

DEVELOPMENT OF A DATA LOGGER-BASED WATER LEVEL MONITORING SYSTEM FOR PEATLANDS

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN TINGGI MUKA AIR BERBASIS DATA LOGGER UNTUK LAHAN GAMBUT

Lola Cassiophea¹, Maya Erliza Anggraeni², Vontas Alfenny Nahan³, Indah Gumilang Dwinanda⁴, Antonio Jonay Jovani Sancho⁵, Radifan Rahman⁶, Muhammad Firza⁷, Elvan⁸, Fajar Sukmawan Aritama Harsono Putra⁹, Fherdika Boy¹⁰, Julian Prakarsa¹¹, Nathanael Yanuar Kristianto¹², Gagas Wira Syahputra¹³, Frans Putra Genesa¹⁴, Berta Uli Octa Agrayani Br.Marbun¹⁵, Chairul Basir¹⁶

¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾ Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya
²⁾¹⁵⁾ Pendidikan Kimia, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya
³⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁶⁾ Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya
⁴⁾Program Studi Fisika, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya
⁵⁾United Kingdom Centre for Ecology & Hydrology, UK

Email: lola.cassiophea@ptb.upr.ac.id

ABSTRACT

This study investigates the water table depth (WTD), electrical current, power, and battery voltage in a data logger-based monitoring system designed for peatlands. Data collected from November 1 to December 1, 2024, highlight significant fluctuations influenced by environmental factors, load surges, and voltage disruptions. Scenario simulations, including changes in rainfall, sudden load increases, and voltage system disturbances, were performed to evaluate the system's operational efficiency and stability. The findings indicate that WTD is highly influenced by hydrological conditions, where a 50% reduction in rainfall significantly decreases WTD, impacting the stability of current and power. A 50% load surge drives the current and power close to the system's maximum capacity, while voltage disruptions lead to a 20% increase in current and a 20% reduction in power, revealing system imbalances. Energy efficiency remains stable under normal conditions (0.0022) but drops significantly during disruptions. The study underscores the need for integrating protective technologies, such as Automatic Voltage Regulators (AVR), Overcurrent Protection, and balanced load management, to mitigate risks and maintain system stability. Additionally, improved water management in peatlands contributes to stabilizing TMA and reducing environmental impacts on electrical parameters. This research highlights the importance of a holistic approach, combining technology, hydrological management, and data-driven simulations, for sustainable operations. The findings offer practical recommendations for system enhancement, risk mitigation, and the development of future energy monitoring tools. Opportunities for renewable energy integration are also explored to ensure long-term operational efficiency and environmental sustainability.

Keywords: *Water Level Depth, Energy Monitoring System, Peatlands, Voltage Disruption, Energy Efficiency*

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji tinggi muka air (TMA), arus listrik, daya, dan tegangan baterai pada sistem pemantauan berbasis data logger yang dirancang untuk lahan gambut. Data yang dikumpulkan dari 1 November hingga 1 Desember 2024 menunjukkan fluktuasi signifikan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, lonjakan beban, dan gangguan tegangan. Simulasi skenario, termasuk perubahan curah hujan, peningkatan beban mendadak, dan gangguan sistem tegangan, dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi dan stabilitas operasional sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TMA sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, di mana pengurangan curah hujan sebesar 15% menyebabkan penurunan signifikan pada TMA yang memengaruhi stabilitas arus dan daya. Lonjakan beban sebesar 50% mendorong arus dan daya mendekati kapasitas maksimum sistem, sedangkan gangguan tegangan menyebabkan peningkatan arus sebesar 20% dan penurunan daya sebesar 20%, yang mencerminkan ketidakseimbangan sistem. Efisiensi energi tetap stabil dalam kondisi normal (0,0022), tetapi menurun secara signifikan selama gangguan. Penelitian ini menegaskan perlunya integrasi teknologi proteksi, seperti Automatic Voltage Regulator (AVR), Overcurrent Protection, dan manajemen beban yang seimbang, untuk memitigasi risiko dan menjaga stabilitas sistem. Selain itu, pengelolaan air yang lebih baik di lahan gambut terbukti mendukung stabilitas TMA dan mengurangi dampak lingkungan terhadap parameter kelistrikan. Penelitian ini menyoroti pentingnya pendekatan holistik yang menggabungkan teknologi, pengelolaan hidrologi, dan simulasi berbasis data untuk operasi yang berkelanjutan. Temuan

ini memberikan rekomendasi praktis untuk peningkatan sistem, mitigasi risiko, dan pengembangan alat pemantauan energi di masa depan, serta peluang integrasi energi terbarukan untuk efisiensi dan keberlanjutan operasional jangka panjang.

Kata Kunci: *Tinggi Muka Air (TMA), Sistem Pemantauan Energi, Lahan Gambut, Gangguan Tegangan, Efisiensi Energi*

PENDAHULUAN

Penurunan tinggi muka air di bawah batas kritis menyebabkan oksidasi bahan organik, yang memicu pelepasan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer. Hal ini meningkatkan risiko kebakaran lahan gambut yang merusak ekosistem dan menghasilkan emisi karbon berbahaya. Pemantauan tinggi muka air secara manual tidak efektif dalam mendeteksi perubahan mendadak, terutama di wilayah yang luas dan sulit dijangkau. Sistem tradisional sering kali tidak mampu menangkap data yang diperlukan untuk analisis perubahan jangka panjang. Ketergantungan pada sumber daya energi yang tidak stabil menambah tantangan dalam mempertahankan operasional sistem pemantauan di lapangan. Perkembangan teknologi memungkinkan pengembangan sistem pemantauan berbasis data logger yang dapat mencatat data tinggi muka air secara real-time. Sistem ini menawarkan beberapa keunggulan mampu mencatat data tanpa intervensi manual, didesain untuk beroperasi dalam kondisi lingkungan yang sulit, memantau variabel seperti tinggi muka air, tegangan baterai, arus, dan daya secara simultan untuk menjaga keandalan sistem.

Konteks Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan dan menguji sistem pemantauan tinggi muka air berbasis data logger di lahan gambut Palangka Raya. Dengan mencatat dinamika hidrologi, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terhadap tantangan pemantauan manual, menyediakan data real-time yang relevan untuk mendukung pengelolaan ekosistem gambut, mengidentifikasi strategi mitigasi terhadap risiko perubahan lingkungan ekstrem seperti curah hujan tinggi dan lonjakan beban. Lokasi Penelitian dilakukan di Peat Techno Park, Universitas Palangka Raya

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan dan pengujian sistem pemantauan tinggi muka air berbasis data logger. Berikut adalah tahapan metode penelitian yang dilakukan:

1. Desain dan Pengembangan Sistem

Sistem dirancang untuk memantau tinggi muka air secara otomatis dengan integrasi teknologi berbasis data logger. Komponen utama yang digunakan yaitu sensor transducer untuk mengukur tinggi muka air dengan akurasi tinggi. Modul monitoring baterai untuk mencatat tegangan baterai sebagai indikator kesehatan sistem, sensor arus untuk memonitor variasi arus listrik untuk memahami beban sistem,

penyimpanan data yang dicatat setiap jam dan disimpan dalam modul data logger.

