

SKRIPSI

Penerapan Jaringan Saraf Tiruan untuk Prediksi Pola *Discharge* Baterai pada Sistem *Hybrid* Energi Surya dan Mikrohidro



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Program
Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

Dipersiapkan dan Disusun Oleh :
MUHAMMAD ADITYA CASENDA VIRLI
132021056

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026**

SKRIPSI

Penerapan Jaringan Saraf Tiruan untuk Prediksi Pola *Discharge* Baterai pada Sistem *Hybrid* Energi Surya dan Mikrohidro



Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
26 Agustus 2026

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
MUHAMMAD ADITYA CASENDA VIRLI

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing 1

Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs.
NIDN. 0207038101

Penguji 1

Taufik Barlian, S.T., M.T.
NIDN. 0218017202

Pembimbing 2

Asri Indah Lestari, S.T., M.T.
NIDN. 0230129701

Penguji 2

Dr. Wiwin A. Oktaviani, S.T., M.Sc.
NIDN. 0002107302

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik

Dr. A. Ruzaidi, M.T.
NIDN. 0202026502

Menyetujui
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs.
NIDN. 0207038101

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan di dalam daftar pustaka.

Palembang, 26 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Muhammad Aditya Casenda Virli

132021056

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

“Barang siapa yang tidak bisa menahan letihnya belajar, maka ia akan menanggung pedihnya kebodohan.”

(Imam Syafi’i)

PERSEMBAHAN :

- Alhamdulillah, puja dan puji syukur kepada Allah SWT. Atas segala nikmat, karunia dan ridho-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, yang selalu memberikan kesehatan, perlindungan, rezeki, kemudahan, dan pertolongan yang tiada henti – hentinya.
- Terima kasih kepada kedua orangtua saya, Bapak Ir. Rusli dan Ibu Sri Robiana Novianti beserta kakak dan adik perempuan saya Selvia Adelia Virli dan Virginia Lestari Virli yang dimana mereka merupakan orang – orang yang paling saya cintai, sayangi, dan yang paling berharga dalam hidup saya. Saya Persembahkan keberhasilan ini untuk keluarga saya, terima kasih banyak atas perhatiannya yang selalu memberikan doa – doa, bantuan, masukan, semangat, serta kasih sayang yang tulus.
- Terima kasih kepada dosen pembimbing I Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs. dan dosen pembimbing II Ibu Asri Indah Lestari, S.T., M.T. yang telah dengan sabar membimbing dan membantu saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
- Terima kasih kepada Eka Putri Wibowo. Selaku support system yang selalu sedia membantu, mendukung, mendampingi, mendengarkan keluhan dan mengingatkan saya untuk terus berjuang menyelesaikan skripsi ini.
- Teruntuk rekan seperjuangan saya yang tidak dapat disebutkan satu per satu namanya. Terima kasih untuk tawa, diskusi panjang, dan dukungan tiada henti di saat lelah yang sudah kita lewati bersama-sama. Semoga pencapaian kecil ini menjadi awal dari kesuksesan besar kita di masa depan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Penerapan Jaringan Saraf Tiruan untuk Prediksi Pola Discharge Baterai pada Sistem Hybrid Energi Surya dan Mikrohidro**” yang disusun guna untuk syarat mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Pada kesempatan ini penulis secara khusus mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada,

- Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs., selaku Pembimbing I
- Ibu Asri Indah Lestari, S.T., M.T., selaku Pembimbing II

Dan tak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada,

1. Bapak Prof. Abid Djazuli, S.E., M.M, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang Palembang.
3. Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Bapak Muhammad Hurairah, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
5. Bapak dan Ibu Staf Dosen pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
6. Bapak dan Ibu Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
7. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Yang telah banyak membantu penulis baik secara moril maupun material dalam menyelesaikan skripsi ini, semoga amal baik yang diberikan kepada penulis mendapatkan imbalan yang sesuai dari Allah SWT. Penulis menyadari penulisan skripsi ini jauh dari sempurna, dengan kondisi tersebut kritik dan saran dari pembaca akan penulis terima dengan sangat senang hati. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi rekan-rekan pembaca di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang.

