



SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER
ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE
IT PLN**

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD SAHRUL MUBIN
NIM : 201911199

**PROGRAM STUDI SI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS KETENAGA LISTRIKAN DAN ENERGI
TERBARUKAN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2025**

**ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER
ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE**

IT PLN

SKRIPSI



Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD SAHRUL MUBIN
NIM : 201911199

**PROGRAM STUDI SI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS KETENAGA LISTRIKAN DAN ENERGI
TERBARUKAN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Muhammad Sahrul Mubin
NIM : 201911199
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas/Sekolah : Institut Teknologi PLN
: Analisa Kinerja Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga
Judul Tugas Akhir : Surya Dalam Sistem Inverter *On Grid* 5 Kwp Di
laboratorium *Renewable IT PLN*

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan 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 dalam daftar pustakan. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia bertanggung jawab segala risiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 03 Februari 2026

Yang menyatakan.



(Muhammad Sahrul Mubin)

201911199

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Tugas Akhir : Analisa Kinerja Monitoring Pembangkit Listrik
Tenaga Surya Dalam Sistem Inverter *On Grid* 5 Kwp
Di laboratorium *Renewable IT PLN*

Nama Mahasiswa : Muhammad Sahrul Mubin

NIM : 201911199

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas/Sekolah : Institut Teknologi PLN

Nama dosen Pembimbing : Heri Suyanto, S.T., M.T

Disetujui oleh

Dosen Pembimbing 1
Heri Suyanto, S.T., M.T
NIDN : 0320018601



Diketahui oleh,

Kepala Program Studi
Erlina, S.T., M.T., IPM
NIDN : 0329117101



Dekan/Direktur
Rummi Sirait, S.T., M.T
NIDN : 0329057301



Tanggal Ujian : 12 Februari 2026

Tanggal Lulus :

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Judul Tugas Akhir : Analisa Kinerja Monitoring Pembangkit Listrik
Tenaga Surya Dalam Sistem Inverter *On Grid* 5 Kwp
Di laboratorium *Renewable IT PLN*

Nama Mahasiswa : Muhammad Sahrul Mubin

NIM : 201911199

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas/Sekolah : Institut Teknologi PLN

Nama Dosen Pembimbing : Heri Suyanto, S.T., M.T

Disetujui oleh

Ketua Penguji

Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T.
NIDN : 0323067301



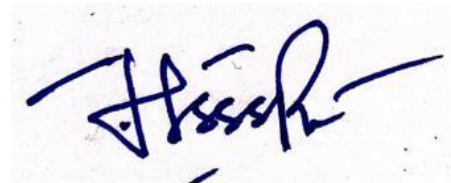
Anggota Penguji I

Sigit Sukmajati, S.T., M.T.
NIDN : 0326028503



Anggota Penguji II/Pembimbing

Heri Suyanto, S.T., M.T
NIDN : 0320018601



Diketahui oleh,

Kepala Program Studi

Erlina, S.T., M.T.,IPM
NIDN : 0329117101



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini saya menyampaikan pengharapan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

Heri Suyanto, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing

Yang telah memberikan petunjuk dan saran-saran, serta bimbingannya sehingga Tugas Akhir/Skripsi ini dapat terselesaikan sebagaimana mestinya.

Terima kasih yang sama, saya sampaikan kepada :

1. Dengan penuh rasa syukur dan hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta, Ayah saya Karnadi dan Ibu saya Nurradi, atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, perhatian, serta dukungan yang tiada henti diberikan kepada penulis. Berkat kesabaran, nasihat, dan semangat yang selalu Ayah dan Ibu tanamkan, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga segala kebaikan dan ketulusan yang telah diberikan dibalas oleh Tuhan Yang Maha Esa dengan limpahan rahmat dan keberkaha.
2. Seluruh asisten dan staf Laboratorium *Renewable IT PLN*.
3. Teman teman kosan saya yang selalu membantu dan memberi semangat khusus nya Nur Salim.

Yang telah mengizinkan melakukan percobaan di Laboratorium dalam proses pengumpulan data, pengujian dan lain-lain.

Jakarta, 09 Februari 2026



(Muhammad Sahrul Mubin)

201911199

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Sahrul Mubin
NIM : 201911199
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas/Sekolah : Institut Teknologi PLN
: Analisa Kinerja Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga
Judul Tugas Akhir : Surya Dalam Sistem Inverter *On Grid* 5 Kwp Di
laboratorium *Renewable IT PLN*

Dengan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi PLN Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir/Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada Tanggal : 12 Februari 2026
Yang menyatakan.



(Muhammad Sahrul Mubin)

201911199

ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE IT PLN

Muhammad Sahrul Mubin, 201911199

Di Bawah Bimbingan Heri Suyanto, S.T, M.T.

ABSTRAK

PLTS mengubah cahaya matahari menjadi listrik dan memiliki sistem on-grid yang terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN. Komponen kunci dalam sistem ini adalah inverter, yang berfungsi mengkonversi arus DC yang dihasilkan panel surya menjadi arus AC yang sesuai dengan standar jaringan PLN. Inverter on-grid melakukan sinkronisasi dengan jaringan PLN melalui serangkaian mekanisme, di mana syarat utamanya adalah tegangan, frekuensi, dan fasa dari inverter harus sama dengan jaringan PLN. Kinerja inverter dapat dengan mudah dimonitor melalui aplikasi pada komputer atau smartphone. Monitoring ini penting untuk mengontrol tegangan, arus, dan daya inverter, serta memastikan sistem bekerja optimal. Untuk menganalisis kinerja sistem, dilakukan perhitungan daya input dan output untuk mengetahui efisiensi inverter on-grid. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi yang didapatkan sangat baik, berkisar antara 95,68% hingga 96,07%, mendekati efisiensi maksimum inverter sebesar 98,8%.

Kata Kunci: : (PLTS On-Grid, Inverter On-Grid, Sinkronisasi, Sistem Kerja)

PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR POWER GENERATION MONITORING IN A 5 KWP ON-GRID INVERTER SYSTEM IN THE PLN RENEWABLE IT LABORATORY

Muhammad Sahrul Mubin, 201911199

Under The Guide of Mr. Heri Suyanto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Solar power plants (PLTS) convert sunlight into electricity and are on-grid systems directly connected to the PLN electricity grid. A key component in this system is the inverter, which converts the DC current generated by the solar panels into AC current that meets PLN grid standards. The on-grid inverter synchronizes with the PLN grid through a series of mechanisms, the main requirement being that the inverter's voltage, frequency, and phase must match those of the PLN grid. Inverter performance can be easily monitored through an application on a computer or smartphone. This monitoring is essential for controlling the inverter's voltage, current, and power, and ensuring optimal system performance. To analyze system performance, input and output power calculations were performed to determine the efficiency of the on-grid inverter. The analysis results showed excellent efficiency, ranging from 95.68% to 96.07%, approaching the inverter's maximum efficiency of 98.8%.

Keywords: (On-Grid Solar Power Plant, On-Grid Inverter, Synchronization, Operating System)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>.....	ix
DAFTAR ISI	x
Daftar Gambar	1
DAFTAR TABEL	2
BAB I PENDAHULUAN	3
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah.....	5
Dari yang sudah dijelaskan pada latar belakang maka diperoleh rumusan masalah diantaranya.....	5
1.2 Tujuan.....	6
1.3 Manfaat.....	6
1.4 Ruang Lingkup.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1	7
Penelitian yang Relevan	7
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Pembangkit Listrik	9
2.2.2 Sel Surya	9
2.2.3 Energi Surya.....	11
2.2.5 Inverter	14
a. Inverter Mikro (Micro Inverter)	15
2.2.6 Sistem Monitoring Energi Surya.....	17

2.2.7	AC Coupling.....	17
2.2.8	Grid Tie Inverter.....	19
2.2.9	Sinkronisasi Inverter Terhadap Jaringan PLN.....	19
2.3	FusionSolar	22
BAB III METODE PENELITIAN.....		24
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.3	Merode Pengumpulan Data.....	25
3.4	Metode Analisis Data	25
3.4.2	Pengumpulan Data PLTS	26
3.4.3	Pengolahan dan Perhitungan Kinerja	27
3.4.4	Analisis Hasil Monitoring	29
BAB IV		30
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		30
4.1	Gambaran Umum Sistem Monitoring PLTS 5 kWp	30
4.2	Data Operasional PLTS.....	31
4.2.2	Perhitungan Parameter PLTS 4 Oktober	39
4.2.3	Perhitungan Parameter PLTS Harian	44
4.4	Tampilan dan Menu Utama pada FusionSolar.....	58
4.4	Analisis Data Fusion Solar	62
4.4.1	Analisis Bulan Oktober 2025	62
BAB V.....		72
KESIMPULAN.....		72
5.1.	Kesimpulan	72
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		74
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		77
LAMPIRAN		78
	Lampiran 1. Lembar bimbingan Skripsi Dosen Pembimbing.....	78

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Blok Diagram Plts On Grid (Hutajulu Et Al., 2020).....	12
Gambar 2. 2 Sistem Kerja Plts Grid Tie (“Sun Grid-Tie Series,” 2021)	14
Gambar 2. 3 Inverter Huawei.....	16
Gambar 2. 4 Blok Diagram Sistem Ac Coupling (Ds Energi Baru, 2020)	17
Gambar 2. 5 Blok Diagram Sistem Ac Coupling (Ds Energi Baru, 2020)	20
Gambar 2. 6 3d Cinematik	20
Gambar 3. 1 Metode Pengambilan Data	24
Gambar 4. 1 Grafik E_Ac (Energi Ac).....	47
Gambar 4. 2 Grafik Irridiasi	48
Gambar 4. 3 Grafik Yf (Final <i>Yield</i>)	50
Gambar 4. 4 Grafik Reference <i>Yield</i> (Yr)	52
Gambar 4. 5 Grafik <i>Performance Ratio</i> (Pr).....	54
Gambar 4. 6 Grafik Parameter Plts	55
Gambar 4. 7 Tampilan Fusion Solar.....	57
Gambar 4. 8 Menu Plant Atau Site.....	60
Gambar 4. 9 Menu Device Management.....	61
Gambar 4. 10 Menu Energy Analysis	62
Gambar 4. 11 Data Bulan Oktober 2025	63
Gambar 4. 12 Data Bulan November 2025	64
Gambar 4. 13 Grafik Data Harian Tanggal 6 Oktober 2025	66
Gambar 4. 14 Grafik Data Harian Tanggal 7 Oktober 2025	67
Gambar 4. 15 Grafik Data Harian Tanggal 8 Oktober 2025	69
Gambar 4. 16 Grafik Data Harian Tanggal 9 Oktober 2025	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sel Surya.....	11
Tabel 2. 2 Spesifikasi Inverter.....	21
TABEL 4. 1 PARAMETER PLTS 2 OKTOBER.....	32
Tabel 4. 2 Data Inverter 2 Oktober.....	34
Tabel 4. 3 Data Inverter 4 Oktober.....	39
Tabel 4. 4 Data Sensor Pv 4 Oktober	41
Tabel 4. 5 Energi_Ac.....	46
Tabel 4. 6 Tabel Irradiasi.....	47
Tabel 4. 7 Mengukur Energi Ac.....	49
Tabel 4. 8 Mengukur Lama Penyinaran Ekuivalen (Yr).....	51
Tabel 4. 9 Performa Ratio (Pr).....	53
Tabel 4. 10 Data Harian	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan fundamental dalam mendukung aktivitas sosial, ekonomi, pendidikan, dan industri. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi yang terus berkembang, Indonesia menghadapi tantangan serius berupa keterbatasan pasokan energi fosil yang sebagian besar masih menjadi sumber utama pembangkit listrik. Penggunaan energi fosil dalam jangka panjang bukan hanya berdampak terhadap ketersediaan sumber daya, tetapi juga berkontribusi besar terhadap pemanasan global, emisi karbon, dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan solusi energi alternatif yang ramah lingkungan, terbarukan, serta memiliki keberlanjutan jangka panjang.

Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah energi surya. Indonesia yang berada di garis khatulistiwa memiliki intensitas radiasi matahari yang tinggi, yaitu berkisar antara 4,5 – 5,5 kWh/m² per hari. Kondisi ini menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu solusi energi bersih yang sangat potensial untuk dikembangkan, baik pada skala industri, komersial, maupun pendidikan. Keunggulan PLTS antara lain: tidak menghasilkan emisi gas buang, mudah dalam perawatan, tidak menghasilkan polusi suara, dan dapat dipasang di berbagai lokasi seperti atap bangunan, lahan kosong, dan area terbuka. Perkembangan teknologi PLTS telah mengalami kemajuan pesat, terutama pada penerapan sistem inverter on-grid, yaitu sistem PLTS yang terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini memungkinkan energi listrik dari panel surya digunakan langsung oleh beban atau disalurkan ke jaringan ketika terjadi surplus energi. Dengan mekanisme ini, penggunaan energi dapat lebih efisien dan mampu mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional.

Selain itu, perkembangan teknologi digital dan *Internet of Things* (IoT) juga memberikan dampak signifikan dalam pengembangan sistem monitoring PLTS modern. Jika pada sistem konvensional pemantauan dilakukan secara manual melalui alat ukur sederhana, kini sistem monitoring telah mampu menampilkan data secara *real-time*

melalui dashboard berbasis web atau aplikasi *mobile*. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi panel, inverter, dan kualitas daya dari jarak jauh tanpa perlu mendatangi lokasi secara langsung. (Albustomi et al., n.d.)

Pemantauan ini sangat penting untuk mendeteksi penurunan performa sejak dini, seperti menurunnya daya output akibat shading, kerusakan modul surya, error pada inverter, hingga kondisi abnormal pada rangkaian kelistrikan. Dengan demikian, sistem monitoring bukan hanya sebagai alat pencatat data, tetapi juga sebagai sistem kendali kualitas (quality control) dan jaminan performa (performance assurance).

Dalam konteks pendidikan, penelitian dan implementasi sistem monitoring PLTS sangat relevan untuk mendukung tercapainya pembelajaran berbasis teknologi energi terbarukan. IT PLN sebagai institusi pendidikan vokasi dan ketenagalistrikan perlu melakukan pengembangan fasilitas laboratorium yang tidak hanya bersifat demonstratif, tetapi juga analitis dan aplikatif. Penggunaan sistem PLTS on-grid 5 kWp sebagai objek penelitian merupakan langkah strategis dalam mendukung penguasaan teknologi energi masa depan.

Namun dalam pengoperasian sistem PLTS, khususnya yang terintegrasi dengan grid, terdapat tantangan teknis yang perlu dianalisis, seperti:

- a. stabilitas tegangan dan frekuensi,
- b. sinkronisasi inverter terhadap jaringan,
- c. rugi-rugi daya (*Losses*),
- d. kualitas daya (power quality),
- e. variasi iradiasi harian dan musiman,
- f. dan penurunan efisiensi panel surya akibat suhu.

Menurut penelitian sebelumnya, salah satu indikator penting dalam menganalisis kinerja PLTS adalah nilai *Performance Ratio (PR)*, yaitu perbandingan antara energi listrik aktual dengan energi teoritis berdasarkan radiasi matahari. Pada kondisi ideal, PR bernilai 80% ke atas, namun dalam kondisi lapangan nilai ini sering menurun akibat

faktor lingkungan dan teknis. Oleh karena itu, PR sering digunakan dalam penelitian sebagai parameter utama untuk menilai kualitas sistem PLTS.(Albustomi et al., n.d.)

Di sisi lain, sistem inverter on-grid juga memiliki karakteristik penting dalam menentukan keseluruhan kinerja PLTS. Teknologi inverter modern dilengkapi dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT), proteksi anti-islanding, dan konversi efisiensi tinggi. Namun performa inverter tetap harus diuji berdasarkan data operasional agar sesuai dengan spesifikasi pabrikan.

Dengan adanya kesenjangan antara performa teoritis dan aktual, maka pengujian kinerja sistem secara menyeluruh menjadi sangat penting, terutama pada fasilitas pendidikan seperti Laboratorium Renewable Energy IT PLN. Penelitian berbasis data aktual lapangan menjadi rujukan kuat untuk pengembangan sistem serupa — baik untuk penelitian lanjutan, kegiatan akademik, maupun implementasi di industri.

Selain mendukung capaian akademik, penelitian ini juga menjadi referensi praktis bagi implementasi PLTS dalam skala rumah tangga, industri, dan institusi pendidikan. Hal ini sejalan dengan target pemerintah dalam program transisi energi dan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) hingga mencapai 23% pada tahun 2025 dan meningkat bertahap pada tahun 2060.

Namun, keberhasilan implementasi PLTS tidak hanya bergantung pada jumlah panel surya yang terpasang, tetapi juga pada kemampuan sistem monitoring untuk memantau dan menganalisis performa operasi PLTS secara real time. Sistem monitoring berfungsi untuk mencatat data produksi energi, arus, tegangan, efisiensi, dan kondisi komponen PLTS. Tanpa sistem monitoring yang baik, sulit untuk memastikan bahwa sistem PLTS bekerja pada kondisi optimal, terutama dalam konteks pendidikan dan penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Dari yang sudah dijelaskan pada latar belakang maka diperoleh rumusan masalah diantaranya :

1. Bagaimana kinerja sistem monitoring pada PLTS on-grid 5 kWp di Laboratorium Renewable Energy IT PLN?
2. Seberapa besar pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap output daya PLTS?

3. Bagaimana performa inverter dalam proses konversi energi DC ke AC pada sistem PLTS on-grid?
4. Berapa nilai efisiensi sistem PLTS berdasarkan data hasil monitoring?

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain :

1. Menganalisis kinerja sistem monitoring PLTS 5 kWp berbasis data *real-time*.
2. Mengetahui hubungan antara iradiasi matahari terhadap daya yang dihasilkan.
3. Mengevaluasi kinerja inverter on-grid dalam proses konversi daya.
4. Menghitung efisiensi sistem PLTS berdasarkan hasil data monitoring.

1.3 Manfaat

Manfaat dari penelitian untuk umum yaitu :

- a. Menjadi referensi pengembangan PLTS skala laboratorium.
- b. Memberikan evaluasi untuk peningkatan kualitas monitoring.
- c. Menjadi bahan kajian implementasi PLTS di lingkungan kampus atau industri.

1.4 Ruang Lingkup

Penulisan Propsal yang berjudul “analisis kinerja sistem monitoring pembangkit listrik tenaga surya dalam sistem inverter on grid 5 kwp di laboratorium renewable it pln”, dibatasi dengan hal- hal berikut ini :

1. Penelitian dilakukan pada sistem PLTS on-grid kapasitas 5 kWp yang berada di Laboratorium Renewable Energy IT PLN.
2. Fokus pada analisis data monitoring seperti tegangan, arus, daya keluaran, iradiasi, dan efisiensi.
3. Kinerja inverter dievaluasi berdasarkan proses konversi energi DC ke AC.
4. Analisis hanya mencakup aspek teknis, tidak membahas biaya, ekonomi, atau sistem hybrid/off-grid.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

1. Menurut Dinda Annisa pada tahun 2023 dengan judul “Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid 10 kWp Pada Mesin Packer Pabrik Tonasa V.” Isi pembahasannya menyoroti bagaimana PLTS on-grid berkapasitas 10 kWp digunakan untuk memasok energi listrik ke mesin packer dan sejauh mana sistem ini dapat bekerja secara optimal. Penelitian ini mengkaji kontribusi energi listrik yang dihasilkan PLTS, performa sistem dalam kondisi nyata, serta tingkat keandalannya selama beroperasi. Dalam analisisnya, penelitian ini menggunakan data *real-time* dari sistem pemantauan iSolar Cloud serta membandingkannya dengan simulasi menggunakan PVsyst untuk melihat kesesuaian antara hasil pengamatan langsung dan perkiraan desain sistem. Selain itu, penelitian ini membahas efisiensi modul surya, efisiensi inverter, rasio performa (PR), faktor kapasitas, dan parameter teknis lain seperti tegangan dan frekuensi keluaran. Berdasarkan hasil yang diperoleh, PLTS mampu berkontribusi antara 23 sampai 41 persen terhadap kebutuhan energi listrik mesin packer. Efisiensi sistem berada pada kisaran 9 hingga 15 persen dan faktor kapasitas mencapai 12 hingga 22 persen. Sistem juga menunjukkan keandalan yang sangat baik dengan nilai Equivalent Availability Factor (EAF) mencapai 98 persen pada tahun 2022 dan bahkan naik menjadi 100 persen pada Januari hingga Juni 2023. Tegangan yang dihasilkan tetap stabil antara 342 hingga 399 volt dan frekuensi berada dalam rentang normal 50,13 hingga 50,25 Hz. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa PLTS on-grid 10 kWp mampu bekerja dengan baik, stabil, dan mendukung penghematan energi pada proses industri, khususnya di unit mesin packer Pabrik Tonasa V. Albert Gifson, Masbah RT Siregar, Mohammad Priyo Pamudi (2020) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa 1) Rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Allianz Ecopark Ancol pada area Learning Farm dilakukan dengan sistem On Grid, sistem ini dipilih untuk mengurangi pemakaian listrik dari PLN. Dengan daya keluaran yang dihasilkan pada radiasi

terendah 68,17 kWh, radiasi tertinggi 112,37 kWh, dan radiasi rata-rata 87,98 kWh. Jadi rancang bangun PLTS on grid ini dapat membangkitkan 60 % dari kapasitas beban yaitu pada daya 68,17 kWh. 2) Dari 100 panel surya yang digunakan, terdapat 4 string dengan 25 panel surya di pasang secara seri dan 2 panel di pasang secara parallel. Jumlah array yang terpasang 2 yang kemudian terhubung ke inverter SMA Sunny Boy 20000TL. Inverter SMA Sunny Boy 20000TL kemudian terhubung ke panel dan diteruskan beban dan jaringan PLN.