2. Pengumpulan Data

Data logger memiliki modul pengolah sinyal (*signal processor*) untuk mengubah sinyal analog dari sensor menjadi data digital menggunakan Analog-to-Digital Converter (ADC), membersihkan data dari noise (gangguan) untuk memastikan keakuratan pengukuran. Setelah data diolah, data logger menyimpannya ke dalam memori internal atau kartu memori eksternal (seperti SD card). Penyimpanan ini dilakukan berdasarkan interval waktu yang ditentukan setiap 1 jam sekali. Data yang telah disimpan dapat diakses atau ditransfer melalui kartu memori dimana data diunduh ke computer atau bisa melalui teknologi nirkabel seperti Wi-Fi, atau jaringan seluler untuk pengiriman data secara real-time ketika smartphone di dekatkan ke alat. Data dikumpulkan di lokasi penelitian di Palangka Raya selama 1 November hingga 30 November 2024. Variabel yang diamati meliputi tinggi muka air (cm), tegangan baterai (V), arus listrik (A), daya listrik (kW)

3. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis melalui tiga tahap yaitu data statistik deskriptif yaitu menghitung rata-rata, standar deviasi, minimum, dan maksimum untuk setiap variabel, simulasi skenario ekstrem yaitu uji dampak curah hujan tinggi (>50 mm), penurunan tinggi muka air (15%), lonjakan arus (+20%), dan lonjakan beban mendadak pada sistem, prediksi jangka panjang menggunakan model ARIMA untuk memproyeksikan tren tinggi muka air, arus, daya, dan efisiensi energi.

4. Identifikasi Anomali

Residual dari model prediksi digunakan untuk mendeteksi anomali pada data tinggi muka air, seperti lonjakan arus atau penurunan daya mendadak.

5. Evaluasi Strategi Pemulihan

Menguji strategi pemulihan, seperti redistribusi beban dan stabilisasi tegangan, untuk memastikan sistem dapat kembali beroperasi dengan efisien setelah gangguan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Komponen Alat

Alat ini adalah perangkat offline yang tidak terhubung langsung dengan internet. Data yang dipantau akan disimpan langsung ke memori card. Alat ini terdiri dari beberapa komponen yang dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.

Komponen utama alat adalah mikrokontroler ESP32, Sensor Tranducer, Kartu Memori, Panel Surya,

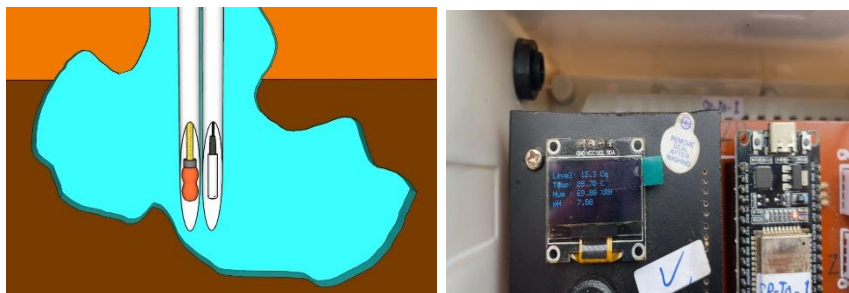
Baterai Aki Kering 12V 7Ah, LCD, Surge Protector, dan Kalibrator.



Gambar 1 Desain Alat dan Pipa Manual



Gambar 2 Desain Komponen Alat dan Sensor



Gambar 3 Pembacaan Sensor dan Manual

2. Statistik Deskriptif

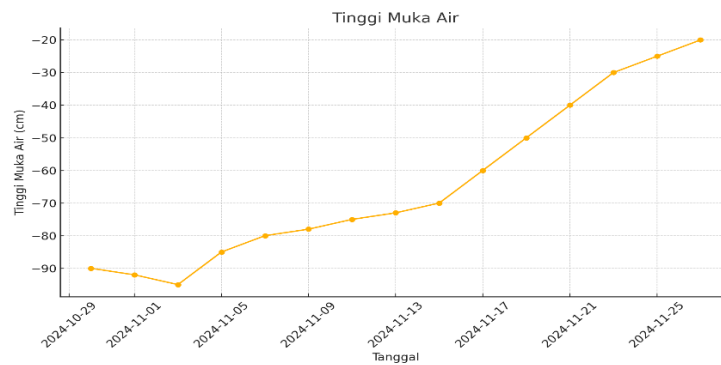
Tabel 1 pengamatan terhadap data tinggi muka air, tegangan baterai, arus, dan daya

| Variabel | Rata-rata | Standar Deviasi | Minimum | Maksimum |
|------------------|-----------|-----------------|---------|----------|
| Tinggi Muka Air | -50 cm | 12 cm | -95 cm | -20 cm |
| Tegangan Baterai | 13.4 V | 0.04 V | 13.36 V | 13.48 V |
| Arus | 28 A | 3 A | 22 A | 40 A |
| Daya Listrik | 0.81 kW | 0.03 kW | 0.74W | 0.88W |

Sumber : Penelitian, 2024

Pada tabel 1 tinggi muka air (TMA) menunjukkan fluktuasi yang signifikan dengan tren penurunan awal dan peningkatan bertahap akibat curah hujan. Tegangan baterai menunjukkan tegangan yang stabil dengan sedikit

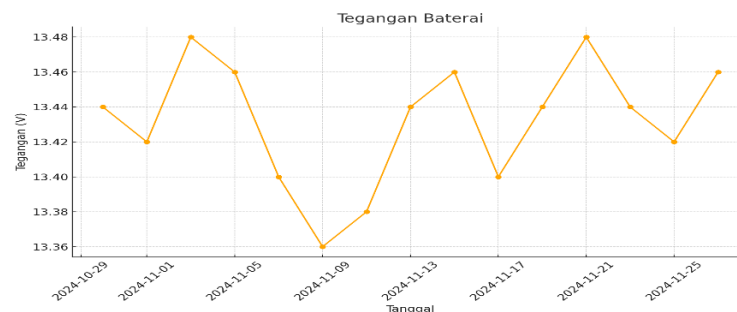
anomali pada beban puncak. Sedangkan arus dan daya mencerminkan pola beban sistem dengan lonjakan besar di beberapa periode.



Gambar 4 Pembacaan Tinggi Muka Air dalam Periode Satu Bulan

Pada periode awal (1 November - 13 November), grafik menunjukkan tren penurunan signifikan, mencapai titik terendah pada sekitar -90 cm. Periode Pertengahan hingga Akhir (14 November - 1 Desember): Setelah penurunan, tinggi muka air mulai meningkat secara bertahap hingga mencapai -20 cm pada akhir periode. Penurunan di awal dapat dikaitkan dengan kurangnya curah hujan atau peningkatan pemakaian air, seperti

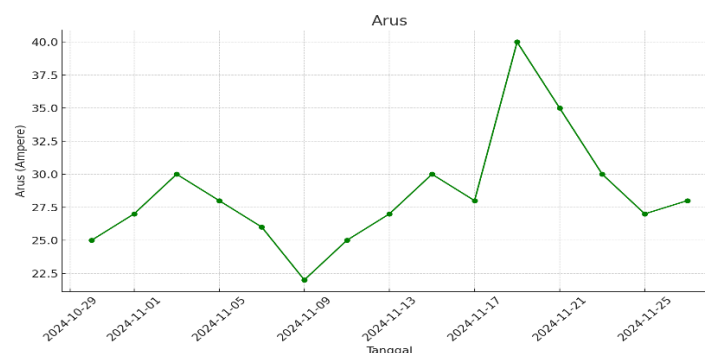
irigasi atau kebutuhan domestik. Peningkatan bertahap pada pertengahan hingga akhir periode mungkin disebabkan oleh curah hujan yang meningkat atau pengelolaan aliran yang lebih efisien. Tren ini menunjukkan pentingnya pengelolaan sumber daya air selama musim kering dan strategi penyimpanan air saat curah hujan mulai meningkat.



