

OPTIMASI PENGISI DAYA PONSEL TENAGA SURYA PORTABEL MENGGUNAKAN KECERDASAN BUATAN UNTUK EFISIENSI ENERGI

Mogtaba Osman Abdo Ibrahim¹, Efendi S Wirataruna², Anang Habibi³

¹Universitas Islam Malang

^{2,3}Universitas Islam Malang
email

Abstract

This study aims to design and implement a smart charging system for a portable solar phone charger based on Artificial Neural Network (ANN) with the Levenberg–Marquardt algorithm. An experimental approach based on system development is used with a quantitative method, where data on light intensity, temperature, and current are used as input variables to predict battery charging levels. All tests were performed in numerical simulation using MATLAB software without hardware implementation. The ANN architecture is designed using three input variables and one output variable in the form of battery charge levels which are categorized as slow, normal, and fast. The results of the training showed a decrease in the Mean Squared Error (MSE) value from 0.273 to around 0.0001 with optimal convergence without overfitting. The distribution of the error histogram is concentrated near zero, and the regression graph shows a strong correlation between the prediction and the target with an R^2 value of > 0.95 . Comparison of ANN output to target shows a high conformity rate with an error of less than 5%. The results of the study prove that ANN is able to accurately represent system behavior and is feasible to be applied as a data-based charging level prediction model for the development of artificial intelligence-based solar smart charging systems.

Keywords: Smart charging, solar power, Artificial Neural Network, Levenberg–Marquardt, charging level.

Abstraksi

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem smart charging pengisi daya ponsel tenaga surya portabel berbasis Artificial Neural Network (ANN) dengan algoritme Levenberg–Marquardt. Pendekatan eksperimen berbasis pengembangan sistem digunakan dengan metode kuantitatif, di mana data intensitas cahaya, suhu, dan arus dijadikan variabel input untuk memprediksi charging level baterai. Seluruh pengujian dilakukan secara simulasi numerik menggunakan perangkat lunak MATLAB tanpa implementasi perangkat keras. Arsitektur ANN yang dirancang menggunakan tiga variabel input dan satu variabel output berupa level pengisian baterai yang dikategorikan sebagai lambat, normal, dan cepat. Hasil pelatihan menunjukkan penurunan nilai Mean Squared Error (MSE) dari 0,273 menjadi sekitar 0,0001 dengan konvergensi optimal tanpa overfitting. Distribusi histogram error terkonsentrasi mendekati nol, dan grafik regresi menunjukkan korelasi kuat antara prediksi dan target dengan nilai $R^2 > 0,95$. Perbandingan output ANN terhadap target menunjukkan tingkat kesesuaian tinggi dengan error kurang dari 5%. Hasil penelitian membuktikan bahwa ANN mampu merepresentasikan perilaku sistem secara akurat dan layak diterapkan sebagai model prediksi charging level berbasis data untuk pengembangan sistem smart charging tenaga surya berbasis kecerdasan buatan.

Kata kunci: Smart charging, tenaga surya, Artificial Neural Network, Levenberg–Marquardt, charging level.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan semakin penting secara global karena meningkatnya kebutuhan listrik dan dampak negatif energi fosil terhadap lingkungan. Energi surya menjadi salah satu sumber paling potensial karena bersih, ramah lingkungan, dan melimpah, terutama di wilayah

tropis seperti Indonesia yang memiliki intensitas radiasi matahari tinggi sepanjang tahun. Perkembangan teknologi surya kini tidak hanya untuk pembangkit skala besar, tetapi juga untuk perangkat portabel seperti pengisi daya ponsel, yang sangat dibutuhkan terutama di daerah

terpencil, wilayah bencana, dan kondisi darurat ketika akses listrik terbatas.