Palembang, 26 Agustus 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Aditya' followed by a stylized flourish.

Muhammad Aditya Casenda Virli

ABSTRAK

Pemanfaatan energi terbarukan terus berkembang sebagai salah satu upaya dalam memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat. Salah satu penerapannya adalah sistem hybrid yang menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pada sistem ini, baterai berfungsi sebagai media penyimpanan energi sehingga kondisi *State of Charge* (SOC) perlu dipantau untuk mengetahui pola *discharge* baterai. Penelitian ini bertujuan menerapkan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) dalam memprediksi pola *discharge* baterai berdasarkan nilai *State of Charge* (SOC) pada sistem hybrid PLTS–PLTMH, serta menganalisis pengaruh intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembapan terhadap perubahan nilai SOC. Data penelitian diperoleh dari hasil pengukuran parameter sistem yang meliputi daya keluaran PLTS, daya keluaran PLTMH, intensitas cahaya matahari, suhu udara, kelembapan, tegangan baterai, arus baterai, dan nilai SOC. Selanjutnya data diproses melalui tahap *preprocessing*, normalisasi menggunakan metode *Min-Max Scaling*, pembagian data menjadi *training* dan *testing*, kemudian dilakukan pemodelan menggunakan algoritma *Multilayer Perceptron* (MLP). Kinerja model dievaluasi menggunakan parameter *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan koefisien determinasi (R^2). Hasil pengujian menunjukkan bahwa model JST memperoleh nilai MAE sebesar 0,6108, RMSE sebesar 0,8925, dan nilai R^2 sebesar 0,8089. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model mampu memprediksi perubahan SOC dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari berpengaruh terhadap peningkatan daya keluaran PLTS sehingga berdampak pada perubahan nilai SOC, sedangkan suhu udara dan kelembapan turut memengaruhi kondisi operasi sistem hybrid. Dengan demikian, metode Jaringan Saraf Tiruan dapat diterapkan sebagai model prediksi pola *discharge* baterai pada sistem hybrid PLTS–PLTMH untuk mendukung pengelolaan sistem penyimpanan energi secara lebih efektif.

Kata kunci: Jaringan Saraf Tiruan; *State of Charge*; Pola *Discharge* Baterai; PLTS; PLTMH; Sistem Hybrid.

ABSTRACT

The utilization of renewable energy has continued to grow as an effort to meet the increasing demand for electrical energy. One of its applications is a hybrid power generation system that combines a Solar Power Plant (PLTS) and a Micro Hydro Power Plant (PLTMH). In this system, the battery functions as an energy storage device, making the monitoring of the State of Charge (SOC) essential to identify the battery discharge pattern. This study aims to implement the Artificial Neural Network (ANN) method to predict the battery discharge pattern based on the State of Charge (SOC) in a hybrid PLTS–PLTMH system, as well as to analyze the effects of solar irradiance, air temperature, and humidity on changes in the SOC value. The research data were obtained from measurements of system parameters, including PLTS output power, PLTMH output power, solar irradiance, air temperature, humidity, battery voltage, battery current, and SOC values. The collected data were processed through preprocessing, normalized using the Min-Max Scaling method, divided into training and testing datasets, and then modeled using the Multilayer Perceptron (MLP) algorithm. The model performance was evaluated using the Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2). The results showed that the ANN model achieved an MAE of 0.6108, an RMSE of 0.8925, and an R^2 value of 0.8089, indicating that the model was able to predict changes in the SOC with satisfactory accuracy. Furthermore, the analysis revealed that solar irradiance affected the increase in PLTS output power, which subsequently influenced the SOC value, while air temperature and humidity also affected the operating conditions of the hybrid system. Therefore, the Artificial Neural Network method can be applied as a prediction model for battery discharge patterns in a hybrid PLTS–PLTMH system to support more effective energy storage management.