2. Menurut Meilia Rosmaliati dan I. B. Fery C. pada tahun 2021 dengan judul “Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid 16 kWp di PV Politeknik Negeri Bali.” Isi pembahasannya menjelaskan bagaimana sistem PLTS on-grid 16 kWp dianalisis berdasarkan performa nyata di lapangan, termasuk energi yang dihasilkan, efisiensi sistem, dan pengaruh intensitas radiasi matahari. Penelitian ini menguraikan produksi listrik harian dan bulanan, kondisi cuaca, variasi radiasi surya, serta bagaimana sistem merespons perubahan tersebut dalam menghasilkan daya. Selain itu, penelitian juga membahas rasio performa (Performance Ratio), efisiensi inverter, dan perbandingan antara energi teoritis dengan energi aktual yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengukuran, PLTS mampu menghasilkan energi yang stabil dengan nilai keluaran rata-rata harian yang sesuai dengan potensi radiasi matahari setempat, meskipun dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Sistem ini dinilai mampu bekerja cukup efektif dalam mendukung penyediaan energi bersih dan mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional, serta menunjukkan bahwa teknologi PLTS on-grid dapat menjadi solusi energi alternatif yang layak dan berkelanjutan.
3. Menurut Maslakhatul Maftukhah pada tahun 2024 dengan judul “Analisis Evaluasi Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap On Grid 40 kWp di Stasiun Semarang Tawang.” Isi pembahasannya menjelaskan bagaimana sistem PLTS 40 kWp di Stasiun Semarang Tawang menghasilkan energi listrik dan seberapa besar tingkat efisiensinya. Penelitian ini menghitung nilai efisiensi panel surya berdasarkan pembagian string panel dan hasilnya menunjukkan bahwa setiap string memiliki efisiensi antara 12% hingga 16%, yang masih

sesuai dengan standar modul polycrystalline yang digunakan. Selain efisiensi, penelitian ini juga mengkaji rasio performa (Performance Ratio/PR) yang merupakan indikator penting kinerja PLTS. Nilai rata-rata PR yang didapat adalah 70,51%, dengan nilai tertinggi sebesar 89,32% dan nilai terendah 26,03%. PR tersebut dikategorikan baik karena berada dalam kisaran standar 60–90%. Selain itu, penelitian ini menyoroti kontribusi PLTS dalam mengurangi ketergantungan konsumsi listrik dari PLN, serta menganalisis *Yield Factor* sebagai pembanding antara energi teoritis dan real yang dihasilkan dari radiasi matahari. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan evaluasi teknis untuk pengembangan dan peningkatan performa PLTS di lokasi serupa.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik

Tenaga Surya Sistem fotovoltaik yang terdapat pada suatu PLTS (pembangkit listrik tenaga Surya) merupakan sebuah sistem yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik . PLTS mempunyai beberapa komponen utama diantaranya Pv modul dan berbagai macam alat pendukung yang disebut Balance of System (BOS) contohnya kontroler, baterai, inverter, dan kabel (Kumara et al., 2020). PLTS pada dasarnya adalah catu daya dan dirancang untuk menyalurkan kebutuhan tegangan rendah dan tegangan tinggi, bisa dengan cara mandiri atau hibrida (digabungkan oleh beberapa sumber energi), dengan metode desentralisasi (satu rumah, satu generator) atau metode terpusat (listrik yang disalurkan melalui jaringan kabel). PLTS dikatakan sumber energi baru terbarukan yang menggunakan sinar Surya yang tidak ada batasannya, PLTS bisa dikatakan pembangkit yang sangat ramah lingkungan karena tidak memiliki bagian yang berputar, tidak berisik, dan tidak ada asap pembuangan atau limbah.(Fitriandi et al., 2016)

2.2.2 Sel Surya

Solar Cell atau sel Surya dapat kita fungsikan untuk mengkonversi energi Surya menjadi energi listrik . Ketika permukaan sel surya terkena cahaya, elektron dan lubang dapat dihasilkan. Elektron akan meninggalkan sel surya dan diarahkan ke luar sirkuit sehingga muncul arus listrik. Sel Surya memproduksi arus listrik

sehingga arus listrik yang sudah di produksi bisa kita gunakan untuk peralatan yang dibutuhkan atau bisa kita simpan pada baterai agar bisa digunakan nanti (Gunoto et al., n.d.)

Kelebihan Sel Surya

Sel surya atau solar cell memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Mampu mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik arus searah (DC) tanpa memerlukan bahan bakar.
2. Proses pembangkitan energi berlangsung tanpa menimbulkan kebisingan, emisi gas buang, maupun limbah yang mencemari lingkungan.
3. Sistem pemeliharaan relatif sederhana dibandingkan sistem pembangkit konvensional karena tidak memiliki komponen yang bergerak.
4. Untuk penggunaan dengan daya atau beban kecil, sistem sel surya cenderung lebih ekonomis.
5. Menghasilkan energi listrik arus searah tanpa ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil.
6. Dapat diaplikasikan secara langsung pada berbagai peralatan listrik praktis.
7. Instalasi sistem lebih aman karena beroperasi pada tegangan rendah dan menggunakan arus searah (DC).

Kelemahan Sel Surya

1. Selain kelebihan, sel surya juga memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya:
2. Biaya investasi awal relatif tinggi, terutama untuk pengadaan panel, inverter, dan baterai.
3. Membutuhkan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik.
4. Baterai memerlukan perawatan rutin karena keandalan sistem sangat bergantung pada kondisi baterai.
5. Peralatan listrik yang dapat dioperasikan pada tegangan rendah masih terbatas.

6. Ketersediaan tenaga teknis yang terampil dalam perencanaan dan pemasangan sistem konversi energi surya masih relatif sedikit.
7. Spesifikasi Sel Surya yang digunakan di Power House adalah

Tabel 2. 1 Spesifikasi sel surya

<i>Maximum Power (Pmax/W)</i>	: 545 W
<i>Open Circuit Voltage (Vdc/v)</i>	: 49.52V $\pm$ 3%
<i>Short Circuit Current (Isc/A)</i>	: 13.94A $\pm$ 4%
<i>Open circuit voltage (VDC)</i>	: 49.52V $\pm$ 3%
<i>Maximum power voltage (vmp)</i>	: 40.00V
<i>Maximum system voltage</i>	: 1500VDC
<i>Maximum series fuse rating</i>	: 25A
<i>Power setting</i>	: 0 $\pm$ 3%
<i>Protection class</i>	: II
<i>Weight</i>	: 28.0 (kg)
<i>Dimension</i>	2274x1134x35(mm)

2.2.3 Energi Surya

Pada saat ini energi yang dibutuhkan di dunia sangat besar, apalagi dengan adanya negara-negara industri raksasa. keyantaannya bahwa pemakaian energi akan meningkat sejalan dengan adanya pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi.(Admin_je, +Usman+100+-+104, n.d.)

.Sumber energi fosil yang terbatas membutuhkan pengembangan energi terbarukan dan perawatan energi. Di sini energi terbarukan diartikan sebagai energi non fosil yang berasal dari alam dan dapat digunakan kembali. Sumber daya ini tidak akan habis jika dikelola dengan benar (Mohammad Hafidz ;, 2015).(Ariwibisono et al., n.d.)

2.2.4 Sistem PLTS On Grid

Sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan atau dipanggil dengan PLTS on-grid, pada umumnya adalah PLTS on grid yang saling terhubung dengan jaringan PLN. PLTS grid-connected dirancang agar jaringan PLN terhubung dengan listrik sehingga jika kita ingin menggunakannya sudah tersedia .Pada PLTS on grid menggunakan sebuah media penyimpanan energi yang dinamakan grid . salah satu komponen pendukung dari PLTS on grid yaitu KWH Exim (Expor – Impor) yang berfungsi untuk melakukan kalkulasi pemakaian energi yang tersimpan pada jaringan listrik PLN,dimana kalkulasi akan dilakukan setelah selama satu bulan pemakaian yang nantinya akan mengurangi biaya listrik dari pelanggan sesuai dengan kebijakan yang berlaku. Fitur anti islanding merupakan salah satu karakteristik pada PLTS on grid yang terpasang pada inverter dan bisa membuat PLTS tidak disuplai listrik jika jaringan listriknya sedang mati.(Wijayanto et al., n.d.)



Gambar 2. 1 Blok diagram PLTS On Grid (Hutajulu et al., 2020)

Sistem panel PLTS Grid Tie System merupakan sistem yang bekerja langsung pada panel surya. Sistem kerja ini tidak menggunakan baterai dan listrik yang dihasilkan langsung digunakan untuk berbagai kepentingan. Listrik yang diproduksi berupa arus bolak-balik, sehingga dapat digunakan dalam sistem panel surya grid tie bersama dengan jaringan PLN (Riftianto & Amirullah, 2024)

Penerapan PLTS Grid Tie System atau prinsip pengoperasian dapat dilakukan dengan instalasi listrik PLN. Dalam sistem ini, jaringan listrik PLN berfungsi sebagai penyalur atau penyambung listrik dari panel surya yang dialirkan ke penerima. Berkat hal tersebut, kita dapat menggunakan listrik dari matahari pada siang hari, dan pada malam hari karena tidak ada sinar matahari sehingga tidak menghasilkan listrik dari panel surya, sehingga Anda tetap dapat menggunakan listrik dari emas.(Monika et al., 2025)

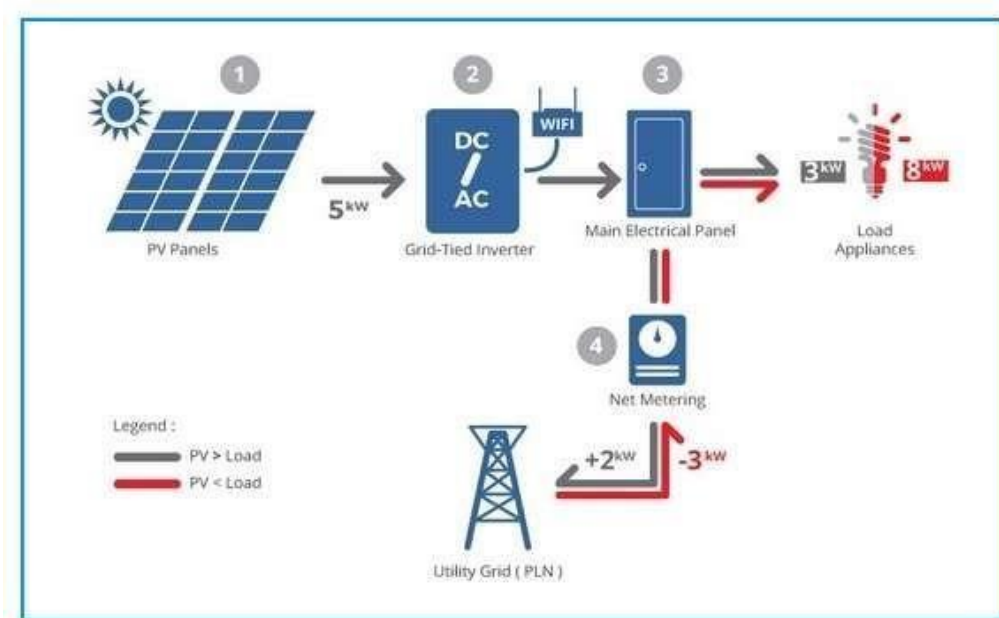
Sistem PLTS *on-grid* saat ini mulai banyak digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik rumah tangga atau gedung-gedung perkantoran dan komersial yang telah terhubung ke jaringan distribusi listrik yang ada. Selain itu, sistem PLTS *on-grid* dapat juga dimanfaatkan untuk membantu pemenuhan kebutuhan energi listrik di usaha pengeringan hasil pertanian atau perkebunan. (Gifson et al., n.d.)

Proses pengeringan hasil pertanian atau perkebunan umumnya dilakukan dengan cara konvensional yaitu memanfaatkan sinar matahari secara langsung. Masalahnya adalah proses pengeringan akan terganggu jika cuaca mendung atau hujan. Untuk mengatasi masalah ini, proses pengeringan tersebut dapat diganti dengan pemanas listrik. Kebutuhan energi untuk pemanas listrik ini dapat diperoleh seluruhnya dari jaringan distribusi listrik yang telah ada atau menggabungkannya dengan energi surya dan membentuk sistem PLTS *on-grid*. Dengan cara ini, proses pengeringan tidak akan terganggu oleh cuaca mendung atau hujan dan sekaligus dapat mengurangi konsumsi energi listrik dari jaringan distribusi listrik yang ada.(Rangga Rajawali Perkasa Putra et al., n.d.)

Berkat instalasinya dapat di sinkronisasi dengan sistem operasi di jaringan listrik PLN, pengguna tidak perlu khawatir atau takut masalah yang sedang terjadi akan mengancam atau merusak perangkat elektronik.

Cara kerja PLTS Grid Tie Sistem yaitu :

- 1) Panel surya mengubah sinar Surya menjadi listrik bolak balik .
- 2) Grid Tie inverter mengkonversi listrik DC menjadi AC yang sudah sesuai dengan jaringan listrik PLN.
- 3) Listrik AC disalurkan ke panel listrik utama yang sudah terhubung langsung pada grid tie inverter.
- 4) Net metering akan mengkalkulasi pemakaian bersih listrik, jika memiliki kelebihan energi yang didapatkan pada sistem PV, maka energi yang lebih tersebut akan disuplai balik ke jaringan PLN.



Gambar 2. 2 Sistem Kerja PLTS Grid Tie (“Sun Grid-Tie Series,” 2021)

2.2.5 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengganti arus bolak – balik menjadi arus searah . Arus yang diproduksi surya panel adalah arus bolak balik. Maka dari itu, pada sistem PLTS dibutuhkan inverter buat mengganti energi agar dapat menyalurkan kebutuhan pada arus searah. Pilihlah inverter sesuai dengan kebutuhannya,

lihatlah pada kebutuhan beban dan lihatlah apakah sistem inverter terkoneksi pada suatu jaringan atau mempunyai jaringan tersendiri (Naim & Wardoyo, 2017).

Terdapat tiga jenis bentuk output gelombang pada suatu inverter yaitu :1). Inverter square wave, adalah bentuk gelombang kotak hasil dari output inverter. Gelombang kotak ini tidak bagus dan bisa merusak komponen listrik 2). Inverter modified sine wave, bentuk gelombang yang hampir berbentuk seperti gelombang sinusoidal .alat elektronik yang sangat sensitif atau mudah rusak tidak bisa menggunakan gelombang jni 3). Inverter pure sine wave, adalah bentuk gelombang keluaran sinusoidal murni. Besar muridnya suatu gelombang dapat terukur pada persentase Total Harmonic Distortion (THD). (Dwi et al., n.d.)

Apabila persentase THD nya kecil maka inverternya akan semakin baik (Kumara et al., 2020). Inverter memiliki banyak jenis yang sudah beredar di pasaran. inverter ini memiliki banyak jenis yang berbeda dimulai dari yang berfungsi untuk single module sampai arrays dan yang dibutuhkan untuk penyaluran dalam KW atau MW.terdapat tiga macam inverter yang banyak dipakai diantaranya string, central dan micro inverter. Jenis ini dibedakan pada kebutuhan jenis kabel yang digunakan (Ilham Lubis, 2018).

a. Inverter Mikro (Micro Inverter)

Inverter mikro atau biasa disebut inverter modul diletakan pada posisi belakang setiap modul surya. Inverter ini dibuat dengan kisaran daya 100-300 W. Keunggulan inverter mikro yaitu dengan kabel DC yang sedikit dikarenakan keluaran pada modular adalah daya AC yang langsung diparalelkan dalam modul dan selanjutnya dihubungkan pada jaringan. Keunggulan lain adalah, jika ingin melakukan penambahan daya, kita dapat menambahkan inverter dan modul surya tanpa harus melepas komponen (Ilham Lubis, 2018).

b. Inverter string (String Inverter)

String inverter seringkali dipakai buat instalasi jaringan terhubung skala kecil (kurang dari 10kW). Rata – rata besarnya string inverter adalah 1 kW hingga kira-kira 12 kW, inverter multi string akan dibutuhkan apabila besarnya kapasitas pada PLTS melebihi 5 kW sehingga inverter multi string ini dapat menjadi inverter alternatif. tiap- tiap inverter

on-grid mempunyai kegunaan seperti MPPT dan tegangan DC masukannya hingga 1000V DC.(S-, n.d.)

c. Inverter Terpusat (Central Inverter)

PLTS yang besar sering kali menggunakan inverter terpusat, inverter terpusat ini dipakai dalam daya berdasarkan 30 kWp (fronius) & berdasarkan 100kWp (SMA). Inverter terpusat ini memiliki kesamaan dengan inverter string & multi-string namun yg berbeda dalam inverter terpusat merupakan array dalam PLTS yang bisa dipecah menjadi Sub-array (Ilham Lubis, 2018).

Tiap inverter memiliki efisiensi yg ditunjukkan dalam spesifikasi & data sheet produk. Efisiensi inverter bergantung oleh masukan pada array. Kita dapat memerhatikan masuka yang masuk pada array sehingga dapat mengatasi kurangnya efisiensi , apabila input yang masuk kelebihan maka efisiensi akan berkurang. Oleh sebab itu, lantaran efisiensi inverter secara pribadi berkaitan dalam suhu operasi maka, ketika instalasi inverter penting dilaksanakan agar inverter tidak dipasang di bawah sinar matahari langsung. Selain itu, agar inverter dapat bekerja secara maksimum maka inverter yang dipasang harus memiliki ventilasi yang tepat (Ilham Lubis, 2018).



Gambar 2. 3 Inverter Huawei

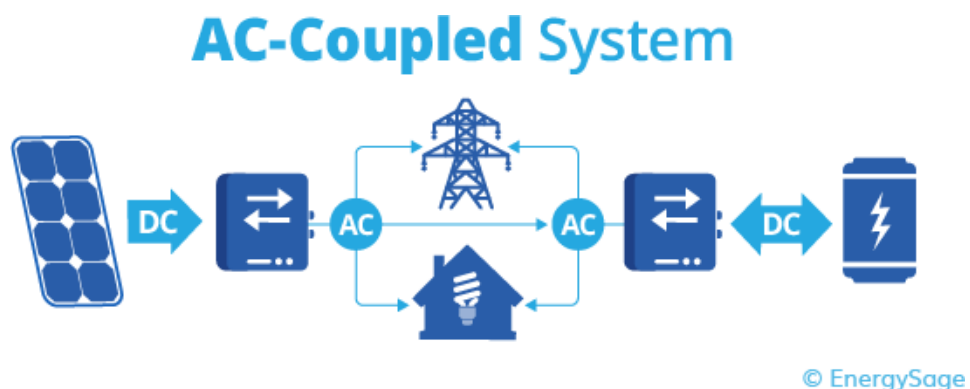
2.2.6 Sistem Monitoring Energi Surya

Sistem monitoring energi surya adalah mekanisme pemantauan untuk mengetahui performa panel surya secara *real-time*. Monitoring dilakukan dengan cara mencatat parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya kemudian menampilkannya dalam bentuk grafik atau tabel pada dashboard IoT. Sistem monitoring berbasis IoT memudahkan pengguna dalam mengakses informasi secara jarak jauh melalui smartphone atau komputer, sehingga efisiensi panel surya dapat dievaluasi secara praktis.

2.2.7 AC Coupling

Pada system AC Coupling, keluaran solar inverter terhubung pada jaringan PLN / grid & secara bersamaan melayani beban. Daya yang dibuat PLTS sangat berguna untuk digunakan agar dapat mengurangi pemakaian listrik dari PLN / grid. apabila menyimpan kelebihan daya ,maka dapat disuplai ke jaringan PLN (feed-in / export) dengan rancangan pengurangan tagihan listrik.

Dalam sistem AC Coupling, listrik tenaga surya DC mengalir dari panel surya ke inverter surya yang mengkonversi menjadi listrik AC. Listrik AC itu kemudian dapat dialirkan ke alat - alat rumah, atau pergi ke inverter lain yang mengubah listrik kembali ke DC untuk disimpan dalam sistem baterai. Dengan sistem berpasangan AC, listrik apa pun yang disimpan pada sistem baterai perlu dibalik tiga kali secara terpisah sebelum digunakan.



Gambar 2. 4 Blok diagram sistem AC coupling (DS Energi Baru, 2020)

1. Beban = Produksi PLTS

Semua pembuatan energi yang dihasilkan PLTS dapat mengoperasikan beban tanpa menangkap energi dari grid / jaringan PLN.

2. Produksi PLTS = 0

Pada saat malam hari ataupun keadaan cuaca sangat tidak bagus, maka beban dapat dioperasikan langsung oleh grid / jaringan PLN.

3. Beban < Produksi PLTS

Energi yang dihasilkan PLTS dapat melayani beban dan energi yang berlebihan akan tersalur ke jaringan PLN

4. Beban > Produksi PLTS

Semua pembuatan energi PLTS dapat melayani beban dan energi beban yang kurang dapat di back up oleh jaringan PLN

2.2.8 Grid Tie Inverter

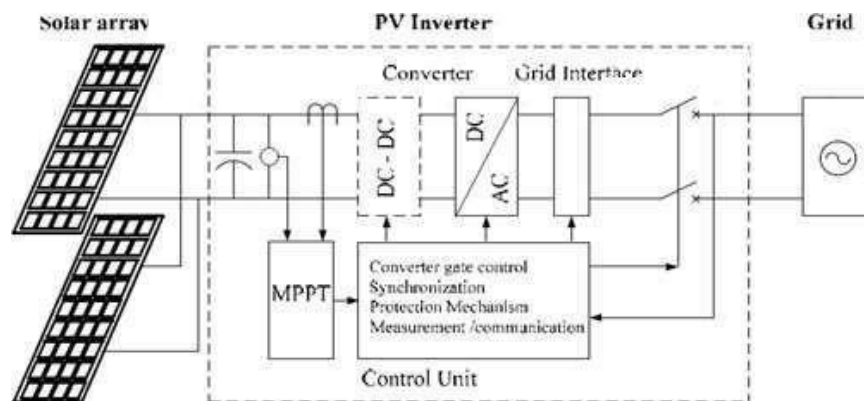
Grid Tie Inverter merupakan inverter yang memiliki tipe khusus yang bisa mengubah tegangan bolak balik menjadi tegangan searah dan dijalankan secara paralel bersamaan oleh jaringan listrik utama. Syarat agar grid tie inverter dapat beroperasi salah satunya adalah keluaran dari grid tie inverter harus di hubungkan dengan jaringan listrik PLN, grid tie inverter juga biasa disebut synchronous inverter atau grid interactive inverter dan grid tie inverter dapat dibedakan dengan inverter yang lain. Secara umum, grid tie inverter memiliki beberapa syarat jika ingin terhubung ke jaringan PLN, diantaranya, tegangan, phase dan frekuensi output dari grid tie inverter harus sama dengan tegangan, phase dan frekuensi. (Kiswantono et al., 2024)

2.2.9 Sinkronisasi Inverter Terhadap Jaringan PLN

Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau beban arus bolak – balik (AC). Sumber AC yang ingin dihubungkan disini adalah sumber Solar Cell yang diubah AC oleh inverter dan dari sumber dari PLN. Pemanfaatan tegangan

Solar Cell ataupun energi terbarukan lainnya yang terhubung dengan grid sudah lama dikembangkan. Namun dalam menghubungkan tegangan PV dalam hal ini tegangan output inverter ini tidaklah mudah. Untuk menghubungkan secara paralel antara tegangan PV dan tegangan grid maka karakteristik kedua tegangan haruslah mempunyai frekuensi, amplitud dan sudut fase yang sama. Beberapa metode telah banyak digunakan dalam beberapa produk inverter diantaranya adalah :

1. Zero crossing Detection
2. Pem-filter-an tegangan jaringan listrik
3. Phase Locked Loop (PLL)



Gambar 2. 5 Blok diagram sistem AC coupling (DS Energi Baru, 2020)

Dari Gambar diatas dapat dilihat fungsi – fungsi dasar dari inverter grid tied, diantaranya terdapat fungsi MPPT agar inverter dapat mengambil daya maksimum yang dihasilkan PV, sistem sinkronisasi, sampai sistem proteksi. Pada inverter ini terdapat fungsi monitoring yang dapat dihubungkan dengan DC input yang dibutuhkan agar inverter dapat bekerja (Simangunsong, 2017).