Pengisi daya ponsel tenaga surya portabel merupakan solusi mandiri, namun masih menghadapi kendala pada kestabilan output daya dan efisiensi pengisian. Variasi intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, serta fluktuasi arus dan tegangan dari panel surya membuat proses pengisian kurang optimal jika menggunakan metode kendali konvensional. Karena sistem ini bersifat dinamis dan nonlinier, dibutuhkan pendekatan yang lebih adaptif untuk mengelola proses pengisian daya secara cerdas.

Kecerdasan buatan, khususnya Artificial Neural Network (ANN), menawarkan solusi melalui kemampuan pembelajaran dan pemodelan hubungan kompleks antar variabel. Pada penelitian ini, ANN dilatih menggunakan algoritme Levenberg–Marquardt yang dikenal cepat konvergen dan akurat untuk jaringan skala kecil–menengah. Penelitian difokuskan pada perancangan sistem smart charging pengisi daya ponsel tenaga surya berbasis ANN guna meningkatkan efisiensi, kestabilan, dan kecerdasan sistem pengisian daya melalui pendekatan pembelajaran mesin berbasis data.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen berbasis pengembangan sistem (*experimental system development*) dengan metode kuantitatif untuk menganalisis data numerik secara objektif, meliputi intensitas cahaya matahari, suhu, tegangan, arus, daya, efisiensi energi, dan level pengisian baterai. Penelitian difokuskan pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pengisi daya ponsel tenaga surya portabel berbasis Artificial Neural Network (ANN) dengan *algoritme Levenberg–Marquardt* guna menghasilkan sistem smart charging yang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan serta mampu meningkatkan efisiensi dan kestabilan proses pengisian daya.

B. Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan Data

Tahap awal dilakukan melalui observasi dan eksperimen sistem pengisi daya tenaga surya. Data yang dikumpulkan meliputi intensitas cahaya matahari, suhu, arus, tegangan, dan level pengisian baterai. Data hasil simulasi dan pengujian disimpan dalam format CSV untuk diproses menggunakan MATLAB.

2. Pembersihan dan Normalisasi Data

Data dibersihkan dengan menghapus data tidak valid, duplikasi, dan inkonsistensi akibat

gangguan sensor. Selanjutnya dilakukan normalisasi data ke rentang tertentu agar sesuai dengan kebutuhan pelatihan ANN serta pengelompokan data berdasarkan kondisi intensitas cahaya.

3. Perancangan dan Pelatihan Artificial Neural Network (ANN)

Pada tahap ini dirancang arsitektur feed forward neural network dengan input berupa intensitas cahaya, suhu, dan arus, sedangkan output berupa charging level. Pelatihan jaringan menggunakan algoritme Levenberg–Marquardt dengan pembagian data menjadi training, validation, dan testing. Kinerja model dievaluasi menggunakan parameter Mean Squared Error (MSE).

4. Analisis Numerik dan Statistik Deskriptif

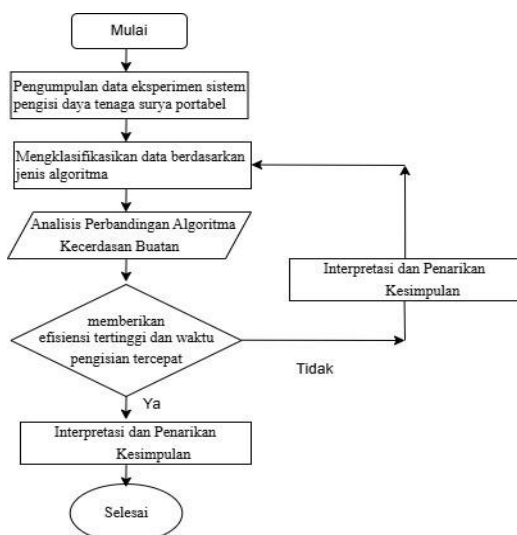
Tahap analisis numerik dan statistik deskriptif dilakukan untuk menilai kinerja sistem *smart charging* berbasis ANN secara kuantitatif melalui perhitungan efisiensi energi (perbandingan daya keluaran dan masukan) serta statistik seperti rata-rata, maksimum, minimum, dan deviasi standar pada arus, tegangan, dan level pengisian baterai. Analisis juga mencakup pengamatan fluktuasi arus dan tegangan guna menilai kestabilan sistem, sehingga dapat diketahui efektivitas ANN dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas pengisian daya.

