
Info Publikasi:

Artikel Hasil Penelitian

doi: <https://doi.org/10.56190/jree.v4i1.82>

Dikirim : 21 April 2026

Diterima : 21 April 2026

Dipublikasikan : 29 April 2026

EVALUASI FAKTOR KERUSAKAN MODUL SURYA DAN DAMPAKNYA TERHADAP KINERJA SISTEM PLTS 2 MWP SUMALATA GORONTALO**Rehan Mukmin¹⁾, Yunita Djamilu²⁾, Arifin Matoka³⁾, Aswin⁴⁾**^{1,2,3,4} Program Studi Teknologi Energi Terbarukan, Sekolah Vokasi UNGEmail: reyhankmin13@gmail.com¹⁾

Indonesia

ABSTRACT

The performance of a solar power plant (SPP) is significantly influenced by the condition of the solar modules, which are the primary components in the energy conversion process. Damage to the modules can lead to a decrease in efficiency and disrupt the stability of the power generation system. This study aims to identify the types and characteristics of solar module damage, analyze the dominant contributing factors, and evaluate their impact on the performance of the 2 MWp Sumalata SPP system in North Gorontalo. The method used is quantitative descriptive analysis with a direct field inspection approach, supported by operational data in the form of the number of damaged modules and inverter power output. The research findings indicate that PV module damage is primarily caused by burnt modules and a combination of cracked and burnt modules, as well as the occurrence of hotspots due to environmental and technical factors. Based on the inspection summary for the January–December 2025 period, a total of 507 damaged modules were recorded, comprising 238 modules on Transformer 1 and 269 modules on Transformer 2; indications of performance degradation were also found in the form of low open-circuit voltage (Voc) values in some modules. The impact of the damage is evident in the reduction of inverter output power and the potential decrease in daily energy production. On December 2, 2025, with an irradiance of 6.80 kWh/m², inverter number 41, with 22 damaged modules, produced 17.942 kW of power, which was lower than inverters 35–40, which were in the range of 18.4–20.74 kW. These results indicate that solar panel damage directly impacts the overall performance of the PV system, particularly in terms of generation efficiency and power output stability.

Keywords: Solar power plant; solar modules; module damage; hotspots; system performance**ABSTRAK**

Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat dipengaruhi oleh kondisi modul surya sebagai komponen utama dalam proses konversi energi. Kerusakan modul dapat mengurangi efisiensi dan stabilitas sistem pembangkitan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan jenis kerusakan modul surya, memeriksa faktor penyebab utama, dan menilai pengaruh kerusakan tersebut terhadap kinerja sistem PLTS 2 MWp Sumalata Gorontalo. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan inspeksi langsung di lapangan, didukung oleh data operasional berupa jumlah modul rusak dan keluaran daya inverter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan modul surya terutama disebabkan oleh modul yang hangus, kombinasi modul yang pecah dan hangus, dan faktor teknis dan lingkungan yang menyebabkan hotspot. Berdasarkan rekap pemeriksaan periode Januari–Desember 2025, total kerusakan tercatat sebanyak 507 modul, terdiri dari 238 modul pada Trafo 1 dan 269 modul pada Trafo 2, serta ditemukan indikasi

penurunan performa berupa nilai *open circuit voltage* (VOC) yang rendah pada sebagian modul. Dampak kerusakan terlihat pada penurunan daya keluaran inverter dan potensi berkurangnya produksi energi harian. Pada data tanggal 2 Desember 2025 dengan iradiasi sebesar 6,80 kWh/m², inverter nomor 41 dengan 22 modul rusak menghasilkan daya 17,942 kW, lebih rendah dibanding inverter 35-40 yang berada pada kisaran 18,4-20,74 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa kerusakan panel surya secara langsung berdampak terhadap penurunan kinerja sistem PLTS secara keseluruhan, khususnya pada efisiensi pembangkitan dan stabilitas keluaran daya.

