



**Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga
Surya Atap *Off-Grid* 22 kWp di Gedung Panbil
Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional**

Tugas Akhir

**Oleh:
Wahyu Mulyadi Putra (4232111013)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap *Off-Grid* 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 08 Januari 2025



Wahyu Mulyadi Putra

NIM: 4232111013

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Wahyu Mulyadi Putra (4232111013)

Tanggal Sidang: 08 Januari, 2025

Disetujui oleh :



1. Ir.Jhon Hericson Purba,
S.Pd.,M.Pd
NIK: 119230

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Yusiran' with a stylized flourish.

1. Yusiran,S.Si., M.T.
NIK: 123294

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arif Febriansyah Juwito' with a large loop and the date '14/1-25' written next to it.

2. Ir.Arif Febriansyah Juwito, S.T.,
M.Eng.
NIK: 114127

Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap *Off-Grid* 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional

Abstrak

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mendukung transisi menuju *Net Zero Emission*. PT. PCI Elektronik Internasional telah mengimplementasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap *Off-Grid* berkapasitas 22 kWp sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, khususnya penerangan di area produksi Gedung Panbil Lot 2 Lantai 2. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa PLTS dengan metode kuantitatif berdasarkan pengukuran langsung dan evaluasi kinerja yang mengacu pada standar IEC 61724. Parameter analisis meliputi *reference yield*, *final yield*, *array yield*, rasio performa, rugi-rugi sistem, dan efisiensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata energi harian yang dihasilkan PLTS mencapai 45,43 kWh atau setara dengan 56% dari kebutuhan energi penerangan harian. Nilai rasio performa (*Performance Ratio*) sebesar 76,39% menandakan bahwa sistem memiliki efisiensi yang baik dalam menghasilkan energi listrik meskipun hasil tersebut bergantung pada variasi cuaca. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pemasangan PLTS memiliki potensi besar untuk mendukung kebutuhan energi perusahaan secara berkelanjutan.

Kata kunci: *PLTS Off-Grid*, analisis performa, rasio performa, efisiensi energi.

Performance Analysis of Off-Grid Rooftop Solar Power Plant 22 kWp at Panbil Building Lot 2 PT PCI Elektronik Internasional

Abstract

The utilisation of renewable energy is a strategic step to reduce dependence on fossil energy and support the transition to Net Zero Emission. PT PCI Elektronik Internasional has implemented an Off-Grid Rooftop Solar Power Plant (PLTS) with a capacity of 22 kWp as an effort to meet the needs of electrical energy, especially lighting in the production area of Panbil Building Lot 2 Floor 2. This study aims to analyse the performance of PLTS with a quantitative method based on direct measurement and performance evaluation that refers to the IEC 61724 standard. The analysis parameters include reference yield, final yield, array yield, performance ratio, system losses, and efficiency. The results showed that the average daily energy produced by the solar power plant reached 45.43 kWh or equivalent to 56% of the daily lighting energy needs. The performance ratio value of 76.39% indicates that the system has a good efficiency in producing electrical energy although the results depend on weather variations. The conclusion of this research is that the installation of PLTS has great potential to support the company's energy needs in a sustainable manner.

Keywords: Off-grid solar power plant, performance analysis, performance ratio, energy efficiency.

Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran ALLAH SWT. Yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang didapat dari PT. PCI Elektronik Internasional dengan judul **“Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Off-Grid 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional”**. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat dalam untuk mencapai gelar sarjana terapan teknik (S.Tr.T) pada program studi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan laporan tugas akhir ini tidaklah mudah bagi penulis. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

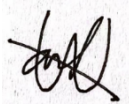
1. Orang Tua yang telah mendukung dan membimbing saya yang selalu memberikan kasih sayang, do'a, nasehat, serta kesabarannya yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis yang merupakan anugrah terbesar dalam kehidupan.
2. Bapak Uuf Brajawidagda, ST., MT., Ph.D, Selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Dr.Budi Sugandi, S.T., M.Eng, Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs., selaku Dosen Wali Teknik Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam.
6. Bapak Yusiran,S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd selaku dosen pengampu Tugas Akhir yang telah membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
8. Bapak Hokeng Tjundawan, Selaku IT & Facility Manager di PT. PCI Elektronik Internasional.
9. Bapak Rakhmad, Kurniawan Wirdiansjah, dan Rinaldi selaku Engineer Facility PT. PCI Elektronik Internasional yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Saudara Akbar Nugraha selaku PIC proyek PLTS PT. PCI Elektronik Internasional yang banyak membantu penulis dalam proses studi kasus lapangan.
11. Teman-teman yang memberikan dukungan moral dan semangat, menjadi sumber inspirasi, serta berbagi kegembiraan dan tantangan selama

perjalanan studi ini.

12. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, i wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and try give more than I receive, I wanna thank me for try and do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.*

Akhir kata penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, dan penulis berharap semoga laporan ini membantu menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca, sehingga dapat memperbaiki bentuk maupun isi laporan ini agar dapat lebih baik lagi kedepannya. Aamiin.

Batam, 08 Januari 2025



Wahyu Mulyadi Putra

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	Error! Bookmark not defined.
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	x
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1. Dasar Teori PLTS	4
2.2. PLTS off grid dan Prinsip Kerja	4
2.3. Bagian-Bagian PLTS Off Grid	5
2.3.1. Energi Matahari	5
2.3.2. Solar Module	6
2.3.3. Inverter	6
2.3.4. <i>Combiner Box</i>	6
2.3.5. Box MCCB Baterai	7
2.3.6. Baterai	7
2.4. Analisa Performa PLTS	9
2.4.1. <i>Array Yield</i> (Y_A)	9
2.4.2. <i>Final Yield</i> (Y_F)	9
2.4.3. <i>Reference Yield</i> (Y_R)	9

2.4.4. Performance Ratio (P_R).....	10
2.4.5. Array Capture Loss (LC).....	11
2.4.6. Balance of System Loss (L_{BOS}).....	11
2.4.7. Efisiensi Array (η_A).....	11
2.4.8. Efisiensi Sistem (η_F).....	12
2.4.9. Efisiensi BOS (η_{BOS}).....	12
2.4.10. Capacity Factor (C_f).....	12
Bab 3. Metodologi Penelitian	14
3.1. Pendahuluan	14
3.2. Metode Penelitian.....	14
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	15
3.4. Data Teknis Lokasi Penelitian	15
3.4.1. Lokasi.....	16
3.4.2. Single Line Diagram (SLD).....	17
3.4.3. Data Iradiasi dan Jalur Pergerakan Matahari.....	18
3.5. Alat dan Bahan	20
3.5.1. Alat	20
3.5.2. Bahan.....	21
3.6. Prosedur Penelitian	24
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	26
4.1. Analisis Hasil Simulasi Perangkat Lunak Pvsyst	26
4.2. Analisis Data Pengukuran Daya Produksi PLTS.....	28
4.2.1. Analisis Energi Produksi PLTS	28
4.2.2. Analisis Energi Produksi Array	31
4.2.3. Analisis Kontribusi Daya Produksi PLTS	35
4.3. Parameter Peforma PLTS.....	36
4.3.1. Array Yield (Y_A).....	37
4.3.2. Final Yield (Y_F).....	37
4.3.3. Reference Yield (Y_R).....	37

4.3.4. <i>Performance Ratio</i> (P_R)	38
4.3.5. <i>Array Capture Loss</i> (L_C)	38
4.3.6. <i>Balance of System Loss</i> (L_{BOS}).....	38
4.3.7. Efisiensi <i>Array</i> (η_A).....	39
4.3.8. Efisiensi <i>Sistem</i> (η_F)	39
4.3.9. Efisiensi <i>BOS</i> (η_{BOS})	39
4.3.10. <i>Capacity Factor</i> (C_f).....	40
4.4. Analisis Data Pengukuran	40
4.4.1. Analisis Energi Keluaran dan Iradiasi	41
4.4.2. Analisis <i>Yields</i>	42
4.4.3. Analisis Rugi-Rugi.....	43
4.4.4. Analisis Efisiensi Energi.....	44
4.4.5. Analisis Rasio Performa dan <i>Capacity Factor</i>	45
4.5. Analisis Perbandingan Data Pengukuran dan Data Simulasi	46
4.4. Rekapitulasi Evaluasi Performa	48
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	50
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	50
Daftar Pustaka	51
Biodata	52
Lampiran	53

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Diagram alur <i>PV & Grid Charging + Grid Bypass</i> [Dokumentasi Pribadi]	5
Gambar 2. 2 Energi Matahari [Dokumentasi Pribadi]	5
Gambar 2. 3 <i>Combiner Box</i> [Dokumentasi Pribadi]	6
Gambar 2. 4 Box MCCB Baterai [Dokumentasi Pribadi]	7
Gambar 2. 5 Baterai [Dokumentasi Pribadi]	8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3. 2 Tampak Depan Gedung Panbil Lot 02-03 [Dokumentasi Pribadi]	16
Gambar 3. 3 Tampak Atas Gedung Panbil Lot 02-03 [Dokumentasi Pribadi]	17
Gambar 3. 4 Ilustrasi susunan PLTS Atap <i>Off-Grid</i> 22 kWp di Gedung Panbil Lot 02-03 [Dokumentasi Pribadi]	17
Gambar 3. 5 SLD Gedung Panbil [Dokumentasi Pribadi]	18
Gambar 3. 6 Jalur Pergerakan Matahari (sumber: PVsyst)	20
Gambar 3. 7 Multi Meter Fluke [Dokumentasi Pribadi]	21
Gambar 3. 8 Software PVsyst [6]	21
Gambar 3. 9 Polycrystalline Silicon [Dokumentasi Pribadi]	22
Gambar 3. 10 Inverter [Dokumentasi Pribadi]	23
Gambar 4. 1 Histogram Perbandingan Daya Produksi <i>Array</i> dan Daya Produksi PLTS	34
Gambar 4. 2 Diagram Perbandingan Energi Keluaran PLTS dan Iradiasi	42
Gambar 4. 3 Diagram Perbandingan <i>Yields</i> Pengukuran	43
Gambar 4. 4 Diagram Perbandingan Rugi-Rugi Sistem	44
Gambar 4. 5 Diagram Perbandingan Efisiensi Energi	45
Gambar 4. 6 Diagram Perbandingan Rasio Performa dan <i>Capacity Factor</i>	46

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Spesifikasi Baterai Huawei ESM-48100U2 48V 100AH	8
Tabel 3. 1 Data Geografis Gedung Panbil PT. PCI Elektronik Internasional	16
Tabel 3. 2 Data Meteorologis Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional	19
Tabel 3. 3 Spesifikasi Apollo Solar Indonesia 550 Wp <i>Polycrystalline</i>	22
Tabel 3. 4 Spesifikasi Inverter	23
Tabel 4. 1 Data Hasil Simulasi PLTS	26
Tabel 4. 2 Parameter Performa Simulasi PLTS	27
Tabel 4. 3 Perhitungan Efisiensi Simulasi PLTS	28

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap <i>Off-Grid</i> 22 kWp Minggu ke-1	28
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap <i>Off-Grid</i> 22 kWp Minggu ke-2	29
Tabel 4. 6 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap <i>Off-Grid</i> 22 kWp Minggu ke-3	30
Tabel 4. 7 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap <i>Off-Grid</i> 22 kWp Minggu ke-4	30
Tabel 4. 8 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap <i>Off-Grid</i> 22 kWp Minggu ke-5	31
Tabel 4. 9 Total Daya Produksi <i>Array</i> Minggu ke-1.....	32
Tabel 4. 10 Total Daya Produksi <i>Array</i> Minggu ke-2.....	32
Tabel 4. 11 Total Daya Produksi <i>Array</i> Minggu ke-3.....	32
Tabel 4. 12 Total Daya Produksi <i>Array</i> Minggu ke-4.....	33
Tabel 4. 13 Total Daya Produksi <i>Array</i> Minggu ke-5.....	33
Tabel 4. 14 Perbandingan Daya Produksi <i>Array</i> dan Daya Produksi PLTS	34
Tabel 4. 15 Daya Kontribusi Produksi PLTS.....	35
Tabel 4. 16 Data Pengukuran PLTS Atap 22 kWp Gedung Panbil Lot 2	36
Tabel 4. 17 Rekapitulasi Perhitungan Hasil Pengukuran	41
Tabel 4. 18 Perbandingan Evaluasi Data Pengukuran dan Data Simulasi	47

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Saat ini, dunia sedang menghadapi krisis energi dan lingkungan yang semakin serius, terutama akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berkelanjutan. Pembakaran bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan menipisnya sumber daya alam, tetapi juga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang mempercepat perubahan iklim dan pemanasan global[1]. Di Indonesia sendiri, tantangan ini semakin terasa, mengingat negara ini masih sangat bergantung pada energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi untuk memenuhi kebutuhannya.