5. Evaluasi Kinerja Sistem Smart Charging Berbasis ANN

Evaluasi kinerja sistem dilakukan untuk menilai efektivitas penerapan ANN pada smart charging, dengan fokus pada akurasi prediksi level pengisian baterai, kestabilan daya selama pengisian, serta potensi penerapan untuk monitoring dan pengendalian secara real-time. Hasil evaluasi ini menjadi dasar penentuan kelayakan ANN sebagai metode kecerdasan buatan pada pengisi daya ponsel tenaga surya portabel.

6. Interpretasi Hasil dan Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir penelitian adalah interpretasi hasil dan penarikan kesimpulan dengan mengacu pada teori kecerdasan buatan, manajemen energi, dan sistem tenaga surya. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan diagram agar mudah dipahami, kemudian digunakan untuk menyusun kesimpulan sesuai tujuan penelitian serta rekomendasi bagi pengembangan studi selanjutnya.



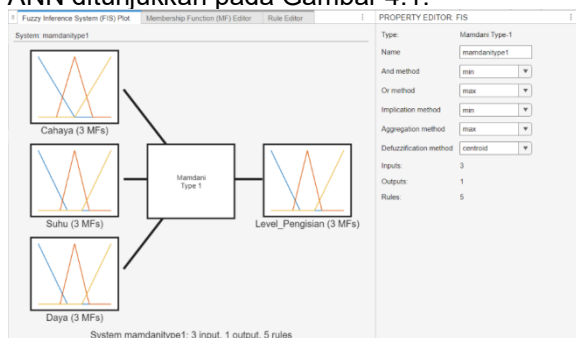
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini dikembangkan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan pendekatan kecerdasan buatan berbasis ANN dan Artificial Neural Network (ANN). Tujuan utama implementasi ini adalah untuk menentukan level pengisian daya baterai secara cerdas berdasarkan parameter lingkungan dan kelistrikan. Data masukan sistem diperoleh dari hasil simulasi sensor yang meliputi intensitas cahaya (lux), suhu ($^{\circ}\text{C}$), arus (A), dan tegangan (V). Data tersebut disimpan dalam bentuk file CSV dan digunakan sebagai input utama dalam proses pengujian.

Hasil Penerapan ANN

Sistem ANN pada penelitian ini dirancang sebagai sistem pengambil keputusan untuk menentukan level pengisian daya (charging level). Struktur sistem ANN terdiri dari tiga variabel input dan satu variabel output. Struktur lengkap sistem ANN ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Struktur Sistem ANN

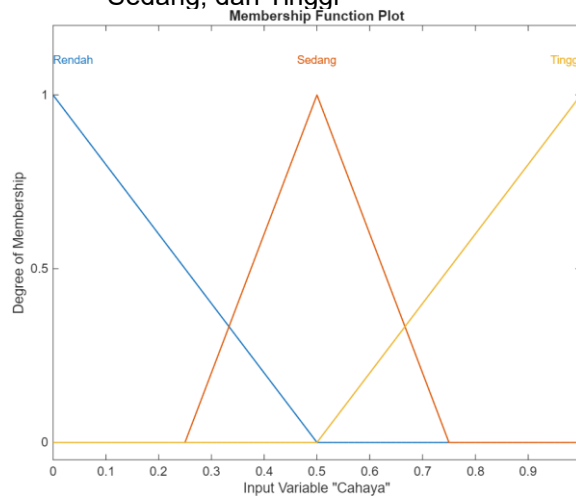
Gambar 4.1 ini menunjukkan alur kerja sistem ANN yang terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu fuzzifikasi, basis aturan (rule base), mesin inferensi, dan defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi, nilai numerik dari sensor cahaya, suhu, dan daya diubah menjadi nilai linguistik sesuai fungsi keanggotaan masing-masing variabel.