Kata kunci: PLTS; modul surya; kerusakan modul surya; hotspot; kinerja sistem

1. PENDAHULUAN

Krisis energi menjadi salah satu tantangan utama dalam sistem ketenagalistrikan di Indonesia yang hingga saat ini masih didominasi oleh energi fosil (Muhammad Akbar *et al.*, 2022). Ketergantungan terhadap sumber energi seperti batubara menyebabkan keberlanjutan energi nasional menjadi rentan terhadap keterbatasan sumber daya serta dampak lingkungan (Wijayanto, 2025). Berdasarkan laporan Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, kontribusi energi fosil masih melebihi 80% dari total bauran energi nasional (ESDM, 2023). Kondisi ini menegaskan pentingnya percepatan pemanfaatan energi terbarukan sebagai solusi yang lebih berkelanjutan (Wulyojati S *et al.*, 2023).

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia (Ferdyson & Windarta, 2023). Letak geografis Indonesia di wilayah khatulistiwa memungkinkan penerimaan radiasi matahari sepanjang tahun dengan intensitas rata-rata sekitar 4–5 kWh/m² per hari (Sapruddin *et al.*, 2025). Potensi ini menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai alternatif strategis dalam mendukung transisi energi nasional serta pencapaian target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025.

Penelitian (Rifaldi *et al.*, 2023) menerangkan bahwa sistem PLTS terdiri atas beberapa komponen utama yang bekerja secara terintegrasi, yaitu panel surya, inverter, dan transformator; di antara komponen tersebut, panel surya menjadi salah satu bagian yang paling vital karena berperan langsung dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang menentukan besarnya daya yang dihasilkan oleh sistem (Nugraha *et al.*, 2025). Provinsi Gorontalo merupakan salah satu wilayah dengan potensi pengembangan energi surya yang tinggi, dengan intensitas radiasi matahari rata-rata mencapai 4,5 kWh/m² per hari (Naryanto *et al.*, 2025). Kondisi tersebut mendukung pengoperasian sistem PLTS skala besar, salah satunya PLTS 2 MWp Sumalata yang berperan dalam penyediaan energi listrik berbasis energi bersih di Kabupaten Gorontalo Utara.

Keandalan operasional sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan sistem pemeliharaan yang diterapkan. Faktor eksternal seperti suhu, irradiansi, sudut kemiringan modul, serta kondisi permukaan modul berperan langsung terhadap produksi daya yang dihasilkan (Rahmanta *et al.*, 2023). Selain faktor lingkungan, aspek teknis juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja modul surya. Kualitas sambungan antarsel, proses fabrikasi, instalasi sistem, serta proteksi listrik menentukan stabilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Kesalahan dalam proses instalasi maupun fabrikasi dapat menyebabkan kehilangan daya hingga 12% dari kapasitas nominal modul (Lukmato *et al.*, 2022).

Lebih lanjut, degradasi material seperti lapisan *encapsulant* (EVA) serta ketidakseimbangan arus antar-string dapat meningkatkan resistansi internal modul dan menurunkan efisiensi secara signifikan. Fenomena *degradation fault* juga dilaporkan dapat menyebabkan penurunan arus keluaran hingga 10–15% dalam periode operasi tertentu (Suhariningsih *et al.*, 2024). Kondisi ini menunjukkan pentingnya penerapan standar teknis seperti IEC 61215 dan IEC 61730 dalam proses instalasi dan pemeliharaan untuk menjamin keandalan serta keselamatan sistem PLTS.

Di sisi lain, kondisi lingkungan tropis memberikan tantangan tersendiri terhadap performa modul surya. Suhu tinggi, kelembapan, serta paparan debu (*soiling*) menjadi faktor dominan yang mempercepat degradasi modul. Peningkatan suhu permukaan modul sebesar 10 °C dapat menurunkan efisiensi konversi daya hingga 4–5% akibat peningkatan resistansi internal (Ardianto *et al.*, 2024). Selain itu, fluktuasi intensitas radiasi matahari akibat kondisi atmosfer dapat menurunkan performa listrik modul serta menimbulkan tekanan termal pada material semikonduktor (Rozak *et al.*, 2023).

Akumulasi debu pada permukaan modul juga terbukti mampu menurunkan output energi hingga 8% dalam periode tertentu jika tidak dilakukan pembersihan (Kurniadi & Saragih, 2025).