Gambar 2. 6 3D Cinematik

Tabel 2. 2 Spesifikasi Inverter

Parameter	Keterangan
Merek	Huawei
Model	SUN2000-5KTL-M1
Jenis	Solar Inverter
Max. Input Voltage (DC)	1100 Vdc
Max. Input Current (DC)	13.5 A / 13.5 A
Short Circuit Current (Isc)	19.5 A / 19.5 A
MPPT Voltage Range	140 – 980 Vdc
Output Nominal Voltage (AC)	220/380 Vac, 230/400 Vac; 3(N)~
Nominal Operating Frequency	50 / 60 Hz
Output Rated Power	5 kW
Output Rated Apparent Power	5 kVA
Max. Output Apparent Power	5.5 kVA
Output Rated Current	7.6 A / 7.3 A
Max. Output Current	8.5 A
Power Factor	0.8 (lagging) – 0.8 (leading)
Operating Temperature Range	-25 °C sampai +60 °C
Max. Altitude	4000 m (>3000 m lihat manual)
Overvoltage Category	II (DC) / III (AC)

Parameter	Keterangan
Inverter Topology	Non-isolationc7
Battery Nominal Voltage	600 Vdc
Battery Voltage Range	600 – 1100 Vdc
Battery Maximum Current	16.7 A dc
Battery Type	Li-ion
Enclosure Protection	IP65
Protection Class	Class I
AFCI Protection	Type I
Sertifikasi	CE, UKCA, dll
Pabrikan	Huawei Technologies Co., Ltd
Made in	China (PRC)

2.3 FusionSolar

FusionSolar merupakan aplikasi yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau dan mengendalikan sistem panel surya fotovoltaik (PV) secara efektif dan efisien. Aplikasi ini memiliki antarmuka yang ramah pengguna serta menyediakan solusi terpadu dalam pengelolaan sistem pembangkit listrik tenaga surya.(Kiswantono et al., 2024)

FusionSolar dilengkapi dengan berbagai fitur, seperti visualisasi produksi energi secara waktu nyata (*real-time*), pengelolaan seluruh perangkat yang terhubung dalam sistem, serta pemantauan data cuaca dan kondisi lingkungan. Informasi yang disajikan memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi operasional panel surya serta memastikan bahwa sistem bekerja secara optimal dalam menghasilkan energi listrik.

Selain itu, FusionSolar menyediakan fitur analisis data yang memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja sistem panel surya dengan sistem lain yang sejenis. Melalui fitur ini, permasalahan yang memengaruhi performa panel dapat diidentifikasi dan ditangani lebih cepat, sehingga produksi energi dapat dioptimalkan dan efisiensi sistem meningkat. Aplikasi ini juga dilengkapi dengan sistem notifikasi yang memberikan peringatan apabila terjadi gangguan atau anomali pada sistem, sehingga pengguna dapat segera melakukan tindakan perbaikan. Di samping itu, FusionSolar secara otomatis menyusun laporan mingguan dan bulanan mengenai riwayat produksi energi guna mendukung analisis kinerja sistem dalam jangka waktu tertentu.

Sistem FusionSolar terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

- a. Pusat daya pintar, berupa inverter dengan efisiensi tinggi hingga 98,6% yang dilengkapi antarmuka penyimpanan energi terintegrasi sehingga siap digunakan.
- b. Pengoptimal baterai fotovoltaik pintar, dengan tingkat efisiensi mencapai 99,5%, yang memungkinkan pemanfaatan panel surya secara maksimal serta mendukung pemasangan yang lebih cepat dan pemantauan jarak jauh.
- c. Sistem manajemen, yang memungkinkan akses data melalui perangkat seluler, menyediakan laporan proaktif terkait peristiwa dan alarm, serta mendukung pengelolaan sistem fotovoltaik secara terpusat.
- d. Sistem keamanan fotovoltaik pintar, yang berkomunikasi dengan pengoptimal melalui MBUS serta mendukung pemantauan dan manajemen sistem secara waktu nyata.

BAB III

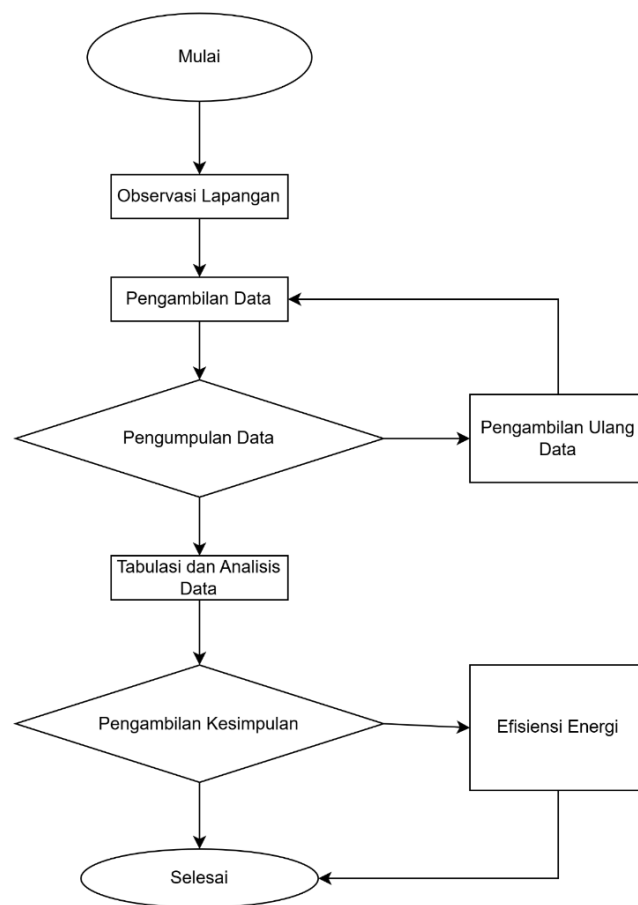
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di kampus Institut Teknologi PLN Jakarta. Penelitian dilakukan di laboratorium renewable IT PLN, penelitian dilakukan mulai dari tanggal 01 Oktober 2025 sampai dengan 30 Desember 2025

3.2 Flowchart Penelitian

Demi mempermudah pembahasan dalam melakukan penelitian tentang “ Teknologi Sistem PLTS on grid pada inverter on grid maka diperlukan pembuatan diagram alur atau flowchart, adapun diagram alur atau flowchart seperti gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3. 1 Metode pengambilan data

3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Metode Pustaka

Metode pustaka dilakukan dengan mencari sumber pada buku dari perpustakaan, jurnal, dan paper yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian dan pembuatan proposal skripsi ini.

3.3.2 Metode Observasi

Metode observasi dilakukan selama penelitian demi mendapatkan data secara aktual yang berhubungan dengan penelitian yang diambil pada laboratorium Renewabel IT PLN Jakarta maupun dari penelitian sebelumnya

3.4 Metode Analisis Data

3.4.1 Studi Literatur

Penelitian dimulai dengan menentukan fokus kajian yaitu menganalisis kinerja sistem monitoring pada PLTS 5 kWp yang terhubung ke sistem On Grid. Peneliti melakukan kajian pustaka sebagai langkah awal untuk membangun landasan teori yang kuat dan sesuai dengan topik penelitian. Kajian ini mencakup pemahaman mengenai dasar teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) beserta karakteristik sistem On Grid, yaitu sistem yang menghubungkan energi listrik dari panel surya langsung ke jaringan PLN. Selain itu, dipelajari juga prinsip kerja inverter On Grid yang berfungsi mengubah arus DC menjadi AC sekaligus menjaga kesesuaian tegangan dan frekuensi dengan jaringan listrik.

Peneliti juga menelaah berbagai parameter performa PLTS yang umum digunakan, seperti irradiance, tegangan, arus, daya, serta efisiensi sistem baik di sisi DC maupun AC. Sistem monitoring PLTS menjadi bagian penting dalam kajian ini karena penelitian berfokus pada analisis berbasis data pemantauan untuk melihat performa nyata PLTS secara *real-time*.

Kajian pustaka ini turut mengacu pada standar evaluasi internasional seperti IEC 61724, yang digunakan dalam perhitungan kinerja, performance

ratio, dan indikator lainnya. Dengan memahami standar ini, peneliti dapat menilai performa PLTS secara objektif dan terukur.

Secara keseluruhan, kajian pustaka ini bertujuan untuk memahami teori yang relevan, menentukan parameter analisis yang dibutuhkan, serta menyusun dasar metodologi yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

3.4.2 Pengumpulan Data PLTS

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi operasional PLTS secara langsung dan *real-time*. Data diambil dari sistem monitoring PLTS 5 kWp On Grid di Laboratorium Renewable IT PLN, dengan rincian sebagai berikut:

Pengumpulan data *real-time* melalui sistem monitoring yang terintegrasi dengan PLTS. Data mencakup parameter utama yang mempengaruhi performa PLTS, antara lain:

- a. Irradiance harian, untuk mengetahui intensitas penyinaran matahari.
- b. Suhu modul fotovoltaik, sebagai faktor yang mempengaruhi efisiensi panel.
- c. Tegangan dan arus DC pada output panel surya sebelum masuk inverter.
- d. Tegangan dan arus AC pada output inverter setelah proses konversi.
- e. Daya yang dihasilkan baik pada sisi DC maupun AC, untuk mengukur efisiensi sistem.
- f. Energi total yang diproduksi, dicatat dalam periode harian, mingguan, hingga bulanan.

Data yang diperoleh dari sistem monitoring PLTS dicatat dalam berbagai format seperti log, tabel, maupun grafik agar lebih mudah dianalisis. Pencatatan ini dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan untuk memastikan setiap parameter terekam dengan jelas dan dapat dibandingkan antarperiode. Proses

pengambilan data dilakukan secara berulang atau berkala guna memastikan akurasi, konsistensi, dan kestabilan data yang diperoleh.

Apabila dalam proses pengumpulan data ditemukan ketidaksesuaian seperti data yang tidak lengkap, error, atau adanya inkonsistensi, maka sistem monitoring akan diperiksa kembali untuk memastikan tidak terjadi gangguan teknis. Setelah itu, pengambilan data diulang sesuai dengan prosedur alur kerja penelitian yang telah ditentukan, terutama pada bagian yang merujuk pada langkah “TIDAK” dalam flowchart penelitian. Dengan demikian, hanya data yang telah valid dan bebas dari kesalahan yang akan digunakan pada tahap pengolahan dan analisis berikutnya, sehingga hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.4.3 Pengolahan dan Perhitungan Kinerja

Dihitung menggunakan parameter kinerja PLTS seperti:

a. *Performance Ratio* (PR)

Performance Ratio adalah indikator penting untuk menilai seberapa efisien sistem PLTS bekerja setelah memperhitungkan semua kerugian (temperature, shading, inverter, kabel, dll).

Rumus:

$$PR = \frac{E_{AC}}{P_{STC} \times H} \quad 3.1$$

Keterangan:

E_{AC} = Energi listrik AC yang dihasilkan inverter (kWh)

P_{STC} = Kapasitas PLTS (kWp)

H = Irradiance / Peak Sun Hours (kWh/m²)

Semakin tinggi PR → semakin baik kinerja PLTS.

b. *Yield* (Yf, Yr, Yo)

Yield adalah indeks produksi energi yang menggambarkan seberapa banyak energi yang dihasilkan per kWp.

1. Final *Yield* (Yf)

Mengukur energi AC yang benar-benar keluar dari sistem.

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{STC}} \quad 3.2$$

2. Reference *Yield* (Y_r)

Mengukur lama penyinaran ekuivalen yang diterima modul.

$$Y_r = H \quad 3.3$$

3. Array *Yield* (Y_o)

Mengukur energi DC yang dihasilkan modul sebelum masuk inverter.

$$Y_o = \frac{E_{DC}}{P_{STC}} \quad 3.4$$

c. Efisiensi sistem

Efisiensi menunjukkan seberapa efektif modul surya mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan.

$$\eta_{system} = \frac{E_{AC}}{H \times A \times G_{STC}} \quad 3.5$$

atau standar lainnya:

$$\eta_{system} = \frac{Y_f}{Y_r} \quad 3.6$$

d. *Losses* (temperature, inverter, mismatch)

Kerugian dihitung untuk mengetahui faktor penyebab menurunnya output. Jenis kerugian meliputi:

1. Temperature Loss

Karena kenaikan suhu panel menurunkan efisiensi.

$$L_{temp} = Y_r - Y_o \quad 3.7$$

2. Inverter Loss

Selisih energi DC dan energi AC.

$$L_{inv} = Y_o - Y_f \quad 3.8$$

3. Mismatch Loss

Akibat ketidaksamaan performa antar modul, shading sebagian, dll. Biasanya dihitung berdasarkan data spesifikasi modul atau perbedaan Y_o ideal vs aktual.

Semakin kecil *Losses* → semakin bagus performa PLTS.

- e. Energi yang berhasil dikirim ke grid. Lalu dibandingkan dengan nilai ideal / standar

Energi bersih yang berhasil diekspor ke jaringan PLN dicatat dari:

- Inverter monitoring
- kWh meter ekspor–impor

$$E_{grid} = E_{AC} - E_{load} \quad 3.9$$

Energi ini kemudian dibandingkan dengan nilai ideal berdasarkan spesifikasi PLTS untuk melihat apakah sistem bekerja sesuai desain.

3.4.4 Analisis Hasil Monitoring

1. Evaluasi Kinerja Dilihat apakah sistem mampu merekam data secara *real-time*, lengkap, dan tanpa error. Data juga dicek kesesuaiannya dengan kondisi di lapangan.
2. Faktor yang memengaruhi performa:
 - a. Cuaca: berpengaruh pada irradiance dan daya.
 - b. Suhu modul: suhu tinggi menurunkan efisiensi.
 - c. Kualitas inverter: mempengaruhi efisiensi konversi DC ke AC.
 - d. Efisiensi modul: menentukan besarnya energi yang dihasilkan.
3. Analisis dilakukan berdasarkan waktu:
 - Harian: melihat pola produksi harian.
 - Bulanan: melihat tren dan perubahan performa.
 - Per jam (jika diperlukan): untuk analisis detail perubahan daya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Sistem Monitoring PLTS 5 kWp

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 5 kWp di Laboratorium Renewable IT PLN merupakan sistem pembangkit listrik berbasis energi matahari yang terintegrasi langsung dengan jaringan PLN (on-grid system). Sistem ini dirancang sebagai sarana pembelajaran, penelitian, dan pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya pada evaluasi kinerja dan pemanfaatan energi surya untuk kebutuhan listrik. Dengan dukungan jaringan listrik PLN, PLTS ini tidak hanya mampu menyuplai energi untuk kebutuhan beban di laboratorium, namun juga dapat menyalurkan kelebihan energi ke jaringan listrik apabila produksi energi dari panel surya melebihi konsumsi beban.

Untuk memastikan bahwa energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara efektif dan aman, PLTS 5 kWp ini dilengkapi dengan perangkat monitoring yang bekerja secara *real-time*. Sistem monitoring ini berfungsi untuk merekam, menampilkan, dan menganalisis data operasional pembangkit, sehingga kondisi performa PLTS dapat diamati setiap saat. Monitoring ini juga berperan penting sebagai sistem pengawasan dalam mendeteksi adanya penyimpangan operasi, potensi kerusakan peralatan, maupun gejala penurunan efisiensi akibat faktor lingkungan seperti suhu tinggi dan perubahan intensitas cahaya matahari.

Secara umum, sistem PLTS ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Komponen tersebut meliputi modul surya sebagai sumber pembangkit energi DC, inverter grid-tie yang mengubah energi DC menjadi AC sesuai dengan karakteristik jaringan PLN, peralatan proteksi listrik untuk menjaga keselamatan peralatan dari gangguan kelistrikan, sensor pengukuran untuk memantau parameter penting seperti irradiansi, suhu modul, tegangan, arus, dan daya keluaran, serta data logger monitoring yang bertugas mengumpulkan, menyimpan, dan mengirimkan informasi performa sistem ke platform monitoring berbasis komputer atau aplikasi jaringan. Dengan keberadaan struktur sistem monitoring ini, performa PLTS dapat dianalisis secara menyeluruh baik dari sisi produksi energi, efisiensi sistem, hingga potensi kerugian energi (*Losses*) yang terjadi selama proses konversi daya.

Sistem monitoring pada PLTS 5 kWp bekerja secara *real-time*, artinya seluruh data operasional pembangkit direkam dan ditampilkan secara langsung pada dashboard monitoring tanpa adanya jeda waktu yang signifikan. Sistem ini mengumpulkan berbagai parameter kelistrikan dan lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap performa pembangkit. Parameter yang dimonitor meliputi:

1. Irradiansi matahari (W/m^2)
2. Suhu modul ($^{\circ}\text{C}$)
3. Daya & energi AC yang dihasilkan (kWh)
4. Tegangan & arus DC dari panel
5. Tegangan & arus AC ke grid
6. Efisiensi inverter

Dengan pemantauan seluruh parameter tersebut secara terintegrasi, operator dapat melakukan evaluasi performa secara cepat dan akurat berdasarkan data riil yang terjadi di lapangan. Apabila terjadi penyimpangan nilai parameter, sistem monitoring akan memberikan peringatan atau indikasi kondisi abnormal seperti penurunan tegangan panel, suhu yang terlalu tinggi, atau kegagalan penyinkronan dengan jaringan PLN. Hal ini memungkinkan tindakan korektif dapat dilakukan lebih awal sebelum berdampak pada kerusakan peralatan atau penurunan produksi energi yang signifikan.

Selain itu, data historis yang direkam oleh sistem monitoring dapat digunakan untuk menganalisis tren performa PLTS dalam periode harian, mingguan, hingga tahunan. Analisis ini bermanfaat untuk menentukan efektivitas perawatan, prediksi umur peralatan, serta perencanaan peningkatan performa di masa mendatang. Dengan demikian, sistem monitoring tidak hanya berfungsi sebagai alat pengawasan, namun juga menjadi sumber data penting dalam mendukung operasional yang efisien, ekonomis, dan berkelanjutan pada PLTS 5 kWp di Laboratorium Renewable IT PLN.

4.2 Data Operasional PLTS

Data pengujian diambil selama 1 hari dengan interval pencatatan per 15 menit

4.2.1 Perhitungan Parameter PLTS 2 Oktober

Tabel 4. 1 Parameter PLTS 2 Oktober

No	Tanggal	Waktu	PV Temperatur (°C)	Ambient Temperatur (°C)	Daily Irradiation (MJ/m ²)	Daily Irradiation (kWh/m ²)	WindSpeed (m/s)	Irradiance (W/m ²)
1	02 Oktober 2025	06.00	27,1	26,1	0,017	0,005	0	26,7
2	02 Oktober 2025	07.00	34,8	32,2	0,356	0,099	0	201,2
3	02 Oktober 2025	08.00	34,9	33,3	1,109	0,308	0	178,4
4	02 Oktober 2025	09.00	32,3	24	1,439	0,4	0	453,9
5	02 Oktober 2025	10.00	47,8	42,8	3,217	0,894	0	942,9
6	02 Oktober 2025	11.00	42,9	40	5,217	1,449	0	387,4
7	02 Oktober 2025	12.00	45,5	41,6	6,827	1,896	1	467,1
8	02 Oktober 2025	13.00	51,4	46	8,817	2,449	2,8	698
9	02 Oktober 2025	14.00	40,6	37,7	10,553	2,931	1,1	398,2
10	02 Oktober 2025	15.00	38,2	35,9	11,773	3,27	1,1	316,4
11	02 Oktober 2025	16.00	33,1	32,1	12,498	3,471	1,5	119,5
12	02 Oktober 2025	17.00	30,5	29,7	12,671	3,519	1,1	30,6

1. Kondisi Lingkungan dan Suhu Modul, Berdasarkan hasil pengamatan pada tanggal 2 Oktober 2025, suhu modul PLTS 5 kWp di Laboratorium Renewable IT PLN mengalami perubahan signifikan mengikuti peningkatan intensitas matahari. Pada pagi hari suhu modul berada pada kisaran 26–30°C, kemudian meningkat hingga mencapai nilai maksimum sebesar 51,4°C pada pukul 13.00 WIB. Nilai tersebut cukup tinggi dan secara teknis dapat menyebabkan penurunan efisiensi panel karena karakteristik modul fotovoltaik yang sensitif terhadap kenaikan suhu. Adapun suhu lingkungan juga meningkat secara bertahap namun tetap berada beberapa derajat lebih rendah dibanding suhu modul. Fenomena ini menunjukkan adanya pengaruh panas yang tertahan pada permukaan panel sehingga memunculkan potensi thermal *Losses* yang perlu dianalisis lebih lanjut.
2. Irradiansi Matahari, Irradiansi matahari yang diterima modul menunjukkan tren naik dari pukul 06.00 dengan nilai awal sekitar 26,7 W/m², kemudian mengalami peningkatan tajam hingga mencapai puncaknya sebesar 942,9 W/m² pada pukul

10.00 WIB. Selanjutnya nilai irradiansi masih berada dalam kondisi tinggi hingga sekitar pukul 14.00 sebelum mulai menurun drastis menjelang sore hari hingga akhirnya mendekati nol pada pukul 18.00 WIB. Variasi irradiansi ini mengikuti pola harian matahari yang normal pada kondisi cuaca cerah. Pada interval waktu pukul 09.00 hingga 14.00 dapat dikategorikan sebagai periode efektif produksi daya karena ketersediaan radiasi matahari yang melimpah.

3. Akumulasi Energi Radiasi Harian, Jika dilihat dari nilai irradiansi akumulatif, total radiasi matahari yang diterima pada hari pengamatan mencapai 12,713 MJ/m² atau setara dengan 3,531 kWh/m² per hari. Nilai tersebut masuk ke dalam kategori kondisi radiasi tinggi di wilayah tropis dan sangat mendukung proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga surya. Dengan potensi radiasi sebesar ini, PLTS 5 kWp seharusnya dapat menghasilkan energi mendekati kapasitas optimumnya, tergantung pada efisiensi inverter, kondisi modul, dan sistem pemasangan.
4. Kecepatan Angin, Kecepatan angin yang tercatat berada pada rentang 0 hingga 2,8 m/s. Angin berperan sebagai media pendinginan alami bagi modul sehingga dapat membantu menurunkan suhu panel ketika irradiansi tinggi. Pada jam-jam ketika kecepatan angin meningkat, suhu modul cenderung tidak naik secara ekstrem meskipun intensitas matahari tinggi. Dengan demikian, faktor kecepatan angin memberikan kontribusi dalam menjaga kestabilan performa panel dari efek pemanasan berlebih.