Selanjutnya, nilai linguistik tersebut diproses pada basis aturan menggunakan mesin inferensi untuk menghasilkan keputusan ANN. Tahap akhir berupa defuzzifikasi mengubah hasil ANN menjadi nilai tegas (crisp) berupa level pengisian baterai yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan sistem.

Penelitian ini berfokus pada simulasi sistem smart charging berbasis Artificial Neural Network menggunakan MATLAB tanpa pembuatan alat secara fisik. Proses penelitian dilakukan dengan mengolah data intensitas cahaya, suhu, dan arus untuk memprediksi level pengisian baterai menggunakan algoritme Levenberg–Marquardt. Seluruh pengujian dilakukan dalam bentuk simulasi numerik dan analisis data tanpa implementasi perangkat keras secara langsung. Penelitian ini lebih menitikberatkan pada pemodelan, pelatihan ANN, dan evaluasi akurasi prediksi charging level. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pengembangan sistem smart charging tenaga surya berbasis AI pada penelitian selanjutnya.

Variabel input yang digunakan dalam sistem ANN adalah sebagai berikut:

1. **Intensitas Cahaya**, yang dibagi ke dalam tiga himpunan ANN, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi



Gambar 4.2 Input Variable Cahaya

Gambar 4.2 ini memperlihatkan fungsi keanggotaan variabel input cahaya yang dibagi menjadi tiga kategori, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi. Pembagian ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi intensitas cahaya yang diterima sistem.

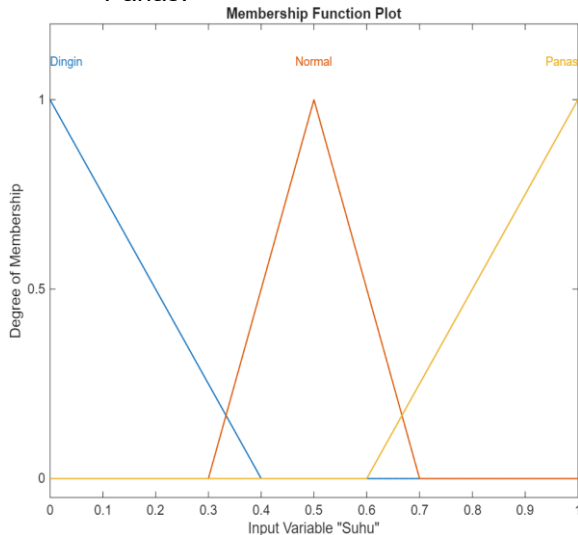
Tabel 4.1 Input Variable Cahaya

Name	Type	Parameter
Rendah	Triangular	[0 0 0.5]
Sedang	Triangular	[0.25 0.5 0.75]
Tinggi	Triangular	[0.5 1 1]

Tabel 4.1 ini menunjukkan fungsi variabel input cahaya yang dibagi menjadi tiga kategori, yaitu

Rendah type Triangular Parameter 0.0.0.5, Sedang Type Triangular Parameter 0.25.0.5.0.75 dan Tinggi Type Triangular Parameter 0.5.1.1, Pembagian ini bertujuan agar sistem ANN mampu merespons perubahan intensitas cahaya secara lebih fleksibel dan realistis.

2. **Suhu**, yang dibagi ke dalam tiga himpunan ANN, yaitu Dingin, Normal, dan Panas.



Gambar 4.3 Input Variable Suhu

Gambar 4.3 Fungsi keanggotaan suhu digunakan agar sistem dapat mengenali kondisi lingkungan kerja dengan cara yang lebih mudah dipahami oleh logika ANN. Suhu dibagi menjadi tiga kondisi yaitu dingin, normal, dan panas. Pembagian ini membantu sistem tidak hanya membaca angka suhu secara kaku, tetapi juga memahami perubahan suhu secara bertahap sehingga pengaturan pengisian daya bisa menyesuaikan kondisi sekitar.