Sebagai respons terhadap tantangan global ini, pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat [2]. Komitmen ini sejalan dengan kesepakatan internasional dalam Perjanjian Paris, yang bertujuan untuk membatasi peningkatan suhu global hingga di bawah 2°C. Salah satu langkah strategis yang diambil adalah dengan meningkatkan kontribusi energi terbarukan (*renewable energy*) dalam bauran energi nasional, termasuk pemanfaatan tenaga surya melalui teknologi Solar *Photovoltaic (PV)*.

Saat ini kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat seiring dengan ekspansi PT. PCI Elektronik Internasional dalam memperluas kegiatan usahanya, terjadi peningkatan kebutuhan energi listrik untuk mendukung operasional perusahaan. Dalam rangka mengatasi hal tersebut, PT. PCI Elektronik Internasional memilih untuk memasang Solar PV (*Photovoltaic*) atau PLTS sebagai sumber energi alternatif. Pemasangan PLTS ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi listrik dari PLN (energi tidak terbarukan), serta mendukung program pemerintah dalam upaya mencapai target *Net Zero Emission*. Langkah ini sejalan dengan komitmen perusahaan untuk berkontribusi dalam transisi energi bersih dan berkelanjutan.

Untuk menjalankan kegiatan produksi, PT. PCI Elektronik Internasional memiliki komponen utama dan komponen pendukung. Komponen utama terdiri dari *Surface Mount Technology (SMT)*, *Soldering Machine (Wave, Selective, dan Robotic)*, *Coating Machine*, dan *Tester*. Sedangkan untuk komponen pendukung berupa lampu penerangan. Komponen utama ini membutuhkan konsumsi energi listrik yang cukup besar sehingga PT. PCI Elektronik Internasional masih menggunakan energi listrik dari PLN, dan PLTS *rooftop off grid* yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan energi pada komponen pendukung.

PLTS *rooftop off-grid* yang dipilih dengan konfigurasi *PV & Grid Charging + Grid Bypass* adalah salah satu sistem hibrida yang dirancang untuk memastikan suplai listrik yang berkelanjutan dan efisien, memanfaatkan energi PLTS dan jaringan listrik PLN. Jika terjadi masalah pada sistem PLTS, listrik PLN yang terhubung tetap dapat menyediakan energi sehingga pasokan listrik tetap tersedia. Namun beberapa minggu terakhir sering terjadi pemadaman lampu penerangan secara

tiba-tiba yang mengakibatkan terganggunya proses produksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa performa secara mendalam yaitu "*Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Off-Grid 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional*", untuk mengevaluasi performa sistem yang telah dipasang, khususnya dalam memenuhi kebutuhan lampu penerangan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah ditulis, maka muncul ide dari penulis untuk membuat tugas akhir mengenai "*Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Off-Grid 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional*", maka ada beberapa perumusan masalah yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar energi yang diproduksi oleh PLTS dengan kapasitas 22 kWp dalam satu hari selama satu bulan di PT. PCI Elektronik Internasional.
2. Performa PLTS sebagai sumber energi listrik untuk penggunaan lampu penerangan pada area produksi Gedung Panbil Lot 2 Lantai 2 di PT. PCI Elektronik Internasional.
3. Bagaimana kondisi kinerja sistem PLTS yang saat ini diterapkan di PT. PCI Elektronik Internasional.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui rata-rata energi yang diproduksi dan rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem PLTS PT. PCI Elektronik Internasional.
2. Untuk mengetahui performa dari sistem PLTS di PT. PCI Elektronik Internasional berdasarkan nilai *Yield Factor (YF)*, *Reference Yield (YR)*, dan *Performance Ratio (PR)*.
3. Untuk mengetahui kinerja sistem PLTS yang saat ini diterapkan di PT. PCI Elektronik Internasional.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa efisiensi dari pemasangan PLTS *off-grid* di PT. PCI Elektronik Internasional.
2. Bahan studi untuk pengembangan sistem PLTS *off-grid* di tahun-tahun mendatang.

1.5. Batasan

Pada tugas akhir penulis membatasi permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini diantaranya yaitu:

1. Menghitung energi yang diproduksi dari PLTS di PT. PCI Elektronik Internasional.
2. Menganalisa performa energi dari PLTS terhadap penggunaan lampu penerangan pada area produksi gedung Panbil Lot 2 Lantai 2 di PT. PCI Elektronik Internasional.
3. Pengambilan data hanya dilakukan dari senin s/d jum'at dari jam 09.00 wib s/d 16.00 wib selama satu bulan.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Dasar Teori PLTS

PLTS adalah suatu pembangkit yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Proses ini terjadi pada sel surya. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel-sel PV. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau dari bahan semikonduktor lainnya. Sehingga apabila bahan tersebut memperoleh energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel.

PLTS merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak ada polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, dan sumber energinya banyak tersedia di alam, yaitu sinar matahari, terlebih lagi di daerah tropis semacam Indonesia yang menerima sinar matahari sepanjang tahun [3].

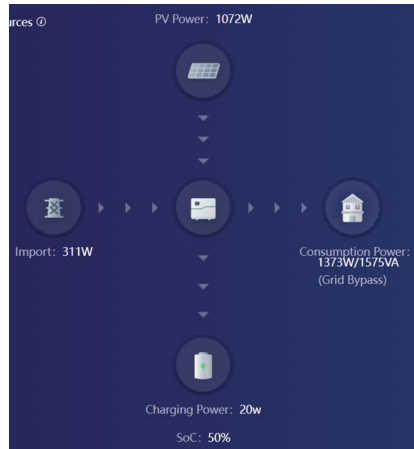
Di dalam panel surya terdapat bahan semikonduktor yang menghasilkan energi kinetik dan memancarkan elektron ketika menerima panas matahari. Elektron yang dilepaskan kemudian masuk ke pita konduksi dan diubah menjadi listrik DC. Sebelum dapat digunakan, arus ini harus diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter. Konversi ini diperlukan karena sebagian besar perangkat elektronik yang digunakan saat ini menggunakan arus AC.

2.2. PLTS *Off-Grid* dan Prinsip Kerja

Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dengan konfigurasi *PV & Grid Charging + Grid Bypass* merupakan sistem hibrida yang menggabungkan sumber energi dari PLTS dan jaringan listrik (grid) untuk menyediakan suplai listrik yang andal dan efisien. Dalam konfigurasi ini, energi dari PLTS digunakan sebagai prioritas utama untuk memenuhi kebutuhan beban penerangan pada area produksi gedung Panbil Lantai 2 di PT. PCI Elektronik Internasional.

Ketika energi dari PLTS tidak mencukupi, jaringan listrik mengambil alih peran untuk menyuplai daya ke beban dan mengisi baterai jika diperlukan. Fitur *Grid Bypass* memungkinkan beban terhubung langsung ke jaringan listrik saat PLTS dan baterai tidak mampu memenuhi kebutuhan, memastikan kontinuitas suplai listrik.

Konfigurasi ini menawarkan keandalan tinggi, efisiensi energi, dan fleksibilitas dalam pengoperasian, menjadikannya solusi optimal untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan sambil tetap terhubung dengan grid listrik.



Gambar 2. 1 Diagram alur PV & Grid Charging + Grid Bypass [Dokumentasi Pribadi]

2.3. Bagian-Bagian PLTS Off-Grid

2.3.1. Energi Matahari



Gambar 2. 2 Energi Matahari [Dokumentasi Pribadi]

Energi matahari merupakan energi yang dihasilkan dari pancaran panas sinar matahari. Sebagai salah satu sumber energi yang paling besar di muka bumi, sinar panas matahari mampu menunjang keberlangsungan hidup seluruh makhluk hidup. Dapat dikatakan, bahwa panas matahari memberikan manfaat yang cukup banyak untuk memenuhi kebutuhan sehari hari, baik untuk kebutuhan jangka pendek maupun jangka panjang sebagai salah satu energi alternatif [4].

2.3.2. Solar Module

Solar modul merupakan gabungan beberapa cell surya menjadi sebuah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Modul surya adalah komponen terpenting dari PLTS. Tanpa komponen ini, listrik tidak dapat dihasilkan.

Polycrystalline Silicone, teknologi panel surya ini terdiri dari batang silikon yang kemudian disatukan. Teknologi panel ini memiliki keunggulan dalam hal penempatan yang lebih bersih dan padat. Karena karakteristiknya, panel surya ini biasanya memiliki tampilan yang unik karena sel surya yang menyusunnya tampak memiliki retakan. Silicon, *polycrystalline silicone* memiliki efisiensi yang rendah. Oleh karena itu, untuk menghasilkan jumlah listrik yang sama, panel surya jenis ini membutuhkan penampang yang lebih besar.

2.3.3. Inverter

Inverter berfungsi merubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC. Inverter string adalah jenis inverter panel surya yang paling sederhana. Mereka menghubungkan beberapa panel surya dalam sebuah rantai dan mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik. Keuntungan dari inverter string adalah harganya yang relatif terjangkau dan mudah digunakan. Selain itu, inverter string dapat disesuaikan dengan panel surya yang berbeda. Namun, kerugian dari inverter string adalah jika satu panel surya teduh atau rusak, pembangkit listrik dari seluruh rangkaian panel surya akan berkurang.

2.3.4. Combiner Box



Gambar 2. 3 *Combiner Box* [Dokumentasi Pribadi]

Combiner box berfungsi untuk menggabungkan atau mengumpulkan aliran listrik dari beberapa string (jalur) yang keluar dari inverter. Di dalam *combiner box* juga biasanya terdapat perangkat perlindungan seperti sekering, breaker,

dan alat monitoring untuk memantau kondisi kelistrikan, termasuk arus dan tegangan. Box ini memastikan bahwa arus yang dialirkan ke baterai atau beban terkontrol dengan aman.

2.3.5. Box MCCB Baterai



Gambar 2. 4 Box MCCB Baterai [Dokumentasi Pribadi]

MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) baterai berfungsi sebagai perangkat perlindungan pada jalur keluaran inverter menuju baterai, tujuannya untuk perlindungan dari arus lebih (*overcurrent*), korsleting, dan beban lebih, yang dapat merusak baterai atau komponen lain dalam sistem. Jika arus yang mengalir dari inverter ke baterai melebihi batas yang diizinkan, MCCB akan memutuskan aliran listrik untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Selain itu, MCCB juga melindungi dari hubungan pendek yang bisa terjadi akibat kegagalan isolasi atau gangguan teknis lainnya.

2.3.6. Baterai

Pada sistem PLTS dengan konfigurasi *PV & Grid Charging + Grid Bypass*, baterai berperan sebagai cadangan energi yang penting untuk memastikan keberlangsungan operasi sistem. Fungsi utama baterai adalah sebagai sumber daya darurat saat sistem PLTS mengalami gangguan atau trip, sehingga tidak ada suplai energi baik dari PLTS maupun jaringan listrik (*grid*).

Baterai juga memainkan peran penting dalam fase *pre-start* inverter. Ketika inverter berada dalam kondisi mati total akibat kehilangan suplai energi, baterai memberikan energi awal yang diperlukan untuk menyalakan inverter agar dapat memulai kembali operasinya. Dengan demikian, baterai menjadi elemen esensial untuk menjaga keandalan sistem, terutama dalam kondisi darurat. Baterai tidak digunakan sebagai sumber utama untuk mendukung beban selama operasi normal. Sebaliknya, baterai hanya diaktifkan dalam situasi tertentu,

yaitu ketika suplai energi dari PLTS maupun *grid* tidak tersedia. Hal ini dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi dari PLTS dan jaringan listrik, sekaligus memastikan sistem tetap dapat berfungsi dalam keadaan darurat.