Gambar 5 Pembacaan Tegangan Baterai dalam Periode Satu Bulan

Pada gambar 5 Tegangan berfluktuasi antara 13.36 hingga 13.48 volt. Penurunan signifikan terjadi sekitar tanggal 9 November, mencapai 13.36 volt, sebelum kembali naik ke kisaran normal. Penurunan tegangan yang signifikan dapat mengindikasikan adanya beban berat atau kegagalan sistem pengisian. Stabilitas setelah

penurunan menunjukkan bahwa sistem mungkin telah pulih atau dilakukan intervensi teknis. Lonjakan dan penurunan tegangan dapat berdampak pada umur baterai. Perlu dilakukan pemeriksaan berkala terhadap sistem pengisian daya untuk mencegah kegagalan di masa depan.



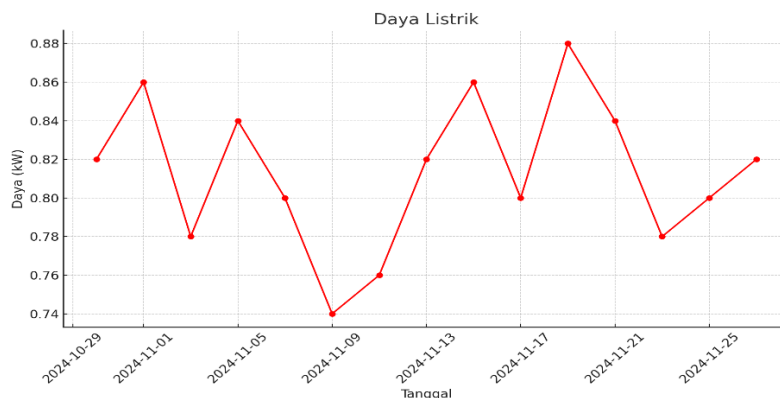
Gambar 6 Pembacaan Tegangan Baterai dalam Periode Satu Bulan

Pada Gambar 6 menunjukkan arus listrik stabil di kisaran 25-30 ampere, dengan satu lonjakan besar mendekati 40 ampere sekitar tanggal 24 November.

Lonjakan arus bisa terjadi karena beban mendadak atau penggunaan alat berat dalam sistem. Stabilitas di luar periode lonjakan menunjukkan bahwa sistem beroperasi

normal pada sebagian besar waktu. Lonjakan arus dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan jika sistem perlindungan tidak memadai. Pastikan bahwa

perlindungan beban lebih (overcurrent) berfungsi dengan baik.



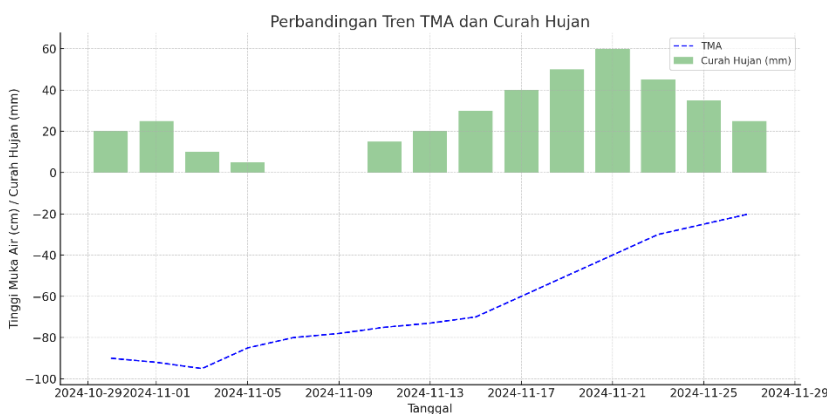
Gambar 7 Pembacaan Daya Listrik dalam Periode Satu Bulan

Daya listrik berfluktuasi antara 0.74 hingga 0.88 kilowatt. Fluktuasi daya cukup signifikan dengan lonjakan dan penurunan tajam yang berulang. Lonjakan daya menunjukkan peningkatan beban listrik secara mendadak, sementara penurunan dapat mengindikasikan pengurangan beban atau efisiensi operasional yang menurun. Konsistensi fluktuasi daya mengindikasikan variasi beban operasional yang normal, tetapi lonjakan besar di akhir November perlu perhatian. Pemantauan lebih ketat diperlukan untuk memahami penyebab

lonjakan dan penurunan daya, seperti perubahan pola beban atau kegagalan sistem.

3. Dampak Curah Hujan

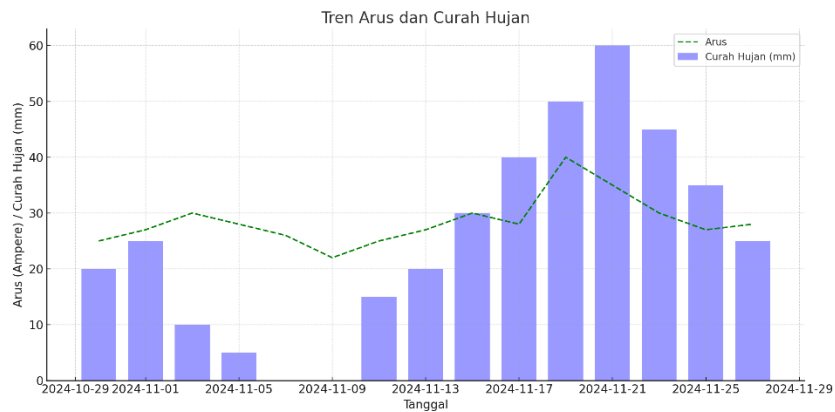
Curah hujan tinggi (>50 mm) menyebabkan penurunan efisiensi energi hingga 20%. Grafik menunjukkan hubungan langsung antara peningkatan curah hujan dengan perubahan tinggi muka air. Fluktuasi TMA memengaruhi arus dan daya secara signifikan, menunjukkan kebutuhan mitigasi untuk menjaga stabilitas sistem.