Kesimpulan Hasil Observasi Harian Dari rangkaian pengamatan tersebut, dapat disimpulkan bahwa selama periode pengukuran, kondisi cuaca dan radiasi matahari berada pada keadaan yang sangat mendukung proses produksi energi PLTS. Peningkatan irradiansi pada rentang pukul 09.00–14.00 menjadi waktu paling produktif dalam menghasilkan daya listrik. Meski demikian, kenaikan suhu modul yang cukup tinggi berpotensi menurunkan efisiensi konversi daya sehingga analisis temperature *Losses* diperlukan untuk mengetahui seberapa besar dampaknya terhadap performa PLTS. Secara umum, operasi PLTS pada tanggal tersebut berlangsung optimal dan layak dijadikan sebagai acuan untuk evaluasi kinerja sistem secara menyeluruh.

Kalau energi AC rendah $\rightarrow$ PR & Yf juga turun $\rightarrow$ sistem dianggap tidak optimal.

Hubungan E_AC dengan Rumus Kinerja PLTS

Parameter Rumus Keterangan

Final *Yield* (Yf)

$Yf = E_AC / P_STC$ Seberapa banyak energi per kWp yang dihasilkan

Performance Ratio (PR)

$PR = Yf / Yr \times 100\%$ Efisiensi sistem secara keseluruhan

Energi AC (E_AC)

$E_AC = Yf \times P_STC$ Energi AC yang dihasilkan PLTS

$P_STC = \text{kapasitas PLTS} = 5 \text{ kWp}$

$Yr = \text{Reference Yield}$ (dari irradiansi)

E_AC adalah output utama PLTS yang digunakan sebagai dasar penilaian kinerja.

Tabel 4. 2 Data Inverter 2 oktober

No	Tanggal	Waktu	PV1 Voltage (V)	PV1 Arus (A)	PV2 Voltage (V)	PV2 Arus (A)	I Phasa A (A)	V Phasa A (V)	I Phasa B (A)	V Phasa B (V)	I Phasa C (A)	V Phasa C (V)	Daily Energy (kWh)
1	02 Oktober 2025	06.00	196,6	0	179,8	0,2	0,154	230,2	0,153	239	0,179	230,5	0
2	02 Oktober 2025	07.00	202,4	1,66	194,3	2,23	1,09	230,2	1,07	237,5	1,122	232,1	0,32
3	02 Oktober 2025	08.00	206,8	0,83	192,6	2,04	0,833	231	0,827	231,5	0,864	230,1	1,09
4	02 Oktober 2025	09.00	150,3	6,43	194,6	5,89	2,887	228	2,866	232,4	2,904	233,1	1,41
5	02 Oktober 2025	10.00	145,2	11,42	189,8	10,37	4,965	226,8	4,954	234,6	4,978	234,9	3,36
6	02 Oktober 2025	11.00	142,6	5,09	189,8	4,95	2,342	226	2,321	229,8	2,353	230,8	5,54
7	02 Oktober 2025	12.00	140,4	6,31	184,6	6,12	2,783	230,3	2,764	236,7	2,814	232,2	7,37
8	02 Oktober 2025	13.00	142,4	9,43	189,1	8,77	4,071	231,4	4,06	234,6	4,079	233,2	9,62
9	02 Oktober 2025	14.00	145,4	5,27	190,5	5	2,386	223,2	2,358	236	2,4	232,8	11,68
10	02 Oktober 2025	15.00	150,8	4,05	191,6	4,08	1,929	225,1	1,898	237,6	1,948	231,8	13,07
11	02 Oktober 2025	16.00	170,9	1,35	188,2	1,66	0,756	227,6	0,738	235,6	0,783	230,6	13,9
12	02 Oktober 2025	17.00	153,8	0,21	185,9	0,2	0,198	229	0,195	233,7	0,239	229,3	14,06
13	02 Oktober 2025	18.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Yang digunakan sebagai E_{AC} pada perhitungan PR $\rightarrow$ Daily Energy (kWh)

Di tabel terlihat kolom Daily Energy (kWh) meningkat tiap waktu dan berhenti di nilai akhir: Total energi harian (E_{AC}) = 14,08 kWh.[2]

- Iradiasi harian (H)
 $= 12,713 \text{ MJ/m}^2$
 $= 3,531 \text{ kWh/m}^2$ (hasil konversi, sudah tersedia di data)
- Energi keluaran inverter harian (E_{AC})
 $= 14,08 \text{ kWh}$
(diambil dari nilai akhir kolom Daily Energy)
- Kapasitas terpasang (P_{STC})
 $= 5 \text{ kWp}$
- G_{STC}
 $= 1 \text{ kW/m}^2$

Berdasarkan Tabel 4.1 Data Inverter tanggal 2 Oktober, energi keluaran inverter harian (E_{AC}) diperoleh dari nilai akhir kolom *Daily Energy (kWh)*. Nilai tersebut menunjukkan akumulasi energi yang terus meningkat seiring waktu pengukuran dan berhenti pada nilai akhir sebesar 14,08 kWh, yang selanjutnya digunakan sebagai energi AC harian sistem.

Data iradiasi harian yang diperoleh sebesar $12,713 \text{ MJ/m}^2$, yang setelah dikonversi menjadi satuan kWh/m^2 menghasilkan nilai $3,531 \text{ kWh/m}^2$. Nilai ini merepresentasikan total energi radiasi matahari yang diterima permukaan modul surya selama satu hari pengukuran.

a. Reference Yield (Y_r)

Reference Yield (Y_r) dihitung untuk mengetahui potensi radiasi matahari yang tersedia dalam bentuk jam setara matahari penuh (*peak sun hours*). Perhitungan Y_r menggunakan persamaan:

$$Y_r = \frac{H}{G_{STC}}$$

dengan:

- H = iradiasi harian (kWh/m²)
- G_{STC} = iradiasi standar pada kondisi STC (1 kW/m²)

Sehingga diperoleh:

$$Y_r = \frac{3,531}{1} = 3,531 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{hari}$$

Nilai Reference Yield sebesar 3,531 kWh/kWp·hari menunjukkan bahwa pada tanggal 2 Oktober, potensi radiasi matahari yang tersedia setara dengan 3,531 jam matahari penuh.

b. Final Yield (Y_f)

Final Yield (Y_f) menunjukkan energi listrik AC aktual yang dihasilkan sistem per satuan kapasitas terpasang. Perhitungan Y_f dilakukan dengan persamaan:

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{STC}}$$

dengan:

- E_{AC} = energi keluaran inverter harian (kWh)
- P_{STC} = kapasitas terpasang PLTS (5 kWp)

Maka diperoleh:

$$Y_f = \frac{14,08}{5} = 2,816 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{hari}$$

Nilai Final *Yield* sebesar 2,816 kWh/kWp·hari menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik AC sebesar 2,816 kWh per kWp kapasitas terpasang dalam satu hari pengukuran.

c. Performance Ratio (PR)

Performance Ratio (PR) digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem PLTS secara keseluruhan dengan membandingkan energi aktual yang dihasilkan terhadap potensi radiasi yang tersedia. PR dihitung menggunakan persamaan:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}$$

Sehingga diperoleh:

$$PR = \frac{2,816}{3,531} = 0,797 \text{ atau } 79,7\%$$

Nilai PR sebesar **79,7%** menunjukkan bahwa sistem PLTS memiliki kinerja yang **baik**, dengan kerugian energi yang relatif kecil akibat faktor suhu, inverter, dan sistem lainnya.

d. Perhitungan Pembanding (Energi Teoretis bila PR = 100%)

Sebagai pembanding, dilakukan perhitungan energi teoretis yang seharusnya dihasilkan sistem apabila bekerja sempurna (PR = 100%), yaitu tanpa adanya rugi-rugi sistem.

Rumus:

$$E_{theoretical} = Y_r \times P_{STC}$$

Diketahui:

- $Y_r = 3,531 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{hari}$
- $P_{STC} = 5 \text{ kWp}$

Hasil perhitungan:

$$E_{theoretical} = 3,531 \times 5 = 17,655 \text{ kWh}$$

Artinya, jika sistem bekerja ideal, maka energi listrik yang dapat dihasilkan pada hari tersebut adalah 17,655 kWh.

Namun berdasarkan data inverter, energi aktual yang dihasilkan adalah:

$$E_{AC} = 14,08 \text{ kWh}$$

Sehingga sistem hanya menghasilkan sekitar:

$$\frac{14,08}{17,655} \times 100\% \approx 79,7\%$$

atau terdapat rugi-rugi sistem sekitar **20,3%**.

Interpretasi dan Kesimpulan Perhitungan

- *Reference Yield* (Y_r) = 3,531 kWh/kWp·hari, Menunjukkan bahwa pada hari pengukuran, radiasi matahari tergolong baik, sehingga potensi energi yang tersedia cukup tinggi.
- *Final Yield* (Y_f) = 2,816 kWh/kWp·hari, Menunjukkan energi listrik nyata yang berhasil dihasilkan sistem per kWp kapasitas terpasang.
- *Performance Ratio* (PR) $\approx 79,7\%$, Nilai ini berada dalam rentang normal untuk sistem PLTS on-grid (umumnya $\geq 70\%$), yang menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dan rugi-rugi masih dalam batas wajar.
- Energi aktual vs energi teoretis, Energi aktual sebesar 14,08 kWh dibandingkan dengan energi teoretis 17,655 kWh menunjukkan adanya rugi-rugi sistem sekitar 20,3%, yang dapat disebabkan oleh faktor suhu modul, efisiensi inverter, *Losses* kabel, dan mismatch modul.

Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil analisis pada tanggal 2 Oktober, diperoleh:

- $Y_r = 3,531 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{hari}$
- $Y_f = 2,816 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{hari}$
- $PR \approx 79,7\%$
- $E_{AC} = 14,08 \text{ kWh}$

Dengan potensi radiasi yang baik, sistem PLTS berkapasitas 5 kWp mampu menghasilkan energi listrik mendekati kondisi ideal. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara optimal dan tidak terdapat indikasi gangguan besar pada sistem maupun kesalahan pengukuran.

4.2.2 Perhitungan Parameter PLTS 4 Oktober

Pada bagian ini dilakukan perhitungan kinerja harian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berdasarkan data aktual yang diperoleh dari sistem monitoring, yaitu data inverter (sebagai sumber energi AC) dan data sensor PV irradiance (sebagai sumber data radiasi matahari).

Parameter yang dihitung meliputi:, Energi AC Harian (E_{AC}), Irradiansi Harian (H), *Reference Yield* (YR), *Final Yield* (YF), *Performance Ratio* (PR)

1. Energi AC Harian (E_{AC})

Energi AC harian (E_{AC}) diperoleh dari data keluaran inverter yang menunjukkan total energi listrik AC yang berhasil dikonversi dari energi DC panel surya dan disalurkan ke jaringan PLN (on-grid).

Tabel 4. 3 Data Inverter 4 Oktober

Data Inverter PV												
Tanggal	Waktu	PV1 (MonoCristalin)		PV2 (Bifasial)		Phasa A		Phasa B		Phasa C		Daily Energy (kWh)
		Voltage (Volt)	Arus (Amper)	Voltage (Volt)	Arus (Amper)	Current Phasa A	Voltage Phasa A	Current Phasa B	Voltage Phasa B	Current Phasa C	Voltage Phasa C	
04 Oktober 2025	06.00	192,5	0	202,8	0	0	235,7	0	238,7	0	232	0
04 Oktober 2025	06.15	198,5	0	183,4	0,24	0,155	234,8	0,145	239,7	0,172	232	0
04 Oktober 2025	06.30	176,5	0,33	190,2	0,24	0,218	235,1	0,221	238,6	0,266	233,2	0,02
04 Oktober 2025	06.45	180,6	0,38	188	0,44	0,275	235	0,261	239,7	0,314	233,2	0,05
04 Oktober 2025	07.00	159,8	1,6	202,5	0,44	0,358	233,8	0,341	240,8	0,391	233,2	0,11
04 Oktober 2025	07.15	162,4	2,38	206,1	1,42	0,958	239,7	0,916	239,1	0,969	232,2	0,23
04 Oktober 2025	07.30	153,2	3,94	185	2,54	1,457	239,9	1,43	239,7	1,484	231,9	0,43
04 Oktober 2025	07.45	149	4,8	177,8	3,48	1,851	227,1	1,815	239,4	1,873	232	0,71
04 Oktober 2025	08.00	143,7	5,47	178,4	3,94	2,085	227,7	2,046	239	2,1	230,9	1,05
04 Oktober 2025	08.15	145	6,24	193,5	4,53	2,518	226,6	2,477	235,9	2,517	229,2	1,44
04 Oktober 2025	08.30	213,4	0	224,2	0	0	222,8	0	229,9	0	226,2	1,83
04 Oktober 2025	08.45	144,8	7,56	200,1	5,63	3,073	227,3	3,04	234,1	3,08	234	2,31
04 Oktober 2025	09.00	150,7	6,94	188,5	6,37	3,071	227,8	3,037	233,1	3,088	232,1	2,83
04 Oktober 2025	09.15	145	7,9	180,4	6,57	3,267	228	3,234	232,1	3,275	232	3,35
04 Oktober 2025	09.30	144,1	8,62	180	7,46	3,609	226,4	3,571	234,6	3,623	231,6	3,94
04 Oktober 2025	09.45	138,2	9,39	156,2	8,82	3,65	225,5	3,597	234,6	3,654	232	4,57
04 Oktober 2025	10.00	138,1	9,56	172,3	9,08	3,096	230,3	3,686	233,7	3,909	230	5,27
04 Oktober 2025	10.15	138,1	10,11	180,2	9,75	4,267	227,6	4,238	235,3	4,27	231,3	5,85
04 Oktober 2025	10.30	144,3	9,79	180,1	10,29	4,424	231,6	4,408	234,1	4,432	234	6,45
04 Oktober 2025	10.45	138,3	10,48	180,1	9,93	4,425	230,6	4,408	233,5	4,419	234,8	7,2
04 Oktober 2025	11.00	138,1	9,8	184,1	9,16	4,102	232,3	4,081	234,7	4,109	232,3	7,9
04 Oktober 2025	11.15	138,1	9,78	180,2	9,3	4,057	232,6	4,036	234,8	4,071	231,6	8,62
04 Oktober 2025	11.30	138,2	10,62	184	9,93	4,437	232,5	4,416	234,5	4,445	233,1	9,33
04 Oktober 2025	11.45	138,1	10,12	184,1	9,52	4,2	235,2	4,189	235,5	4,224	321,8	10,08
04 Oktober 2025	12.00	138,3	10,23	184,1	9,65	4,272	236	4,261	236,3	4,291	234,1	10,84
04 Oktober 2025	12.15	144,2	9,35	184,1	9,5	4,163	236	4,144	237,5	4,186	234,2	11,57
04 Oktober 2025	12.30	144,2	8,94	188,2	8,6	3,778	233,9	3,757	238,2	3,797	235,3	12,31
04 Oktober 2025	12.45	144,2	9,57	184	10,02	4,241	235	4,221	238,7	4,259	234,6	13,04
04 Oktober 2025	13.00	144,3	9,33	184,1	9,64	4,116	234,4	4,107	237,5	4,146	234,3	13,79
04 Oktober 2025	13.15	156,3	6,95	188	9,2	3,891	231,4	3,861	237,7	3,901	232,5	14,5
04 Oktober 2025	13.30	148,4	6,53	184,3	9,16	3,584	231,3	3,558	237,5	3,601	231,8	15,13
04 Oktober 2025	13.45	180,2	4,66	188	8,5	3,288	230,5	3,264	239,8	3,315	229,9	15,72
04 Oktober 2025	14.00	164,7	5,17	192	7,94	3,185	230,6	3,157	246,7	3,214	228	16,28
04 Oktober 2025	14.15	172,3	4,9	188,2	7,53	3,089	231,2	3,074	239,5	3,123	229,3	16,81
04 Oktober 2025	14.30	168,1	4,35	196,4	5,52	2,413	231,3	2,388	239,8	2,441	227,2	17,29
04 Oktober 2025	14.45	156,2	4,35	196,4	5,12	2,368	230,3	2,342	239,8	2,394	228,3	17,66
04 Oktober 2025	15.00	151,7	2,42	189,1	2,72	1,2	228,7	1,178	237,8	1,225	227,6	18,01
04 Oktober 2025	15.15	156,1	4,5	188,8	5,02	2,278	229,7	2,249	241,3	2,303	230,2	18,3
04 Oktober 2025	15.30	151,9	4,22	192,7	4,64	2,077	230,7	2,052	239,4	2,109	228,5	18,67
04 Oktober 2025	15.45	151,8	3,8	188,8	4,03	1,852	229,7	1,824	239,8	1,876	230,9	19,01
04 Oktober 2025	16.00	139,7	2,57	185,1	2,43	1,114	231	1,097	237,3	1,142	231,7	19,25
04 Oktober 2025	16.15	139,7	1,69	185,9	1,6	0,748	231,9	0,746	237,8	0,768	231,7	19,39
04 Oktober 2025	16.30	143,3	1,03	190,1	0,97	0,452	232	0,439	240	0,485	230,5	19,5
04 Oktober 2025	16.45	141,9	0,63	179,2	0,56	0,254	233	0,246	239	0,287	231,1	19,54
04 Oktober 2025	17.00	138,3	0,43	179,1	0,56	0,261	230,2	0,255	236,2	0,292	230	19,57
04 Oktober 2025	17.15	138,2	0,43	175,3	0,46	0,203	230,9	0,196	236,3	0,219	229,2	19,59
04 Oktober 2025	17.30	163,9	0	170,5	0	0	230	0	237,7	0	229,1	19,6
04 Oktober 2025	17.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,6
04 Oktober 2025	18.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pada tanggal 04 Oktober 2025, hasil monitoring inverter menunjukkan nilai:

$$E_{AC} = 19,6 \text{ kWh}$$

Nilai tersebut adalah akumulasi energi yang direkam inverter sejak pukul 06.00 hingga 17.45. Inverter mengukur daya AC (P_{AC}) secara *real-time* setiap beberapa detik. Sistem monitoring mengintegrasikan (menjumlahkan) seluruh daya selama satu hari. Hasil integrasi tersebut menghasilkan total energi harian (kWh). Data tersebut ditampilkan dalam menu Daily Energy di layar inverter dan aplikasi.

2. Iridiansi Harian

Irradiansi matahari adalah parameter penting yang menentukan potensi energi yang dapat dihasilkan panel surya. Data irradiansi diperoleh dari sensor pyranometer atau irradiance meter yang terpasang sejajar kemiringan panel.

Tabel 4. 4 Data Sensor PV 4 Oktober

Tanggal	Waktu	Sensor PV Irradiance					
		Temperatur PV Suhu (°C)		Dailly Irradiation (MJ/m ²)	Dailly Irradiation (Energy)	Wind Speed (m/s)	Irradiance (W/m ²)
		PV Temperatur	Ambient Temperatur				
04 Oktober 2025	06.00	25,9	25,1	0,017	0,004	0	20,8
04 Oktober 2025	06.15	26,7	25,9	0,042	0,011	0	33,7
04 Oktober 2025	06.30	27,7	26,6	0,084	0,023	0	57
04 Oktober 2025	06.45	29,3	27,6	0,147	0,04	0	131,2
04 Oktober 2025	07.00	33,9	31,2	0,291	0,081	0	187
04 Oktober 2025	07.15	36,3	33,5	0,469	0,13	0	231
04 Oktober 2025	07.30	38,2	35,3	0,697	0,193	0	270,9
04 Oktober 2025	07.45	41	37,2	0,963	0,268	0	330,8
04 Oktober 2025	08.00	43,6	39,2	1,282	0,356	0	383,5
04 Oktober 2025	08.15	45,6	41,1	1,641	0,456	0	415,1
04 Oktober 2025	08.30	48,8	43,4	2,048	0,569	0	483,7
04 Oktober 2025	08.45	51,2	45,2	2,538	0,705	0	622,6
04 Oktober 2025	09.00	50,3	44,8	3,058	0,849	0	648,1
04 Oktober 2025	09.15	54,1	47,4	3,579	0,994	0	286,9
04 Oktober 2025	09.30	54,2	47,4	4,118	1,144	0	767,2
04 Oktober 2025	09.45	53	47,2	4,645	1,29	1,2	228,5
04 Oktober 2025	10.00	46,4	43,7	4,986	1,385	0	297,6
04 Oktober 2025	10.15	47,5	44,2	5,431	1,508	0	243,5
04 Oktober 2025	10.30	41,3	38,8	5,629	1,563	1,7	316,2
04 Oktober 2025	10.45	54,1	47,6	6,254	1,737	1	243,6
04 Oktober 2025	11.00	56,9	49,6	6,957	1,933	0,6	879,7
04 Oktober 2025	11.15	58,2	51,7	7,645	2,124	1,8	895,7
04 Oktober 2025	11.30	58,2	51,7	8,38	2,328	0	901,7
04 Oktober 2025	11.45	55,6	51,6	9,167	2,546	0,6	319,3
04 Oktober 2025	12.00	48,4	46,3	9,777	2,716	1	358,2
04 Oktober 2025	12.15	51,7	46,5	10,473	2,906	1,1	699,4
04 Oktober 2025	12.30	52,1	46,2	11,059	3,075	2,1	815,6
04 Oktober 2025	12.45	50,1	45,4	11,698	3,249	1,4	470,8
04 Oktober 2025	13.00	49,3	44,8	12,282	3,412	2,4	659,9
04 Oktober 2025	13.15	52,9	47	13	3,581	1,5	773,6
04 Oktober 2025	13.30	49,5	46,5	13,501	3,75	2	420,5
04 Oktober 2025	13.45	43,3	41,1	13,852	3,848	0	356
04 Oktober 2025	14.00	41,5	39	14,16	3,933	1,3	335,1
04 Oktober 2025	14.15	42,6	39,7	14,47	4,019	1,3	333,9
04 Oktober 2025	14.30	43,1	40,6	14,776	4,104	0	304,1
04 Oktober 2025	14.45	42,1	39,6	15,049	4,18	0	282,4
04 Oktober 2025	15.00	41,6	39,2	15,303	4,251	0	264,6
04 Oktober 2025	15.15	40,1	38,3	15,571	4,311	0	199,8
04 Oktober 2025	15.30	38	36,2	15,181	4,356	1	169,2
04 Oktober 2025	15.45	37,4	35,7	15,828	4,396	0,7	160,5
04 Oktober 2025	16.00	37,7	35,8	15,972	4,436	0	158,9
04 Oktober 2025	16.15	36,8	35,4	16,1	4,472	0,7	124,4
04 Oktober 2025	16.30	35,7	34,4	16,2	4,5	0	100,4
04 Oktober 2025	16.45	34,7	33,6	16,282	4,522	0,7	79,6
04 Oktober 2025	17.00	33,4	32,5	16,337	4,538	0	45,5
04 Oktober 2025	17.15	32	31,4	16,368	4,546	0	25,3
04 Oktober 2025	17.30	31,3	30,7	16,385	4,551	1	13
04 Oktober 2025	17.45	30,7	30,1	16,391	4,553	0	2,4
04 Oktober 2025	18.00	30,5	30	16,392	4,553	0	0,1

Berdasarkan data sensor irradiance pada tanggal 04 Oktober 2025, diperoleh nilai irradiansi harian terakumulasi sebesar:

$$H = 4,553 \text{ kWh/m}^2$$

Sensor PV mengukur intensitas radiasi matahari dalam satuan W/m² setiap interval 15 menit. Selanjutnya sistem monitoring melakukan proses:

1. Mengakumulasi seluruh nilai irradiansi harian,
2. Mengonversi satuan W/m² menjadi MJ/m² dan kWh/m²,
3. Menjumlahkan seluruh interval pengukuran dari pukul 06.00–18.00 untuk memperoleh nilai *daily irradiation*.