Gambar 2. 5 Baterai [Dokumentasi Pribadi]

Tabel 2. 1 Spesifikasi Baterai Huawei ESM-48100U2 48V 100AH

Item Specification	
Series	Huawei ESM-48100U2 48V 100AH
Jenis Baterai	Lithium Iron Phosphate (LiFePO4)
Nominal Voltage / Tegangan Nominal	48V DC
Kapasitas	100Ah atau sekitar 4.8 kWh (48V * 100Ah)
Depth of Discharge (DoD)	90%
Number of cycles / Siklus Hidup	6000
Efficiency	95%
Dimensi	442 mm x 390 mm x 132 mm
Berat	45 kg

2.4. Analisa Performa PLTS

Berdasarkan IEC 61724: *Photovoltaic system performance monitoring-guidelines for measurement, data exchange and analysis*, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisis unjuk kerja suatu sistem PLTS, antara lain:

2.4.1. Array Yield (Y_A)

Array yield adalah jumlah energi DC yang dihasilkan sistem PLTS dibandingkan dengan daya nominal atau kapasitas terpasang dari sistem PLTS tersebut. *Array yield* dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

$$Y_A = \frac{EA}{P\&} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- Y_A = *Array Yield* [kWh/kW]
- EA = energi keluaran *array* dalam satuan DC [kWh]
- $P\&$ = *array power rating* atau daya nominal PLTS [kW]

2.4.2. Final Yield (Y_F)

Rasio total energi AC yang dihasilkan sistem PLTS pada suatu periode tertentu dan daya nominal dari sistem PLTS tersebut. Nilai ini menunjukkan berapa jam setiap harinya suatu sistem PLTS perlu beroperasi pada daya nominalnya agar menghasilkan jumlah daya yang sama dengan pengukuran. *Final yield* dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

$$Y_F = \frac{E_{out}}{P\&} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- Y_f = *Final Yield* [kWh/kW]
- E_{out} = energi keluaran PLTS dalam satuan AC [kWh]
- $P\&$ = *array power rating* atau daya nominal PLTS [kW]

2.4.3. Reference Yield (Y_R)

Perbandingan antara iradiasi dalam bidang dengan iradiasi referensi sistem PLTS yang pada kondisi pengujian standar atau *Standard Test Conditions* ($G_{i,ref}$), umumnya 1 kW/m². *In-plane irradiance* atau iradiasi dalam bidang adalah jumlah iradiasi *direct*, *diffuse*, dan *ground-reflected* yang jatuh pada bidang miring paralel dengan bidang modul pada *array* PLTS. Parameter ini

adalah jumlah energi yang ada secara teoretis pada lokasi tertentu pada satu periode waktu. *Reference yield* dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

$$YR = \frac{Hi}{Gi,ref} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- Yr = *Reference Yield* [kWh/m²]
- Hi = *In-Plane irradiation* atau iradiasi dalam bidang [kW/m²]
- Gi,ref = *reference plane of array irradiance* atau iradiasi referensi dalam bidang [1 kW/m²]

2.4.4. Performance Ratio (PR)

Rasio Performa atau *Performance Ratio (PR)* adalah parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas atau efektivitas sistem PLTS selama proses konversi solar hingga pembangkitan energi listrik. Nilai ini menunjukkan kinerja sistem PLTS terhadap kinerja ideal selama beroperasi, bukan menunjukkan jumlah energi yang diproduksi sistem PLTS. Persentase *PR* ini menunjukkan total rugi-rugi selama proses konversi sehingga menunjukkan jumlah energi yang dapat digunakan setelah dikurangi rugi-rugi. Dalam arti lain, parameter ini menunjukkan hubungan antara energi keluaran aktual dengan energi keluaran maksimum setiap tahunnya pada kondisi optimum, dengan mempertimbangkan faktor rugi-rugi sehingga tidak mungkin menyentuh angka 100%. Energi keluaran aktual adalah nilai tampilan energi yang biasanya dilihat pada alat pengukuran dalam rentang tahunan. Sedangkan energi keluaran maksimum teoretis adalah energi keluaran tahunan (nominal) hasil pengukuran. Sistem PLTS dengan nilai *PR* tinggi saat iradiasi matahari rendah dapat menghasilkan energi keluaran lebih rendah dibandingkan sistem PLTS dengan *PR* rendah namun nilai iradiasi matahari yang tinggi. Sebuah sistem PLTS yang didesain dan dipelihara dengan baik dapat mencapai *PR* hingga 80% [5]. Tidak terdapat rentang rasio performa yang pasti berdasarkan standar, hal ini diakibatkan oleh banyaknya faktor penentu performa suatu PLTS sehingga tidak dapat didasarkan pada satu parameter saja. Selain itu, dengan berbagai kondisi pemasangan PLTS dengan sumber daya yang juga berbeda, menjadi pantangan adanya satu rentang *PR* sebagai acuan. Rasio performa dihitung dengan membagi *Final Yield (YF)* dengan *Reference Yield (YR)*. Perhitungan *PR* menggunakan Persamaan (2.4).

$$PR = \frac{E_{out}/P\&}{Hi/Gi.ref} = \frac{YF}{YR} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

- $YF = \text{Final Yield [kWh/kW]}$
- $YR = \text{Reference Yield [kWh/kW]}$

2.4.5. Array Capture Loss (LC)

Rugi-rugi *array* yang menunjukkan rugi-rugi akibat operasi *array*, termasuk suhu pada *array*, kondisi kebersihan *array*, dan sebagainya. Parameter ini merupakan perbedaan antara YR dan YA . Perhitungannya rugi-rugi *array* sesuai Persamaan (2.5).

$$LC = YR - YA \quad (2.5)$$

Keterangan:

- $LC = \text{array capture loss atau rugi-rugi array [kWh/kW]}$
- $YR = \text{Reference Yield [kWh/kW]}$
- $YA = \text{Array Yield [kWh/kW]}$

2.4.6. Balance of System Loss ($LBOS$)

Angka keandalan yang menunjukan rugi-rugi komponen sistem selain modul PV, seperti inverter dan kabel. Rugi-rugi *balance of system* dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (2.6).

$$LBOS = YA - YF \quad (2.6)$$

Keterangan:

- $LBOS = \text{balance of system loss [kWh/kW]}$
- $YA = \text{Array Yield [kWh/kW]}$
- $YF = \text{Final Yield [kWh/kW]}$

2.4.7. Efisiensi Array (η_A)

Efisiensi perbandingan antara energi yang diproduksi *array* dalam bentuk DC dengan energi matahari yang diterima oleh *array* selama satu periode. Rumus efisiensi *array* dapat dilihat pada Persamaan (2.7), di mana A_A adalah luas keseluruhan daerah *array*, yaitu jumlah daerah permukaan modul PV.

$$\eta_A = \frac{EA}{Hi \times A_A} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

- ηA = efisiensi *array* [%]
- EA = energi keluaran *array* dalam satuan DC [kWh]
- Hi = *In-Plane irradiation* atau iradiasi dalam bidang [kW/m²]
- AA = luas daerah *array* [m²]

2.4.8. Efisiensi Sistem (ηF)

Efisiensi sistem secara keseluruhan, termasuk seluruh komponen sistem seperti modul PV, inverter, dan komponen lainnya. Nilai ini menggambarkan seberapa baik keseluruhan sistem beroperasi dalam kondisi di lapangan. Rumus efisiensi sistem tertera pada Persamaan (2.8).

$$\eta F = \frac{E_{out}}{H_i \times AA} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

- ηf = efisiensi sistem [%]
- E_{out} = energi keluaran *array* dalam satuan AC [kWh]
- Hi = *In-Plane irradiation* atau iradiasi dalam bidang [kW/m²]
- AA = luas daerah *array* [m²]

2.4.9. Efisiensi BOS (ηBOS)

Efisiensi kinerja komponen *Balance of System* (BOS) atau seluruh komponen di sistem PLTS di luar modul PV. Rumus efisiensi BOS tertera pada Persamaan (2.9).

$$\eta BOS = \frac{E_{out}}{EA} \times 100\% \quad (2.9)$$

Keterangan:

- $\eta B\&S$ = efisiensi *balance of system* [%]
- E_{out} = energi keluaran *array* dalam satuan AC [kWh]
- EA = energi keluaran *array* dalam satuan DC [kWh]

2.4.10. Capacity Factor (C_f)

Rasio perbandingan antara energi aktual yang diproduksi sistem PLTS dan energi teoretis atau jumlah energi yang diproduksi PLTS jika beroperasi pada daya nominal selama 24 jam setiap hari. Persamaan (2.10) menunjukkan rumus *capacity factor*.

$$Cf = \frac{E_{out}}{AC \text{ rating} \times 24 \times \text{jumlah hari pengujian}} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan:

- Cf = *capacity factor* [%]
- E_{out} = energi keluaran *array* dalam satuan AC [kWh]
- $AC \text{ rating}$ = energi keluaran terpasang *array* [kWh]
- *jumlah hari pengujian* = hari pengujian dari sebulan [kWh]

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Pendahuluan

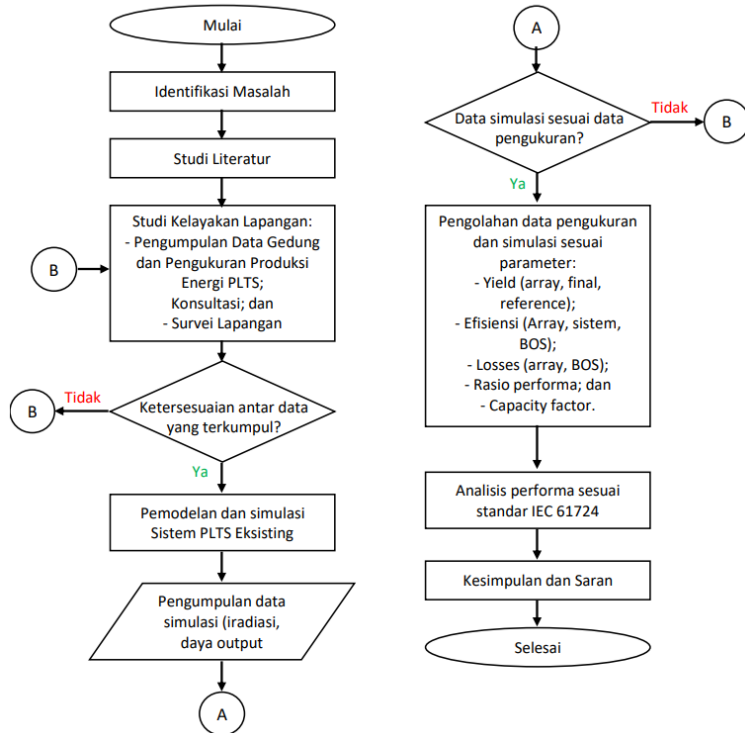
Bab ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam penelitian Analisa Performa PLTS atau solar PV (*Photovoltaic Off-Grid*) untuk penggunaan lampu penerangan pada area produksi Gedung Panbil Lot 2 Lantai 2 di PT. PCI Elektronik Internasional. Metodologi ini dirancang untuk memastikan proses penelitian dilakukan secara sistematis dan terukur, sehingga hasil yang diperoleh dapat menjawab rumusan masalah yang telah dirumuskan. Pembahasan meliputi desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan, variabel yang digunakan, prosedur penelitian, hingga metode pengolahan dan analisis data. Semua langkah yang dijabarkan bertujuan untuk menghasilkan data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan dalam menganalisis performa sistem PLTS *off-grid*.

3.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif, data yang dikumpulkan berupa angka-angka yang diperoleh dari hasil pengukuran dalam penelitian ini, dan hasil pengumpulan data tersebut dianalisis melalui perhitungan.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini memiliki tahapan kerja sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4. Data Teknis Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di atap Gedung *Receiving* Panbil PT. PCI Elektronik Internasional yang terletak di daerah kawasan Komplek Panbil Industri.

3.4.1. Lokasi

Unit *receiving* (penerimaan) merupakan bagian dari gedung Panbil PT. PCI Elektronik Internasional yang berfungsi untuk menerima barang atau bahan baku yang dikirim oleh pemasok. Evaluasi PLTS dilakukan di PLTS atap unit *receiving* PT. PCI Elektronik Internasional yang beralamat Komplek Panbil Industri, Jl. Jend. A. Yani Kecamatan, Kabil, Nongsa, Batam City, Riau Islands 29425. Koordinat gedung ini terletak pada 01.079628° , Lintang Utara (LU) dan 104.026806° Bujur Timur (BT). Rincian data geografis atap bangunan Gedung Panbil tertera pada Tabel dibawah.

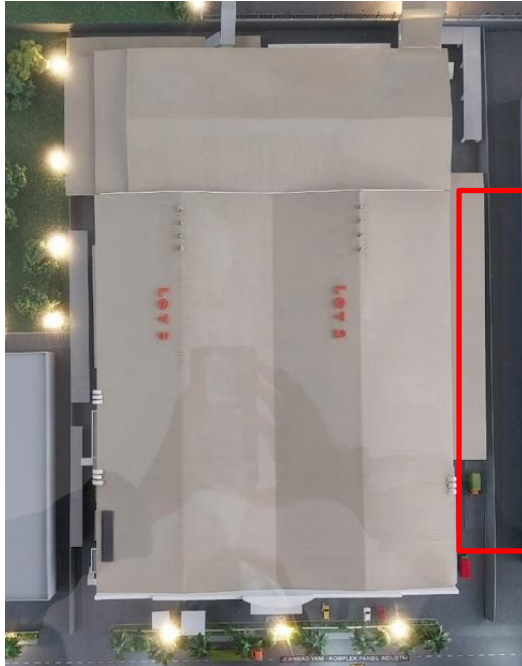
Tabel 3. 1 Data Geografis Gedung Panbil PT. PCI Elektronik Internasional

Data Geografis Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional	
Garis Lintang (<i>Latitude</i>)	01.079628°
Garis Bujur (<i>Longitude</i>)	104.026806°
Zona Waktu (<i>Time Zone</i>)	UTC +7

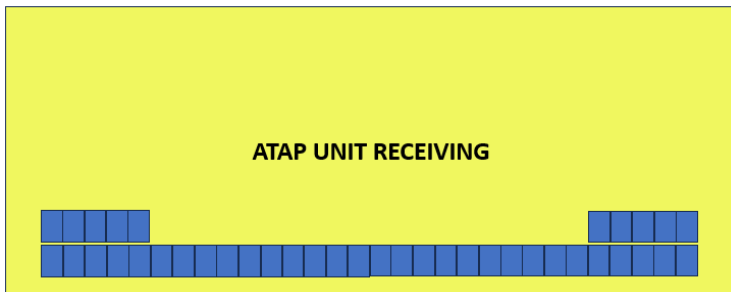
Tampak depan Gedung Panbil Panbil Lot 02-03 dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 3. 2 Tampak Depan Gedung Panbil Lot 02-03 [Dokumentasi Pribadi]