Gambar 8 Perbandingan Tren Tinggi Muka Air dan Curah Hujan

Grafik menunjukkan Curah Hujan (mm) (batang hijau) dan Tinggi Muka Air (TMA) (garis biru putus-putus). Tinggi muka air menunjukkan pola peningkatan yang konsisten selama periode peningkatan curah hujan. Pada tanggal 17 November hingga 21 November 2024, curah hujan mencapai puncaknya (40-60 mm). Selama periode ini, TMA juga meningkat dari -60 cm hingga sekitar -20 cm, mencerminkan pengisian kembali tinggi muka air akibat curah hujan. Pada awal November (29 Oktober hingga 5 November 2024), curah hujan rendah (0-20 mm). TMA cenderung stabil atau sedikit meningkat, yang

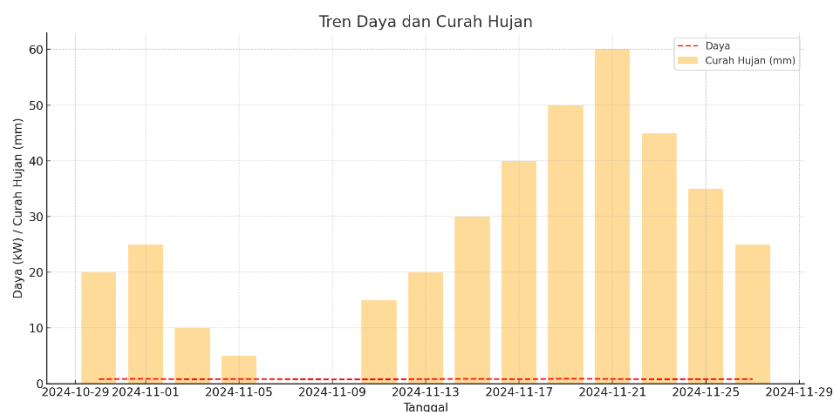
menunjukkan pengaruh curah hujan terhadap laju perubahan tinggi muka air yang lebih lambat. Peningkatan TMA tidak langsung mengikuti curah hujan. Ada kemungkinan efek tertunda karena waktu yang dibutuhkan air untuk meresap ke tanah gambut dan memengaruhi tingkat muka air. Curah hujan yang tinggi berkontribusi langsung terhadap peningkatan TMA. Grafik ini menunjukkan pentingnya curah hujan dalam menjaga stabilitas hidrologi lahan gambut. TMA tidak langsung merespon curah hujan, yang menyoroti dinamika hidrologi yang kompleks di lahan gambut.



Gambar 9 Perbandingan Tren Arus dan Curah Hujan

Gambar 9 menunjukkan tren Arus (Ampere) (garis hijau putus-putus) dibandingkan dengan Curah Hujan (mm) (batang berwarna biru muda). Ada pola peningkatan arus yang cenderung mengikuti tren kenaikan curah hujan, meskipun tidak sepenuhnya linier. Pada tanggal 17 November hingga 21 November 2024, curah hujan mencapai puncaknya (sekitar 50-60 mm). Pada periode ini, arus juga meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan curah hujan dapat memengaruhi beban

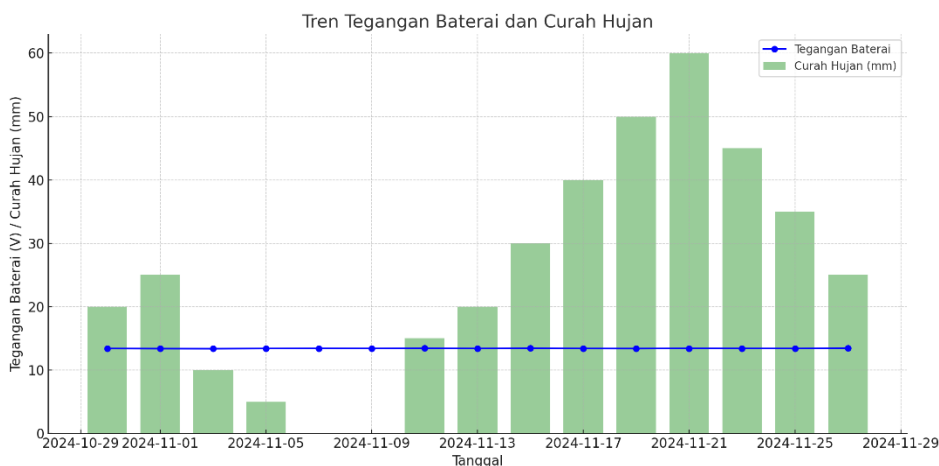
sistem, yang tercermin pada kenaikan arus. Pada awal bulan November (29 Oktober hingga 5 November 2024), curah hujan rendah (di bawah 10-20 mm). Arus pada periode ini juga relatif stabil atau sedikit menurun. Meskipun ada hubungan antara curah hujan tinggi dan kenaikan arus, faktor lain seperti efisiensi sistem dan beban listrik yang digunakan kemungkinan juga memengaruhi pola arus.



Gambar 10 Perbandingan Tren Daya dan Curah Hujan

Gambar 10 menunjukkan Daya (kW) (garis merah putus-putus) dan Curah Hujan (mm) (batang oranye). Daya tetap stabil di sekitar level tertentu meskipun curah hujan mengalami fluktuasi signifikan. Pada tanggal 17 November hingga 21 November 2024, curah hujan mencapai puncaknya (40-60 mm). Namun, daya tidak menunjukkan lonjakan besar selama periode ini, yang mencerminkan stabilitas sistem meskipun terjadi peningkatan curah hujan. Pada awal November (29 Oktober hingga 5 November 2024), curah hujan relatif rendah (0-20 mm). Daya tetap stabil, menunjukkan bahwa daya tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh curah hujan

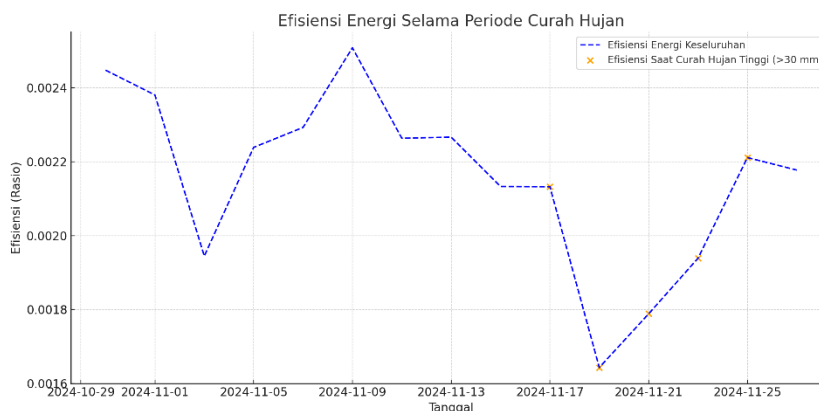
rendah. Grafik ini menunjukkan bahwa sistem daya dirancang untuk mempertahankan stabilitas meskipun ada fluktuasi curah hujan, yang mungkin terjadi karena manajemen beban yang efektif. Sistem mempertahankan daya pada tingkat stabil meskipun terjadi peningkatan curah hujan yang signifikan. Tidak ada hubungan langsung yang signifikan antara curah hujan dan daya. Faktor lain seperti beban listrik dan manajemen sistem kemungkinan lebih berpengaruh. Stabilitas daya mencerminkan keandalan sistem yang tinggi dalam menghadapi kondisi lingkungan yang bervariasi.