Sebagai contoh, pada pukul 10.00 tercatat irradiance sebesar 942,9 W/m², yang kemudian secara otomatis dikonversi oleh sistem. Setelah seluruh interval dijumlahkan, diperoleh total irradiansi harian sebesar 4,553 kWh/m².

Nilai irradiansi mencapai puncak pada rentang waktu 10.00–13.00, sesuai dengan kondisi cuaca cerah. Kurva irradiansi membentuk pola bell-shape, sehingga data dinyatakan valid dan representatif untuk analisis kinerja PLTS.

a. Perhitungan *Reference Yield* (Y_r)

Reference Yield (Y_r) menggambarkan potensi energi matahari yang tersedia dalam satu hari.

Rumus:

$$Y_r = H$$

Substitusi:

$$Y_r = 4,553 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{hari}$$

Makna *Reference Yield*:

- Sistem menerima radiasi matahari yang tinggi.
- Kondisi cuaca sangat mendukung untuk produksi energi listrik.
- Nilai ini digunakan sebagai baseline pembandingan terhadap energi aktual sistem.

b. Perhitungan *Final Yield* (Y_f)

Final Yield (Y_f) menunjukkan jumlah energi listrik AC yang dihasilkan per 1 kWp kapasitas terpasang.

Rumus:

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{STC}}$$

Diketahui:

- $E_{AC} = 19,6 \text{ kWh}$
- $P_{STC} = 5 \text{ kWp}$

Perhitungan:

$$Y_f = \frac{19,6}{5} = 3,92 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{hari}$$

Makna Final *Yield*:

- Nilai normal Y_f di Indonesia berkisar antara 3–5 kWh/kWp·hari.
- Nilai 3,92 kWh/kWp·hari menunjukkan produksi energi berada dalam rentang normal.
- Sistem mampu memanfaatkan potensi radiasi dengan baik.

c. Perhitungan *Performance Ratio* (PR)

Performance Ratio (PR) menggambarkan efisiensi keseluruhan sistem, yang mencakup pengaruh modul, inverter, kabel, suhu, dan rugi-rugi lainnya.

Rumus:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}$$

Substitusi:

$$PR = \frac{3,92}{4,553} = 0,861 \approx 86,1\%$$

Interpretasi PR:

- PR ideal sistem PLTS on-grid: 75% – 90%
- PR < 50%: kinerja buruk
- PR < 20%: kinerja sangat buruk

Nilai PR sebesar 86,1% menunjukkan bahwa sistem bekerja sangat efisien dan optimal.

Analisis Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan Y_r , Y_f , dan PR, diperoleh beberapa temuan penting:

- Produksi Energi AC Sesuai Potensi, Dengan irradiansi harian sebesar 4,553 kWh/m², energi teoretis sistem PLTS 5 kWp adalah:

$$5 \times 4,553 \approx 22,77 \text{ kWh/hari}$$

- Energi aktual yang dihasilkan sebesar 19,6 kWh, atau sekitar 86% dari nilai ideal, menunjukkan kinerja sistem yang baik.
- Final *Yield* Menunjukkan Performa Normal, Nilai $Y_f = 3,92 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{hari}$ berada dalam rentang standar PLTS di Indonesia, menandakan sistem bekerja sesuai kapasitas terpasang.
- *Performance Ratio* Tinggi, PR sebesar 86,1% menunjukkan bahwa rugi-rugi sistem relatif kecil.
- Perkiraan *Losses* sistem:

$$1 - PR = 1 - 0,861 = 0,139 \approx 13,9\%$$

Nilai ini masih tergolong normal untuk sistem PLTS on-grid.

Kesimpulan Perhitungan Kinerja PLTS

Berdasarkan analisis data harian tanggal 04 Oktober 2025 dengan kapasitas sistem 5 kWp, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Reference *Yield* (Y_r) sebesar 4,553 kWh/kWp·hari menunjukkan kondisi cuaca sangat mendukung.
- Energi AC harian yang dihasilkan sebesar 19,6 kWh, mendekati nilai ideal sistem.
- Final *Yield* (Y_f) sebesar 3,92 kWh/kWp·hari berada dalam rentang normal.
- *Performance Ratio* (PR) sebesar 86,1% menunjukkan sistem bekerja efisien dan optimal.
- Tidak ditemukan indikasi gangguan signifikan pada sistem PLTS.

4.2.3 Perhitungan Parameter PLTS Harian

Perhitungan parameter kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dilakukan secara harian untuk mengetahui tingkat performa sistem dalam menghasilkan energi listrik berdasarkan kondisi iradiasi matahari yang diterima setiap hari. Parameter-parameter yang dihitung meliputi Energi AC Harian (E_{AC}), Irradiansi Harian (H), Final *Yield* (YF), Reference *Yield* (YR), serta *Performance Ratio* (PR).

Pengukuran energi dan iradiasi dilakukan menggunakan data keluaran inverter serta sensor iradiasi yang terpasang pada sistem. Nilai energi yang dihasilkan setiap hari dibandingkan dengan standar kapasitas terpasang untuk memperoleh nilai *Yield* dan efisiensi kinerja. Dengan menghitung parameter-parameter tersebut, dapat dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap kualitas operasi PLTS, pengaruh cuaca, efisiensi modul surya, serta potensi terjadinya rugi-rugi daya pada sistem.

Hasil perhitungan harian ini menjadi dasar dalam menentukan seberapa optimal sistem bekerja dan sebagai acuan dalam menganalisis tren performa PLTS dari hari ke hari. Semakin tinggi nilai final *Yield* dan performance ratio, maka semakin baik kualitas kinerja pembangkit dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

Dalam melakukan analisis kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), diperlukan data operasional harian yang menggambarkan seberapa optimal sistem bekerja di bawah kondisi cuaca dan iradiasi matahari yang berubah-ubah setiap harinya. Parameter utama yang digunakan untuk menilai performa PLTS meliputi Energi AC Harian (E_{AC}), Irradiansi Harian (H), Final *Yield* (YF), Reference *Yield* (YR), serta *Performance Ratio* (PR).

Parameter tersebut memberikan informasi penting mengenai jumlah energi yang benar-benar dihasilkan sistem, kualitas radiasi matahari yang diterima modul, tingkat efisiensi proses konversi energi, hingga kemampuan keseluruhan sistem dalam mengoperasikan PLTS secara stabil. Dengan mengetahui variasi nilai parameter setiap hari, dapat dilakukan evaluasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi performa, seperti kondisi cuaca, suhu modul, shading, atau potensi terjadinya rugi-rugi daya pada inverter.

Oleh karena itu, data harian kinerja PLTS dicatat, diolah, dan dibandingkan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai perilaku sistem. Berikut ini disajikan tabel data hasil pengukuran dan perhitungan parameter kinerja PLTS dari tanggal 2 Oktober hingga 14 Oktober sebagai dasar dalam proses analisis pada bagian selanjutnya.

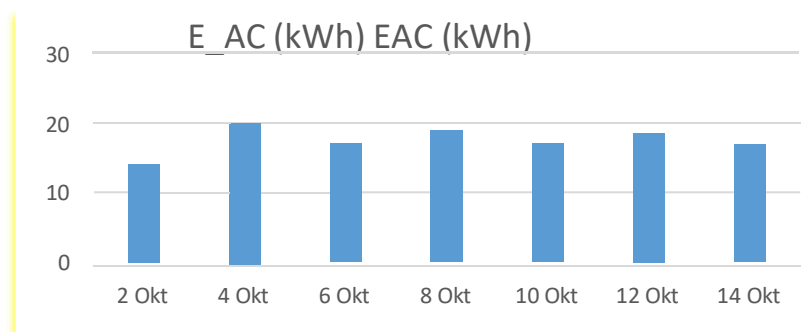
1. Perhitungan E_{AC} (Energi AC)

Grafik E_AC (kWh) menunjukkan energi listrik arus bolak-balik (Alternating Current/AC) yang dihasilkan oleh sistem panel surya setelah melalui proses konversi dari arus searah (DC) oleh inverter. Energi listrik ini dinyatakan dalam satuan kilowatt-hour (kWh), yang merupakan satuan standar untuk mengukur energi Listrik.

Tabel 4. 5 ENERGI_AC

E_AC (kWh)	
Tanggal	EAC (kWh)
2 Okt	14,08
4 Okt	19,6
6 Okt	16,94
8 Okt	18,87
10 Okt	16,98
12 Okt	18,52
14 Okt	16,92

Data E_AC dari tanggal 2 hingga 14 Oktober menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan PLTS setiap harinya berfluktuasi antara 14 hingga 19 kWh. Variasi ini terjadi secara alami karena perubahan cuaca dan intensitas cahaya matahari. Hari dengan cuaca cerah menghasilkan energi lebih tinggi seperti 4 Oktober, sedangkan hari dengan iradiasi rendah menghasilkan energi lebih kecil seperti 2 Oktober. Secara keseluruhan, pembangkitan energi terlihat stabil dan mencerminkan performa PLTS yang bekerja dengan baik sesuai kondisi cuaca harian.



Gambar 4. 1 grafik E_AC (Energi AC)

Secara grafik, tren E_AC dari 2 hingga 14 Oktober terlihat naik-turun mengikuti kondisi iradiasi matahari. Titik grafik menunjukkan peningkatan tajam pada 4 Oktober sebagai nilai tertinggi, kemudian bergerak fluktuatif di kisaran 16–19 kWh pada hari-hari berikutnya. Pola grafik tersebut menunjukkan bahwa produksi energi PLTS bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi intensitas sinar matahari harian, namun tetap berada pada rentang yang stabil tanpa adanya penurunan ekstrem.

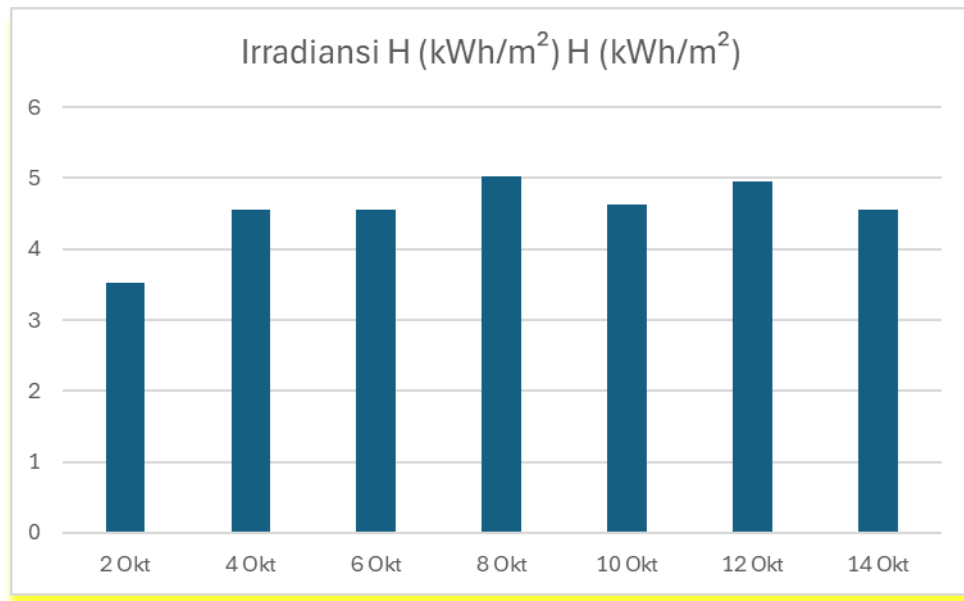
2. Perhitungan Irridiasi

Grafik Irradiansi H (kWh/m²) menunjukkan besarnya energi radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya dalam satuan kilowatt-hour per meter persegi (kWh/m²) selama periode waktu tertentu. Nilai irradiansi ini merepresentasikan akumulasi energi sinar matahari yang jatuh pada permukaan panel surya setiap harinya.

Tabel 4. 6 Tabel Irradiansi

Irradiansi H (kWh/m ²)	
Tanggal	H (kWh/m ²)
2 Okt	3,531
4 Okt	4,553
6 Okt	4,553
8 Okt	5,026
10 Okt	4,63
12 Okt	4,95
14 Okt	4,563

Tabel tersebut menampilkan nilai iradiasi harian (H) dalam satuan kWh/m² untuk setiap tanggal pengukuran. Iradiasi H menggambarkan seberapa besar energi cahaya matahari yang diterima permukaan modul surya setiap harinya. Semakin tinggi nilai H, semakin besar potensi energi yang dapat dihasilkan PLTS. Tabel ini menjadi acuan utama untuk menilai kondisi penyinaran matahari pada hari-hari tertentu dan sangat berpengaruh terhadap output energi harian sistem PLTS.



Gambar 4. 2 grafik irridiasi

Grafik iradiasi tersebut memperlihatkan pola penyinaran matahari yang cenderung stabil selama periode pengamatan. Meskipun terdapat sedikit fluktuasi antartanggal, perubahan yang terjadi tidak terlalu ekstrem. Nilai terendah muncul pada 2 Oktober dengan sekitar 3,5 kWh/m², sementara nilai tertinggi berada pada 8 dan 12 Oktober, mendekati 5 kWh/m². Pola ini menunjukkan bahwa sebagian besar hari memiliki kondisi cuaca cerah hingga berawan ringan, sehingga intensitas matahari tetap cukup baik untuk menghasilkan energi yang optimal dari sistem PLTS.

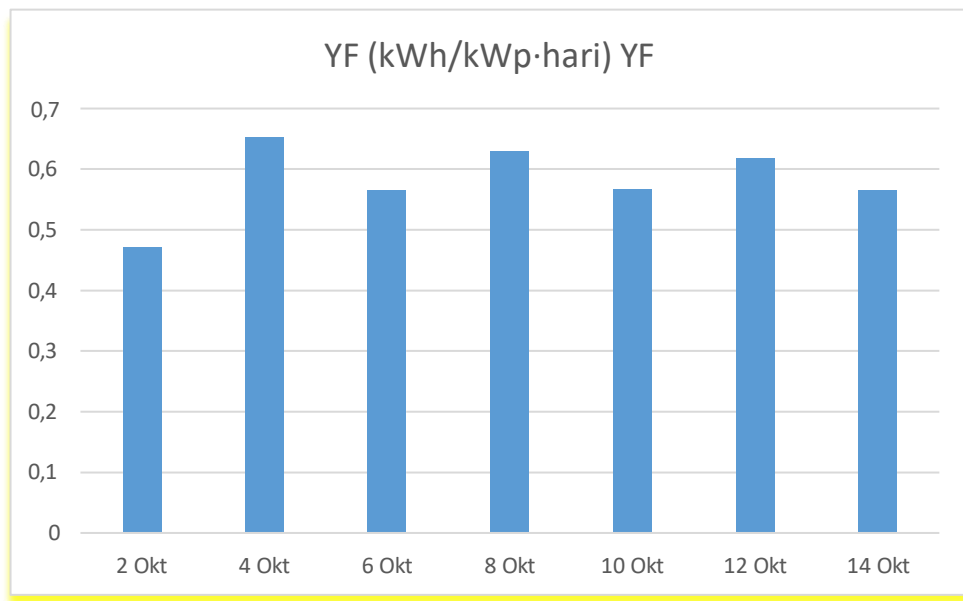
3. Perhitungan Final *Yeield*

Grafik YF (*Yield* Final) menunjukkan hasil energi listrik yang dihasilkan sistem panel surya per kapasitas terpasang dalam satuan kilowatt-hour per kilowatt-peak per hari (kWh/kWp·hari). Parameter YF digunakan untuk mengevaluasi kinerja aktual sistem fotovoltaik secara independen terhadap kapasitas daya terpasang

Tabel 4. 7 Mengukur energi AC

YF (kWh/kWp·hari)	
Tanggal	YF
2 Okt	0,47
4 Okt	0,653
6 Okt	0,565
8 Okt	0,629
10 Okt	0,566
12 Okt	0,617
14 Okt	0,564

Secara umum, nilai YF yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem PLTS belum mencapai performa idealnya, karena biasanya PLTS mampu menghasilkan 3–5 kWh/kWp·hari pada kondisi optimal. Rendahnya nilai YF pada periode ini mengindikasikan adanya pengaruh signifikan dari cuaca berawan, variasi intensitas radiasi matahari, serta kemungkinan faktor teknis seperti efisiensi inverter, suhu modul yang tinggi, atau adanya shading. Meskipun demikian, pola data memperlihatkan bahwa ketika iradiasi meningkat—seperti pada tanggal 4, 8, dan 12 Oktober—nilai YF juga meningkat, menandakan bahwa sistem masih merespons radiasi matahari dengan baik. Dengan demikian, performa PLTS dapat dikatakan stabil namun belum optimal, dan peningkatan kinerja dapat dicapai melalui pemeliharaan sistem serta pemantauan kondisi cuaca.



Gambar 4. 3 Grafik YF (Final *Yield*)

Jika dilihat secara grafik, pola YF (Final *Yield*) akan terlihat naik–turun mengikuti perubahan iradiasi harian. Grafiknya tidak membentuk garis yang stabil, tetapi berupa gelombang dengan beberapa titik puncak dan lembah.

Pada bagian kiri grafik (awal Oktober), nilai YF mulai dari titik terendah 0,47, kemudian grafik naik tajam pada 4 Oktober menuju 0,653, yang menjadi puncak tertinggi. Setelah itu grafik sedikit menurun pada 6 Oktober, lalu kembali meningkat pada 8 dan 12 Oktober. Pada akhir grafik (14 Oktober), nilai YF kembali menurun ringan ke sekitar 0,564.

- Secara visual, grafik tersebut menunjukkan bahwa:
- Setiap peningkatan iradiasi menghasilkan kenaikan YF, sehingga grafik naik.
- Penurunan iradiasi menyebabkan YF turun, sehingga grafik menurun.
- Grafik bergerak dalam bentuk fluktuasi halus, mencerminkan kondisi cuaca dan intensitas matahari yang berubah-ubah setiap hari.

Dengan demikian, grafik YF (Reference *Yield*) memperlihatkan bahwa kinerja PLTS sangat dipengaruhi oleh kondisi penyinaran matahari, dan pola grafiknya selaras dengan grafik iradiasi harian.

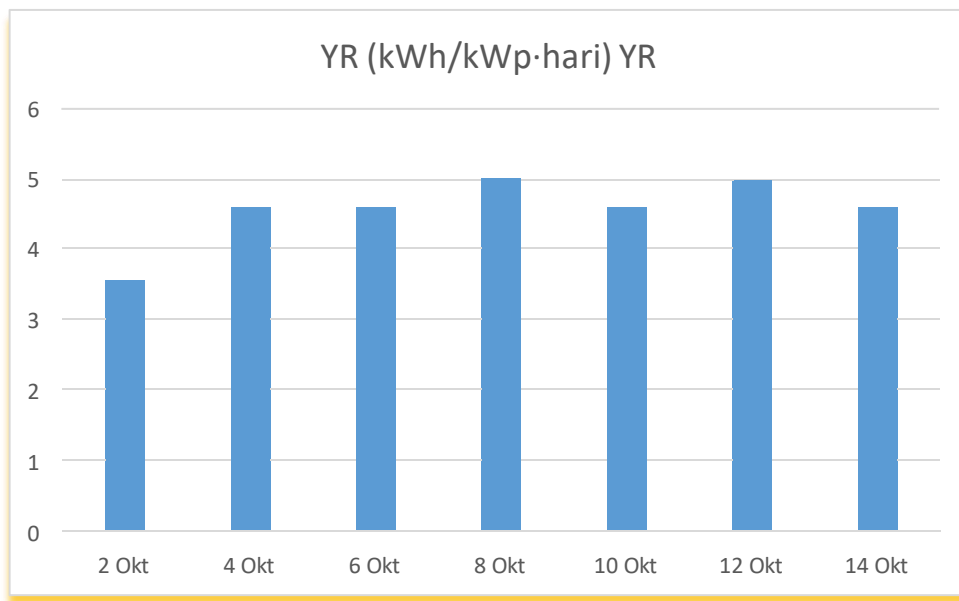
4. Perhitungan YR (Reference *Yield*)

Grafik YR (Reference *Yield*) menunjukkan potensi energi listrik teoritis yang dapat dihasilkan oleh sistem panel surya berdasarkan irradiansi matahari yang diterima, dalam satuan kilowatt-hour per kilowatt-peak per hari (kWh/kWp·hari). Parameter YR digunakan sebagai acuan ideal dalam menilai kinerja sistem fotovoltaik.

Tabel 4. 8 Mengukur lama penyinaran ekuivalen (YR)

YR (kWh/kWp·hari)	
Tanggal	YR
2 Okt	3,53
4 Okt	4,553
6 Okt	4,553
8 Okt	5,026
10 Okt	4,63
12 Okt	4,95
14 Okt	4,563

Nilai-nilai YR (Reference *Yield*) dalam tabel juga menunjukkan bagaimana potensi maksimum energi yang bisa dihasilkan PLTS berubah setiap harinya. Ketika YR tinggi, berarti kondisi cuaca sangat mendukung karena intensitas radiasi matahari berada pada level optimal. Sebaliknya, ketika YR turun, ini menandakan adanya pengurangan penyinaran akibat faktor seperti awan tebal, hujan, atau posisi matahari yang kurang ideal. Secara keseluruhan, data YR ini memberikan gambaran bahwa selama periode pengamatan, potensi energi surya berada pada kategori cukup baik, dengan variasi yang wajar sesuai kondisi cuaca harian yang berubah-ubah.