Perancangan fungsi ini didasarkan pada rentang suhu kerja alat pengisi daya tenaga surya. Saat kondisi dingin, kinerja panel dan baterai belum optimal. Pada kondisi normal, proses pengisian berlangsung stabil dan efisien. Sedangkan pada kondisi panas, suhu terlalu tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi dan berisiko merusak komponen, sehingga sistem perlu mengurangi atau menyesuaikan proses pengisian.

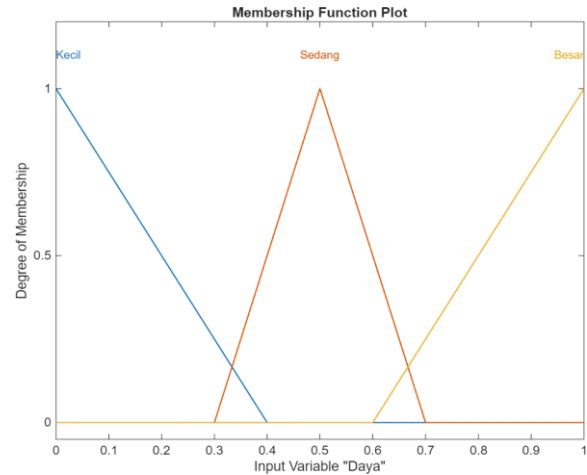
Bentuk kurva yang digunakan biasanya segitiga atau trapesium agar perpindahan antar kondisi tidak terjadi secara tiba-tiba. Dengan cara ini, satu nilai suhu bisa termasuk dua kondisi sekaligus, misalnya antara normal dan panas. Hal tersebut membuat sistem dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dalam mengatur arus dan tegangan pengisian agar tetap efisien dan aman.

Tabel 4.2 Input Variable Suhu

Name	Type	Parameter
Dingin	Triangular	[0 0 0.4]
Normal	Triangular	[0.3 0.5 0.7]
Panas	Triangular	[0.6 1 1]

Tabel 4.2 Dengan adanya pembagian ini, sistem ANN dapat mempertimbangkan faktor suhu dalam menentukan level pengisian baterai, sehingga proses pengisian dapat dilakukan secara aman dan efisien

3. **Daya (Arus)**, yang dibagi ke dalam tiga himpunan ANN, yaitu Kecil, Sedang, dan Besar.



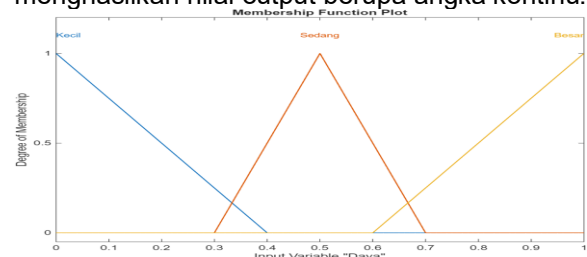
Gambar 4.4 Input Variable Daya

Gambar 4.4 ini menampilkan fungsi keanggotaan variabel daya yang dibagi menjadi kecil, sedang, dan besar. Variabel daya merepresentasikan besarnya energi listrik yang tersedia untuk proses pengisian baterai.

Tabel 4.3 Input Variabale Daya

Kecil	Triangular	[0 0 0.4]
Sedang	Triangular	[0.3 0.5 0.7]
Besar	Triangular	[0.6 1 1]

Tabel 4.3 Dengan membagi daya ke dalam beberapa kategori linguistik, sistem ANN mampu menyesuaikan kecepatan pengisian sesuai dengan kondisi daya yang tersedia. Variabel daya yang merepresentasikan Besarnya Energi Listrik yang tersedia pada proses pengisian baterai. Variabel output pada sistem ANN adalah Level Pengisian Daya, yang dibagi ke dalam tiga himpunan ANN, yaitu Lambat, Normal, dan Cepat. Sistem ANN menggunakan metode inferensi Mamdani dengan proses defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai output berupa angka kontinu.