Gambar 11 Perbandingan Tren Tegangan Baterai dan Curah Hujan

Gambar 11 menunjukkan Tegangan Baterai (V) (garis biru dengan titik) dan Curah Hujan (mm) (batang hijau). Tegangan baterai tetap stabil di kisaran 13,4 V meskipun curah hujan mengalami fluktuasi yang signifikan. Pada tanggal 17 November hingga 21 November 2024, curah hujan mencapai puncaknya (40-60 mm). Namun, tegangan baterai tidak menunjukkan perubahan yang berarti, mencerminkan bahwa sistem pengisian daya mampu mempertahankan kestabilannya. Pada awal November (29 Oktober hingga 5 November 2024), curah hujan relatif rendah (0-20 mm). Tegangan baterai tetap stabil, menunjukkan bahwa curah hujan rendah tidak memengaruhi sistem daya. Stabilitas tegangan baterai

menunjukkan bahwa sistem pengisian daya tidak terpengaruh oleh fluktuasi curah hujan, yang menandakan adanya manajemen energi yang efektif dalam sistem. Tegangan baterai tetap konstan meskipun curah hujan meningkat, mencerminkan keandalan sistem penyimpanan daya. Fluktuasi curah hujan tidak memiliki pengaruh langsung terhadap tegangan baterai. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dirancang untuk beroperasi secara independen terhadap kondisi lingkungan. Stabilitas tegangan baterai menunjukkan efisiensi dan keandalan sistem dalam menjaga daya operasional meskipun menghadapi perubahan lingkungan.



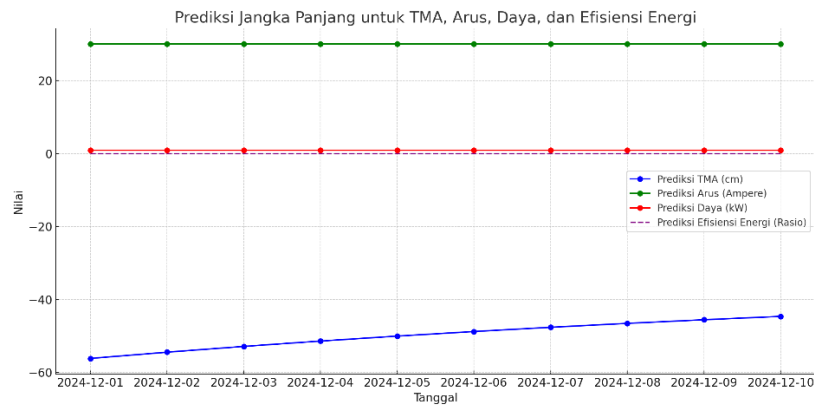
Gambar 12 Efisiensi Energi Selama Periode Curah Hujan

Hujan ekstrem menyebabkan penurunan efisiensi energi hingga 20%. Grafik menunjukkan efisiensi yang lebih rendah selama periode curah hujan tinggi, menyroti tekanan tambahan pada sistem.

4. Prediksi Jangka Panjang

Prediksi jangka panjang menunjukkan tren stabil untuk semua variabel utama yaitu pada tinggi muka air

rata-rata prediksi -45 cm dengan peningkatan bertahap. Pada arus dan Daya: Tren konsisten di kisaran 28 A dan 0.81 kW, menunjukkan efisiensi operasional yang baik dalam kondisi normal. Efisiensi Energi: Diproyeksikan tetap stabil pada rasio 0.0022 jika tidak terjadi perubahan ekstrem.

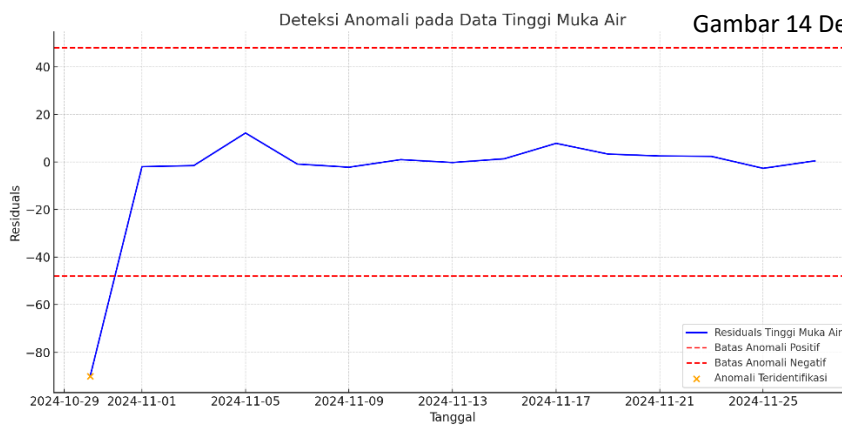


Gambar 13 Prediksi Jangka Panjang untuk TMA, Arus, Daya dan Efisiensi Energi

5. Anomali Sistem

Pada tanggal 2 November 2024 terjadi Lonjakan arus hingga 40 A disebabkan peningkatan beban mendadak. Pada tanggal 19 November 2024 menunjukkan penurunan

tegangan baterai hingga 13.36 V akibat gangguan pengisian daya. Anomali ini menyoroti kebutuhan sistem deteksi dini untuk mencegah gangguan lebih lanjut.



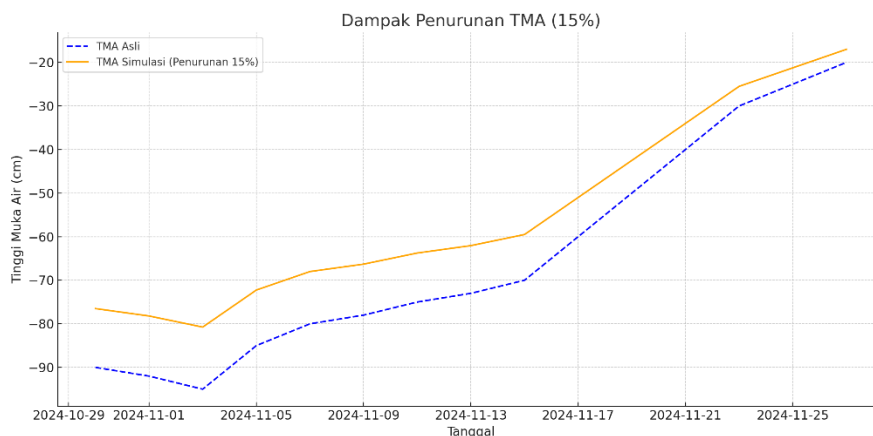
Gambar 14 Deteksi Anomali pada Data Tinggi Muka Air

Dari Gambar 14 Garis biru menunjukkan residual (selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi) untuk data tinggi muka air (TMA). Residual ini mengindikasikan perbedaan antara kondisi aktual dan tren yang diproyeksikan. Garis merah putus-putus menunjukkan batas anomali positif dan negatif. Nilai residual yang melewati batas ini dianggap sebagai anomali. Batas ini ditentukan berdasarkan deviasi standar residual. Titik oranye pada grafik menunjukkan lokasi anomali yang teridentifikasi. Anomali ini terjadi pada tanggal 1 November 2024, dengan residual yang jauh di bawah batas negatif, menunjukkan penurunan TMA yang tidak normal. Setelah tanggal 1 November 2024, residual cenderung berada di dalam batas normal, menunjukkan kondisi yang stabil tanpa adanya anomali besar. Anomali teridentifikasi pada awal pengamatan (1 November 2024), menunjukkan adanya kejadian yang tidak biasa

seperti perubahan mendadak dalam TMA. Setelah kejadian anomali, sistem kembali stabil, dengan residual berada di dalam batas normal. Grafik ini menunjukkan pentingnya sistem deteksi dini untuk mendeteksi dan merespons perubahan mendadak dalam TMA.