Keywords: Artificial Neural Network; State of Charge; Battery Discharge Pattern; Solar Power Plant (PLTS); Micro Hydro Power Plant (PLTMH); Hybrid System.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	7
2.2.1 Prinsip Kerja PLTS	9
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	10
2.3.1 Prinsip Kerja PLTMH.....	11
2.4 Jaringan Saraf Tiruan.....	14
2.4.1 Prinsip Kerja Jaringan Saraf Tiruan.....	16
2.4.2 Mekanisme Kerja Neuron pada Jaringan Saraf Tiruan	17
2.4.3 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan.....	19
2.4.4 Mekanisme Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan.....	24
2.4.5 Penerapan Jaringan Saraf Tiruan pada Penelitian	25
2.5 Baterai	27
2.6 <i>State of Charge</i> (SOC).....	29
2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pola Discharge Baterai pada Sistem Hybrid PLTS-PLTMH.....	32
2.8 Evaluasi Kinerja Model	35
A. Mean Absolute Error (MAE)	35
B. Root Mean Square Error (RMSE).....	36
C. Koefisien Determinasi (R^2)	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
3.2 Diagram Penelitian.....	38
3.3 Alat dan Bahan.....	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Data.....	44
4.1.1 Data Hasil Pengukuran PLTS	44
4.1.2 Data Hasil Pengukuran PLTMH	45
4.1.3 Data Hasil Pengukuran Beban	48
4.1.4 Data Hasil Pengukuran Baterai	48
4.1.5 Dataset Jaringan Saraf Tiruan (JST)	49

4.2.	Pehitungan.....	50
4.2.1	Perhitungan Daya PLTS.....	51
4.2.2	Perhitungan Debit Air PLTMH.....	52
4.2.3	Perhitungan Daya Hidrolik PLTMH.....	52
4.2.4	Perhitungan Daya Generator PLTMH	53
4.2.5	Perhitungan Daya Beban.....	54
4.3.	Pengolahan Data Jaringan Saraf Tiruan (JST)	55
4.3.1	Pembentukan Dataset JST.....	55
4.3.2	Preprocessing Data.....	59
4.3.3	Perancangan Arsitektur JST	62
4.3.4	Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (JST).....	64
4.3.5	Hasil Prediksi <i>State of Charge</i> (SOC) Menggunakan JST.....	66
4.3.6	Analisis Pola <i>Discharge</i> Baterai terhadap Waktu	70
4.3.7	Analisis Pengaruh Lingkungan Terhadap Pola <i>Dscharge</i> Baterai	71
4.3.8	Analisis Perbandingan Beban Terhadap Daya Sistem Hybrid.....	74
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1.	Kesimpulan	77
5.2	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA		79
LAMPIRAN.....		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Blok Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida PLTS–PLTMH	6
Gambar 2. 2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	8
Gambar 2. 3 Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)..	11
Gambar 2. 4 Arsitektur Umum Jaringan Saraf Tiruan.	15
Gambar 2. 5 Arsitektur Multilayer Perceptron (MLP)	20
Gambar 2. 6 Tahapan Umum Penerapan Jaringan Saraf Tiruan untuk Prediksi ..	26
Gambar 2. 7 Mekanisme Charging dan Discharging Baterai pada Sistem Hybrid PLTS–PLTMH.....	28
Gambar 2. 8 Konsep Perubahan Nilai State of Charge (SOC) Selama Proses Charging dan Discharging pada Baterai	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4. 1 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan	64
Gambar 4. 2 Kurva Loss Pelatihan JST	66
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai SOC Aktual dan SOC Prediksi Menggunakan JST	68
Gambar 4. 4 Pola <i>Discharge</i> Baterai terhadap Waktu	71
Gambar 4. 5 Hubungan Intensitas Cahaya terhadap SOC	72
Gambar 4. 6 Hubungan Suhu terhadap SOC	73
Gambar 4. 7 Hubungan Kelembaban terhadap SOC	73
Gambar 4. 8 Grafik Selisih Daya Terhadap 250 Sampel	75