Kerusakan pada modul surya, baik akibat faktor teknis maupun lingkungan, berdampak langsung terhadap kinerja sistem PLTS secara keseluruhan. Penurunan efisiensi modul dapat menyebabkan ketidakseimbangan arus antar-string serta menurunkan *performance ratio* sistem. Peningkatan temperatur modul hingga di atas 60 °C dilaporkan dapat menurunkan daya keluaran hingga 15% dari kondisi normal (Harie Satiyadi *et al.*, 2024). Selain itu, fenomena hotspot merupakan salah satu bentuk kerusakan lokal yang sering terjadi dan berpotensi menyebabkan penurunan daya secara signifikan hingga kerusakan permanen pada sel surya (Viranika & Nanra, 2024).

Berbagai penelitian telah membahas pengaruh faktor teknis dan lingkungan terhadap degradasi modul surya, kajian yang secara spesifik mengaitkan jenis kerusakan modul dengan dampaknya terhadap kinerja inverter pada sistem PLTS skala besar di wilayah tropis masih terbatas. Kerusakan pada panel surya pada dasarnya dapat memengaruhi performa sistem PLTS secara keseluruhan, namun dampak operasional yang paling awal dan mudah teridentifikasi umumnya terjadi pada inverter, mengingat energi listrik keluaran modul surya terlebih dahulu disalurkan ke inverter untuk dikonversi dari arus searah (*DC*) menjadi arus bolak-balik (*AC*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan karakteristik kerusakan modul surya, menganalisis faktor dominan penyebab kerusakan, serta mengevaluasi dampaknya terhadap kinerja pembangkitan pada sistem PLTS 2 MWp Sumalata.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan kondisi kerusakan modul surya serta menganalisis dampaknya terhadap kinerja sistem PLTS berdasarkan data aktual. Pendekatan ini dilakukan melalui inspeksi langsung di lapangan untuk mengidentifikasi jenis dan karakteristik kerusakan modul, serta didukung oleh data operasional sistem seperti jumlah modul yang mengalami kerusakan dan keluaran daya inverter. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara sistematis untuk mengevaluasi hubungan antara tingkat kerusakan modul dengan penurunan kinerja pembangkit.

2.1. Lokasi & Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada salah satu pembangkit energi terbarukan di Provinsi Gorontalo, yaitu PLTS 2 MWp Sumalata yang berlokasi di Kecamatan Sumalata Timur, Kabupaten Gorontalo Utara. PLTS Sumalata 2 MWp tersebut dikelola oleh PT Brantas Adya Surya Energi (BASE), yang merupakan anak perusahaan dari PT Brantas Energi dan bagian dari PT Brantas Abipraya (Persero). Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik sistem PLTS skala besar yang representatif untuk analisis kinerja modul surya di wilayah tropis. Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Desember 2025 dengan fokus pada pengumpulan data kondisi modul dan performa sistem pembangkitan.



Gambar 1. Peta lokasi plts 2 mwp sumalata gorontalo

PLTS ini tersambung langsung (*On Grid*) dengan jaringan 20 kV pada sistem distribusi PLN area Gorontalo. Sistem PLTS terdiri dari total keseluruhan panel surya yang terpasang yaitu 8568 panel dan memiliki 68 buah inverter serta 2 transformator, 1 trafo melayani 34 inverter dan 1 inverter melayani 126 panel surya. Jenis panel yang digunakan *monocrystalin* berkapasitas 240 WP dan Kapasitas Inverter adalah 30 KW bermerek *SUNGRAW*.

2.2. Alat & bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa instrumen yang mendukung proses inspeksi dan identifikasi kondisi modul surya di lapangan. Multimeter digital digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan dan arus pada modul maupun rangkaian sistem guna mengetahui kondisi kelistrikan serta mendeteksi potensi gangguan. *Thermal camera* dimanfaatkan untuk mengamati distribusi suhu pada permukaan modul sehingga dapat mengidentifikasi adanya hotspot atau ketidakseragaman panas yang menjadi indikasi kerusakan. Selain itu, kamera digunakan untuk mendokumentasikan kondisi fisik modul dan temuan di lapangan sebagai data pendukung analisis. Alat tulis kantor (ATK) digunakan untuk mencatat hasil pengamatan selama proses inspeksi berlangsung. Penggunaan alat-alat tersebut memungkinkan pengumpulan data dilakukan secara sistematis dan akurat.