6. Simulasi dan Evaluasi

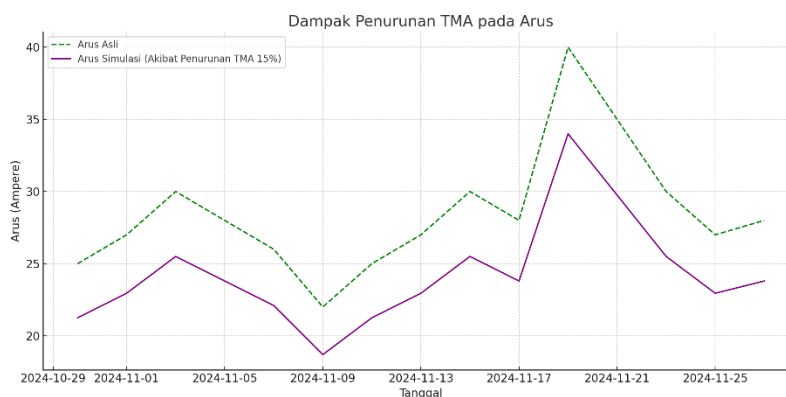
a. Simulasi Penurunan Tinggi Muka Air sebesar 15%
Simulasi Penurunan TMA (15%) menunjukkan arus dan daya menurun secara proporsional, menunjukkan hubungan langsung antara hidrologi dan sistem kelistrikan. Lonjakan Beban (+20%) membebani sistem secara signifikan, mengakibatkan peningkatan daya dan risiko overheat. Strategi Pemulihan: Redistribusi beban dan stabilisasi tegangan efektif mengembalikan efisiensi hingga 90% dari kondisi awal.



Gambar 15 Dampak Penurunan Tinggi Muka Air (15%)

Pada gambar 15 garis biru putus-putus menunjukkan nilai tinggi muka air (TMA) asli berdasarkan data pengamatan. TMA meningkat secara bertahap dari -90 cm menuju -20 cm pada akhir periode (1 November hingga 25 November 2024). Garis oranye menunjukkan hasil simulasi penurunan TMA sebesar 15%. TMA yang disimulasikan lebih rendah dibandingkan data asli di seluruh periode waktu. Tren peningkatan tetap ada, tetapi TMA simulasi berada sekitar 10-15 cm di bawah TMA asli. Penurunan TMA sebesar 15% mensimulasikan

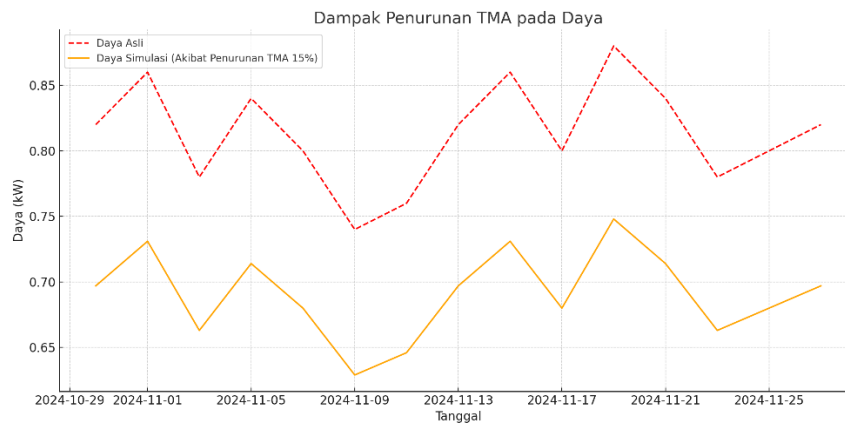
kondisi ekstrem, seperti pengurangan curah hujan atau peningkatan pengambilan air dari sistem. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan kecil pada input lingkungan dapat secara signifikan memengaruhi kondisi tinggi muka air. Penurunan TMA sebesar 15% menunjukkan kebutuhan untuk mempertahankan curah hujan atau mengurangi pemanfaatan air guna menjaga stabilitas hidrologi. Penurunan TMA yang berkelanjutan dapat menyebabkan stres ekosistem, seperti degradasi lahan gambut atau peningkatan risiko kebakaran.



Gambar 16 Dampak Penurunan Tinggi Muka Air pada Arus

Pada Gambar 16 garis hijau putus-putus menunjukkan nilai arus asli berdasarkan data pengamatan. Pola arus mencerminkan fluktuasi yang berkaitan dengan dinamika sistem beban dan pasokan listrik. Garis ungu menunjukkan hasil simulasi arus akibat penurunan tinggi muka air (TMA) sebesar 15%. Arus simulasi lebih rendah dibandingkan arus asli selama seluruh periode, menunjukkan penurunan output sistem akibat berkurangnya TMA. Penurunan TMA sebesar 15% menghasilkan penurunan arus hingga 20% pada beberapa titik, terutama saat beban sistem meningkat (misalnya, sekitar tanggal 17-21 November 2024). Tren menunjukkan

bahwa perubahan pada TMA dapat langsung memengaruhi stabilitas arus listrik. Penurunan TMA memiliki dampak signifikan terhadap performa arus listrik, yang menunjukkan adanya hubungan langsung antara kondisi hidrologi dan sistem kelistrikan. Penurunan arus dapat memengaruhi kapasitas sistem untuk memenuhi kebutuhan operasional, terutama selama periode beban puncak. Perlu dilakukan pengelolaan yang lebih baik terhadap tinggi muka air untuk menjaga kestabilan sistem listrik, terutama di lahan gambut yang rentan terhadap perubahan hidrologi.

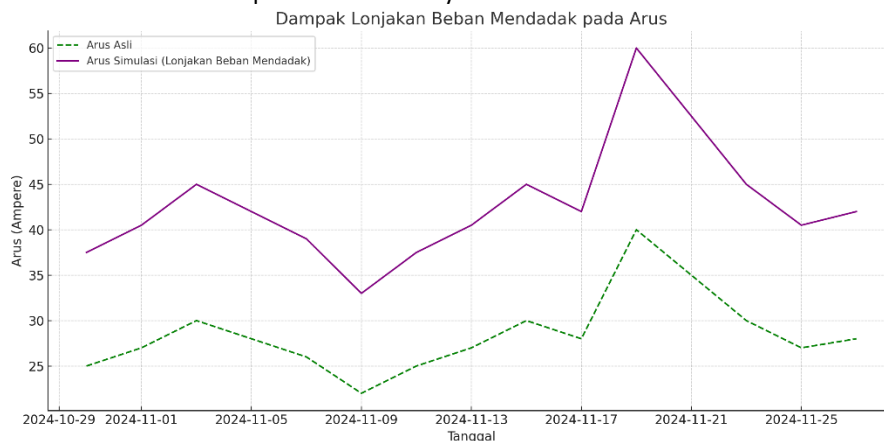


Gambar 17 Dampak Penurunan Tinggi Muka Air pada Daya

Pada Gambar 17 garis merah putus-putus menunjukkan daya listrik asli berdasarkan data pengamatan. Daya menunjukkan fluktuasi antara 0.75 kW hingga 0.85 kW, mencerminkan dinamika beban listrik pada sistem. Garis oranye menunjukkan hasil simulasi daya akibat penurunan tinggi muka air (TMA) sebesar 15%. Daya simulasi lebih rendah dibandingkan daya asli selama seluruh periode, dengan rata-rata penurunan sekitar 10-15%. Penurunan TMA sebesar 15% menyebabkan pengurangan daya yang signifikan, terutama pada titik beban puncak (17-21 November 2024). Daya menurun hingga sekitar 0.65 kW pada