Gambar 3. 3 Tampak Atas Gedung Panbil Lot 02-03 [Dokumentasi Pribadi]



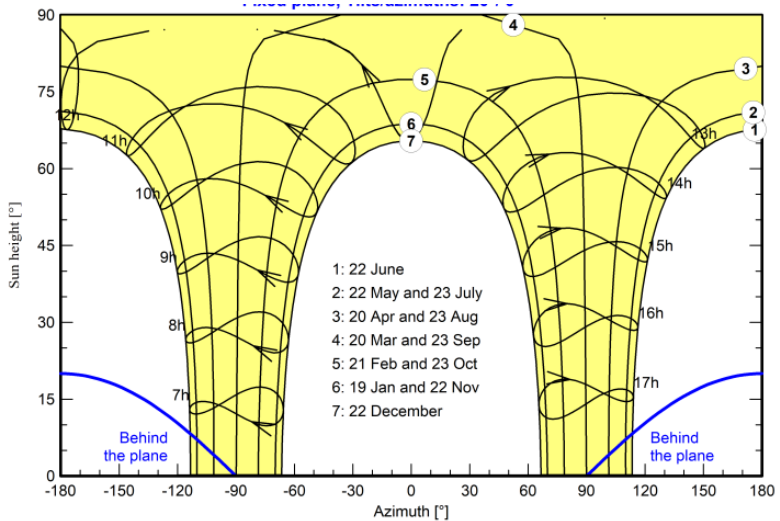
Gambar 3. 4 Ilustrasi susunan PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp di Gedung Panbil Lot 02-03 [Dokumentasi Pribadi]

3.4.2. *Single Line Diagram (SLD)*

Single Line Diagram (SLD) atau Diagram Satu Garis adalah diagram atau gambar listrik yang merepresentasikan grafis sederhana, namun kuat, dari

Tabel 3. 2 Data Meteorologis Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional

Source: PVsyst V8.0.5 Meteororm Data					
Plane Tilt: 20°; Azimuth: 0°; Albedo: 0,20					
	Global Horizontal Irradiation	Diffuse Horizontal Irradiation	Global Incident	Ambient Temp.	Wind Velocity
Month	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s
January	147,9	75,35	160,5	27,06	2,9
February	150,0	76,96	156,4	27,55	3,2
March	159,3	78,54	154,2	28,06	2,4
April	140,6	77,12	128,4	28,19	1,7
May	138,8	76,82	119,7	28,89	1,8
June	131,1	72,65	110,9	28,37	2
July	136,0	71,84	115,4	28,42	2,4
August	138,3	78,47	124,1	28,36	2,6
September	135,5	81,16	129	27,89	2,3
October	134,7	81,95	135,5	28,27	1,8
November	119,1	73,71	125,2	27,3	1,6
December	120,3	78,71	128,7	27,27	2,2
Year	1651,8	923,28	1588	27,97	2,2



Gambar 3. 6 Jalur Pergerakan Matahari (sumber: PVsyst)

Tabel 3.2 menunjukkan rekapitulasi data meteorologis Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional sebagai acuan dari keadaan atap gedung. Gambar 3.6 menunjukkan pola pergerakan matahari selama setahun berupa ketinggian dan *azimuth* matahari.

3.5. Alat dan Bahan

3.5.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.5.1.1 Multimeter Digital

Digunakan untuk mengukur tegangan (Volt) dan arus listrik (Ampere) dari modul Solar PV.



Gambar 3. 7 Multi Meter Fluke [Dokumentasi Pribadi]

3.5.1.2. Komputer/Laptop dengan Software PVSyst

Untuk mendapatkan data evaluasi.



Gambar 3. 8 Software PVSyst [6]

3.5.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.5.2.1. Modul Solar PV

Modul surya yang digunakan pada sistem PLTS Atap *Off-Grid* 22kWp di Gedung Panbil berjenis polikristalin (*polycrystalline*) bermerek Apollo Solar Indonesia tipe TD7G72M-550 dengan kapasitas 550Wp sejumlah 40 modul dengan lifetime 25 tahun dan degradasi 0,5% per tahun.



Gambar 3. 9 Polycrystalline Silicon [Dokumentasi Pribadi]

Tabel 3. 3 Spesifikasi Apollo Solar Indonesia 550 Wp *Polycrystalline*

Spesifikasi Apollo Solar Indonesia 550 Wp	
Tipe sel	Polycrystalline
Dimensi	2278 mm x 1134 mm x 35 mm
Berat	27 kg
Lapisan Depan	3,2 mm kaca tempered
Daya Nominal Maksimum (Pmax)	550 Wp
Tegangan Operasi Optimal (Vmp)	41 V
Arus Operasi Optimal (Imp)	12 A
Tegangan Open Circuit (Voc)	49 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	13 A
Efisiensi Modul (STC)	17 %

3.5.2.2. Inverter

Terdapat lima inverter 1 fase (*single-phase*) yang digunakan pada sistem PLTS Atap *Off-Grid* 22kWp di Gedung Panbil, bermerek Growatt dengan tipe SPF 5000 ES berkapasitas 6kWp. Kelima inverter menjadi penghubung antara *combiner box* DC dan Box MCCB baterai. Tampilan inverter SPF 5000 ES dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 3. 10 Inverter [Dokumentasi Pribadi]

Tabel 3. 4 Spesifikasi Inverter

Spesifikasi Growatt Inverter SPF 5000 ES	
Battery Voltage	48 VDC
Battery Type	Lithium/Lead-acid
Inverter Output	
Rated Power	5000VA / 5000W
Paraller Capability	6 Unit Maximum
AC Voltage Regulation (Battery Mode)	230 VAC \pm 5% @50/60 Hz
Surge Power	10000 VA
Efficiency (Peak)	93%
Wave Form	Pure Sine Wave
Trasnfer Time	10ms typical, 20ms Max
Solar Charger	
Maximum PV Array Power	6000W
MPPT Range @Operating Voltage	120 VDC ~ 430 VDC
Number of Independent MPP Trackers / Strings Per MPP Tracker	1/1
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	450 VDC
Maximum Solar Charge Current	100 A
AC Charger	
Charge Current	80A
AC Input Voltage	230 VAC

Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers); 90-280 VAC (For Home Appliances)
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto Sensing)
Physical	
Protection Degree	IP20
Dimension (W/H/D)	330/480/135 mm
Net Weight	12kg
Operating Environment	
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-Condensing)
Altitude	<2000m
Operating Temperature	0°C - 55°C
Storage Temperature	-15°C - 60°C

3.6. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan identifikasi dan pemahaman sistem PLTS yang akan diuji, termasuk jenis modul solar PV, yaitu *Polycrystalline* Apollo Solar 550 Wp, serta konfigurasi sistem *PV&Grid Charging+Grid Bypass* yang terdiri atas panel surya, inverter, baterai, dan beban berupa lampu penerangan. Data teknis dari spesifikasi produk seperti modul, inverter, dan baterai juga dikumpulkan. Selanjutnya, dilakukan persiapan alat dan bahan, seperti multimeter untuk mengukur tegangan dan arus, serta bahan seperti modul PV, kabel, baterai, inverter, dan lampu penerangan.

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data performa PLTS dengan mengukur parameter seperti tegangan, arus, intensitas cahaya matahari (*solar irradiance*), suhu modul, dan daya listrik yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan setiap satu jam dari pukul 09.00 hingga 16.00 selama beberapa hari kerja, dengan mencatat daya keluaran modul, dan total energi yang dihasilkan. Data tersebut dibandingkan dengan intensitas cahaya matahari dan suhu modul untuk analisis lebih lanjut. Pada tahap analisis, efisiensi sistem dihitung menggunakan persamaan 2.11.

$$Efisiensi (\%) = \frac{\text{Daya Keluaran Modul PV}}{\text{Daya Radiasi Matahari pada Luas Modul}} \times 100\% \quad (2.11)$$

Daya yang disimpan di baterai tidak dilakukan penelitian dikarenakan batrai yang terpasang pada sistem ini hanya sebagai power untuk *pre-start* pada saat sistem terjadi trip atau mati. Daya yang digunakan untuk lampu penerangan dianalisis, termasuk identifikasi kehilangan daya (*power loss*) pada kabel dan inverter. Hasil penelitian diinterpretasikan dengan membandingkan performa yang diukur dengan spesifikasi teknis modul, serta menganalisis faktor eksternal seperti intensitas cahaya matahari dan suhu. Proses penelitian diakhiri dengan pembuatan laporan dan kesimpulan, termasuk rekomendasi untuk optimalisasi sistem PLTS di lokasi penelitian.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Hasil Simulasi Perangkat Lunak Pvsyst

Data keluaran yang didapat dari simulasi adalah daya keluaran PLTS seharusnya beserta daya meteorologis berupa iradiasi serta data lainnya seperti suhu lingkungan dan rasio performa. Data hasil simulasi PLTS eksisting pada perangkat lunak Pvsyst dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data Hasil Simulasi PLTS

Bulan	GHI	DHI	Amb. Temp.	Global Inc.	Global Eff.	Array Energy	Grid Energy	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	147,9	75,35	27,06	160,5	157,4	2929	2708	0,767
February	150,0	76,96	27,55	156,4	153,4	2852	2639	0,767
March	159,3	78,54	28,06	154,2	150,6	2798	2586	0,762
April	140,6	77,12	28,19	128,4	124,6	2343	2162	0,765
May	138,8	76,82	28,89	119,7	115,6	2186	2014	0,765
June	131,1	72,65	28,37	110,9	107,1	2033	1872	0,767
July	136,0	71,84	28,42	115,4	111,2	2111	1943	0,766
August	138,3	78,47	28,36	124,1	120,3	2271	2094	0,767
September	135,5	81,16	27,89	129,0	125,4	2365	2183	0,769
October	134,7	81,95	28,27	135,5	132,5	2476	2286	0,767
November	119,1	73,71	27,30	125,2	122,3	2295	2117	0,769
December	120,3	78,71	27,27	128,7	125,9	2369	2186	0,772
Tahunan	1651,8	923,28	27,97	1588,0	1546,1	29028	26790	0,767

Data keluaran hasil simulasi PLTS eksisting yang diperoleh adalah data setiap bulan selama satu tahun dengan parameter dasar berupa iradiasi yang terdiri dari *global horizontal irradiance* (GHI) dan *diffuse horizontal irradiation* (DHI), *ambience temperature* atau suhu lingkungan, *global incident*, *global efficiency*, *array energy*, *grid energy*, dan rasio performa. Berdasarkan hasil simulasi, disimpulkan bahwa PLTS seharusnya menghasilkan energi hingga 26.790 kWh selama satu tahun dengan rasio peforma 76,7% dan pada bulan November menghasilkan energi 2.117 kWh dengan performa sebesar 76,9%. Besar rasio performa yang didapatkan berada dalam rentang PLTS yang beroperasi dalam keadaan baik, yaitu di antara 70 – 90%. Parameter lain yang diperoleh adalah iradiasi matahari tahunan sebesar 1.679,1 kWh/m² dan energi yang diproduksi *array* sebesar 130.460 kWh. Didapatkan iradiasi paling tinggi pada bulan Agustus,

yaitu sebesar 177,20 kWh/m² dan paling rendah pada bulan Januari, yaitu sebesar 86,6 kWh/m².

Perangkat lunak PVsyst juga menghasilkan data sesuai parameter standar IEC 61724 berupa hasil dan rugi-rugi sesuai Tabel 4.2. Setelah mencoba melakukan kalkulasi secara manual menggunakan rumus sesuai standar IEC 61724, ditemukan nilai yang sama dengan nilai simulasi.

