): 10–14. doi:10.23917/emitor.v18i01.6251.
- Putra, Vandy Dwi. 2025. "MSI Transaction on Education Peningkatkan Unjuk Kerja Sistem MPPT Melalui Algoritma Perturb and Observe r Yang Ditingkatkan Pada Sistem PLTS MSI Transaction on Education." 6(1): 1–14.
- Roy, Rajib Baran, Md Rokonzaman, Nowshad Amin, Mahmuda Khatun Mishu, Sanath Alahakoon, Saifur Rahman, Nadarajah Mithulananthan, et al. 2021. "A Comparative Performance Analysis of ANN Algorithms for MPPT Energy Harvesting in Solar PV

- System.” *IEEE Access* 9: 102137–52. doi:10.1109/ACCESS.2021.3096864.
- Sahraoui, Hamza, Hacene Mellah, Said Drid, and Larbi Chrifi-Alaoui. 2021. “Adaptive Maximum Power Point Tracking Using Neural Networks for a Photovoltaic Systems According Grid.” *Electrical Engineering and Electromechanics* (5): 57–66. doi:10.20998/2074-272X.2021.5.08.
- Salile, Ahmad Yusuf, Sapto Nisworo, and Sumardi Sumardi. 2024. “Analisis Fluktuasi Radiasi Matahari Dan Implikasinya Terhadap Penempatan PLTS.” *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia* 2(6): 354–58. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpii/article/view/24596>.
- Sarna, Sri, Subhan, Reny Murniati, and Syarifuddin Nojeng. 2021. “Pengaruh Temperatur Permukaan Terhadap Efisiensi Konversi Fotovoltaik Tipe Monocrystalline Pada Daerah Tropis.” *Jurnal J-Move* 3: 24–30.
- Sholikhah, Evi Nafiatus, Aulia Rahma Annisa, Muhammad Rizani Rusli, and Mentari Putri Jati. 2025. “A Simple Modeling of MPPT-Based ANN for Photovoltaic System.” *Journal of Computer Electronic and Telecommunication* 6(1): 1–9. doi:10.52435/complete.v6i1.684.
- Y. Shalahuddin, F. Yumono, M. Yahya. “Karakteristik I-V Dan P-V Photovoltaic Array Berbasis Model Matematik Matlab/Simulink.” *Seminar Nasional Fortel Regional* 7 2: 4–5.

[halaman ini sengaja dikosongkan]