Gambar 4. 4 Grafik Reference *Yield* (YR)

Jika nilai YR (Reference *Yield*) digambarkan dalam bentuk grafik, pola yang muncul akan menunjukkan fluktuasi ringan yang mengikuti perubahan intensitas radiasi matahari setiap harinya. Grafik tersebut akan tampak seperti garis atau batang yang naik dan turun secara bertahap.

Pada tanggal dengan penyinaran tinggi, seperti 4, 8, dan 12 Oktober, grafik akan menampilkan puncak karena nilai YR berada di level maksimal. Sementara pada tanggal seperti 2 atau 14 Oktober, grafik akan sedikit menurun, menandakan penurunan potensi penyinaran. Secara visual, grafik YR memperlihatkan bahwa penyinaran matahari selama periode pengamatan berada pada tingkat yang cukup stabil, tanpa penurunan ekstrem, dan mengikuti pola alamiah perubahan cuaca harian. Ini menegaskan bahwa YR sangat dipengaruhi oleh intensitas iradiasi, sehingga grafiknya merefleksikan kondisi cuaca dan tingkat kecerahan matahari dari hari ke hari.

5. Perhitungan *Performa Ratio*

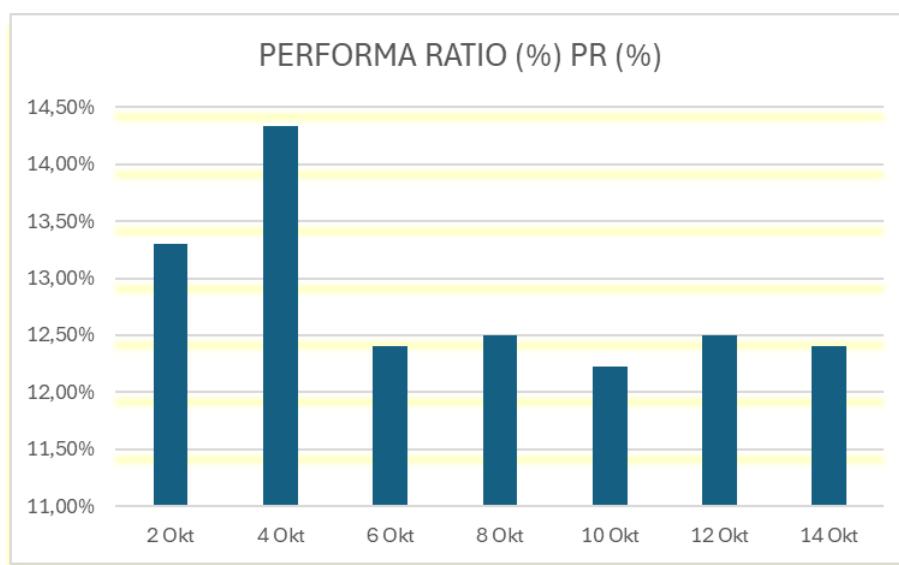
Performance Ratio (PR) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai tingkat kinerja aktual sistem panel surya dengan membandingkan antara energi listrik yang benar-benar dihasilkan sistem terhadap energi teoritis yang seharusnya dapat dihasilkan berdasarkan kondisi iradiasi matahari. Nilai PR dinyatakan dalam bentuk persentase (%).

Tabel 4. 9 Performa Ratio (PR)

PERFORMA RATIO (%)	
Tanggal	PR (%)
2 Okt	13,30%
4 Okt	14,34%
6 Okt	12,40%
8 Okt	12,50%
10 Okt	12,22%
12 Okt	12,50%
14 Okt	12,40%

Data *Performance Ratio* (PR) di atas menunjukkan seberapa efisien sistem PLTS dalam mengubah potensi radiasi matahari menjadi energi listrik. Nilainya berada di kisaran 12%–14%, yang berarti performanya masih relatif rendah dibandingkan standar ideal PLTS yang umumnya berada pada 70%–85%.

Tanggal 4 Oktober memiliki PR tertinggi (14,34%), menandakan hari dengan kinerja paling baik karena iradiasi tinggi dan energi yang dihasilkan lebih optimal. Sebaliknya, tanggal 10 Oktober memiliki PR terendah (12,22%), menunjukkan adanya penurunan efisiensi, kemungkinan akibat kondisi cuaca kurang baik atau pengaruh teknis seperti suhu panel tinggi, shading, atau efisiensi inverter menurun. Secara keseluruhan, PR harian cukup stabil namun masih menunjukkan kinerja PLTS yang belum maksimal.



Gambar 4. 5 Grafik *Performance Ratio* (PR)

Jika data *Performance Ratio* (PR) ditampilkan dalam bentuk grafik, pola yang terlihat akan menunjukkan fluktuasi kecil namun cenderung stabil pada rentang nilai 12%–14%. Grafiknya tidak memiliki perubahan tajam, melainkan naik–turun secara halus dari satu tanggal ke tanggal berikutnya.

Pada 4 Oktober, grafik menunjukkan puncak tertinggi karena PR mencapai 14,34%, menandakan hari dengan efisiensi paling baik. Setelah itu, grafik menurun kembali di tanggal 6 dan 10 Oktober, yang terlihat sebagai lembah pada grafik. Sementara tanggal 8 dan 12 Oktober menunjukkan sedikit kenaikan kembali menjadi 12,50%, membuat grafik terlihat kembali naik sebelum turun ringan pada 14 Oktober.

Secara visual, grafik PR memperlihatkan bahwa kinerja PLTS selama periode pengamatan relatif stabil namun tetap rendah, dengan perubahan yang mengikuti kondisi iradiasi dan performa teknis sistem setiap harinya. Grafik ini juga menegaskan bahwa tidak ada lonjakan ekstrem, sehingga performa sistem cenderung konsisten meski belum mencapai tingkat efisiensi ideal.

Tabel 4. 10 Data Harian

Tanggal	E_AC (kWh)	Irradiansi H (kWh/m ²)	YF (kWh/kWp·hari)	YR (kWh/kWp·hari)	PR (%)
2 Oktober	14,08	3,531	0,47	3,53	13,30%
4 Oktober	19,6	4,553	0,653	4,553	14,34%
6 Oktober	16,94	4,553	0,565	4,553	12,40%
8 Oktober	18,87	5,026	0,629	5,026	12,50%
10 Oktober	16,98	4,63	0,566	4,63	12,22%
12 Oktober	18,52	4,95	0,617	4,95	12,50%
14 Oktober	16,92	4,563	0,564	4,563	12,40%

Berdasarkan data kinerja PLTS dari tanggal 2 hingga 14 Oktober, terlihat bahwa nilai energi listrik harian (E_AC) dan iradiasi matahari mengalami fluktuasi sesuai kondisi cuaca harian. Nilai E_AC tertinggi terjadi pada tanggal 4 Oktober (19,6 kWh) ketika iradiasi juga berada pada nilai tinggi, yaitu 4,553 kWh/m². Hal ini menunjukkan pengaruh kuat intensitas radiasi terhadap total energi yang dihasilkan PLTS.

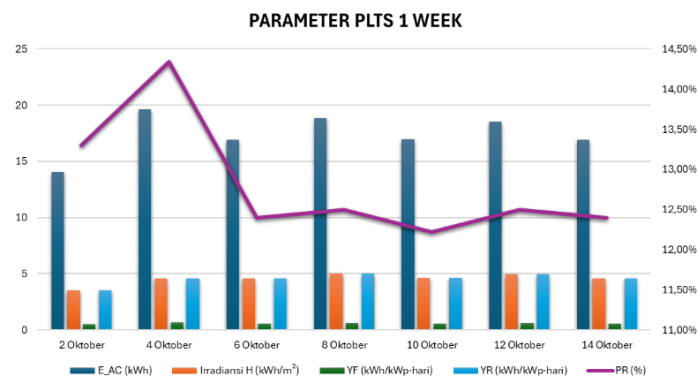
Nilai *Final Yield* (YF) dan *Reference Yield* (YR) juga mengikuti pola yang sama, di mana YF tertinggi tercapai pada 4 Oktober (0,653) dan relatif menurun pada hari-hari

dengan iradiasi lebih rendah. Sementara itu, *Performance Ratio* (PR) berada pada kisaran 12%–14%, dengan nilai tertinggi sebesar 14,34% pada tanggal 4 Oktober. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun energi yang dihasilkan baik, efisiensi sistem secara keseluruhan tetap dipengaruhi oleh faktor lain seperti suhu modul, kondisi inverter, dan potensi rugi-rugi daya.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa performa PLTS cenderung stabil dengan kecenderungan meningkat pada hari-hari dengan iradiasi tinggi. Perubahan nilai PR yang tidak terlalu besar menggambarkan bahwa sistem PLTS bekerja cukup konsisten selama periode pengamatan.

6. Perhitungan keseluruhan

Grafik ini menampilkan hubungan beberapa parameter utama kinerja sistem panel surya, yaitu irradiansi matahari (H), energi keluaran AC (E_AC), *Yield Reference* (YR), *Yield Final* (YF), serta *Performance Ratio* (PR) yang diamati pada beberapa tanggal pengukuran. Penyajian grafik secara bersamaan bertujuan untuk mempermudah analisis keterkaitan antarparameter dalam mengevaluasi performa sistem secara menyeluruh.



Gambar 4. 6 Grafik Parameter PLTS

Berdasarkan grafik hubungan antara energi listrik harian, irradiansi, *Yield*, serta performance ratio, terlihat bahwa kinerja PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari setiap harinya. Pada grafik energi AC (E_AC), kurva menunjukkan pola naik-turun yang mengikuti perubahan irradiansi. Hari dengan irradiansi tinggi menghasilkan kurva yang menanjak, seperti pada tanggal 4 Oktober dan 8 Oktober, di mana grafik

energi terlihat mencapai nilai tertingginya. Sebaliknya, pada hari dengan irradiansi yang lebih rendah seperti 2 Oktober, grafik energi tampak lebih menurun. Hal ini menunjukkan bahwa produksi energi PLTS sangat bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas sinar matahari.

Grafik irradiansi harian (H) memperlihatkan kecenderungan yang hampir sejalan dengan produksi energi. Ketika irradiansi meningkat, bentuk grafik menunjukkan puncak yang konsisten dengan peningkatan energi yang dihasilkan. Pola grafik ini menegaskan bahwa radiasi matahari merupakan faktor utama yang menentukan total energi keluaran harian dari PLTS. Pada hari-hari seperti 4 Oktober dan 8 Oktober, irradiansi mencapai nilai tertinggi sehingga grafik tampak membentuk puncak yang jelas.

Pada grafik *Final Yield* (YF), terlihat pola yang stabil namun tetap mengikuti perubahan irradiansi. *Yield* tertinggi terlihat pada 4 Oktober sebagai respons langsung terhadap energi dan irradiansi yang tinggi. Meskipun demikian, grafik YF tidak mengalami perubahan sedrastis *E_AC*, yang menunjukkan bahwa *Yield* lebih menggambarkan efisiensi pemanfaatan kapasitas sistem daripada total energi yang dihasilkan. Grafik *Reference Yield* (YR), yang secara langsung merepresentasikan irradiansi, menampilkan pola grafik yang relatif serupa dengan grafik irradiansi karena keduanya secara matematis berbanding lurus.

Sementara itu, grafik *Performance Ratio* (PR) terlihat lebih datar dibandingkan grafik lainnya. Meskipun energi dan irradiansi berubah cukup signifikan dari hari ke hari, grafik PR hanya mengalami fluktuasi kecil dengan rentang sekitar 12%–14%. Karakter grafik yang relatif stabil ini menunjukkan bahwa efisiensi internal PLTS tidak berubah secara drastis selama periode pengamatan. Nilai PR yang lebih tinggi pada 4 Oktober mengindikasikan bahwa hari tersebut merupakan hari dengan performa terbaik dari sisi efisiensi konversi energi. Namun, nilai PR pada hari-hari lain tetap cukup stabil, yang menandakan bahwa sistem berjalan normal meskipun kondisi cuaca berubah.

Secara keseluruhan, grafik-grafik tersebut menunjukkan hubungan yang jelas antara irradiansi dan energi yang dihasilkan, sementara parameter *Yield* dan PR memberikan gambaran mengenai stabilitas kinerja sistem. Dengan melihat grafik secara teknis, dapat disimpulkan bahwa PLTS bekerja dengan baik dan konsisten selama periode

pengamatan, dengan variasi performa yang terutama dipengaruhi oleh kondisi radiasi matahari harian.

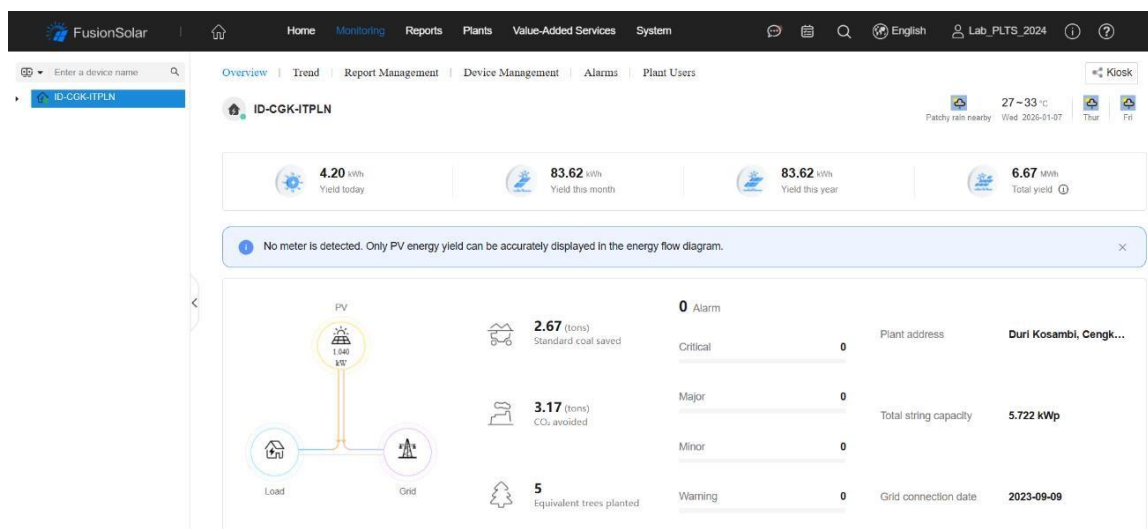
4.3 Sistem Monitoring menggunakan *fusion Solar*

Pada penelitian ini, proses monitoring kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid 5 kWp dilakukan menggunakan platform FusionSolar, yaitu sistem monitoring berbasis web dan aplikasi yang dikembangkan oleh Huawei. FusionSolar digunakan untuk memantau kinerja sistem PLTS secara *real-time* maupun historis, sehingga data operasional dapat dianalisis secara akurat dan berkelanjutan.

Fusion Solar mengintegrasikan data dari inverter, sensor irradiance, dan smart meter yang terpasang pada sistem PLTS. Seluruh data tersebut dikirim secara otomatis melalui jaringan komunikasi ke server FusionSolar dan ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, dan indikator performa.

Penggunaan FusionSolar dalam penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memantau produksi energi listrik harian, bulanan, dan tahunan.
2. Menganalisis parameter kinerja sistem PLTS seperti energi AC, irradiansi, *Yield*, dan performance ratio.
3. Mengidentifikasi kondisi operasional sistem secara cepat apabila terjadi penurunan performa atau gangguan.



Gambar 4. 7 Tampilan Fusion solar

Penejelasan energi management

Energy management pada sistem PLTS adalah proses memantau, mengukur, menganalisis, dan mengelola aliran serta pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya agar sistem dapat beroperasi secara efisien, andal, dan optimal.

Dalam konteks PLTS, energy management mencakup beberapa fungsi utama:

1. Monitoring energi yang dibangkitkan (*Yield*) → Berapa listrik yang dihasilkan panel.
2. Monitoring iradiasi matahari (*Irradiation*) → Sumber input energi utama PLTS.
3. Analisis korelasi input (matahari) vs output (energi listrik) → Menilai performa sistem.
4. Deteksi anomali performa → Jika energi turun padahal iradiasi tinggi, berarti ada masalah efisiensi.
5. Dasar pengambilan keputusan → Untuk maintenance, optimasi, atau upgrade sistem.

Jadi, energy management bukan sekadar menampilkan grafik, tetapi alat analisis kinerja sistem PLTS dari sisi sumber energi dan hasil konversinya ke listrik.

4.4 Tampilan dan Menu Utama pada FusionSolar

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang digunakan sebagai objek monitoring berada di Laboratorium PLTS Institut Teknologi PLN dengan kapasitas total terpasang sebesar 5,722 kWp dan telah terhubung ke jaringan grid sejak 9 September 2023. Monitoring dilakukan menggunakan platform FusionSolar berbasis web yang dikembangkan oleh Huawei, yang menyediakan visualisasi parameter pembangkitan energi, status perangkat, aliran daya (*energy flow*), serta indikator dampak lingkungan secara *real-time* maupun historis.

FusionSolar juga menampilkan diagram aliran energi (*Energy Flow Diagram*) yang menghubungkan tiga node utama yaitu PV (panel surya), Load (beban laboratorium), dan Grid (jaringan PLN). Namun pada tampilan monitoring teridentifikasi notifikasi bahwa energy meter tidak terdeteksi oleh sistem. Kondisi ini menyebabkan parameter konsumsi beban dan arah ekspor/impur daya ke grid tidak dapat divisualisasikan secara akurat, sehingga diagram hanya mampu menampilkan nilai pembangkitan dari sisi PV. Secara ideal, energy meter berfungsi sebagai perangkat yang

membaca besar daya yang diserap beban maupun yang diekspor ke grid, serta menentukan arah aliran daya. Tidak terdeteksinya meter mengindikasikan bahwa perangkat belum terpasang, belum dikonfigurasi, atau mengalami kegagalan komunikasi dengan data logger, sehingga FusionSolar tidak dapat melakukan perhitungan neraca daya antara pembangkitan, konsumsi, dan ekspor. Meskipun demikian, sistem tetap dapat dimonitor pada sisi pembangkitan panel surya dan status inverter.

Secara keseluruhan, sistem PLTS di Laboratorium PLTS IT-PLN yang dimonitor melalui FusionSolar menunjukkan performa pembangkitan yang baik dan berada dalam kondisi operasi normal tanpa alarm. Data yang ditampilkan oleh platform telah mampu mendukung kebutuhan monitoring pada sisi pembangkitan energi, namun masih membutuhkan integrasi perangkat energy meter untuk monitoring yang lebih komprehensif mencakup aspek konsumsi dan ekspor daya.

FusionSolar menyediakan beberapa menu utama yang digunakan dalam proses monitoring dan analisis kinerja sistem PLTS. Menu-menu tersebut antara lain:

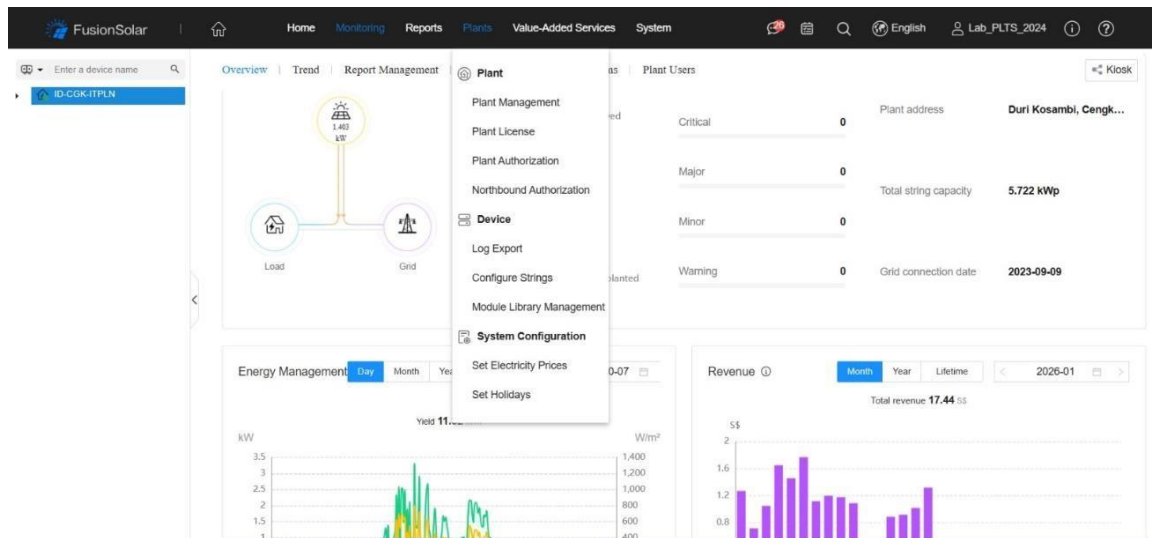
4.3.1 Dashboard (Overview)

Menu Dashboard atau Overview menampilkan ringkasan kondisi sistem secara umum, meliputi:

- Total Energy: Total energi listrik yang dihasilkan (kWh).
- Daily Energy: Energi listrik harian yang dihasilkan.
- Power (kW): Daya keluaran sistem secara *real-time*.
- *Performance Ratio* (PR): Indikator efisiensi keseluruhan sistem.
- CO₂ Reduction: Estimasi pengurangan emisi karbon.

Dashboard digunakan sebagai indikator awal untuk mengetahui apakah sistem bekerja normal atau mengalami penurunan performa.