Tabel 4. 2 Parameter Performa Simulasi PLTS

Bulan	Array Yield	Final Yield	Reference Yield	Array Capture Loss	BOS Loss
	kWh/kWp/d	kWh/kWp/d	kWh/m ² /d	rasio	rasio
January	4,29	3,98	5,18	0,88	0,32
February	4,63	4,29	5,59	0,95	0,34
March	4,1	3,8	4,98	0,87	0,3
April	3,55	3,28	4,28	0,73	0,27
May	3,21	2,96	3,86	0,66	0,24
June	3,08	2,85	3,7	0,62	0,24
July	3,09	2,86	3,72	0,63	0,24
August	3,33	3,08	4	0,67	0,25
September	3,58	3,32	4,3	0,72	0,27
October	3,63	3,36	4,37	0,74	0,27
November	3,48	3,22	4,17	0,7	0,26
December	3,47	3,21	4,15	0,68	0,26
Tahunan	3,62	3,34	4,35	0,74	0,27

Parameter yang diperoleh dari simulasi adalah *array yield* (Y_a), *final yield* (Y_f), *reference yield* (Y_r), *array capture loss* (L_c), dan *balance of system loss* (L_s). Berdasarkan simulasi, diperoleh rata-rata harian *reference yield* yang berdasarkan iradiasi yang diterima sebesar 4,35 kWh/m², *array yield* sebesar 3,62 kWh/kWp, dan *final yield* sebesar 3,34 kWh/kWp. Selain itu, juga diperoleh *array capture loss* sebesar 74% dan *balance of system loss* sebesar 0,27%. Untuk kelengkapan data sebagai bentuk perbandingan, dilakukan perhitungan *efisiensi array*, efisiensi sistem, efisiensi BOS, dan *capacity factor* sesuai IEC 61724 dengan hasil pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perhitungan Efisiensi Simulasi PLTS

Bulan	Efisiensi Array	Efisiensi Sistem	Efisiensi BOS
	%	%	%
January	17,66	16,37	92,7
February	17,65	16,36	92,7
March	17,55	16,26	92,6
April	17,66	16,34	92,5
May	17,68	16,34	92,4
June	17,74	16,39	92,4
July	17,7	16,35	92,4
August	17,71	16,37	92,5
September	17,75	16,42	92,5
October	17,69	16,37	92,6
November	17,74	16,41	92,5
December	17,81	16,47	92,5
Tahunan	17,69	16,37	92,5

Rata-rata efisiensi *array* yang didapat adalah 17,69% dengan efisiensi sistem sebesar 16,37%, dan efisiensi BOS sebesar 92,50%. Selain itu, didapatkan rata-rata selama satu bulan dari *capacity factor* sebesar 8,6%.

4.2. Analisis Data Pengukuran Daya Produksi PLTS

4.2.1. Analisis Energi Produksi PLTS

Pengukuran daya produksi PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp dilakukan selama lima hari kerja (Senin sampai Jum'at) dengan interval pengukuran setiap satu jam. Rentang pengukuran adalah pada Jum'at, 01 November 2024 hingga Jum'at, 29 November 2024.

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp Minggu ke-1

JAM	Rata-Rata Daya Produksi PLTS [kW]	Rata-Rata
	Jum'at	
09.00	5,87	5,87
10.00	9,40	9,40
11.00	10,28	10,28
12.00	8,91	8,91

13.00	10,67	10,67
14.00	9,10	9,10
15.00	0,69	0,69
16.00	0,59	0,59
Jumlah	55,50	55,50

Hasil pengambilan data pada minggu pertama periode tanggal 1 November. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 rentang waktu dari jam 09.00 – 14.00 rata-rata produksi cukup stabil dengan nilai 9,04 kWh. Pada jam 15.00 – 16.00 terjadi mendung dibuktikan dengan daya produksi yang cukup rendah dengan rata-rata nilai keduanya sebesar 0,64 kWh, dan total sebesar 55,50 kWh.

Pengumpulan data pada minggu kedua telah dilakukan untuk mengetahui rata-rata daya produksi PLTS, dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp Minggu ke-2

JAM	Rata-Rata Daya Produksi PLTS [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	4,97	4,22	1,20	1,76	5,95	3,62
10.00	11,40	7,74	7,22	2,10	9,88	7,67
11.00	11,57	10,78	10,10	6,14	10,29	9,78
12.00	10,28	5,79	10,00	7,79	11,44	9,06
13.00	5,76	3,43	7,47	11,42	10,20	7,66
14.00	5,98	3,72	9,88	6,26	6,10	6,39
15.00	7,57	4,41	8,03	5,31	2,54	5,57
16.00	4,84	3,62	7,40	5,49	6,00	5,47
Jumlah	62,37	43,70	61,30	46,27	62,40	55,21

Hasil pengambilan data pada minggu kedua periode 4–8 November menunjukkan kondisi yang cukup stabil, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.5. Namun, pada Selasa, 5 November, terjadi penurunan nilai yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh hujan ringan yang terjadi pada pukul 13.00, sehingga daya produksi pada hari tersebut lebih rendah dibandingkan dengan hari lainnya.

Pengumpulan data pada minggu ketiga telah dilakukan untuk mengetahui rata-rata daya produksi PLTS, dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp Minggu ke-3

JAM	Rata-Rata Daya Produksi PLTS [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	3,13	2,61	2,32	4,47	2,62	3,03
10.00	8,05	4,43	4,83	10,27	5,51	6,62
11.00	6,74	11,12	10,69	5,19	11,64	9,08
12.00	3,07	11,31	10,76	6,89	10,23	8,45
13.00	1,94	10,73	11,02	1,20	7,84	6,55
14.00	1,46	11,00	4,87	4,64	6,91	5,78
15.00	2,79	7,41	1,91	0,88	1,29	2,86
16.00	2,02	3,59	0,60	0,06	2,66	1,79
Jumlah	29,20	62,20	47,00	33,60	48,70	44,14

Hasil pengambilan data pada minggu ketiga periode 11–15 November menunjukkan penurunan daya produksi dari minggu sebelumnya, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.6. Dikarenakan pada Senin, 11 November, terjadi penurunan nilai yang disebabkan oleh hujan ringan sehingga daya produksi pada hari tersebut lebih rendah dibandingkan dengan hari lainnya.

Pengumpulan data pada minggu keempat telah dilakukan untuk mengetahui rata-rata daya produksi PLTS, dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp Minggu ke-4

JAM	Rata-Rata Daya Produksi PLTS [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	2,79	0,97	5,77	3,20	4,10	3,37
10.00	2,21	3,39	5,94	5,70	7,42	4,93
11.00	2,34	7,75	11,74	11,29	5,37	7,70
12.00	3,21	10,85	11,37	11,38	9,18	9,20
13.00	6,71	5,62	9,96	6,17	8,30	7,35
14.00	1,46	4,75	7,49	4,00	3,13	4,16
15.00	0,66	4,36	5,87	5,64	0,29	3,36
16.00	1,02	2,62	5,66	5,02	0,00	2,86
Jumlah	20,40	40,30	63,80	52,40	37,80	42,94

Hasil Hasil pengambilan data pada minggu keempat periode 18–22 November menunjukkan penurunan daya produksi dibandingkan minggu sebelumnya, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.7. Penurunan ini terutama

terjadi pada Senin, 18 November, dengan total produksi sebesar 20,40 kWh. Hal ini disebabkan oleh hujan ringan yang berlangsung hingga sore hari, sehingga daya produksi pada hari tersebut lebih rendah dibandingkan hari-hari lainnya.

Pengumpulan data pada minggu kelima telah dilakukan untuk mengetahui rata-rata daya produksi PLTS, dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Data Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS Atap *Off-Grid* 22 kWp Minggu ke-5

JAM	Rata-Rata Daya Produksi PLTS [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	3,35	3,29	Libur pemungutan suara PILKADA BATAM	5,56	0,44	3,16
10.00	1,57	2,30		8,79	5,72	4,60
11.00	6,79	5,67		8,29	6,39	6,79
12.00	7,88	4,76		9,97	5,25	6,97
13.00	4,71	4,79		2,65	5,22	4,34
14.00	6,61	1,18		1,57	7,28	4,16
15.00	4,00	1,56		2,13	4,93	3,16
16.00	3,29	2,25		0,64	2,57	2,19
Jumlah	38,20	25,80		0,00	39,60	37,80

Hasil pengambilan data pada minggu kelima periode 25–29 November menunjukkan penurunan daya produksi yang cukup jauh dari minggu sebelumnya, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.8. Dikarenakan cuaca mendung dan hujan yang dibuktikan tidak adanya daya produksi yang mencapai 10 kWh seperti pada hari-hari minggu sebelumnya.

Berdasarkan data yang terukur dari PLTS selama 8 jam, yaitu pukul 09.00 hingga pukul 16.00. Daya rata-rata paling tinggi diperoleh pukul 11.00, yaitu 8,72 kW dan terendah pada pukul 16.00, yaitu sebesar 0,30 kW. Rata-rata energi yang dihasilkan per harinya adalah 2,58 kW dengan total keluaran per bulan sebesar 908,54 kW.

4.2.2. Analisis Energi Produksi Array

Dalam perhitungan parameter evaluasi dibutuhkan daya keluaran *array*, yaitu daya DC yang dihasilkan oleh modul surya yang telah digabungkan sebelum disalurkan ke inverter. Perhitungan hanya dilakukan pada jam aktif produksi PLTS, yaitu 09.00 sampai 16.00.

Tabel 4. 9 Total Daya Produksi Array Minggu ke-1

JAM	Rata-Rata Daya Produksi <i>Array</i> [kW]		Rata-Rata
	Jum'at		
09.00	6,00		6,00
10.00	9,60		9,60
11.00	10,50		10,50
12.00	9,10		9,10
13.00	10,90		10,90
14.00	9,30		9,30
15.00	0,70		0,70
16.00	0,60		0,60
Jumlah	56,70		56,70

Tabel 4. 10 Total Daya Produksi Array Minggu ke-2

JAM	Rata-Rata Daya Produksi <i>Array</i> [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	5,22	4,30	1,59	1,83	6,05	3,80
10.00	11,55	7,89	7,49	2,30	10,00	7,85
11.00	11,74	10,99	10,46	6,35	10,39	9,99
12.00	10,41	5,90	10,40	8,00	11,64	9,27
13.00	5,96	3,50	7,63	11,64	10,49	7,84
14.00	6,15	3,79	9,12	6,40	6,25	6,34
15.00	7,64	4,50	8,24	5,57	2,61	5,71
16.00	5,05	3,69	7,65	5,71	6,15	5,65
Jumlah	63,72	44,56	62,58	47,80	63,58	56,45

Tabel 4. 11 Total Daya Produksi Array Minggu ke-3

JAM	Rata-Rata Daya Produksi <i>Array</i> [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	3,49	2,84	2,41	4,54	2,75	3,21
10.00	8,31	4,65	4,96	10,31	5,65	6,78
11.00	6,01	11,31	10,80	5,26	11,75	9,03
12.00	3,37	11,42	10,90	6,97	10,37	8,61
13.00	2,10	10,89	11,22	1,29	7,95	6,69

14.00	1,64	11,28	4,95	4,77	7,07	5,94
15.00	2,87	7,64	2,02	0,96	1,44	2,99
16.00	2,20	3,73	0,77	0,74	2,84	2,06
Jumlah	29,99	63,76	48,03	34,84	49,83	45,29

Tabel 4. 12 Total Daya Produksi Array Minggu ke-4

JAM	Rata-Rata Daya Produksi Array [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	2,84	1,00	5,82	3,27	4,20	3,43
10.00	2,32	3,50	6,05	5,79	7,60	5,05
11.00	2,49	8,00	11,80	11,37	5,50	7,83
12.00	3,31	11,20	11,42	11,49	9,40	9,37
13.00	6,86	5,80	10,04	6,24	8,50	7,49
14.00	1,58	4,90	7,51	4,12	3,20	4,26
15.00	0,71	4,50	5,92	5,74	0,30	3,43
16.00	1,12	2,70	5,71	5,40	0,00	2,99
Jumlah	21,23	41,60	64,27	53,43	38,70	43,85

Tabel 4. 13 Total Daya Produksi Array Minggu ke-5

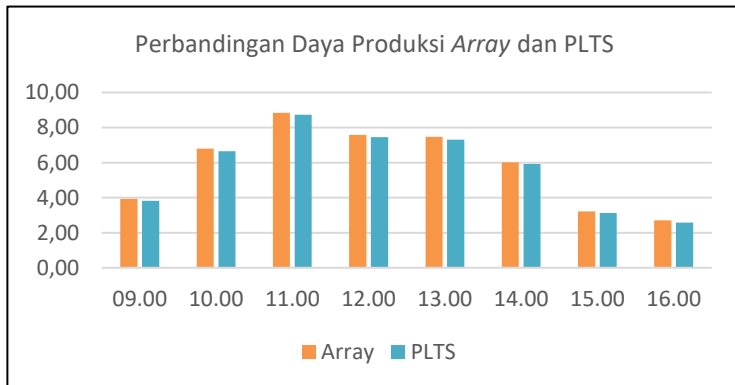
JAM	Rata-Rata Daya Produksi Array [kW]					Rata-Rata
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	
09.00	3,46	3,39	Libur pemungutan suara PILKADA BATAM	5,66	0,51	3,25
10.00	1,65	2,39		8,89	5,82	4,69
11.00	6,86	5,76		8,35	6,49	6,87
12.00	7,91	4,88		10,07	5,42	7,07
13.00	4,85	4,99		2,72	5,31	4,47
14.00	6,72	1,21		1,68	7,38	4,25
15.00	4,15	1,62		2,29	5,02	3,27
16.00	3,36	2,33		0,72	2,63	2,26
Jumlah	38,96	26,57		0,00	40,37	38,56

Perbandingan antara rata-rata daya array dan daya produksi PLTS sesuai Tabel dibawah. Akibat data yang diperoleh secara perhitungan, perbandingan antara daya array dan daya produksi adalah sama dan cenderung stabil.