Gambar 4.5 Output – Level Pengisian

Gambar 4.5 ini menunjukkan fungsi keanggotaan output level pengisian baterai yang terdiri dari lambat, normal, dan cepat. Output ini

merupakan hasil akhir dari proses inferensi ANN. Setiap kategori menunjukkan tingkat kecepatan pengisian baterai yang akan diterapkan oleh sistem berdasarkan kondisi input sensor.

Tabel 4.4 Level Pengisian

Name	Type	Parameter
Lambat	Triangular	[0 0 0.4]
Normal	Triangular	[0.3 0.5 0.7]
Cepat	Triangular	[0.6 1 1]

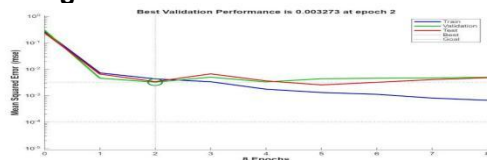
Tabel 4.4 Tabel ini menunjukkan fungsi keanggotaan untuk variabel output berupa level pengisian baterai yang terdiri dari tiga kategori, yaitu lambat, normal, dan cepat. Setiap kategori direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan triangular dengan rentang nilai tertentu. Variabel output ini merupakan hasil akhir dari proses inferensi ANN yang akan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pengaturan kecepatan pengisian baterai. Output ini merupakan hasil akhir dari proses inferensi ANN. Setiap kategori menunjukkan tingkat kecepatan pengisian baterai yang akan diterapkan oleh sistem berdasarkan kondisi input sensor.

Rule Base ANN

Sistem ANN menggunakan seperangkat aturan (rule base) yang disusun berdasarkan pengetahuan pakar. Aturan ini menghubungkan kondisi input sensor dengan level pengisian daya yang dihasilkan. Contoh aturan ANN yang digunakan pada sistem ini adalah sebagai berikut:

1. IF Cahaya Rendah AND Suhu Dingin AND Daya Kecil THEN Level Pengisian Lambat.
2. IF Cahaya Sedang AND Suhu Normal AND Daya Sedang THEN Level Pengisian Normal.
3. IF Cahaya Tinggi AND Suhu Normal AND Daya Besar THEN Level Pengisian Cepat.
4. IF Cahaya Tinggi AND Suhu Panas AND Daya Sedang THEN Level Pengisian Normal.
5. IF Cahaya Sedang AND Suhu Dingin AND Daya Kecil THEN Level Pengisian Lambat.

Training Performance

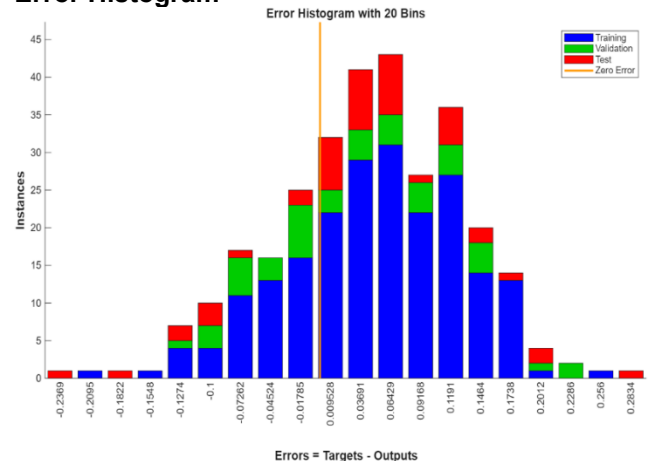


Gambar 4.6 Grafik Performansi Pelatihan ANN

Gambar 4.7 menunjukkan grafik performansi pelatihan ANN yang menggambarkan hubungan antara epoch dan nilai Mean Squared Error (MSE). Grafik tersebut memperlihatkan bahwa nilai error menurun secara konsisten seiring bertambahnya epoch, yang menandakan bahwa proses

pembelajaran berlangsung secara stabil dan efektif.

