

PERANCANGAN PLTS ATAP GEDUNG BALAI BUDAYA GIRI NATA MANDALA PUSAT PEMERINTAHAN KABUPATEN BADUNG

J. Andre¹, I N. S. Kumara², W. G. Ariastina²,
I. A. D. Giriantari², I N. Setiawan², I W. Sukerayasa²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali, 80361

Email : jojo.andre04@gmail.com

ABSTRAK

Potensi pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap di Indonesia sangat besar, namun realisasinya masih tergolong rendah, termasuk di Provinsi Bali. Pemerintah telah menetapkan target bauran energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025, namun hingga tahun 2023 baru tercapai 13,1%. Gedung pemerintahan memiliki potensi untuk dijadikan proyek percontohan dalam pengembangan PLTS atap dan dapat menjadi model penerapan energi terbarukan di masyarakat. Penelitian ini merancang sistem PLTS atap di Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala, dengan menggunakan 763 modul Trina Solar TSM-DE19R 575 Wp dan 8 inverter Growatt MID 50KTL3-X2. Sistem ini memiliki kapasitas 438,7 kWp dan diperkirakan mampu menghasilkan energi sebesar 597,7 MWh per tahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTS ini dapat memenuhi 28,63% kebutuhan listrik saat gedung digunakan untuk acara, dan 30,97% saat tidak digunakan.

Kata kunci: PLTS, PLTS Atap, Energi Terbarukan, *Helioscope*.

ABSTRACT

The potential utilization of rooftop solar power plants (PLTS) in Indonesia is very large, but the realization is still relatively low, including in Bali Province. The government has set a new and renewable energy (EBT) mix target of 23% by 2025, but until 2023 it has only reached 13.1%. Government buildings have the potential to be used as pilot projects in the development of rooftop solar power plants and can become a model for the application of renewable energy in the community. This study designed a rooftop solar PV system at the Balai Budaya Giri Nata Mandala Building, Badung Regency, using 763 Trina Solar TSM-DE19R 575 Wp modules and 8 Growatt MID 50KTL3-X2 inverters. The system has a capacity of 438.7 kWp and is estimated to produce 597.7 MWh of energy per year. Simulation results show that this solar power plant can meet 28.63% of electricity demand when the building is used for events, and 34.58% when it is not used.

Keywords: Solar PV, Rooftop Solar PV, Renewable Energy, *Helioscope*.

1. PENDAHULUAN

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap di Indonesia sangat besar, namun realisasinya masih rendah. Hal ini terjadi secara umum di Indonesia, termasuk di Provinsi Bali. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM, pada tahun 2023 bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam energi primer Indonesia mencapai 13,1%, mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya sebesar 12,3%. Namun, angka ini masih jauh dari target nasional sebesar 17,9% di tahun yang sama [1]. Provinsi Bali memiliki potensi besar dalam pemanfaatan EBT, terutama energi surya, dengan kapasitas yang signifikan dari berbagai sumber seperti energi laut, biogas, dan panas bumi [2]. Provinsi Bali merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi surya. Data Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menunjukkan bahwa Bali memiliki potensi energi surya sebesar 1.254 MW, menjadikannya potensi terbesar dibandingkan sumber EBT lainnya seperti energi laut (320 MW), energi bayu (1.019 MW), dan energi panas bumi (262 MW) [2]. Sejalan dengan misi pemerintah pusat, Pemerintah Provinsi Bali juga mengeluarkan kebijakan dalam Peraturan Gubernur No. 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih, yang mendorong pemanfaatan energi matahari melalui pembangunan PLTS skala besar maupun PLTS atap untuk kebutuhan publik dan individu [3].

Meskipun memiliki potensi besar dan didukung regulasi, capaian pemanfaatan PLTS atap di Bali masih jauh dari target. Pemerintah menargetkan kapasitas PLTS atap sebesar 108 MW pada tahun 2025, tetapi hingga tahun 2020, kapasitas terpasang baru mencapai 3,71 MWp atau sekitar 3,44% dari target [2]. Menanggapi hal ini, Pemerintah Provinsi Bali mengeluarkan Surat Edaran Gubernur No. 05 Tahun 2022 yang mewajibkan pemasangan PLTS atap dan pemanfaatan teknologi surya lainnya pada bangunan baru maupun lama dengan

minimal 20% dari kapasitas listrik terpasang. Hal ini menunjukkan pentingnya strategi implementasi yang lebih konkret untuk mempercepat realisasi target [4].