Tabel 4. 14 Perbandingan Daya Produksi *Array* dan Daya Produksi PLTS

Daya Keluaran <i>Array</i> dan PLTS [kW]		
JAM	<i>Array</i>	PLTS
09.00	3,94	3,81
10.00	6,79	6,64
11.00	8,84	8,72
12.00	7,59	7,44
13.00	7,48	7,31
14.00	6,02	5,92
15.00	3,22	3,13
16.00	2,71	2,58

Histogram daya perbandingan produksi *array* dan PLTS dapat dilihat pada Gambar dibawah.



Gambar 4. 1 Histogram Perbandingan Daya Produksi *Array* dan Daya Produksi PLTS

Terdapat peningkatan maupun penurunan daya yang cukup stabil, baik daya *array* maupun daya PLTS dengan daya paling tinggi pada jam 11.00 sebesar 8,84 kW untuk daya *array* dan 8,72 kW untuk daya PLTS. Sedangkan daya paling rendah pada jam 16.00 sebesar 2,71 kW untuk *array* dan 2,58 untuk daya PLTS.

4.2.3. Analisis Kontribusi Daya Produksi PLTS

Untuk mendapatkan persentase kontribusi, digunakan daya rata-rata dari profil beban untuk hari kerja dan hari libur serta daya rata-rata produksi PLTS. Profil beban gedung merupakan penjumlahan dari daya terukur pada panel gedung dengan daya terukur pada panel PLTS. Perbandingan daya kontribusi PLTS dapat dilihat pada Tabel dibawah.

Tabel 4. 15 Daya Kontribusi Produksi PLTS

Jam	Hari Kerja		
	Beban Puncak Gedung [kW]	Produksi Maksimum PLTS [kW]	Kontribusi PLTS
09.00	10,05	3,43	34%
10.00	10,22	6,19	61%
11.00	10,53	8,51	81%
12.00	9,89	8,52	86%
13.00	9,65	6,79	70%
14.00	10,04	5,37	54%
15.00	10,17	3,61	36%
16.00	9,85	3,00	30%
Rata - Rata			56%

Pada hari kerja, PLTS berkontribusi pada beban gedung dengan rata-rata sebesar 56% pada jam aktif produksi PLTS dengan kontribusi paling besar pada pukul 12.00 sebesar 86%. Hasil produksi PLTS berbanding lurus dengan kondisi cuaca, terutama intensitas sinar matahari. maka semakin lama penyinaran matahari terhadap solar PV, semakin besar juga energi PLTS yang dapat dihasilkan.

4.3. Parameter Peforma PLTS

Tabel 4. 16 Data Pengukuran PLTS Atap 22 kWp Gedung Panbil Lot 2

Tanggal	Energi Keluaran PLTS	Energi <i>Array</i>	Iradiasi
	kWh	kWh	kWh/m ²
01-Nov-24	55,50	56,70	3,30
04-Nov-24	62,37	63,72	3,70
05-Nov-24	43,70	44,56	2,59
06-Nov-24	61,30	62,58	3,64
07-Nov-24	46,27	47,80	2,78
08-Nov-24	62,40	63,58	3,70
11-Nov-24	29,20	29,99	1,74
12-Nov-24	62,20	63,76	3,71
13-Nov-24	47,00	48,03	2,80
14-Nov-24	33,60	34,84	2,02
15-Nov-24	48,70	49,83	2,90
18-Nov-24	20,40	21,23	1,23
19-Nov-24	40,30	41,60	2,42
20-Nov-24	63,80	64,27	3,74
21-Nov-24	52,40	53,43	3,11
22-Nov-24	37,80	38,70	2,25
25-Nov-24	38,20	38,96	2,26
26-Nov-24	25,80	26,57	1,54
28-Nov-24	39,60	40,37	2,35
29-Nov-24	38,00	38,56	2,24
Total	908,54	929,08	54,01
Rata - Rata	45,43	46,45	2,70

Berdasarkan data pengukuran, diperoleh energi keluaran PLTS selama satu bulan sebesar 908,54 kWh dengan rata-rata harian sebesar 45,43 kWh. Pada tanggal 20 November memproduksi energi paling tinggi, yaitu sebesar 63,80 kWh dan tanggal 18 November memproduksi energi paling rendah sebesar 20,40 kWh. Sedangkan, energi keluaran *array* bulanan sebesar 929,08 kWh dengan rata-rata harian sebesar 46,45 kWh. Sama dengan energi PLTS, tanggal 20 November memproduksi energi *array* paling tinggi sebesar 64,27 kWh dan tanggal 18 November memproduksi paling rendah, yaitu 21,23 kWh. Kemudian, iradiasi matahari yang diperoleh sebesar 54,01 kWh/m² per bulan dengan rata-rata harian

sebesar 2,70 kWh/m². Data keluaran PLTS, *array*, dan iradiasi menjadi basis dari perhitungan menggunakan standar IEC 61724.

Kelas yang akan digunakan berdasarkan IEC 61724-1 adalah kelas C dengan tingkat akurasi dasar. Hal ini didasarkan pada kegunaan analisis ini, yaitu untuk penilaian performa sistem dasar dan juga data yang tersedia. Kelas C membutuhkan parameter berupa iradiasi, suhu lingkungan, daya keluaran (AC), dan energi keluaran.

4.3.1. Array Yield (Y_A)

Perhitungan *array yield* yang didapatkan adalah dengan menggunakan energi keluaran *array* harian sebesar 46,45 kWh dan daya nominal atau daya kapasitas PLTS sebesar 22 kWp. Didapatkan nilai sebesar 2,11 kWh/kW.

$$Y_A = \frac{EA}{P\&}$$

$$Y_A = \frac{46,45}{22} = 2,11$$

4.3.2. Final Yield (Y_F)

Final Yield dihitung menggunakan energi keluaran PLTS berarus AC dengan rata-rata harian sebesar 45,43 kWh dan daya nominal atau daya kapasitas PLTS sebesar 22 kWp. Didapatkan nilai *final yield* sebesar 2,06 kWh/kW.

$$Y_F = \frac{EPV}{P_0}$$

$$Y_F = \frac{45,43}{22} = 2,06$$

4.3.3. Reference Yield (Y_R)

Untuk menentukan *reference yield*, dibutuhkan data iradiasi pada bidang datar yang didapatkan rata-rata harian sebesar 2,70 kW/m². Selain itu, besar iradiasi referensi dalam bidang didapatkan juga sebesar 1 kW/m² sehingga besar *reference yield* yang didapat adalah 2,70 kWh/kW.

$$Y_R = \frac{H_i}{G_{i,ref}}$$

$$YR = \frac{2,70}{1} = 2,70$$

4.3.4. Performance Ratio (PR)

Performance Ratio dihitung dengan membandingkan antara *final yield* dan *reference yield* yang sudah dihitung sebelumnya, yaitu 2,06 kWh/kW untuk *final yield* dan 2,70 kWh/m² untuk *reference yield*, kemudian dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan dalam bentuk persentase. Didapatkan rasio performa sebesar 76,39% .

$$PR = \frac{\frac{E_{out}}{P\&}}{\frac{H_i}{G_{i,ref}}} = \frac{YF}{YR} \times 100\%$$

$$PR = \frac{2,06}{2,70} \times 100\% = 76,39\%$$

4.3.5. Array Capture Loss (LC)

Rugi-rugi pada *array* atau *array capture loss* dihitung dengan mengurangi *reference yield* sebesar 2,70 kWh/kW dengan *array yield* sebesar 2,11 kWh/kW. Didapatkan rata-rata harian *array capture loss* sebesar 0,59 kWh/kW.

$$LC = YR - YA$$

$$LC = 2,70 - 2,11 = 0,59$$

4.3.6. Balance of System Loss (LBOS)

Rugi-rugi akibat komponen di PLTS selain *array* ditentukan dengan mengurangi *array yield* sebesar 2,11 kWh/kW dengan *final yield* sebesar 2,06 kWh/kW sehingga didapatkan sebesar 0,05 kWh/kW.

$$LBOS = YA - YF$$

$$LBOS = 2,11 - 2,06 = 0,05$$

4.3.7. Efisiensi Array (η_A)

Efisiensi *array* diperoleh dengan membagi rata-rata harian energi yang dihasilkan oleh *array* sebesar 46,45 kWh dengan iradiasi yaitu 2,70 kW/m², yang dikalikan dengan luas daerah *array*, yaitu 103 m². Kemudian dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan nilai persentase. Dihasilkan efisiensi *array* selama satu bulan sebesar 17% sesuai perhitungan Persamaan 4.8, sedangkan rata-rata efisiensi *array* yang diperoleh adalah 16,70%.

$$\eta_A = \frac{EA}{Hi \times AA} \times 100\%$$

$$\eta_A = \frac{46,45}{2,70 \times 103} = \frac{46,45}{278,1} \times 100\% = 16,70 \%$$

4.3.8. Efisiensi Sistem (η_F)

Efisiensi keseluruhan sistem dihitung dengan membagi rata-rata harian energi yang dihasilkan PLTS, yaitu sebesar 45,43 kWh, dengan rata-rata harian iradiasi sebesar 2,70 kWh/m² yang dikalikan dengan luas daerah *array* sebesar 103 m². Kemudian, hasil dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan nilai persentase. Berdasarkan rumus tersebut, nilai efisiensi sistem selama satu bulan yang didapatkan adalah sebesar 16,33%.

$$\eta^F = \frac{E_{out}}{Hi \times AA} \times 100\%$$

$$\eta^F = \frac{45,43}{2,70 \times 103} = \frac{45,43}{278,1} \times 100\% = 16,33 \%$$

4.3.9. Efisiensi BOS (η_{BOS})

Efisiensi *balance of system* (BOS) dihitung dengan mencari persentase perbandingan antara energi keluaran PLTS, yaitu 45,43 kWh dengan energi keluaran *array*, yaitu sebesar 46,45 kWh. Didapatkan efisiensi BOS sebesar 97,79% sesuai perhitungan dibawah.

$$\eta_{BOS} = \frac{E_{out}}{EA} \times 100\%$$

$$\eta_{BOS} = \frac{45,43}{46,45} \times 100\% = 97,79\%$$

4.3.10. Capacity Factor (Cf)

Perhitungan *capacity factor* dapat disesuaikan dengan hari pengujian, untuk perhitungan tahunan dapat menggunakan energi keluaran PLTS selama satu bulan sebesar 908,54 kWh dibagi dengan 22 kW, sebagai daya rating PLTS, dan dikalikan dengan 24 jam dan 20 hari serta perkalian persentase sebesar 100% sesuai perhitungan di bawah. Untuk menghitung *capacity factor* harian, dilakukan pembagian antara rata-rata harian energi keluaran PLTS sebesar 45,43 kWh dengan perkalian antara energi rating AC, yaitu sebesar 22 kW, dikalikan dengan jumlah hari pengujian, yaitu sebesar 1 hari karena akan digunakan rata-rata energi harian, kemudian dikali 100% untuk mendapat nilai persentase. Berdasarkan dua cara perhitungan tersebut akan didapatkan nilai yang sama, yaitu 8,60%.

$$Cf = \frac{E_{out}}{AC \text{ rating} \times 24 \times \text{jumlah hari pengujian}} \times 100\%$$

$$Cf = \frac{908,54}{22 \times 24 \times 20} \times 100\% = 8,60\%$$

4.4. Analisis Data Pengukuran

Perhitungan sesuai standar IEC 61724 dilakukan untuk selama satu bulan dan rata-rata harian (baris Rata-Rata) sesuai Tabel 4.17 Untuk efisiensi tabel, penjelasan mengenai masing-masing kolom dilakukan pada paragraf di bawah tabel dengan acuan baris Parmet. atau parameter.