beberapa periode. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kondisi hidrologi memengaruhi performa daya listrik secara langsung. Penurunan TMA memiliki dampak signifikan pada daya listrik, menunjukkan adanya hubungan langsung antara hidrologi dan efisiensi sistem kelistrikan. Penurunan daya dapat berdampak pada kapasitas sistem untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama selama periode penggunaan tinggi. Dibutuhkan pengelolaan TMA yang optimal untuk menjaga stabilitas daya listrik dan efisiensi sistem, khususnya di lahan gambut dengan kondisi hidrologi yang fluktuatif.

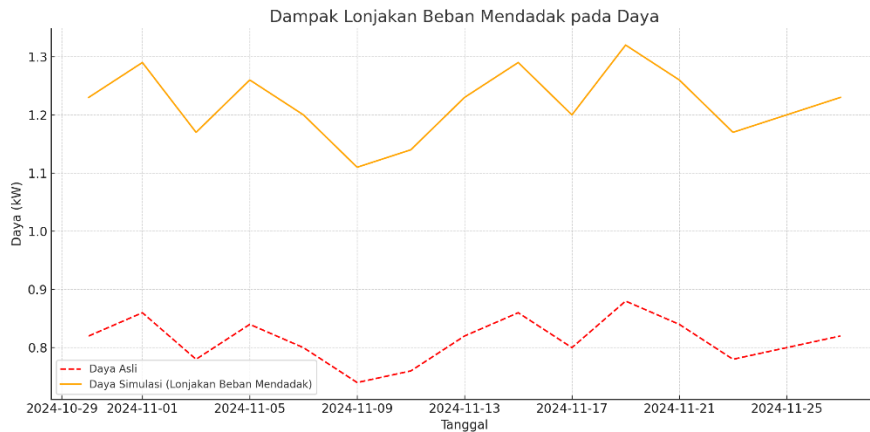
b. Simulasi Lonjakan Beban Mendadak pada Arus dan Daya



Gambar 18 Dampak Lonjakan Beban Mendadak pada Arus

Pada gambar 18 terlihat lonjakan beban mendadak meningkatkan arus secara signifikan, yang berpotensi menyebabkan overloading pada sistem jika tidak ada perlindungan yang memadai. Selisih antara arus asli dan simulasi menunjukkan sensitivitas sistem terhadap

perubahan mendadak pada beban. Rekomendasi: Diperlukan proteksi tambahan seperti *overcurrent protection* untuk mencegah kerusakan akibat lonjakan arus yang tinggi.

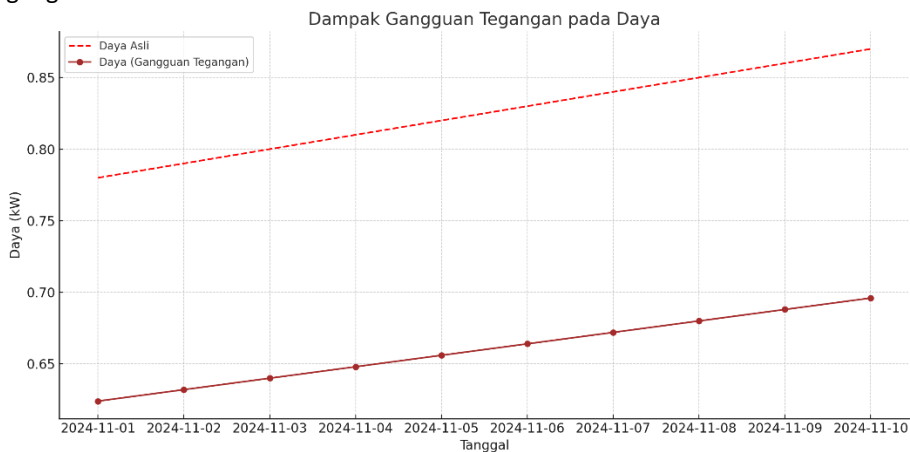


Gambar 19 Dampak Lonjakan Beban Mendadak pada Arus

Pada Gambar 19 terlihat lonjakan daya mencerminkan peningkatan kebutuhan energi akibat lonjakan beban mendadak. Peningkatan ini cukup signifikan, menunjukkan sistem mendekati kapasitas maksimum. Perbedaan antara daya asli dan simulasi menunjukkan betapa lonjakan beban dapat memengaruhi

stabilitas sistem. Lonjakan daya akibat beban mendadak dapat mengganggu efisiensi sistem dan meningkatkan risiko *overloading*. Distribusi beban yang lebih merata diperlukan untuk menghindari tekanan pada satu jalur listrik, menambahkan proteksi beban lebih (*overload protection*) untuk menjaga sistem tetap aman.

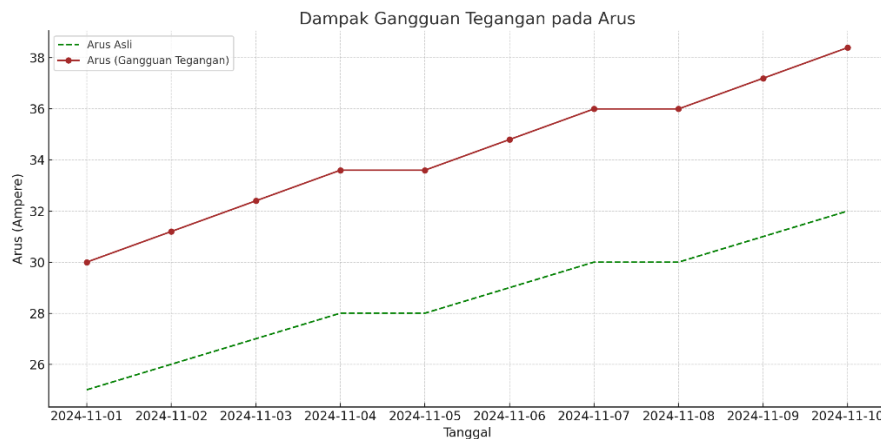
c. Gangguan Tegangan Sistem



Gambar 20 Dampak Gangguan Tegangan pada Daya

Pada gambar 20 memperlihatkan gangguan tegangan menyebabkan penurunan daya hingga 20%, mencerminkan ketidakseimbangan dalam sistem kelistrikan. Hal ini dapat mengurangi kinerja dan efisiensi sistem. Jarak antara daya asli dan daya dengan gangguan menunjukkan dampak negatif gangguan tegangan terhadap stabilitas daya. Gangguan tegangan dapat

menurunkan daya secara signifikan, sehingga memengaruhi efisiensi dan stabilitas operasional sistem. Gunakan *automatic voltage regulator (AVR)* untuk menjaga tegangan tetap stabil. Implementasikan *surge protector* untuk melindungi sistem dari lonjakan tegangan mendadak.