Salah satu langkah potensial adalah menjadikan gedung-gedung pemerintah sebagai *pilot project* dalam pengembangan PLTS atap. Gedung pemerintah memiliki karakteristik yang mendukung seperti atap luas, beban listrik stabil, dan dapat menjadi contoh nyata bagi masyarakat. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada kajian potensi, target, serta realisasi pemasangan PLTS atap pada gedung-gedung pemerintah di Kabupaten Badung, Bali, guna mendorong percepatan transisi energi bersih di daerah tersebut.

Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung menjadi lokasi yang potensial untuk pemasangan PLTS karena memiliki potensi energi surya yang tinggi, dengan intensitas iradiasi matahari berkisar 4,3–7,5 kWh/m²/hari [5], menjadikannya lokasi strategis untuk pengembangan PLTS. Dengan luas lahan 46,6 ha, kompleks ini mencakup berbagai kantor pemerintahan, gedung seni, dan perpustakaan. Salah satu gedung yang memiliki konsumsi listrik tinggi adalah Balai Budaya Giri Nata Mandala. Gedung ini sering digunakan untuk kegiatan budaya, acara pemerintahan, dan pertemuan besar, sehingga kebutuhan energinya cukup tinggi. Sebagai upaya meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik konvensional, direncanakan pemasangan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan sistem PLTS Atap pada Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi luas area atap yang layak untuk pemasangan modul fotovoltaik menggunakan citra satelit melalui aplikasi *Google Earth*. Selanjutnya, perancangan sistem PLTS disusun berdasarkan orientasi dan kemiringan atap, serta

memperhitungkan potensi *shading* dari elemen sekitar bangunan. Estimasi produksi energi listrik diperoleh melalui simulasi menggunakan *software Helioscope*, yang menyediakan analisis performa sistem berdasarkan data meteorologi lokal dan spesifikasi teknis komponen.

Pemasangan PLTS ini diharapkan dapat mempercepat peralihan menuju energi ramah lingkungan, menekan jejak karbon, serta memanfaatkan atap gedung secara optimal untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi di kawasan pemerintahan Kabupaten Badung.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui prinsip fotovoltaik. Proses ini melibatkan penyerapan sinar matahari oleh panel surya, yang kemudian menghasilkan listrik dalam bentuk arus searah (DC). Agar dapat digunakan untuk peralatan elektronik, arus ini diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter. PLTS merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi karbon dan bergantung pada sumber daya alami yang tidak terbatas, yaitu sinar matahari.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap

PLTS atap merupakan sistem pembangkit listrik yang bekerja dengan cara mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui panel surya yang dipasang di atap bangunan [6]. Teknologi ini menawarkan solusi efisien untuk memanfaatkan ruang atap yang sering kali tidak digunakan, sekaligus menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan sinar matahari yang tersedia secara gratis dan melimpah, PLTS atap mampu mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang tidak terbarukan. Selain itu, penggunaan PLTS atap juga dapat membantu menurunkan

tagihan listrik dalam jangka panjang, sehingga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan secara bersamaan.

2.3 Konfigurasi Modul Surya

Konfigurasi modul surya dalam rangkaian seri atau paralel ditentukan berdasarkan tegangan input yang dibutuhkan oleh *inverter* yang digunakan. Oleh karena itu, untuk menghitung konfigurasi modul surya, digunakan rumus sebagai berikut [7].

Rangkaian seri minimal:

$$\text{Minimal rangkaian seri} = \frac{V_{\min \text{ inverter}}}{V_{oc \text{ Modul}}} \quad (1)$$

Rangkaian seri maksimal:

$$\text{Maksimal rangkaian seri} = \frac{V_{\max \text{ inverter}}}{V_{mpp \text{ Modul}}} \quad (2)$$

Rangkaian paralel:

$$\text{Maksimal rangkaian paralel} = \frac{I_{\max \text{ inverter}}}{I_{mpp \text{ Modul}}} \quad (3)$$