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Perhitungan Hasil Pengukuran

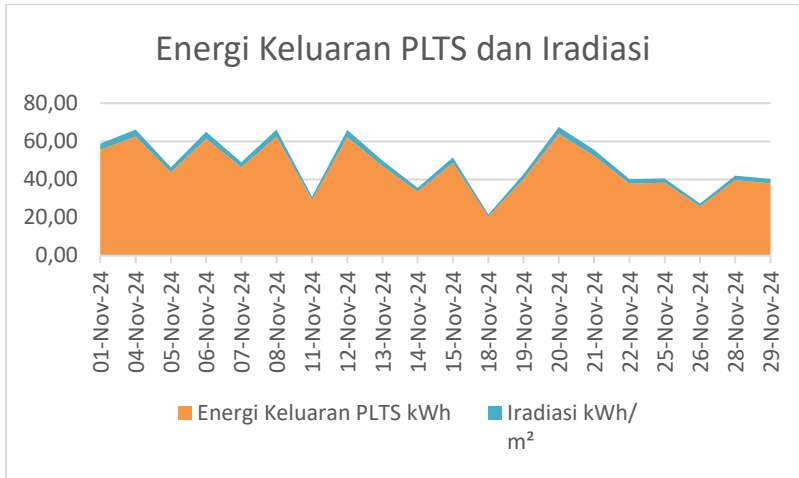
Paramet.	(a)	(b)	(c)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Tanggal	Energi Keluaran PLTS	Energi Array	Iradiasi	Ya	Yf	Yr	Lc	L BOS	PR	η_A	η_f	η_{BOS}	Cf
	kWh	kWh	kWh/m ²	kWh/kW	kWh/kW	kWh/kW	kWh/kW	kWh/kW	%	%	%	%	%
01-Nov-24	55,50	56,70	3,30	2,58	2,52	3,30	0,72	0,055	76,55	20%	19,96%	97,88%	5,26%
04-Nov-24	62,37	63,72	3,70	2,90	2,84	3,70	0,81	0,061	76,55	23%	22,43%	97,88%	5,91%
05-Nov-24	43,70	44,56	2,59	2,03	1,99	2,59	0,56	0,039	76,70	16%	15,71%	98,07%	4,14%
06-Nov-24	61,30	62,58	3,64	2,84	2,79	3,64	0,79	0,058	76,61	23%	22,04%	97,95%	5,80%
07-Nov-24	46,27	47,80	2,78	2,17	2,10	2,78	0,61	0,070	75,70	17%	16,64%	96,80%	4,38%
08-Nov-24	62,40	63,58	3,70	2,89	2,84	3,70	0,81	0,054	76,75	23%	22,44%	98,14%	5,91%
11-Nov-24	29,20	29,99	1,74	1,36	1,33	1,74	0,38	0,036	76,15	11%	10,50%	97,37%	2,77%
12-Nov-24	62,20	63,76	3,71	2,90	2,83	3,71	0,81	0,071	76,29	23%	22,37%	97,55%	5,89%
13-Nov-24	47,00	48,03	2,79	2,18	2,14	2,79	0,61	0,047	76,53	17%	16,90%	97,86%	4,45%
14-Nov-24	33,60	34,84	2,02	1,58	1,53	2,02	0,44	0,056	75,42	13%	12,08%	96,44%	3,18%
15-Nov-24	48,70	49,82	2,90	2,26	2,21	2,90	0,63	0,051	76,44	18%	17,51%	97,75%	4,61%
18-Nov-24	20,40	21,23	1,23	0,97	0,93	1,23	0,27	0,038	75,15	8%	7,34%	96,09%	1,93%
19-Nov-24	40,30	41,60	2,42	1,89	1,83	2,42	0,53	0,059	75,76	15%	14,49%	96,88%	3,82%
20-Nov-24	63,80	64,27	3,74	2,92	2,90	3,74	0,81	0,021	77,63	23%	22,94%	99,27%	6,04%
21-Nov-24	52,40	53,42	3,11	2,43	2,38	3,11	0,68	0,046	76,70	19%	18,84%	98,09%	4,96%
22-Nov-24	37,80	38,70	2,25	1,76	1,72	2,25	0,49	0,041	76,39	14%	13,59%	97,67%	3,58%
25-Nov-24	38,20	38,95	2,26	1,77	1,74	2,26	0,49	0,034	76,68	14%	13,74%	98,07%	3,62%
26-Nov-24	25,80	26,57	1,54	1,21	1,17	1,54	0,34	0,035	75,93	10%	9,28%	97,10%	2,44%
28-Nov-24	39,60	40,36	2,35	1,83	1,80	2,35	0,51	0,035	76,72	15%	14,24%	98,12%	3,75%
29-Nov-24	38,00	38,55	2,24	1,75	1,73	2,24	0,49	0,025	77,08	14%	13,66%	98,57%	3,60%
Total	908,54	929,03											
Rata-Rata	45,43	46,45	2,70	2,11	2,06	2,70	0,59	0,047	76,39	17%	16,33%	97,79%	8,60%

Hasil pengukuran dan perhitungan sesuai IEC menghasilkan total 13 parameter yang telah didefinisikan sebagai Paramet atau Parameter (a) s.d. (c) dan (1) s.d. (10).

4.4.1. Analisis Energi Keluaran dan Iradiasi

Pada kolom Parameter (a) di Tabel 4.17 tertera energi keluaran PLTS berbentuk AC dengan total selama satu bulan sebesar 908,54 kWh dan rata-rata harian 45,43 kWh.

Pada kolom Parameter (c) tertera iradiasi dalam bidang atau *in-plane irradiation* dalam satuan kWh/m². Iradiasi satu bulan yang didapat adalah 54,01 kWh/m² dengan rata-rata iradiasi harian sebesar 2,70 kWh/m².

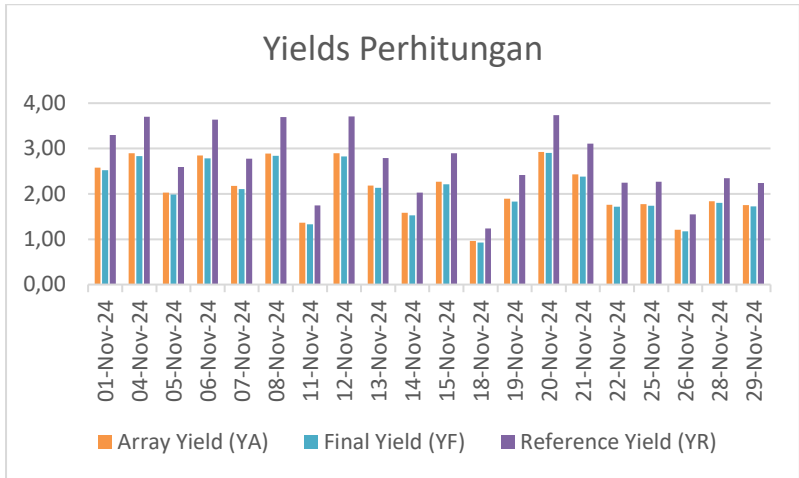


Gambar 4. 2 Diagram Perbandingan Energi Keluaran PLTS dan Iradiasi

Berdasarkan diagram pada Gambar 4.2, tanggal yang menghasilkan energi paling tinggi dengan puncak pada tanggal 20 November, dan yang menghasilkan energi yang lebih rendah pada tanggal 18 November.

4.4.2. Analisis Yields

Parameter standar IEC pertama yang dihitung adalah *array yield* yang didapatkan rata-rata harian sebesar 46,45 kWh/kW, *final yield* sebesar 2,06 kWh/kW, dan *reference yield* sebesar 2,70 kWh/m². Diagram pada Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran atau *yields*.

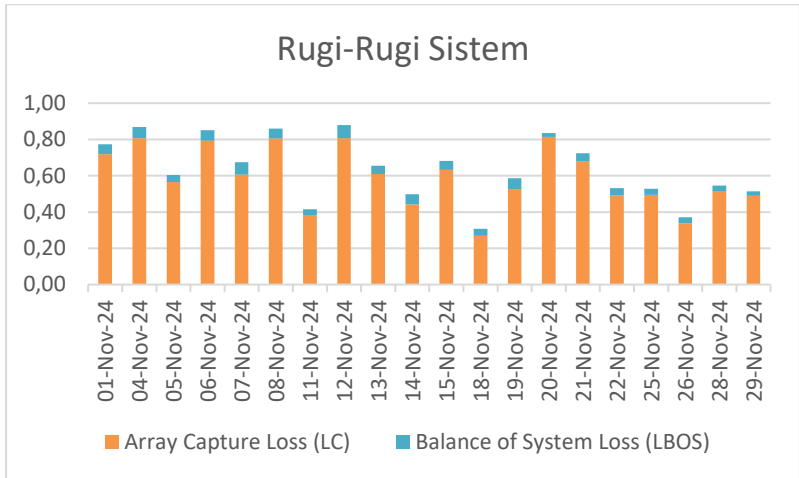


Gambar 4. 3 Diagram Perbandingan *Yields* Pengukuran

Diagram menunjukkan bahwa tanggal 18 November memiliki *yields* paling rendah, yaitu sebesar 0,97 kWh/kW untuk *array yield*, 0,93 kWh/kW untuk *final yield*, dan *reference yield* sebesar 1,23 kWh/m². Sedangkan, *array yield* dan *final yield* paling tinggi berada di tanggal 20 November sebesar 2,92 kWh/kW untuk *array yield* dan 2,90 kWh/kW untuk *final yield*. *Reference yield* yang merupakan pembagian antara iradiasi terukur dan iradiasi referensi, yaitu sebesar 1 kWh/m², akan mengacu pada nilai iradiasi sehingga nilai *reference yield* paling tinggi adalah pada hari/tanggal 20 November. Perbedaan signifikan nilai *reference yield* tersebut menunjukkan bahwa rugi-rugi paling besar terjadi pada tanggal 4, 6, 8, dan 12 November. Tanggal yang terdapat hujan pada siang hari memiliki perbedaan antara *array yield* dan *final yield* dengan *reference yield* yang paling kecil, hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki rugi-rugi lebih rendah.

4.4.3. Analisis Rugi-Rugi

Selanjutnya dianalisis rugi-rugi berupa *array capture loss* dan *balance of system (BOS) loss*, serta jumlah rugi-rugi sistem secara keseluruhan atau *total loss*. Diagram pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan antar *array capture loss* dan *BOS loss*.

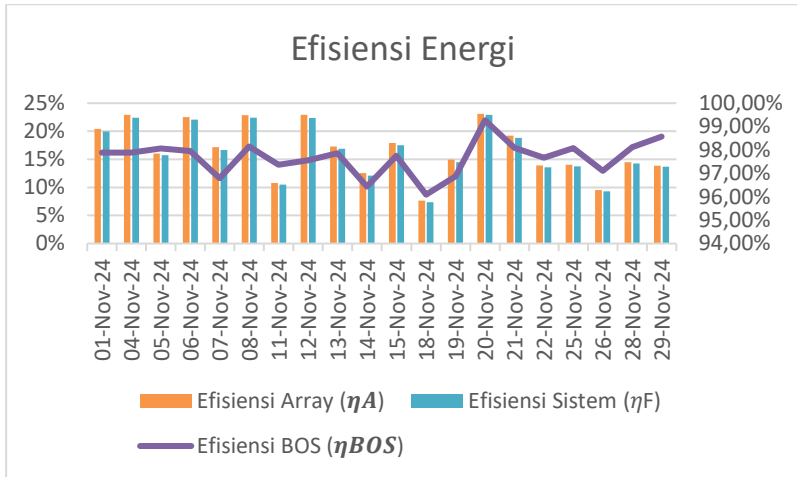


Gambar 4. 4 Diagram Perbandingan Rugi-Rugi Sistem

Berdasarkan diagram, perbandingan rugi-rugi yang dihitung sesuai standar, yaitu *array capture loss* dan *balance of system (BOS) loss*. Nilai rugi-rugi paling tinggi berada pada tanggal 12 November. Nilai *array capture loss* paling tinggi adalah pada tanggal 12 sebesar 0,81 kWh/kW dan paling rendah pada tanggal 18 sebesar 0,27 kWh/kW. Nilai BOS loss yang paling tinggi berada pada tanggal 12 sebesar 0,07 kWh/kW dan paling rendah pada tanggal 20 sebesar 0,02 kWh/kW. Rata-rata *array capture loss* yang didapat adalah 0,59 kWh/kW dan rata-rata BOS loss yang didapat adalah 0,05 kWh/kW. Penjumlahan *array capture loss* dan BOS loss akan menghasilkan total loss, dimana didapatkan rugi-rugi paling tinggi pada tanggal 12 sebesar 0,88 kWh/kW dan paling rendah pada tanggal 18 sebesar 0,31 kWh/kW.

4.4.4. Analisis Efisiensi Energi

Efisiensi yang dianalisis pada standar ini adalah efisiensi *array*, efisiensi sistem, dan efisiensi *balance of system (BOS)* sesuai dengan perbandingan pada Gambar 4.5.

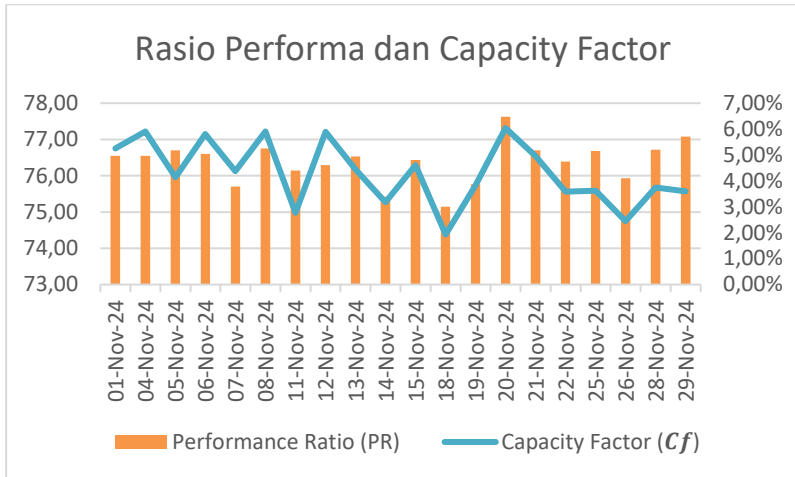


Gambar 4. 5 Diagram Perbandingan Efisiensi Energi

Diagram menunjukkan perbandingan antara *efisiensi array*, *efisiensi sistem*, dan *efisiensi balance of system* (BOS). *Efisiensi array* paling tinggi adalah pada tanggal 12 sebesar 23% dan paling rendah pada tanggal 18 sebesar 8,% dengan rata-rata sebesar 17%. *Efisiensi sistem* paling tinggi pada tanggal 20 sebesar 22,94% dan paling rendah pada tanggal 18 sebesar 7,34% dengan rata-rata satu bulan sebesar 16,33%. *Efisiensi BOS* paling tinggi adalah pada tanggal 20 sebesar 99,27% dan paling rendah pada tanggal 18 sebesar 96,09% dengan rata-rata sebesar 97,79%.