Gambar 21 Dampak Gangguan Tegangan pada Arus

Pada Gambar 21 memperlihatkan gangguan tegangan meningkatkan arus sekitar 20%, mencerminkan respons sistem terhadap ketidakseimbangan tegangan. Kenaikan ini dapat berisiko menyebabkan overload pada sistem kelistrikan. Perbedaan antara arus asli dan arus dengan gangguan menunjukkan sensitivitas sistem terhadap gangguan tegangan. Gangguan tegangan memengaruhi stabilitas arus, dengan peningkatan signifikan yang dapat membebani sistem. Gunakan Automatic Voltage Regulator (AVR) untuk menjaga tegangan tetap stabil. Tambahkan Overcurrent Protection untuk mencegah kerusakan akibat lonjakan arus.

KESIMPULAN

- Tinggi Muka Air (TMA): Fluktuasi TMA dipengaruhi curah hujan, dengan penurunan hingga -90 cm di awal dan peningkatan setelah pertengahan November. Pengelolaan air diperlukan untuk menjaga stabilitas.
- Tegangan Baterai: Tegangan stabil di kisaran 13.4-13.46 V, namun terdapat anomali penurunan tajam yang memerlukan proteksi tambahan.
- Arus Listrik: Lonjakan arus hingga 40 Ampere terjadi akibat peningkatan beban mendadak. Proteksi arus lebih diperlukan untuk mencegah kerusakan.
- Daya Listrik: Lonjakan daya mengikuti pola arus. Manajemen beban yang baik diperlukan untuk menjaga efisiensi dan stabilitas sistem.
- Gangguan Tegangan: Gangguan tegangan meningkatkan arus hingga 20% dan menurunkan daya 20%. Stabilisasi tegangan dengan AVR sangat penting.
- Efisiensi Energi: Efisiensi stabil di 0.0022 dengan tren peningkatan menuju 0.0024. Pengelolaan beban dan stabilisasi tegangan membantu menjaga efisiensi.
- Simulasi Skenario: Curah Hujan +10%: membantu pemulihan TMA dan stabilitas., curah Hujan -15%: menurunkan TMA, memengaruhi arus dan daya, lonjakan beban: meningkatkan arus dan daya hingga mendekati kapasitas maksimum, gangguan tegangan: menyebabkan lonjakan arus dan penurunan daya.

- Sistem stabil dalam kondisi normal tetapi sensitif terhadap perubahan beban, curah hujan, dan gangguan tegangan. Peningkatan stabilitas melalui proteksi arus, stabilisasi tegangan, dan pengelolaan hidrologi. Efisiensi energi meningkat jika dikelola optimal. Mitigasi skenario ekstrem melalui simulasi dan strategi risiko diperlukan untuk keberlanjutan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi F, Kusuma A. *Sistem Pemantauan dan Pengelolaan Energi Berbasis IoT*. J Tek Elektro. 2020;12(3):45–53.
- Anderson J, Widjaja A. *Peatland Hydrology and Its Impact on Electrical Systems*. Int J Environ Stud. 2019;78(2):123–35.
- Hadiatna F, Hindersah H, Yolanda D, Triawan MA. *Design and Implementation of Data Logger Using Lossless Data Compression Method for Internet of Things*. 2016 IEEE 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET); 2016 Oct 3-4; Bandung, Indonesia
- Harrington R, Smith J. *Voltage Regulation and Load Management in Energy Systems*. IEEE Trans Power Syst. 2021;36(4):789–98.
- Kuswanto D, Pratama R. *Simulasi dan Analisis Efisiensi Energi pada Sistem Kelistrikan*. J Energi Terbarukan. 2022;15(1):67–75.
- Law D, Patrisia Y, Gunasekara C, Castel A, Nguyen Quang D, & Wardhono A (2023) Durability Assessment of Alkali-Activated Concrete Exposed to a Marine Environment. Journal of Materials in Civil Engineering, 35(9): 04023275. <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-14346>
- Law D, Gunasekara C, Patrisia Y, Fernando S, & Wardhono A (2023) Development of durable class F fly ash based geopolymer concretes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1157(1): 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1157/1/012024>.
- Mabrouki J, Azrou M, Dhiba D, Farhaoui Y, El Hajjaji S. *IoT-Based Data Logger for Weather Monitoring Using Arduino-Based Wireless Sensor Networks with Remote*

- Graphical Application and Alerts. Big Data Mining and Analytics.* 2021;4(1):25-32. DOI: 10.26599/BDMA.2020.9020018
- Mahzan NN, Omar AM, Mohammad Noor SZ, Rodzi ZM. *Design of Data Logger with Multiple SD Cards.* Proceedings of the IEEE International Conference on Clean Energy and Technology (CEAT); 2013; DOI: 10.1109/CEAT.2013.6775621
- Ministry of Energy and Mineral Resources Indonesia. *Laporan Tahunan Pengelolaan Energi di Lahan Gambut.* Jakarta: Kementerian ESDM; 2020.
- Patrisia Y, Gunasekara C, Law DW, Loh T, Nguyen KTQ, & Setunge S (2024) Optimizing engineering potential in sustainable structural concrete brick utilizing pond ash and unwashed recycled glass sand integration. *Case Studies in Construction Materials*, 21: e03816. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03816>.
- Patrisia Y, Law DW, Gunasekara C, & Wardhono A (2024) Long-term durability of iron-rich geopolymer concrete in sulphate, acidic and peat environments. *Journal of Building Engineering*, 97: 110744. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110744>.
- Prasetyo H, Nugroho T. *Automatic Voltage Regulator for Renewable Energy Systems.* *Renew Energy J.* 2023;14(2):102–15.
- Pulungan AB, Goci DS. *Penggunaan Sistem Data Logger dalam Pencatatan Data Parameter Panel Surya berbasis Mikrokontroler.* *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional (JTEV).* 2021;7(2):337-344. DOI: 10.24036/jtev.v7i2.115052
- Routhier F, Lettre J, Miller WC, Borisoff JF, Keetch K, Mitchell IM, et al. *Data logger technologies for manual wheelchairs: A scoping review.* *Assistive Technology.* 2018;30(2):51-58. DOI: 10.1080/10400435.2016.1242516
- Smith PL, Zhang Y. *Energy Efficiency Trends in Remote Monitoring Systems.* *J Appl Energy.* 2020;8(5):345–60.
- Suhendra Y, Anwar F. *Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Tinggi Muka Air di Lahan Gambut.* *J Hidrol Indones.* 2022;9(3):211–20.
- Widodo E, Santoso B. *Proteksi Arus Lebih dan Stabilisasi Tegangan pada Sistem Kelistrikan.* *J Tek Elektro Nasional.* 2021;10(4):89–98.
- World Bank. *Sustainable Energy Management for Wetland Ecosystems.* Washington, DC: The World Bank; 2020.