2.3. Prosedur kerja

Prosedur penelitian diawali dengan penerapan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) sebagai ketentuan wajib selama kegiatan inspeksi di lingkungan industri. Seluruh proses identifikasi dilakukan dengan mematuhi standar operasional perusahaan yang berlaku, termasuk penggunaan alat pelindung diri (APD) serta memastikan kondisi area kerja aman sebelum pelaksanaan pemeriksaan dan pengukuran. Objek penelitian adalah sistem PLTS 2 MWp Sumalata yang terdiri atas 8.568 modul surya berkapasitas 240 Wp, 68-unit inverter berkapasitas 30 kW, serta 2 unit transformator, di mana masing-masing transformator melayani 34 inverter dan 4.284 modul surya.

Tahapan inspeksi dimulai dari area Trafo 1 kemudian dilanjutkan ke area Trafo 2. Pemeriksaan dilakukan secara sistematis per baris susunan panel agar seluruh modul dapat teridentifikasi dengan baik. Tahap awal berupa inspeksi visual modul surya untuk mengetahui adanya kerusakan fisik seperti kaca pecah, permukaan hangus, retak, maupun perubahan warna sel. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan keberadaan hotspot menggunakan *thermal camera* untuk mendeteksi distribusi suhu yang tidak merata atau peningkatan suhu lokal pada permukaan modul.





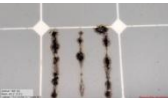

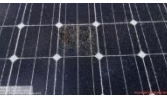
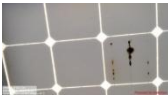

Tahap berikutnya adalah pengukuran parameter listrik menggunakan multimeter digital terhadap modul yang mengalami kerusakan berat atau terindikasi mengalami penurunan performa. Pengukuran dilakukan pada *Open circuit voltage (VOC)* dan dibandingkan dengan spesifikasi nameplate sebesar 38 Volt sebagai acuan kondisi normal modul. Modul dinyatakan rusak apabila ditemukan kerusakan fisik berupa pecah atau hangus, terdeteksi hotspot, maupun nilai VOC yang menurun.

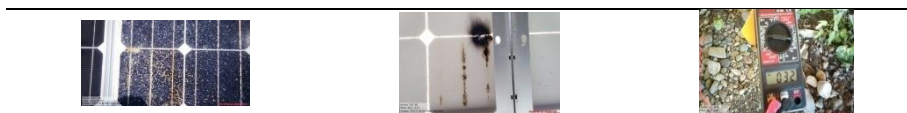
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis & Karakteristik Kerusakan PV Modul

.Adapun temuan hasil inspeksi lapangan pengecekan pv modul dapat terlihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Dokumentasi kerusakan pv modul

Dokumentasi Kerusakan		
Atas	Bawah	VOC
		
		
		



Berdasarkan hasil inspeksi di lapangan, jenis kerusakan PV modul yang ditemukan di PLTS 2 MWp Sumalata terdiri dari dua bentuk utama, yaitu modul hangus dan modul pecah. Kerusakan tersebut terjadi pada area modul yang mengalami hotspot, yang ditandai dengan distribusi panas yang tidak merata pada permukaan modul. Lokasi/titik kerusakan bervariasi, ada yang berada di sudut kanan bawah dan ada pula yang berada di bagian tengah modul, tergantung pada titik hotspot yang terbentuk. Modul hangus ditandai dengan perubahan warna atau bekas terbakar pada permukaan modul, sedangkan modul pecah terlihat pada lapisan kaca pelindung akibat tekanan panas berlebih.

Tabel 2. Daftar PV modul rusak januari-desember 2025

Trafo 1	Jenis Kerusakan	Jumlah PV
	hangus	130
	pecah dan hangus	108
Total trafo 1		238
Trafo 2	Jenis Kerusakan	Jumlah PV
	hangus	143
	pecah dan hangus	126
Total trafo 2		269
Total hangus trafo 1&2		273
Total pecah & hangus Trafo 1&2		234
Total keseluruhan		507