4.4.5. Analisis Rasio Performa dan *Capacity Factor*

Gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan antara rasio performa dan *capacity factor* yang keduanya mengacu pada energi keluaran dan tingkat sistem PLTS dapat menghasilkan energi keluaran berdasarkan iradiasi dan kapasitas PLTS seharusnya.



Gambar 4. 6 Diagram Perbandingan Rasio Performa dan *Capacity Factor*

Diagram menunjukkan perbandingan antara *performance ratio* atau rasio performa (PR) dan *capacity factor*. Rasio performa atau PR yang diperoleh pada hasil pengukuran bervariasi dengan nilai paling tinggi pada tanggal 20 sebesar 77,63% dan nilai paling rendah pada tanggal 18 sebesar 75,15%. PR merupakan perbandingan antara *final yield* atau energi keluaran dengan iradiasi yang diperoleh melalui *reference yield*, dimana nilai PR dipengaruhi oleh rugi-rugi selama konversi energi matahari menjadi energi DC dan saat energi DC dikonversi menjadi AC. Nilai selama satu bulan rasio performa pengukuran, yaitu 76,39%, berdasarkan standar IEC 61724 serta artikel yang diperoleh, dikatakan layak beroperasi dengan optimum karena masuk pada persentase 70-90% [7].

Nilai *capacity factor* paling tinggi diperoleh pada tanggal 20, yaitu 6,04% dan paling rendah pada tanggal 18 sebesar 1,93% dengan nilai rata-rata satu bulan yang diperoleh adalah sebesar 8,60%. Performa kemampuan PLTS dalam memproduksi energi sebesar 76,39%.

4.5. Analisis Perbandingan Data Pengukuran dan Data Simulasi

Perbandingan parameter yang diperoleh berdasarkan standar IEC 61724 data pengukuran dan data simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.18 Untuk memudahkan perbandingan, juga dihitung persentase ketersesuaian antara hasil pengukuran dan simulasi.

Tabel 4. 18 Perbandingan Evaluasi Data Pengukuran dan Data Simulasi

Parameter		Satuan	Pengukuran	Simulasi	Ketersesuaian (%)
EOUT	Energi Keluaran (DC)	kWh	929,03	2.295,00	40%
EA	Energi Keluaran (AC)	kWh	908,54	2.117,00	43%
Hi	<i>In-Plane Irradiation</i>	kWh/m ² /d	2,7	3,97	68%
YA	<i>Array Yield</i>	kWh/kW	2,11	3,48	61%
Yf	<i>Final Yield</i>	kWh/kW	2,06	3,22	64%
Yr	<i>Reference Yield</i>	kWh/m ²	2,7	4,17	65%
Lc	<i>Array Loss</i>	kWh/kW	0,59	0,7	84%
LBOS	<i>BOS Loss</i>	kWh/kW	0,05	0,26	19%
ηA	Efisiensi Array	%	16,7	17,74	94%
ηf	Efisiensi Sistem	%	16,33	16,41	100%
ηBOS	Efisiensi BOS	%	97,79	92,5	106%
PR	Rasio Performa	%	76,39	76,9	99%
Cf	<i>Capacity Factor</i>	%	8,6	13	66%
<i>Energy Performance Index</i>		%	44%		

Sesuai IEC 61724, *energy performance index* atau indeks performa energi, yaitu indeks untuk membandingkan antara energi seharusnya dan energi terhitung, dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Indeks Performa Energi} = \frac{\text{Energi Pengukuran}}{\text{Energi Seharusnya}} \times 100\%$$

$$\text{Indeks Performa Energi} = \frac{929,03}{2.117} \times 100\% = 44\%$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada data pengukuran dan rekapitulasi data simulasi yang didapatkan, dapat dibandingkan antara nilai pengukuran dan nilai simulasi. Total energi keluaran PLTS selama satu bulan pengukuran yang terhitung adalah sebesar 929,03 kWh dan disimulasikan sebesar 2.117 kWh. Energi keluaran ini yang menjadi basis *energy performance index* yang didapat sebesar 44%. Persentase perbandingan tersebut cukup serupa saat membandingkan antara energi *array* yang diukur dan disimulasikan, yaitu 40%.

4.4. Rekapitulasi Evaluasi Performa

Berdasarkan pengolahan data telah dilakukan dengan membandingkan antara data pengukuran standar IEC 61724 dan penelitian eksisting sebelumnya, ditemukan bahwa PLTS atap *off-grid* 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 Lantai 2 di PT. PCI Elektronik Internasional memiliki performa yang cukup baik. Pengukuran menghasilkan energi keluaran *array* sebesar 929,03kWh, energi keluaran PLTS sebesar 908,54kWh, dengan rata-rata iradiasi 2,70 kWh/m². Selanjutnya, *array yields* yang didapatkan adalah 2,11 kWh/kW, *final yield* sebesar 2,06 kWh/kW, dan *reference yield* sebesar 2,70 kWh/m². Diperoleh *array loss* sebesar 0,59 kWh/kW dan *balance of system* (BOS) loss sebesar 0,050 kWh/kW. Efisiensi yang diperoleh, yaitu efisiensi sistem sebesar 16,33%, dan efisiensi BOS sebesar 97,79%. Rasio performa yang didapatkan adalah 76,39%. Selain itu, ditemukan bahwa PLTS mampu memenuhi target kontribusinya, yaitu sebesar 56% dari beban gedung.

Besar performa tersebut disebabkan oleh faktor teknis, yaitu tidak terekam pada satu log yang menjadi hambatan bagi pengelola untuk dapat memelihara kinerja PLTS dengan optimal. Meski sudah memiliki sistem *server growatt* yang kian dikembangkan dan sebagai pusat penelitian, perekaman data dan otomasi masih perlu ditingkatkan untuk menjaga optimalisasi sistem. Hal ini dapat dilihat dari data pada *server growatt* masih memiliki beberapa parameter yang tidak terekam sehingga menghambat untuk memantau performa PLTS.

Untuk menjaga performa PLTS, dapat dilakukan pemeliharaan yang terbagi menjadi tiga tahap, yaitu pemeliharaan perbaikan, perkiraan, dan pencegahan. Perbaikan merupakan bagian dari pemeliharaan yang sangat penting dan umumnya dilakukan setelah terdeteksi kerusakan. Kemudian, pemeliharaan perkiraan dilakukan untuk menurunkan potensi kerusakan dikemudian hari. Sedangkan, pemeliharaan pencegahan dilakukan untuk menghindari kondisi yang tidak diinginkan sehingga menurunkan jumlah perbaikan [8]. Dalam menjaga performa PLTS perlu dilakukan evaluasi performa dan analisis kualitas komponen secara berkala untuk meminimalisasi *downtime*. Oleh karena itu, sangat direkomendasikan untuk memastikan kelengkapan data berkualitas tinggi, mulai dari sistem perekaman serta penyimpanannya. Kemudian, dapat dilakukan peningkatan frekuensi pemeliharaan dan pembersihan modul surya, dimana saat ini hanya dilakukan 6 bulan sekali, namun belum terekam pada suatu log. Berdasarkan penelitian di Bangladesh tahun 2021, pembersihan panel surya dengan frekuensi 3 hingga 4 kali setiap bulannya dapat meningkatkan performa PLTS hingga 10 s.d. 12%, tentu dengan mempertimbangkan ketersediaan sumber daya dan biaya [9]. Penelitian lainnya mengenai aspek operasi dan lingkungan dapat mempengaruhi performa modul surya menemukan bahwa jika modul tidak dibersihkan hingga 45 hari, maka akan menurunkan kemampuan kaca pelindung modul untuk mentransmisikan cahaya hingga 20%. Penelitian yang sama juga menyatakan air murni adalah bahan paling efisien untuk membersihkan

modul [10]. Selain itu, juga perlu memperhatikan pengujian secara rutin dan pemeliharaan komponen lainnya seperti wiring dan inverter, serta hubungan antar komponen yang harus dilakukan secara berkala bersama dengan pembersihan panel surya [11].

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Terdapat beberapa poin kesimpulan yang didapat berdasarkan penelitian ini, yaitu:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap *Off-Grid* 22 kWp di Gedung Panbil Lot 2 PT. PCI Elektronik Internasional menghasilkan rata-rata energi harian sebesar 45,43 kWh selama periode penelitian. Energi ini setara dengan 56% dari kebutuhan energi penerangan harian. Variasi produksi energi sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama intensitas sinar matahari.
2. Evaluasi performa sistem PLTS menunjukkan nilai rasio performa (*Performance Ratio*) sebesar 76,39%. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem PLTS beroperasi dengan efisiensi yang baik. Selain itu, analisis yield menunjukkan bahwa sistem mampu memanfaatkan iradiasi matahari secara optimal untuk menghasilkan energi listrik sesuai kapasitas yang dirancang.
3. Berdasarkan analisis efisiensi dan rugi-rugi sistem, PLTS Atap *Off-Grid* menunjukkan kinerja yang stabil dan andal dalam mendukung kebutuhan penerangan di area produksi. Namun, beberapa kendala seperti perubahan cuaca dan tingkat kebersihan modul surya perlu diperhatikan untuk memastikan performa sistem tetap optimal.

5.2. Saran

Untuk memastikan kinerja optimal, PT. PCI Elektronik Internasional disarankan melakukan pembersihan rutin pada modul surya guna menghindari penumpukan debu atau kotoran yang dapat mengurangi efisiensi penyerapan sinar matahari oleh solar PV.

Daftar Pustaka

- [1] D. Rizkasari, W. Wilopo, and M. K. Ridwan, "Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta," *J. Appropriate Technol. Community Serv.*, vol. 1, no. 2, pp. 104–112, 2020, doi: 10.20885/jattec.vol1.iss2.art7.
- [2] N. P. Zahira and D. P. Fadillah, "Pemerintah Indonesia Menuju Target Net Zero Emission (NZE) Tahun 1060 dengan Variable Renewable Energy (VRE) di Indonesia," *JIS J. Ilmu Sos.*, vol. 2, no. 2, pp. 2548–4893, 2022.
- [3] Chandra Danova Siringo Ringo, "Instalasi Perangkat Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Sumber Energi Pada Taman Gedung Makhtab Kampus Panca Budi," *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 01–06, 2022, doi: 10.55606/jtmei.v1i1.462.
- [4] S. ENERGY, "Energi Matahari : Definisi & Manfaat Energi Matahari Bagi Kehidupan Manusia," SUN ENERGY. Accessed: Oct. 22, 2021. [Online]. Available: <https://sunenergy.id/blog/energy-matahari>
- [5] S. S. T. AG, "Performance ratio-Quality factor for the PV plant," *Energy Syst.*, pp. 1–9, 2016.
- [6] PVSYST.com, "PVSyst Logo," *PVSYST.com*, [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/>
- [7] G. Agus Ryzky Martha, I. Ayu Dwi Giriantari, and I. W. Sukerayasa, "Studi Performance Plts Rooftop 3Kwp Frameless With on-Grid System Di Lingkungan Perumahan Kori Nuansa Jimbaran," *J. Indones. Sos. Sains*, vol. 3, no. 2, pp. 268–280, 2022, doi: 10.36418/jiss.v3i2.523.
- [8] M. S. and M. J. S. Ghazali, "Forensic of Solar PV: A Review of Potential Faults and Maintenance Strategies," *ieeexplore*, 2021.
- [9] M. N. A. S. A. R. K. S. A. Chowdhury, "Impact of Solar PV Panel Cleaning Frequency on the Performance of a Rooftop Solar PV Plant," *ieeexplore*, 2022.
- [10] F. Shaik, S. S. Lingala, and P. Veeraboina, "Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study," *Sustain. Energy Res.*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s40807-023-00076-x.
- [11] S. Verma, D. K. Yadav, and N. Sengar, "Performance Evaluation of Solar Photovoltaic Power Plants of Semi-Arid Region and Suggestions for Efficiency Improvement," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 11, no. 2, pp. 762–775, 2021, doi: 10.20508/ijrer.v11i2.11957.g8210.

Biodata



Nama : Wahyu Mulyadi Putra
TTL : Pekanbaru, 08 Desember 1999
Agama : Islam
Alamat : Komplek Perumahan Renggali Sakura
Blok EB No. 04, Tanjung Riau, Sekupang,
Batam, Kepulauan Riau

Email : wahyum.putraa@gmail.com

Riwayat Pendidikan SMK : Negeri 2 Pekanbaru
(2015-2018)
SMP : Negeri 7 Pekanbaru
(2012-2015)

Lampiran

1. Lampiran A – Area Untuk Inverter