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat yang Digunakan	41
Tabel 3. 2 Bahan yang Digunakan	42
Tabel 4. 1 Data Pengukuran PLTS	45
Tabel 4. 2 Data Pengukuran Debit Air dan Putaran Turbin	46
Tabel 4. 3 Data Daya Hidrolik PLTMH.....	46
Tabel 4. 4 Data Pengukuran Daya Generator PLTMH	47
Tabel 4. 5 Data Pengukuran Beban.....	48
Tabel 4. 6 Data Pengukuran Baterai Hybrid	49
Tabel 4. 7 Variabel Dataset JST	50
Tabel 4. 8 Contoh Data Input dan Output JST.....	58
Tabel 4. 9 Hasil Normalisasi Data JST	61
Tabel 4. 10 (Lanjutan) Hasil Normalisasi Data JST	61
Tabel 4. 11 Parameter Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan	63
Tabel 4. 12 Parameter Pelatihan Model JST	65
Tabel 4. 13 Hasil Prediksi State of Charge (SOC) Menggunakan JST.....	67
Tabel 4. 14 Hasil Evaluasi Model JST	70
Tabel 4. 15 Hasil Analisis Korelasi Parameter Lingkungan terhadap SOC	72
Tabel 4. 16 Hasil Analisis Perbandingan Daya.....	74
Tabel 4. 17 Distribusi Kondisi Daya terhadap Beban.....	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan, baik di sektor rumah tangga, industri, maupun transportasi. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang bersifat terbatas serta berdampak negatif terhadap lingkungan menjadi permasalahan yang perlu segera diatasi. Dengan kondisi tersebut, pemanfaatan energi baru dan terbarukan menjadi solusi strategis dalam menjaga keberlanjutan sistem energi listrik (Setyono et al., 2021).

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, khususnya energi surya dan energi air. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mampu mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik, namun kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan hanya optimal pada siang hari (Dwisari et al., 2023). Sementara itu, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dapat menghasilkan energi listrik secara kontinu selama debit air mencukupi, meskipun daya keluarannya dapat berfluktuasi akibat perubahan kondisi lingkungan (Palintin et al., 2020).

PLTS dan PLTMH dapat diintegrasikan dalam sistem pembangkit listrik tenaga hibrida untuk meningkatkan keandalan penyediaan energi listrik. Integrasi kedua sumber energi tersebut mampu menjaga kontinuitas pasokan listrik dibandingkan penggunaan satu sumber energi (Kanna & Singh, 2022). Agar sistem beroperasi secara efisien dan andal, diperlukan pengelolaan energi yang tepat. Dalam sistem hibrida, baterai berfungsi sebagai media penyimpanan energi untuk menjaga kestabilan pasokan listrik saat terjadi perubahan pembangkitan dan beban (Zhang & Wei, 2022).

Dalam sistem penyimpanan energi, kondisi baterai direpresentasikan melalui parameter *State of Charge* (SOC), yaitu persentase energi yang tersimpan dalam baterai terhadap kapasitas maksimumnya. Pada proses pengosongan

(*discharge*), nilai SOC akan mengalami penurunan seiring dengan penggunaan energi oleh beban. Dengan kondisi tersebut, perubahan nilai SOC dapat digunakan sebagai indikator utama dalam menganalisis pola *discharge* baterai. Nilai SOC dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti daya keluaran pembangkit, pengaruh intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban, yang memiliki hubungan nonlinier dan kompleks (Hannan et al., 2020).

Seiring dengan perkembangan teknologi kecerdasan buatan, Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) telah banyak digunakan untuk memodelkan hubungan nonlinier dalam berbagai sistem teknik. JST mampu mempelajari pola hubungan antara variabel masukan seperti daya pembangkit dan kondisi lingkungan terhadap variabel keluaran sistem. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa JST memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan prediksi pada sistem energi terbarukan, termasuk dalam estimasi kondisi baterai (Sanul & Yuhendri, 2023).

Namun demikian, penelitian terkait prediksi pola *discharge* baterai pada sistem hybrid PLTS–PLTMH yang mempertimbangkan pengaruh intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban secara simultan masih terbatas. Dengan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan metode Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi pola *discharge* baterai dalam bentuk nilai SOC, serta menganalisis pengaruh intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban terhadap perubahan SOC baterai pada sistem hybrid PLTS–PLTMH.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menerapkan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi pola *discharge* baterai dalam bentuk nilai *State of Charge* (SOC) pada sistem hybrid energi surya dan mikrohidro.
2. Menganalisis pengaruh intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban terhadap perubahan nilai *State of Charge* (SOC) baterai berdasarkan hasil prediksi menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST).