Berdasarkan riwayat pemeriksaan rutin setiap bulan oleh bidang maintenance sejak Januari hingga Desember 2025, tercatat total kerusakan modul PV sebanyak 507 unit, yang terdiri atas 238 modul pada Trafo 1 dan 269 modul pada Trafo 2, dengan jenis kerusakan dominan berupa modul hangus serta modul pecah dan hangus. Artinya, dari total 8.568 modul surya yang terpasang pada sistem PLTS 2 MWp Sumalata, sebesar 507 modul atau sekitar 5,92% mengalami kerusakan selama periode pengamatan. Pada sisi Trafo 1, dari total 4.284 modul yang terpasang, sebanyak 238 modul atau sekitar 5,56% tercatat mengalami kerusakan. Sementara itu, pada sisi Trafo 2, dari total 4.284 modul yang terpasang, sebanyak 269 modul atau sekitar 6,28% mengalami kerusakan. Data tersebut menunjukkan bahwa tingkat kerusakan modul pada Trafo 2 relatif lebih tinggi dibandingkan Trafo 1.

3.2. Faktor Dominan Penyebab Kerusakan PV Modul

Adapun temuan di lapangan menggunakan thermal camera dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Fenomena hotspot pada PV modul menggunakan thermal camera.

Berdasarkan temuan di lapangan dengan menggunakan *Thermal Camera* yang menjadi faktor paling dominan kerusakan PV modul adalah faktor lingkungan, yaitu yang ditemukan ialah fenomena Hotspot. Hotspot dapat terjadi akibat penumpukan debu atau kotoran burung pada permukaan PV modul yang menyebabkan shading sebagian sel. Kondisi ini menghambat penerimaan cahaya matahari secara merata, sehingga sel yang tertutup tidak bekerja secara baik. Akibatnya pada titik tertentu PV modul menjadi lebih panas dari titik lain PV modul jika fenomena ini dalam jangka waktu lama akan menyebabkan kerusakan pada PV modul.

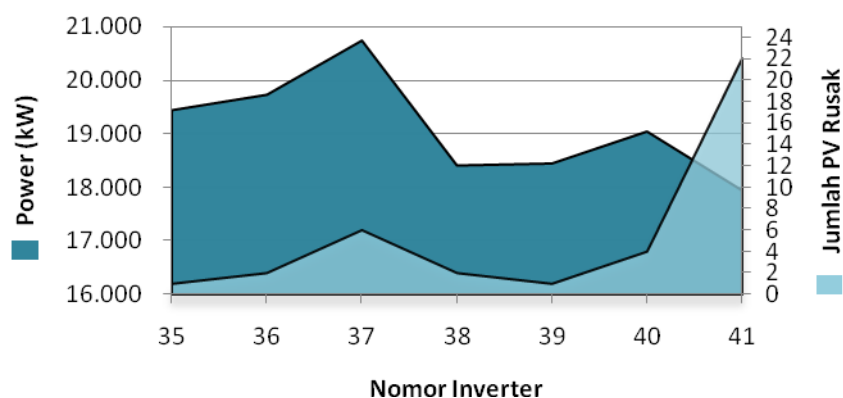
Selain itu, berdasarkan temuan di lapangan yang menjadi faktor utama kerusakan PV modul adalah faktor teknis. Faktor teknis yang berkaitan dengan kondisi instalasi atau pemasangan, diantaranya sambungan antar modul surya yang di hubungkan secara seri menggunakan konektor mc4, didapatkan konektor tersebut tidak terpasang dengan baik sehingga menimbulkan ketidakseimbangan arus antar PV modul. Adapun temuan lain terdapat pada fisik PV modul bawaan pabrik yakni solderan sehingga dengan seiring waktu operasi PLTS dalam jangka waktu yang cukup lama akan berpengaruh pada ketidakseimbangan arus antar sel surya.

3.3. Dampak Kerusakan PV Modul Kinerja Sistem

Kerusakan atau penurunan performa pada modul surya berdampak langsung terhadap kinerja sistem PLTS secara keseluruhan. Modul dengan performa rendah dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada string, menurunkan efisiensi kerja inverter, serta mengurangi total energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit. Tabel 3 adalah data dari PLTS Sumalata pada tanggal 02-12-2025 dengan iradiasi 6,80 kWh/m² tercatat sebagai yang teringgi di bulan Desember 2025.