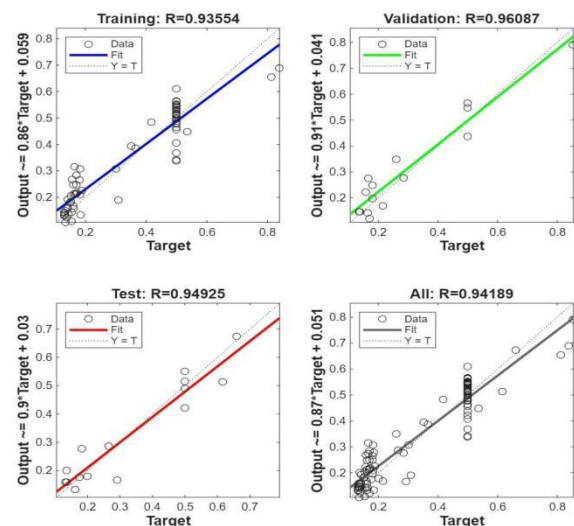
Error Histogram



Gambar 4.7 Histogram Error ANN

Gambar 4.7 menampilkan histogram error dari hasil pelatihan ANN. Distribusi error yang terkonsentrasi di sekitar nilai nol menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi ANN memiliki selisih error yang kecil terhadap target. Hal ini menandakan tingkat akurasi jaringan yang tinggi dalam memprediksi charging level.

Regression



Gambar 4.8 Grafik Regresi Hasil Pelatihan ANN

Gambar 4.8 menunjukkan grafik regresi antara output ANN dan target hasil ANN. Grafik regresi memperlihatkan hubungan linier yang mendekati garis ideal, yang menandakan adanya korelasi

yang kuat antara nilai prediksi ANN dan target. Dengan demikian, ANN dapat dikatakan berhasil merepresentasikan perilaku sistem ANN secara akurat.

Prediksi Charging Level

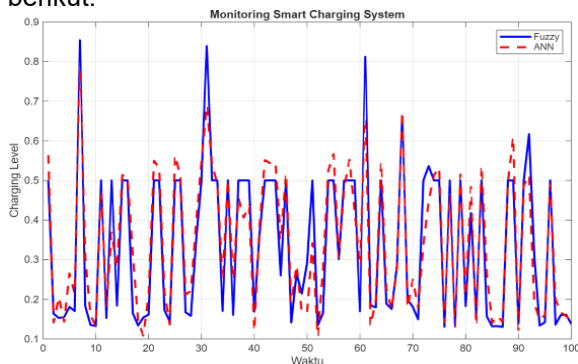
Tabel 4.5 Prediksi Charging Level

Parameter	Nilai	Keterangan
Cahaya	987 lux	Intensitas tinggi
Suhu	26 °C	Kondisi normal
Arus	0.21 A	Arus rendah
Normalisasi	(0.99, 0.52, 0.10)	Input ke ANN
Tegangan	8.75 V	Output ANN
Level	0.54	Prediksi charging
Kelas	MEDIUM	Status charging
Target ANN	0.14	Pembandingan
Error	0.4044	Selisih ANN

Tabel 4.5 ini menyajikan hasil akhir prediksi level pengisian baterai berdasarkan nilai input sensor berupa intensitas cahaya, suhu, dan arus. Berdasarkan hasil yang diperoleh, metode ANN menghasilkan nilai output yang berada pada kategori yang sama, yaitu LOW. Hal ini menunjukkan adanya konsistensi dalam pengambilan keputusan antara kedua metode.