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada sistem hybrid yang terdiri dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan fokus pada proses *discharge* baterai yang direpresentasikan melalui perubahan nilai *State of Charge* (SOC).
2. Parameter yang digunakan meliputi daya PLTS, daya PLTMH, daya beban, intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, kelembaban udara, tegangan baterai, dan arus baterai sebagai variabel input. Sedangkan nilai *State of Charge* (SOC) baterai digunakan sebagai variabel output pada proses prediksi menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST).
3. Penelitian ini dibatasi pada analisis pengaruh intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, dan kelembaban udara terhadap pola *discharge* baterai tanpa membahas proses *charging* baterai maupun sistem kontrol secara *real-time*.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun secara sistematis untuk memudahkan pembahasan dan pemahaman terhadap isi skripsi. Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep sistem hybrid PLTS–PLTMH, baterai dan *State of Charge* (SOC), serta Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang digunakan dalam penelitian.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, diagram alir penelitian, serta tahapan pelaksanaan penelitian.

BAB 4 : DATA, PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh, meliputi pengolahan data, hasil prediksi menggunakan Jaringan Saraf Tiruan, serta analisis pengaruh variabel terhadap perubahan nilai SOC baterai.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajibade, H., Ujah, C. O., Nnakwo, K. C., & Kallon, D. V. V. (2024). Improvement in battery technologies as panacea for renewable energy crisis. *Discover Applied Sciences*, 6(7), 374. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06021-x>
- Biggio, L., Bendinelli, T., Kulkarni, C., & Fink, O. (2023). Ageing-aware battery discharge prediction with deep learning. *Applied Energy*, 346, 121229. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121229>
- Chatzigeorgiou, N. G., Theocharides, S., Makrides, G., & Georghiou, G. E. (2024). A review on battery energy storage systems: Applications, developments, and research trends of hybrid installations in the end-user sector.
- Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan energi matahari: Masa depan energi terbarukan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376–384. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3322>
- Eleftheriadis, P., Giazitzis, S., Leva, S., & Ogliari, E. (2023). Data-driven methods for the state of charge estimation of lithium-ion batteries: An overview. *Forecasting*, 5(3), 576–599. <https://doi.org/10.3390/forecast5030032>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Hannan, M. A., How, D. N. T., Lipu, M. S. H., Mansor, M., Ker, P. J., Dong, Z. Y., Sahari, K. S. M., Tiong, S. K., Muttaqi, K. M., Mahlia, T. M. I., & Blaabjerg, F. (2020). Data-driven state of charge estimation of lithium-ion batteries: Algorithms, implementation factors, limitations and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124110>
- Harvey, A., Brown, A., Hettiarachi, P., & Inversin, A. (1993). *Micro-hydro design manual: A guide to small-scale water power schemes*. Intermediate Technology Publications. <https://doi.org/10.3362/9781780445472>
- Juanico, D. E. O. (2024). Revitalizing lead-acid battery technology: a comprehensive review on material and operation-based interventions with a novel sound-assisted charging method. *Frontiers in Batteries and Electrochemistry*, 2, 1268412. <https://doi.org/10.3389/fbael.2023.1268412>
- Kanna, R. R., & Singh, R. R. (2022). A feasibility study on Balarbhita for advancing rural electrification with a solar—Micro-hydro hybrid system. *Frontiers in Energy Research*, 10, 960045. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.960045>
- Maier, H. R., Galelli, S., Razavi, S., Castelletti, A., Rizzoli, A., Athanasiadis, I. N., Sánchez-Marrè, M., Acutis, M., Wu, W., & Humphrey, G. B. (2023). Exploding the myths: An introduction to artificial neural networks for prediction and forecasting.