Tabel 3. Perbandingan jumlah pv modul rusak terhadap daya produksi inverter

No Inverter	Jumlah PV Rusak	Power(kW)	Temp. (°C)
35	1	19.439	48
36	2	19.727	47
37	6	20.740	48
38	2	18.407	48
39	1	18.445	47
40	4	19.041	46
41	22	17.942	46



Gambar 3. Diagram perbandingan jumlah pv modul rusak terhadap daya produksi inverter

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 3 diagram dapat terlihat bahwa PV modul banyak rusak ada pada inverter no.41 sehingga mengakibatkan daya produksi dari inverter no.41 menurun (17,942 kW)

jika dibandingkan dari inverter no.35-40 yang lebih tinggi daya produksinya ($\approx 18,4-20,74$ kW), yang artinya berkurangnya daya produksi inverter no.41 tersebut diakibatkan karena banyaknya PV modul rusak.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, kerusakan modul surya terbukti memiliki hubungan langsung terhadap penurunan kinerja sistem PLTS. Kerusakan dominan yang ditemukan adalah hotspot yang diakibatkan oleh penumpukan debu dan kotoran burung pada permukaan modul sehingga menimbulkan shading parsial dan peningkatan suhu lokal pada sel surya. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu tinggi dan kelembapan, maupun faktor teknis seperti modul pecah, hangus, sambungan kabel yang tidak optimal, serta penurunan nilai tegangan VOC, turut menurunkan kemampuan modul dalam menghasilkan daya listrik. Ketika daya keluaran modul menurun, maka energi listrik arus searah (DC) yang disalurkan ke inverter juga menjadi lebih kecil. Kondisi ini menyebabkan inverter tidak bekerja pada kapasitas optimal sehingga daya keluaran inverter ikut mengalami penurunan. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat kerusakan modul surya, maka semakin besar pula potensi penurunan performa sistem PLTS secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan magang dan analisis yang telah dilakukan di PLTS 2 MWp Sumalata, dapat disimpulkan bahwa jenis dan karakteristik kerusakan modul PV yang ditemukan di lapangan didominasi oleh modul hangus serta modul pecah dan hangus. Berdasarkan rekap pemeriksaan rutin Januari-Desember 2025, total kerusakan tercatat 507 modul (Trafo 1: 238 modul; Trafo 2: 269 modul). Pada kegiatan inspeksi juga ditemukan indikasi penurunan performa berupa nilai VOC rendah pada sebagian modul. Faktor dominan penyebab kerusakan modul PV di PLTS Sumalata adalah fenomena hotspot yang dipicu oleh *soiling*/kotoran (debu dan terutama kotoran burung) sehingga menimbulkan shading sebagian sel dan menyebabkan pemanasan lokal. Selain itu terdapat faktor teknis yang ikut berkontribusi, seperti konektor/kabel yang tidak optimal dan indikasi cacat sambungan/solder bawaan pabrik yang dapat memicu ketidakseimbangan arus dan mempercepat degradasi. Dampak kerusakan modul PV terhadap kinerja pembangkitan terlihat pada penurunan daya keluaran inverter dan potensi berkurangnya produksi energi harian. Pada contoh data tanggal 02-12-2025 (iradiasi $6,80$ kWh/m²), inverter no.41 memiliki jumlah PV rusak paling banyak (22 modul) dan tercatat daya lebih rendah ($17,942$ kW) dibanding inverter 35-40 yang dayanya lebih tinggi ($\approx 18,4-20,74$ kW), sehingga kerusakan modul berasosiasi dengan turunnya performa inverter.

Adapun saran untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem PLTS 2 MWp Sumalata Gorontalo, yaitu kegiatan operasi dan pemeliharaan (O&M) dilakukan secara lebih ketat dan tepat waktu sesuai jadwal yang telah ditetapkan. Terutama pada pencucian PV modul harus dilakukan dengan benar agar bersih tidak terdapat sisa kotoran yang dapat menimbulkan hotspot. Selain itu, diperlukan perhatian khusus terhadap kualitas sambungan listrik, terutama pada konektor MC4 dan jalur kabel DC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada pihak pengelola PLTS 2 MWp Sumalata yang telah memberikan izin serta akses data yang diperlukan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing dan semua pihak yang telah memberikan arahan, masukan, dan dukungan selama proses penyusunan penelitian ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, F., Apriani, Y., Pratama, M. A., Ariyanto, E. (2024). Pemodelan Efisiensi Energi Panel Surya Berdasarkan Variasi Suhu Dengan Algoritma Random Forest Modeling Solar Panel Energy Efficiency Based on Temperature Variations Using the Random Forest Algorithm. *JURNAL AMPERE*, 9(2). <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.15714>
- Ferdyson, F., & Windarta, J. (2023). Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(1), 1–

6. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.15714>
- Harie Satiyadi, J., Muhamad Hudan, R., & Asrori, A. (2024). Analisis Pengaruh Suhu Panel Surya Terhadap Output Panel Performance. *Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 42–51. <https://doi.org/10.47134/jme.v1i1.2189>
- Kurniadi, S., & Saragih, S. A. (2025). Pengaruh penambahan solar tracking system single axis dengan kombinasi reflektor dan fresnel lens concentrator terhadap daya keluaran yang dihasilkan solar cell. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 4(2), 100–112. <https://rumah-jurnal.unsultra.com/SJME/article/view/74>
- Lukmato, Y. I., Muhammad, N., Mohamad, N., & Diah, S. (2022). Analisis Losses Daya Sel Surya dalam Fabrikasi Modul Surya Monocrystalline 330 Wp PT. Santinilestari Energi Indonesia. *Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur Energi Dan Otomotif*, 1(1), 37–44. <https://doi.org/10.57203/jinggo.v1i1.2022.37-44>
- Muhammad Akbar, T. F., Wahyuni, S., Wardani, E., & Munawara, M. (2022). Memperkokoh Kesiapan Indonesia Dalam Menghadapi Era Disrupsi Sektor Energi. *Jurnal Ilmiah Akuntansi, Manajemen Dan Ekonomi Islam (JAM-EKIS)*, 5(1), 26–35. <https://doi.org/10.36085/jam-ekis.v5i1.2827>
- Naryanto, R. F., Delimayanti, M. K., & Baride, L. (2025). Studi karakteristik energi surya untuk pemanenan energi: studi awal di Kota Kendari. *PISTON: Jurnal Teknologi*, 10(1), 8–18. <https://doi.org/10.55679/pistonjt.v10i1.85>
- Nugraha, C. S., Prayogo, S. S., Kristyawati, D., Elektro, D. T., & Gunadarma, U. (2025). Rancang Bangun Dan Analisa Sistem Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLts) Sederhana Pada Sistem 24V dan 48V. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 6(April 2025). <https://doi.org/10.14710/jebt.2025.26588>
- Rahmanta, M. A., Syamsuddin, A., Tanbar, F., & Damanik, N. (2023). Analisis Perkembangan Teknologi Modul Photovoltaic (PV) Untuk Meningkatkan Penetrasi Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Indonesia. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 7(1), 22–33. <https://doi.org/10.30588/jo.v7i1.1509>
- Rifaldi, M., Alham, N. R., Izzah, N., Ihsan, M. N., & Sugianto, M. (2023). Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Rekayasa Tropis, Teknologi, dan Inovasi*, 1(1), 16–24. <https://pdfs.semanticscholar.org/f.pdf>
- Rozak, O. A., Marfin, M., Irvan, I., & Setiawan, J. (2023). Analisis Pengaruh Kondisi Cuaca pada Efisiensi Sel Surya Monocrystalline, Polycrystalline dan Thin Film. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 5(2), 186. <https://doi.org/10.32493/epic.v5i2.28401>
- Suhariningsih, S., Sunarno, E., Salsabila, M. N., Anggriawan, D. O., & Prasetyono, E. K. A. (2024). Identifikasi Gangguan Degradation Fault pada Photovoltaic Array berbasis Artificial Neural Network. *ELKOMIKA Jurnal Teknik Energi Elektrik Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika*, 12(1), 36. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v12i1.36>
- Sapruddin, A. F., Anwar, N. R. H., & Klistafani, Y. (2025). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Kebutuhan Rumah Kebun di Kabupaten Selayar. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 23(2), 164–170. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v23i2.5730>
- Viranika, S. F., & Nanra, S. (2024). Analisis Pengaruh Iradiasi Matahari dan Suhu Permukaan terhadap Kinerja Panel Surya pada String Inverter 9 PLTS 1 MWp Batam. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(8). <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i8>
- Wijayanto, A. (2025). Policy Paper: Pengendalian Produksi Batubara di Indonesia. *Jurnal Sosial Teknologi*, 5(5), 1636–1646. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v5i5.32104>