4.3.2 Plant / Site



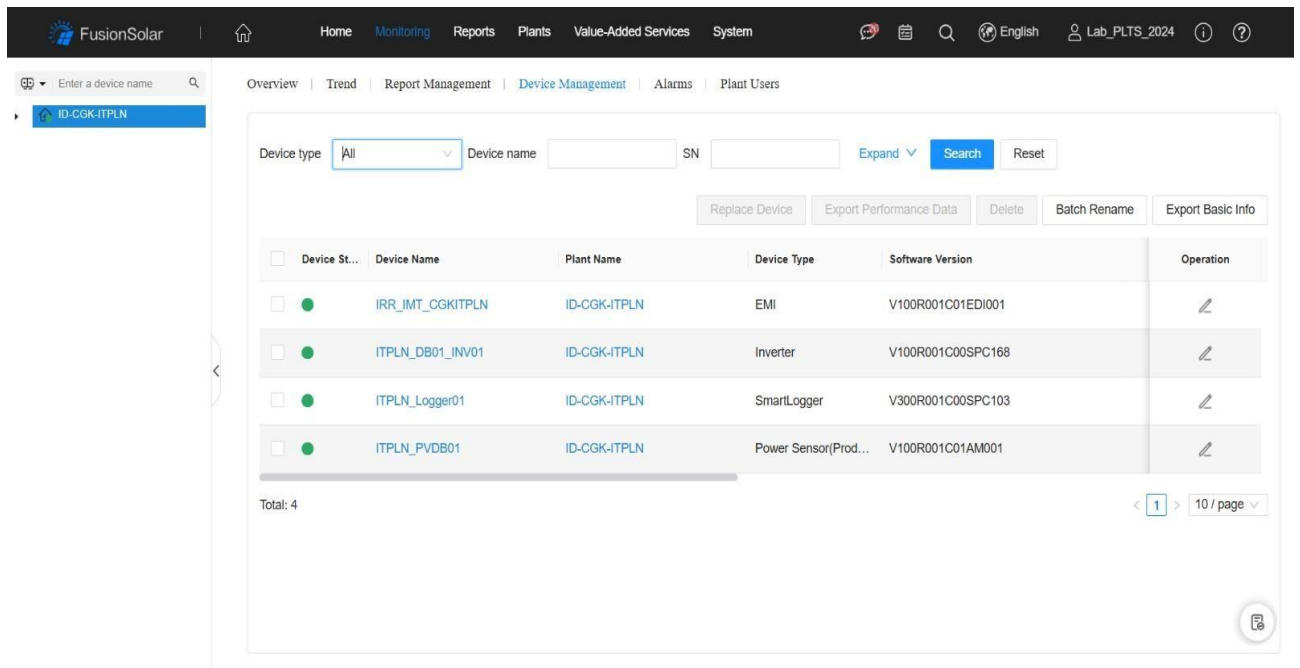
Gambar 4. 8 Menu Plant atau Site

Menu **Plant** atau **Site** menampilkan informasi umum mengenai lokasi PLTS, antara lain:

- Kapasitas terpasang sistem (kWp).
- Jumlah inverter yang digunakan.
- Status operasional sistem (normal, warning, atau fault).
- Informasi geografis lokasi instalasi.

Menu ini penting untuk memastikan bahwa konfigurasi sistem sesuai dengan spesifikasi penelitian, yaitu PLTS on-grid 5 kWp.

4.3.3 Device Management



Gambar 4. 9 Menu Device Management

Menu Device Management digunakan untuk memantau kondisi perangkat yang terhubung ke sistem, seperti:

- Inverter (tegangan, arus, daya, efisiensi).
- Smart meter.
- Sensor irradiance.

Pada menu ini dapat diketahui:

- Status perangkat (online/offline).
- Alarm atau fault yang terjadi.
- Parameter listrik setiap fase (tegangan, arus, frekuensi).

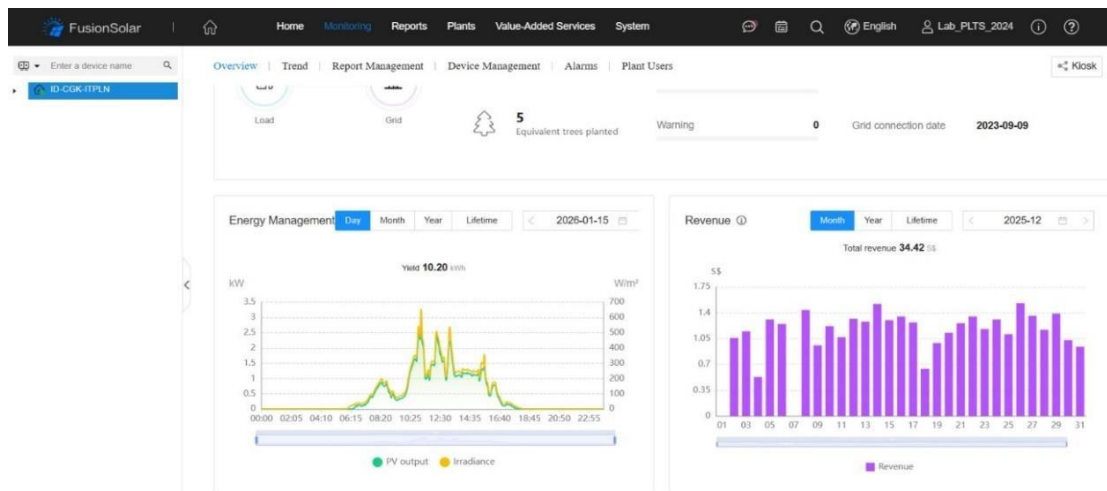
4.3.4 Energy Analysis

Menu Energy Analysis menyajikan data produksi energi dalam bentuk:

- Grafik harian, bulanan, dan tahunan.

- Tabel energi listrik (kWh).
- Perbandingan performa antar waktu.

Menu ini digunakan sebagai sumber utama data E_{AC} yang digunakan dalam perhitungan Final *Yield* (Y_f) dan *Performance Ratio* (PR) pada penelitian ini.



Gambar 4. 10 Menu Energy Analysis

Menu ini menampilkan data:

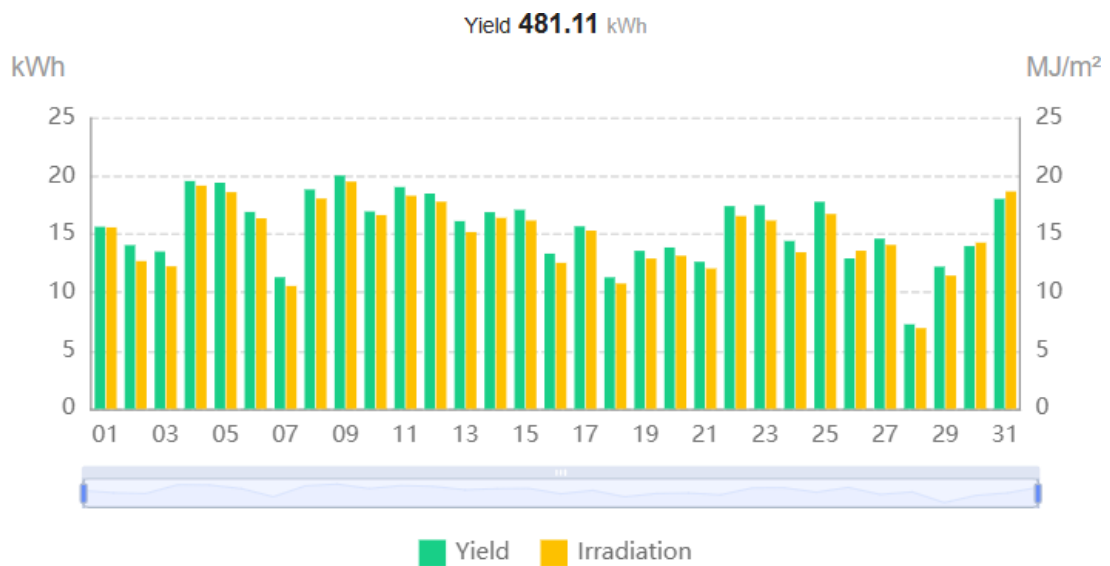
- Irradiance (W/m^2): Intensitas radiasi matahari.
- Daily Irradiation (kWh/m^2): Akumulasi irradiansi harian.
- Kondisi cuaca pendukung (jika tersedia).

Data irradiance dari menu ini digunakan sebagai dasar perhitungan Reference *Yield* (Y_r).

4.4 Analisis Data Fusion Solar

4.4.1 Analisis Bulan Oktober 2025

Grafik ini menampilkan perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan (*Yield*) dan energi radiasi matahari (*Irradiation*) selama satu periode pengamatan, yaitu dari tanggal 1 hingga 31. Grafik disajikan dalam bentuk diagram batang untuk mempermudah analisis hubungan antara ketersediaan energi matahari dan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya.



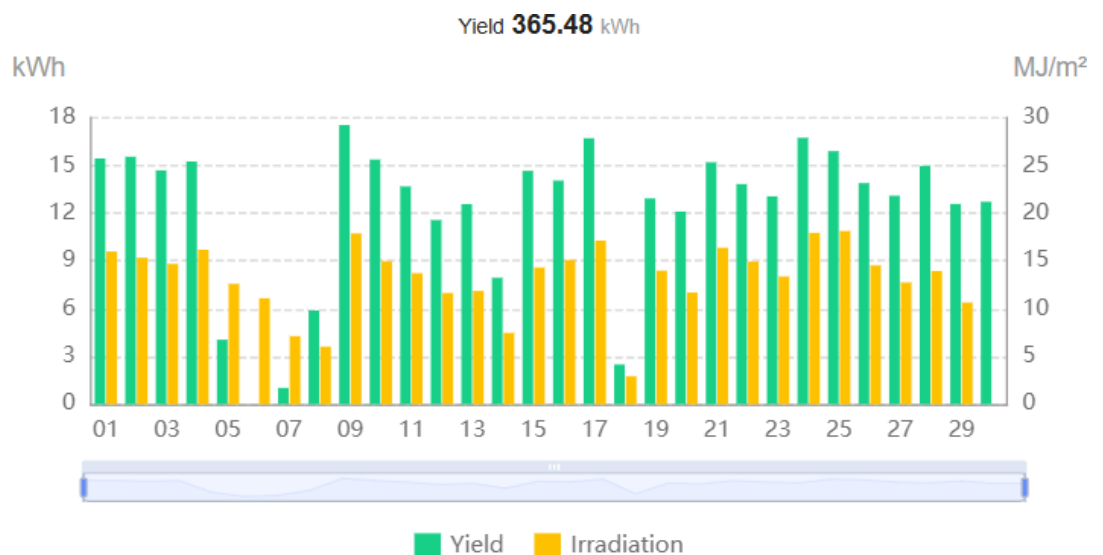
Gambar 4. 11 Data Bulan Oktober 2025

Analisis data pada grafik energy management menunjukkan hubungan langsung antara energi matahari yang diterima panel (iradiasi) dan energi listrik yang dihasilkan sistem (*Yield*). Selama periode monitoring, pola batang *Yield* cenderung mengikuti pola iradiasi, yang menandakan bahwa sistem konversi bekerja cukup responsif terhadap input energi matahari. Ketika iradiasi rendah, *Yield* juga menurun, yang secara umum disebabkan oleh kondisi cuaca seperti mendung atau curah hujan yang mengurangi intensitas penyinaran ke modul PV. Pada beberapa hari, terlihat bahwa iradiasi berada pada nilai menengah–tinggi, tetapi *Yield* tidak meningkat secara proporsional dibanding hari lain. Kondisi ini mengindikasikan adanya rugi-rugi (*Losses*) atau penurunan efisiensi pada sistem, yang dapat disebabkan oleh kenaikan temperatur modul, efek bayangan parsial (*shading*), akumulasi kotoran di permukaan panel, atau keterbatasan efisiensi inverter dalam mengonversi daya DC ke AC. Fluktuasi tersebut merupakan hal yang wajar pada PLTS, namun pola ketidakseimbangan antara input iradiasi dan output *Yield* di hari-hari tertentu menjadi indikator penting dalam evaluasi performa sistem, terutama untuk menilai apakah penurunan energi murni disebabkan faktor sumber (matahari) atau ada degradasi efisiensi di sisi plant. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa pembangkitan energi selama bulan tersebut mencapai total 481,11 kWh,

dengan karakteristik variasi harian yang masih berada dalam rentang operasi normal PLTS skala laboratorium, namun tetap memberikan sinyal perlunya pengecekan berkala pada kondisi modul dan performa inverter agar rasio konversi energi tetap optimal.

4.4.2 Analisis bulan November 2025

Grafik ini menampilkan perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan (*Yield*) dan energi radiasi matahari (*Irradiation*) selama satu periode pengamatan, yaitu dari tanggal 1 hingga 31. Grafik disajikan dalam bentuk diagram batang untuk mempermudah analisis hubungan antara ketersediaan energi matahari dan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya.



Gambar 4. 12 Data Bulan November 2025

Analisis grafik bulan ini menampilkan dua besaran yang saling berkaitan: *Yield* sebagai energi listrik keluaran sistem PLTS, dan *Irradiation* sebagai akumulasi energi matahari yang diterima permukaan modul PV setiap hari. Total *Yield* selama periode yang terekam adalah 365,48 kWh, yang berarti dalam rentang sekitar 30 hari, rata-rata energi yang dibangkitkan berkisar di ± 12 kWh per hari, sesuai dengan tinggi batang hijau yang dominan berada di rentang 10–16 kWh. Pola *Yield* secara umum mengikuti pola iradiasi, menandakan

bahwa sistem merespons perubahan input energi surya dengan cukup baik. Saat iradiasi turun drastis, seperti pada tanggal 4–8 di mana batang kuning berada di nilai sangat rendah, *Yield* juga anjlok ke kisaran 3–6 kWh, yang mengindikasikan berkurangnya energi matahari akibat gangguan cuaca (mendung/ hujan). Pada beberapa hari lain, iradiasi cukup tinggi atau berada di level menengah, tetapi *Yield* tidak selalu meningkat proporsional dibanding puncak produksi di tanggal 10, 16, 24, atau 25. Kondisi ini menunjukkan adanya *Losses* konversi atau penurunan efisiensi sesaat di sisi plant, yang bisa berasal dari temperatur modul yang lebih tinggi, bayangan parsial pada array, panel yang mulai kotor, atau efisiensi inverter yang berfluktuasi saat kondisi operasi tertentu.

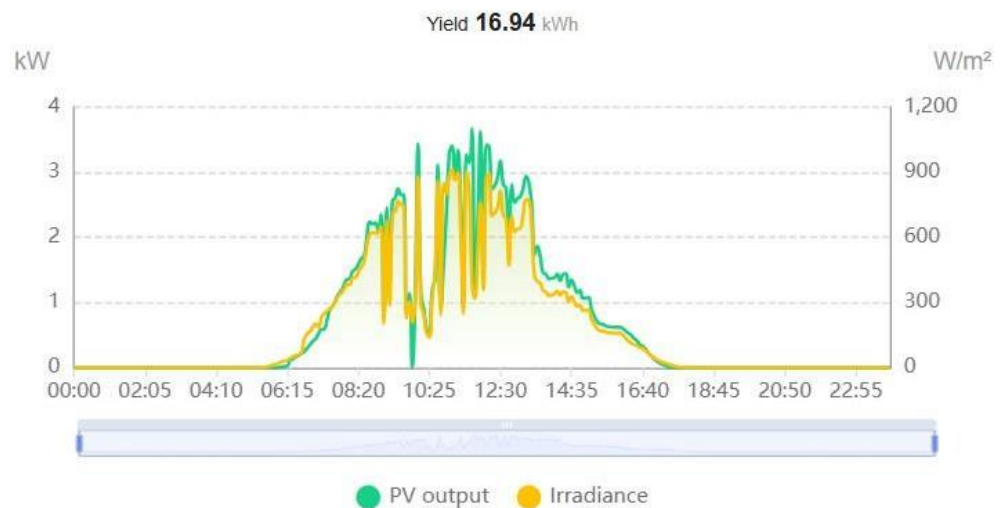
Satuan iradiasi pada grafik menggunakan MJ/m² (Mega Joule per meter persegi) karena yang ditampilkan adalah energi matahari harian terakumulasi, bukan daya instan. Joule (J) sendiri adalah satuan energi dalam Sistem Internasional (SI), dengan definisi: 1 joule = energi yang diperlukan untuk memberi gaya 1 newton sejauh 1 meter, atau dalam kelistrikan, 1 joule = 1 watt-detik (Ws). Pada grafik, nilai misalnya 15 MJ/m² berarti setiap 1 m² permukaan panel menerima energi matahari total 15 mega joule dalam satu hari. Karena 1 MJ = 1.000.000 J, maka 15 MJ = 15.000.000 joule per meter persegi per hari. Konversi ke kWh sering digunakan untuk membayangkan skalanya dalam energi listrik: 1 kWh = 3,6 MJ, sehingga 15 MJ/m² $\approx$ 4,17 kWh/m² energi surya yang mengenai panel di hari itu sebelum dikalikan efisiensi panel. Dengan efisiensi modul surya umum 17–22%, hanya sekitar 0,7–0,9 kWh/m² yang benar-benar dapat dikonversi menjadi listrik DC, lalu masih ada rugi-rugi tambahan saat diubah ke AC oleh inverter.

Secara keseluruhan, bulan ini sistem menghasilkan 365,48 kWh energi listrik, dengan variasi harian yang masih mencerminkan karakteristik normal PLTS skala laboratorium. Grafik juga memberi informasi bahwa penurunan *Yield* di hari tertentu lebih disebabkan oleh penurunan sumber energi matahari, sedangkan ketidakseimbangan konversi di beberapa hari lain menjadi sinyal untuk inspeksi berkala pada kebersihan modul, potensi shading, dan evaluasi

performa inverter agar rasio konversi energi tetap optimal dan stabil di bulan-bulan berikutnya.

4.4.3 Analisis data Harian (06-10-2025)

Grafik ini menunjukkan hubungan antara daya keluaran sistem panel surya (*PV Output*) dan irradiansi matahari (*Irradiance*) terhadap waktu dalam satu hari pengamatan. Grafik disajikan dalam bentuk kurva kontinu untuk menggambarkan perubahan daya dan irradiansi secara real-time dari pagi hingga malam hari



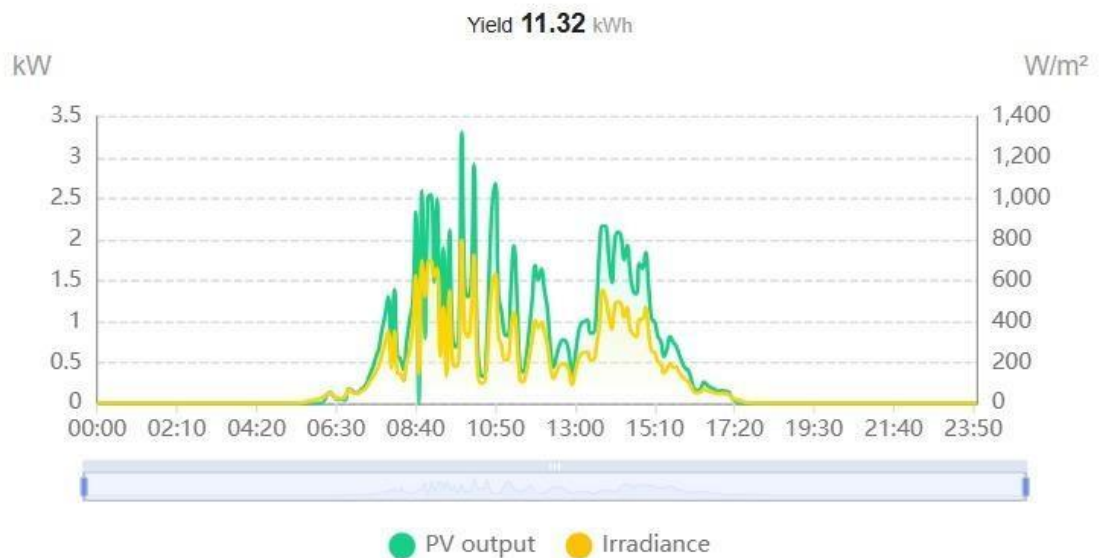
Gambar 4. 13 Grafik Data Harian Tanggal 6 Oktober 2025

Grafik monitoring harian ini memperlihatkan hubungan antara **irradiansi** (energi matahari masuk) dan **PV output** (daya listrik keluar). Sistem belum membangkitkan daya dari pukul 00:00–06:00 karena intensitas matahari masih 0. Mulai sekitar 06:15, irradiansi naik di atas 300 W/m² dan PLTS mulai menghasilkan daya, lalu meningkat tajam pada pukul 08:20–10:00 mengikuti kenaikan input matahari. Puncak pembangkitan terjadi di rentang 10:25–12:30, saat irradiansi mencapai ±1.000–1.200 W/m² dan PV output menyentuh sekitar 3,2–3,5 kW, menandakan sistem bekerja optimal di periode tersebut. Fluktuasi tajam di sekitar 11:00–12:00 disebabkan oleh awan bergerak atau shading

sementara, yang mengubah input matahari secara cepat sehingga output inverter ikut beresilasi, namun bukan indikasi gangguan internal plant. Setelah 12:30, irradiance menurun bertahap hingga di bawah 300 W/m² pada pukul 16:40, membuat PLTS berhenti membangkitkan daya dan PV output kembali 0 kW. Total energi harian tercatat 16,94 kWh, nilai yang cukup baik untuk kapasitas 5,722 kWp, menunjukkan modul dan inverter bekerja normal dengan variasi output yang dominan dipengaruhi faktor eksternal berupa dinamika penyinaran matahari.

4.4.4 Analisis Data Harian (07-10-2025)

Grafik ini menunjukkan hubungan antara daya keluaran sistem panel surya (*PV Output*) dan irradiansi matahari (*Irradiance*) terhadap waktu dalam satu hari pengamatan. Grafik disajikan dalam bentuk kurva kontinu untuk menggambarkan perubahan daya dan irradiansi secara real-time dari pagi hingga malam hari



Gambar 4. 14 Grafik Data Harian Tanggal 7 Oktober 2025

Grafik PLTS tersebut menunjukkan kinerja pembangkit surya selama satu hari dengan total energi yang dihasilkan sebesar 11,32 kWh. Produksi listrik mulai terlihat sejak sekitar pukul 06.30, ketika intensitas radiasi matahari mulai meningkat. Seiring bertambahnya intensitas penyinaran matahari pada pagi hari, daya keluaran panel surya juga meningkat secara bertahap dan mencapai nilai maksimum mendekati 3,2–3,3 kW pada rentang waktu pukul 09.00 hingga 10.00. Kondisi ini menunjukkan bahwa panel surya bekerja optimal saat sudut datang cahaya matahari dan intensitas radiasi berada pada kondisi terbaik.