- Mosallanejad, B., & Akrami, M. (2024). Recent advances on electrolyte additives used in lead-acid batteries to enhance their electrochemical performances. *Journal of Energy Storage*, 97, 112738. *Environmental Modelling & Software*, 167, 105776. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105776>
- Marques, T. M. B., dos Santos, J. L. F., Castanho, D. S., Ferreira, M. B., Stevan Jr, S. L., Illa Font, C. H., ... & Corrêa, F. C. (2023). An overview of methods and technologies for estimating battery state of charge in electric vehicles. *Energies*, 16(13), 5050. <https://doi.org/10.3390/en16135050>
- Palintin, A. D., Patandianan, E. A., & Bawan, E. K. (2020). Potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di Kabupaten Pegunungan Arfak. *Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 2(1), 11–24. <https://doi.org/10.47039/ish.2.2020.11-24>
- Perriment, R., Kumtepli, V., McCulloch, M. D., & Howey, D. A. (2023). Lead-acid battery lifetime extension in solar home systems under different operating conditions. 2023 *IEEE PES/IAS Power Africa*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica57932.2023.10363281>
- Putri, T. E. S., Syai'in, M., & Munadhif, I. (2025). the Estimation of State of Charge for 4S2P Lithium-Ion Battery Using Kalman Filter and Coulomb Counting: Comparative Simulation-Based Study with Evaluation of RMSE, MAE, MAPE, and R² Metrics. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 6(01), 48-56. <https://journal.isas.or.id/index.php/JASENS>
- Ren, Z., & Du, C. (2023). A review of machine learning state-of-charge and state-of-health estimation algorithms for lithium-ion batteries. *Energy Reports*, 9, 2993-3021. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.01.108>
- Rey, S. O., Romero, J. A., Romero, L. T., Martínez, À. F., Roger, X. S., Qamar, M. A., Domínguez-García, J. L., & Gevorkov, L. (2023). A comprehensive review of battery energy storage systems. *Energies*, 16(17), 6344. <https://doi.org/10.3390/en16176344>
- Rocha, A. V., Maia, T. A., & Filho, B. J. (2022). Improving the battery energy storage system performance in peak load shaving applications. *Energies*, 16(1), 382. <https://doi.org/10.3390/en160103>
- Rospriandana, N., Burke, P. J., & Suryani, A. (2023). Over a century of small hydropower projects in Indonesia: A historical review. *Energy, Sustainability and Society*, 13, 30. <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00408-1>
- Sanul, I. F., & Yuhendri, M. (2023). Sistem kendali MPPT panel surya dengan menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1). <http://jtein.ppj.unp.ac.id/index.php/JTEIN/article/view/391>

- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(3), 154-162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- Sumarna, Z. F. (2022). Rancang bangun prototipe pembangkit listrik portable tenaga surya dan tenaga mikrohidro dengan sistem hibrida
- Tan, W.-H., & Mohamad-Saleh, J. (2023). Critical review on interrelationship of electro-devices in PV solar systems with their evolution and future prospects for MPPT applications. *Energies*, 16(2), 850. <https://doi.org/10.3390/en16020850>
- Tsuanyo, D., Amougou, B., Aziz, A., Nka Nnomo, B., Fioriti, D., & Kenfack, J. (2023). Design models for small run-of-river hydropower plants: A review. *Sustainable Energy Research*, 10, 3. <https://doi.org/10.1186/s40807-023-00072-1>
- Valizadeh, A., & Amirhosseini, M. H. (2024). Machine learning in lithium-ion battery: Applications, challenges, and future trends. *SN Computer Science*, 5, 717.
- Vodapally, S. N., & Ali, M. H. (2023). A comprehensive review of solar photovoltaic (PV) technologies, architecture, and its applications to improved efficiency. *Energies*, 16(1), 319. <https://doi.org/10.3390/en16010319>
- White, F. M. (2016). *Fluid mechanics* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Yulanda, E. A., Susilo, J. T., Tama, A., & Yanuar, A. (2024). Perancangan pembangkit listrik hybrid dengan tenaga surya dan tenaga mikrohidro. *EPIC: Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, 7(1), 89–97. <https://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit/article/view/39647>
- Zhang, J., & Wei, H. (2022). A review on configuration optimization of hybrid energy system based on renewable energy. *Frontiers in Energy Research*, 10, 977925. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.977925>
- Zhao, J., Zhu, Y., Zhang, B., Liu, M., Wang, J., Liu, C., & Hao, X. (2023). Review of state estimation and remaining useful life prediction methods for lithium-ion batteries. *Sustainability*, 15(6), 5014. <https://doi.org/10.3390/su15065014>