Perbandingan Hasil ANN

Berdasarkan hasil pengujian sistem, diperoleh grafik monitoring charging level yang membandingkan keluaran Artificial Neural Network (ANN) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Output ANN dan ANN terhadap Charging Level

Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai keluaran ANN memiliki pola yang sejalan dengan keluaran ANN. Hal ini menandakan bahwa ANN berhasil mempelajari pola keputusan yang dihasilkan oleh sistem ANN. Perbedaan kecil yang muncul pada beberapa titik disebabkan oleh proses generalisasi ANN terhadap data latih. Secara keseluruhan, grafik monitoring membuktikan bahwa ANN dapat digunakan

sebagai alternatif sistem prediksi charging level yang lebih efisien untuk implementasi real-time.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem smart charging berbasis ANN dan Artificial Neural Network (ANN), dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil mengoptimalkan proses pengisian daya menggunakan parameter intensitas cahaya, suhu, dan daya sebagai input utama. Sistem ANN mampu menghasilkan pengambilan keputusan yang adaptif dan stabil dengan tingkat deviasi output yang kecil, sedangkan ANN yang dilatih menggunakan algoritma Levenberg–Marquardt menunjukkan performansi sangat baik dengan penurunan nilai Mean Squared Error (MSE) dari 0,273 menjadi sekitar 0,0001. Proses pelatihan juga menunjukkan konvergensi optimal tanpa overfitting, ditandai oleh nilai gradien yang sangat kecil dan validation checks yang stabil. Selain itu, hasil perbandingan output menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi dengan error kurang dari 5% serta nilai regresi mendekati linier ($R^2 > 0,95$), sehingga ANN dinilai mampu merepresentasikan perilaku sistem secara akurat dan layak digunakan sebagai model prediksi charging level berbasis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumar, S. (2022). *Penggunaan Reinforcement Learning (RL) untuk pengaturan adaptif sistem pengisian tenaga surya. Penelitian eksperimental berbasis simulasi dan implementasi AI adaptif.*
- Kumendong, I. M., & Pawarangan, I. (n.d.). *Penerapan fisika komputasi dalam pengembangan sistem energi terbarukan.* Jurusan Fisika, Fakultas MIPA dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado, Indonesia. [\[https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/phy\]](https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/phy)
- Liu, X., Zhang, Y., & Chen, L. (2021). *Implementasi ANN Controller (FLC) untuk Maximum Power Point Tracking pada sistem pengisian tenaga surya.* Penelitian eksperimental dengan simulasi dan implementasi langsung.
- Prasetyo, A. P. P., Sitorus, H. R., Isnanto, R. F., & Hermansyah, A. (n.d.). *Design of a drowsiness prevention helmet with vibration and IoT-based theft detection alarms.* [\[https://doi.org/10.25077/jitce.8.01.19-29.2024\]](https://doi.org/10.25077/jitce.8.01.19-29.2024)
- Rahman, A. (2020). *Penerapan Artificial Neural Network (ANN) untuk optimalisasi kinerja sistem pengisi daya tenaga surya portabel.* Penelitian eksperimental kuantitatif.
- Rahmawati, I. (2024). *Perbandingan algoritma AI untuk optimasi sistem pengisian energi*

- surya portabel: ANN, FLC, GA, dan RL.* Penelitian komparatif eksperimental.
- Saina, A. R., & Prananda, R. P. (2024). *Perancangan sistem tracking otomatis pada panel surya untuk mengoptimalkan daya keluaran.* Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. [<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/51393>]
- Yuliani, D. (2023). *Penerapan Algoritma Kecerdasan Buatan Hibrida (ANN-GA) untuk optimasi pengisi daya tenaga surya portabel.* Penelitian eksperimental berbasis rekayasa sistem AI.
- Zhou, H., Li, F., & Wang, J. (2021). *Aplikasi Deep Learning untuk prediksi dan regulasi daya pada sistem pengisian daya tenaga surya portabel.* Penelitian eksperimen kuantitatif dengan pendekatan AI-based predictive optimization.
- Zuroida, A., Heryanto, I., & Ramandhani, A. S. (2025). *Optimasi sistem pengisian MPPT berbasis ANN pada panel surya.* (Received 24 Desember 2024; Revised 22 Februari 2025; Published 28 Februari 2025). [<https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elposys/article/view/6852>]