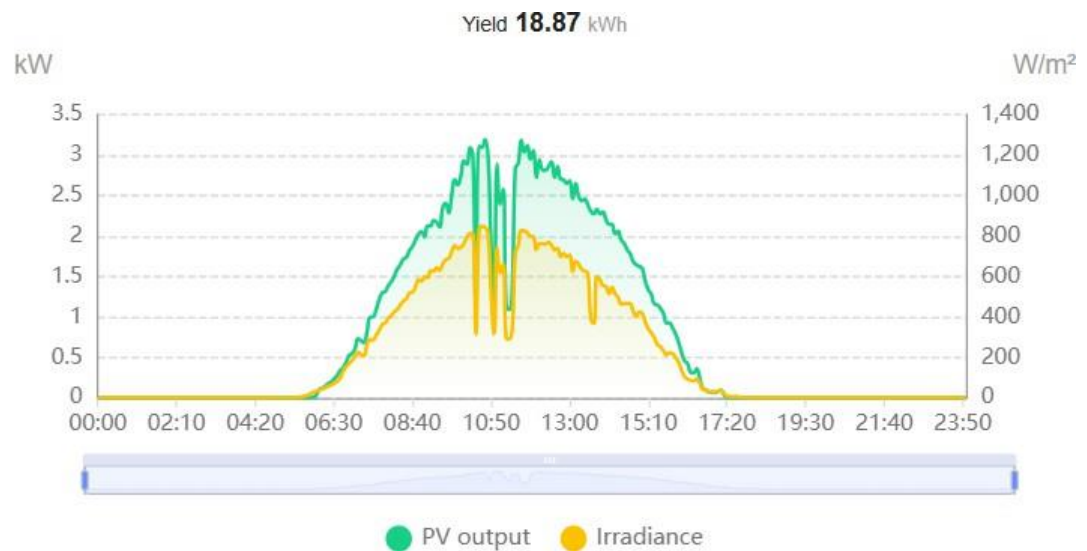
Pada periode siang hari hingga menjelang sore, daya keluaran PLTS mengalami fluktuasi yang cukup signifikan. Fluktuasi ini terjadi seiring dengan perubahan nilai irradiance yang naik dan turun, yang mengindikasikan adanya pengaruh kondisi cuaca seperti awan yang menutupi matahari secara periodik. Meskipun demikian, hubungan antara irradiance dan daya keluaran PV terlihat selaras, di mana setiap penurunan intensitas radiasi matahari diikuti oleh penurunan daya keluaran panel, dan sebaliknya. Hal ini menandakan bahwa sistem PLTS merespons perubahan kondisi lingkungan dengan baik dan bekerja secara normal.

Memasuki sore hari setelah pukul 15.30, intensitas radiasi matahari mulai menurun secara signifikan sehingga daya keluaran PLTS ikut berkurang hingga mendekati nol sekitar pukul 17.30. Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan pola produksi energi harian PLTS yang normal, mengikuti siklus pergerakan matahari, serta menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan energi listrik secara optimal sesuai dengan ketersediaan radiasi matahari tanpa indikasi gangguan atau penurunan kinerja yang berarti.

4.4.5 Analisis Data Harian (08-10-2025)

Grafik ini menunjukkan hubungan antara daya keluaran sistem panel surya (*PV Output*) dan irradiansi matahari (*Irradiance*) terhadap waktu dalam satu hari

pengamatan. Grafik disajikan dalam bentuk kurva kontinu untuk menggambarkan perubahan daya dan irradiansi secara real-time dari pagi hingga malam hari

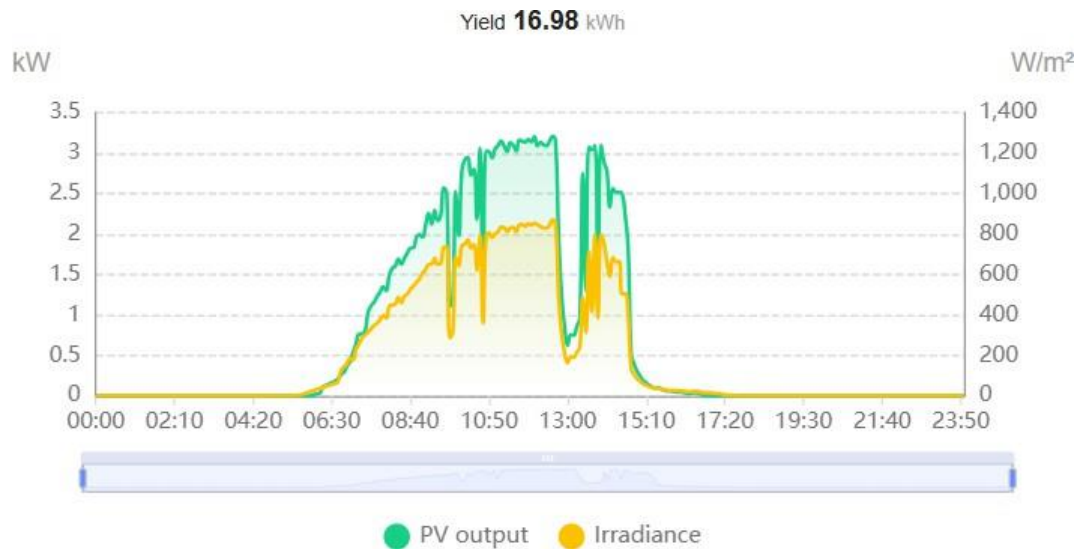


Gambar 4. 15 Grafik Data Harian Tanggal 8 Oktober 2025

Grafik harian ini menunjukkan bahwa sistem PLTS menghasilkan energi total 18,87 kWh pada hari tersebut. Pembangkitan mulai aktif sekitar 06:30, seiring irradianse melewati ambang awal $\pm 300\text{--}400\text{ W/m}^2$, lalu daya meningkat stabil hingga 09:00–10:50, di mana irradianse mencapai puncak $\pm 800\text{ W/m}^2$ dan PV output menyentuh 2,8–3,1 kW. Pada rentang 10:00–12:00 terjadi penurunan tajam sesaat pada kurva irradianse yang diikuti osilasi PV output, menandakan gangguan eksternal seperti awan bergerak cepat atau shading sementara, bukan fault internal sistem. Setelah 13:00, irradianse menurun bertahap, menyebabkan output daya ikut turun hingga mendekati 0 kW pada 17:20, yang menandakan inverter berhenti beroperasi karena input matahari tidak lagi mencukupi tegangan start minimum. Nilai *Yield* 18,87 kWh tergolong baik untuk kapasitas 5,722 kWp di lab, menunjukkan bahwa modul PV dan inverter bekerja normal, dengan variasi output yang dominan dipengaruhi dinamika intensitas matahari sepanjang hari.

4.4.6 Analisis Data Harian (09-10-2025)

Grafik ini menunjukkan hubungan antara daya keluaran sistem panel surya (*PV Output*) dan irradiansi matahari (*Irradiance*) terhadap waktu dalam satu hari pengamatan. Grafik disajikan dalam bentuk kurva kontinu untuk menggambarkan perubahan daya dan irradiansi secara real-time dari pagi hingga malam hari



Gambar 4. 16 Grafik Data Harian Tanggal 9 Oktober 2025

Grafik PLTS ini menunjukkan kinerja pembangkit surya dengan total energi harian sebesar 16,98 kWh, yang lebih tinggi dibandingkan grafik sebelumnya. Produksi listrik mulai meningkat sejak sekitar pukul 06.30, seiring bertambahnya intensitas radiasi matahari pada pagi hari. Daya keluaran panel surya naik secara stabil hingga mencapai nilai mendekati 3–3,2 kW pada rentang waktu pukul 09.30 hingga 12.00, yang menandakan kondisi penyinaran matahari relatif baik dan sistem PLTS bekerja mendekati kapasitas maksimumnya.

Pada periode siang hari, terlihat daya keluaran PV cenderung membentuk pola mendatar di nilai tinggi, yang menunjukkan bahwa panel surya menerima radiasi matahari yang cukup kuat dan relatif stabil. Namun, terdapat beberapa penurunan daya yang tajam dalam waktu singkat, yang kemungkinan disebabkan oleh tertutupnya panel oleh awan sesaat atau perubahan irradiansi yang cepat. Hal ini juga terlihat pada grafik irradiansi yang mengalami penurunan tiba-tiba pada

waktu yang hampir bersamaan, menegaskan adanya hubungan langsung antara intensitas radiasi matahari dan daya keluaran PLTS.

Memasuki setelah pukul 13.00 hingga 15.00, daya keluaran kembali mengalami fluktuasi sebelum akhirnya menurun drastis seiring berkurangnya intensitas radiasi matahari pada sore hari. Setelah pukul 16.00, produksi listrik mendekati nol dan berhenti sepenuhnya menjelang malam. Secara keseluruhan, grafik ini mencerminkan kondisi cuaca yang lebih cerah dan stabil dibandingkan hari sebelumnya, sehingga menghasilkan energi listrik yang lebih besar, serta menunjukkan bahwa sistem PLTS beroperasi dengan baik dan responsif terhadap perubahan kondisi penyinaran matahari.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja sistem monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid 5 kWp di Laboratorium Renewable IT PLN, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring PLTS on-grid 5 kWp bekerja dengan baik dan akurat dalam merekam serta menampilkan data operasional secara *real-time*. Parameter seperti irradiansi matahari, suhu modul, tegangan dan arus DC, tegangan dan arus AC, daya, serta energi keluaran inverter dapat dimonitor secara kontinu tanpa gangguan, sehingga data yang diperoleh valid untuk analisis kinerja sistem.
2. Produksi energi listrik PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari (irradiansi). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada hari dengan irradiansi tinggi, seperti tanggal 4 Oktober 2025 dengan irradiansi harian sebesar 4,553 kWh/m², energi listrik yang dihasilkan mencapai 19,6 kWh. Sebaliknya, pada hari dengan irradiansi lebih rendah, energi keluaran inverter juga menurun. Hal ini menegaskan bahwa irradiansi merupakan faktor utama yang menentukan besarnya daya dan energi keluaran PLTS.
3. Kinerja inverter on-grid menunjukkan performa yang baik dan stabil dalam proses konversi energi DC ke AC serta sinkronisasi dengan jaringan PLN. Inverter mampu menghasilkan energi listrik AC secara konsisten dengan rugi-rugi yang relatif kecil. Hal ini ditunjukkan oleh nilai energi AC aktual yang mendekati nilai energi teoretis pada kondisi radiasi yang baik, serta tidak ditemukannya gangguan signifikan selama periode pengamatan.
4. Hasil perhitungan parameter kinerja menunjukkan bahwa sistem PLTS beroperasi dalam kondisi optimal dan sesuai standar. Nilai *Performance Ratio* (PR) harian berada pada kisaran 79,7% hingga 86,1%, yang termasuk kategori baik hingga sangat baik untuk sistem PLTS on-grid. Nilai *Final Yield* (Yf) yang diperoleh juga berada

dalam rentang normal untuk wilayah Indonesia, sehingga dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi sistem akibat suhu, inverter, dan komponen lainnya masih dalam batas wajar dan sistem bekerja mendekati kondisi ideal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan sebagai bahan pengembangan dan penelitian lanjutan, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan akurasi analisis kinerja PLTS, disarankan pengambilan data dilakukan dalam periode yang lebih panjang, seperti analisis bulanan atau tahunan, sehingga dapat menggambarkan performa sistem secara lebih menyeluruh terhadap perubahan cuaca dan musim.
2. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh suhu modul terhadap penurunan efisiensi panel surya, serta penerapan metode pendinginan pasif atau perbaikan sistem ventilasi guna mengurangi kerugian akibat temperatur tinggi.
3. Sistem monitoring dapat dikembangkan dengan penambahan fitur notifikasi atau alarm otomatis apabila terjadi kondisi abnormal, seperti penurunan daya yang signifikan, suhu modul berlebih, atau gangguan pada inverter.
4. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis kualitas daya (power quality), seperti faktor daya dan harmonisa (THD), untuk mengetahui pengaruh integrasi PLTS terhadap jaringan listrik PLN.
5. Sistem PLTS on-grid di Laboratorium Renewable IT PLN dapat dijadikan model atau referensi untuk pengembangan PLTS serupa di lingkungan kampus, gedung perkantoran, maupun industri sebagai bagian dari upaya transisi energi menuju energi baru terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albustomi, M. Y., Made Wartana, I., Krismanto, A. U., Elektro, T., & Malang, I. (n.d.). *MERANCANG SISTEM MONITORING DAN MENGANALISA KINERJA REALTIME PADA PLTS SKALA KECIL*.
- Ariwibisono, F. X., Muljanto, W. P., & Pemanfaatan, A. (n.d.). *Terakreditasi SINTA 5 Implementasi Sistem Monitoring Produksi Energi PLTS Berbasis Protokol Modbus RTU Dan Modbus TCP* (Vol. 17). Retrieved <https://journal.fkom.uniku.ac.id/ilkom>
- Dinda, A. (2023). *Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid 10 kWp Pada Mesin Packer Pabrik Tonasa V* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri ujung Pandang).
- Dwi, I., Hermanto, W., & Suprianto, B. (n.d.). *Sistem Monitoring dan Pengukuran Pembangkit Listrik Surya dan Angin Berbasis Internet of Things (IoT)*.
- Fitriandi, A., Komalasari, E., & Gusmedi, H. (2016). *Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway* (Vol. 10, Number 2).
- Gifson, A., Rt Siregar, M., & Pambudi, M. P. (n.d.). *RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON GRID DI ECOPARK ANCOL* (Vol. 22, Number 1).
- Gunoto, P., Rahmadi, A., Susanti, E., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Kepulauan, U. R. (n.d.). *PERANCANGAN ALAT SISTEM MONITORING DAYA PANEL SURYA BERBASIS INTERNET OF THINGS*. *Sigma Teknika*, 5(2), 285–294.
- Kiswantono, A., S, Y. A., & A, M. A. M. (2024). Fuzzy Control Innovation: Optimizing DC Motor Performance with Solar Energy. *JTECS : Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem Dan Komputer*, 4(1), 31. <https://doi.org/10.32503/jtecs.v4i1.4687>
- Monika, D., Kusuma Wardhany, A., Nafisul Anwar, M., Danang Murtadho, F., Nurhidayat, W., Chandra Hartanto, S., Otomasi Listrik Industri, T., Elektro, T., & Negeri Jakarta Jl GA Siwabessy, P. D. (2025). Evaluasi Akurasi Sensor Tegangan, Arus, Suhu, dan Angin pada PLTS & PLTB. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro* (Vol. 11).
- Rangga Rajawali Perkasa Putra, D., Endah Cahya Ningrum, L., & Anifah, L. (n.d.). *Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram 248 Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram*.
- Riftianto, A. E., & Amirullah, A. (2024). Implementasi Visual Studio pada Sistem Monitoring Daya dan Proteksi Rele Arus Lebih Menggunakan Automatic Transfer

Switch/Automatic Main Failure (ATS/AMF) Disuplai oleh Kombinasi Grid dan Photovoltaic (PV). *Rekayasa*, 17(1), 96–107.

<https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i1.22151>

- S-, T. (n.d.). *SISTEM MONITORING DAN KONTROL DAYA PLTS MENGGUNAKAN IOT BERBASIS FUZZY LOGIC*.
- Darmana, T., Pambudi, I. T., Suyanto, H., & Rahayu, S. (2024). *Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)*. Uwais Inspirasi Indonesia.
- Wijayanto, D., Isnur Haryudo, S., & Wrahatnolo, T. (n.d.). *Rancang Bangun Monitoring Arus dan Tegangan Pada PLTS Sistem On Grid Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram 447 Rancang Bangun Monitoring Arus dan Tegangan Pada PLTS Sistem On Grid Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram*.
- Hutauruk, J. H. R., & Suyanto, H. (2025). *OPTIMALISASI EFISIENSI KINERJA PANEL SURYA MONOKRISTALIN DAN BIFASIAL 545 Wp* (Doctoral dissertation, ITPLN).
- Diantari, R. A., Suyanto, H., & Hidayat, S. (2023, December). Analysis Inverter of PLTS on Grid. In *2023 7th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech)* (pp. 1-6). IEEE.
- Pratama, D. H., & Suyanto, H. (2025). *RANCANG BANGUN MONITORING SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SKALA KECIL 20 WP BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) DENGAN MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266* (Doctoral dissertation, ITPLN).
- Hutajulu, A. G., & Daffa, D. A. (2025). Design and Implementation of a Solar-Powered Pest Repellent System for Shallot Farms Using Ultrasonic, and Light Emitters Based on ESP32. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 6(4), 2862-2869.
- Hariyati, R., Qosim, M. N., & Hasanah, A. W. (2019). Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN. *Energi dan Kelistrikan*, 11(1), 17-26.
- Qosim, M. N., & Hariyati, R. (2021). Kajian Kelayakan Finansial Fotovoltaik Terintegrasi On Grid Dengan Kapasitas 20 kWp. *Kilat*, 10(1), 1-9.
- Qosim, M. N., Pujotomo, I., Hasanah, A. W., & Hariyati, R. Implementasi Tenaga Matahari 60 Wp Untuk Fasilitas Umum Area Parkir Di Perum Villa Mutiara Serpong, Tangerang Selatan, Banten.
- Ramadhan, R., & Qosim, M. N. (2024). *PROTOTYPE KENDALI LAMPU RUMAH DAN GARASI RUMAH BERBASIS NODE MCU ESP8266* (Doctoral dissertation, ITPLN).

RAMADHANA, W. F., & Qosim, M. N. (2024). *PERENCANAAN PLTS ATAP DI ASRAMA CEMARA 30, 5 KWP MENGGUNAKAN SOFTWARE HELIOSCOPE* (Doctoral dissertation, ITPLN).

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama Mahasiswa : Muhammad Sahrul Mubin
Program Studi : S1 Teknik Elektro
NIM : 201911199
Tempat, Tanggal Lahir : Bima, 25nMaret 2001
Jenis Kelamin : laki laki
Agama : Islam
No.HP : 081294279884
Email : Abimsahrul@gmail.com
Alamat Rumah : JL. Soekarno Hatta RT 003 RW 001
Monggonao, Mpuda, Kota Bima

Pendidikan

Jenjang	Nama Lengkap	Jurusan	Tahun Lulus
SD	SDN 11 Kota Bima	-	2013
SMP	SMPN 1 Kota Bima	-	2016
SMA	SMAN 2Kota Bima	IPA	2019

Demikianla daftar Riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta 12 Februari 2026

Muhammad Sahrul Mubin

LAMPIRAN

Lampiran 1. Lembar bimbingan Skripsi Dosen Pembimbing



INSTITUT TEKNOLOGI PLN

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa	: Muhammad Sahrul Mubin
NIM	: 201911199
Program Studi	: Teknik Elektro
Jenjang	: Sarjana
Fakultas	: Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
Dosen Pembimbing Skripsi	: Heri Suyanto S.T, M.T.
Judul Skripsi	: Analisis Kinerja Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid 5 KWP Di Laboratorium Renewabel IT PLN

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Pembimbing
22 September 2025	Konsultasi Pembahasan dan Judul Skripsi	
03 Oktober 2025	Konsultasi metode analisis data dan judul	
06 Oktober 2025	Konsultasi Proposal Skripsi	
07 Oktober 2025	Konsultasi Proposal Skripsi (Revisi)	
16 Oktober 2025	Konsultasi PPT Proposal Skripsi	
23 Oktober 2025	Konsultasi Revisi Proposal Skripsi	
05 November 2025	Konsultasi Waktu Pengambilan Data Skripsi	



INSTITUT TEKNOLOGI PLN

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Muhammad Sahrul Mubin
NIM : 201911199
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : Sarjana
Fakultas : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
Dosen Pembimbing Skripsi : Heri Suyanto S.T, M.T.
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid 5 KWP Di Laboratorium Renewabel IT PLN

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Pembimbing
22 September 2025	Konsultasi Pembahasan dan Judul Skripsi	
03 Oktober 2025	Konsultasi metode analisis data dan judul	
06 Oktober 2025	Konsultasi Proposal Skripsi	
07 Oktober 2025	Konsultasi Proposal Skripsi (Revisi)	
16 Oktober 2025	Konsultasi PPT Proposal Skripsi	
23 Oktober 2025	Konsultasi Revisi Proposal Skripsi	
05 November 2025	Konsultasi Waktu Pengambilan Data Skripsi	

 INSTITUT TEKNOLOGI PLN	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-03-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG SKRIPSI	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH SKRIPSI

Tanggal Ujian Sidang : Kamis, 12 Feb 2026
 Nama Mahasiswa : MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN
 NIM : 201911199
 Program Studi : S1 Teknik Elektro
 Fakultas/Sekolah : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE IT PLN

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :

perbaiki sesuai masukan dosen penguji

Jangka waktu untuk perbaikan naskah skripsi diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal.....

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI** skripsinya, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa

Anggota Penguji 2 / Pembimbing



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN



Heri Suyanto, S.T., M.T

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa

Anggota Penguji 2 / Pembimbing



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN



Heri Suyanto, S.T., M.T

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-03-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG SKRIPSI	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH SKRIPSI

Tanggal Ujian Sidang : Kamis, 12 Feb 2026
 Nama Mahasiswa : MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN
 NIM : 201911199
 Program Studi : S1 Teknik Elektro
 Fakultas/Sekolah : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE IT PLN

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :

penomoran rumus belum ada di setiap rumus, tambahkan sesuai pedoman

penulisan masih tidak sesuai pedoman, lihat pedoman penulisan skripsi, untuk jenis huruf, spasi, batas kanan dan kiri, dll.

penulisan abstrak masih salah, lihat pedoman

Jangka waktu untuk perbaikan naskah skripsi diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal 19 Februari 2026. Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI** skripsinya, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

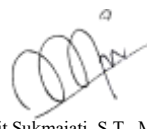
Mahasiswa



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Anggota Penguji 1



Sigit Sukmajati, S.T., M.T

Mahasiswa



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN

Anggota Penguji 1



Sigit Sukmajati, S.T., M.T

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-03-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG SKRIPSI	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH SKRIPSI

Tanggal Ujian Sidang : Kamis, 12 Feb 2026
 Nama Mahasiswa : MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN
 NIM : 201911199
 Program Studi : S1 Teknik Elektro
 Fakultas/Sekolah : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE IT PLN

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Bahasa Inggris dicetak miring

2. Istilah di grafik di jabarkan

Jangka waktu untuk perbaikan naskah skripsi diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal.....

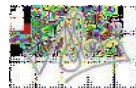
Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI** skripsinya, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN

Ketua Penguji



Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN

Ketua Penguji



Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T

 INSTITUT TEKNOLOGI PLN	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-03-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG SKRIPSI	Level	2
		Revisi ke-	3

RINGKASAN PERBAIKAN NASKAH SKRIPSI

Tanggal Ujian Sidang	:	Kamis, 12 Feb 2026
Nama Mahasiswa	:	MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN
NIM	:	201911199
Program Studi	:	S1 Teknik Elektro
Fakultas/Sekolah	:	Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
Judul Tugas Akhir	:	ANALISIS KINERJA MONITORING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DALAM SISTEM INVERTER ON GRID 5 KWP DI LABORATORIUM RENEWABLE IT PLN

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :

[illegible]

Jangka waktu untuk perbaikan naskah skripsi diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal.....
Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI** skripsinya, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN

Dosen Pembimbing

[Handwritten signature]

Heri Suyanto, S.T., M.T

Ketua Penguji

Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal.....

Mahasiswa

[Signature]

MUHAMMAD SYAHRUL MUBIN

Dosen Pembimbing

[Handwritten signature]

Heri Suyanto, S.T., M.T

Ketua Penguji



Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T