Persamaan (1) dan (2) digunakan untuk menentukan batas minimum dan maksimum jumlah modul surya dalam konfigurasi seri. Parameter $V_{\min \text{ inverter}}$ dan $V_{\max \text{ inverter}}$ masing-masing menunjukkan tegangan *input* minimum dan maksimum yang dapat diterima oleh *inverter*, sedangkan $V_{oc \text{ Modul}}$ dan $V_{mpp \text{ Modul}}$ merepresentasikan tegangan *open-circuit* dan tegangan pada titik daya maksimum dari modul surya. Sementara itu, persamaan (3) digunakan untuk menentukan batas maksimum konfigurasi paralel, dengan mempertimbangkan $I_{\max \text{ inverter}}$, yaitu arus input maksimum inverter, serta $I_{mpp \text{ Modul}}$, yaitu arus pada titik daya maksimum modul surya. Pemilihan konfigurasi yang sesuai bertujuan untuk memastikan sistem beroperasi dalam rentang karakteristik inverter guna menjaga kinerja dan keandalan sistem PLTS.

2.4 Jumlah Modul Surya

Jumlah kapasitas daya (*watt peak*) yang akan dihasilkan oleh PLTS mempengaruhi banyaknya jumlah modul surya yang akan dipasang. Berikut merupakan cara menghitung jumlah panel surya [8].

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Luas Permukaan Modul}} \quad (4)$$

2.5 Inklinasi dan Orientasi Modul Surya

Ketika panel surya menerima penyinaran matahari dengan sudut yang optimal, efisiensi konversi energi listrik dari PLTS dapat mencapai tingkat maksimum. Sudut kemiringan ideal dari modul fotovoltaik sangat dipengaruhi oleh letak geografis dan pergerakan matahari. Untuk menentukan sudut optimal ini, digunakan persamaan yang memperhitungkan posisi lintang lokasi dan posisi matahari [9].

$$\alpha = 90^\circ + \text{lat} - \sigma(\text{Shemsphere}) \quad (5)$$

$$\beta = 90^\circ + -\alpha \quad (6)$$

Pada Persamaan (5) digunakan untuk menentukan sudut inklinasi modul surya (α) berdasarkan lintang lokasi dan sudut deklinasi matahari, guna memaksimalkan penyinaran sepanjang tahun. Persamaan (6) menghitung sudut orientasi (β) terhadap garis horizontal. Kedua sudut ini penting untuk mengoptimalkan kinerja sistem PLTS sesuai posisi geografis dan pergerakan matahari.

2.6 Helioscope

Helioscope merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem PLTS dengan visualisasi 3D. *Software* ini membantu dalam mengidentifikasi dampak bayangan terhadap panel surya serta mengevaluasi kinerjanya secara menyeluruh. Dalam proses perencanaannya, *helioscope* memanfaatkan berbagai data, seperti spesifikasi modul surya, jenis *inverter*, jumlah panel yang digunakan, serta luas area pemasangan PLTS untuk menghasilkan simulasi yang akurat [10].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Mei 2024 hingga Januari 2025 di Puspem Badung. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan studi pustaka dari berbagai sumber akademik. Analisis mencakup pengukuran lahan menggunakan *Google Earth*, data cuaca dari *PVsyst*, serta pemodelan produksi energi yang dilakukan dengan *software HelioScope*.

Berikut merupakan prosedur penelitian:

1. Melakukan observasi dan identifikasi lokasi perancangan PLTS Atap.
2. Mengumpulkan data yang diperlukan, meliputi data pembebanan pada transformator Balai Budaya Giri Nata Mandala, data intensitas radiasi matahari, serta data spesifikasi komponen PLTS yang digunakan.
3. Merancang desain PLTS Atap menggunakan *software Helioscope* dan melakukan analisisnya.
4. Menarik kesimpulan dari hasil dan pembahasan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala yang terletak di kawasan Puspem Badung dinilai sebagai lokasi yang ideal untuk pemasangan PLTS Atap, mengingat paparan sinar matahari yang optimal serta orientasi bangunan yang mendukung. Gedung ini kerap digunakan untuk berbagai kegiatan budaya dan acara pemerintahan yang memerlukan daya listrik tinggi. Dalam perancangan ini, seluruh luas atap gedung dimanfaatkan untuk mengoptimalkan potensi energi yang dihasilkan. Gambar 1 menunjukkan tampilan atap gedung dari sisi atas [11].



Gambar 1 Balai Budaya Giri Nata Mandala

4.2 Pemilihan Komponen PLTS

Pemilihan komponen dalam desain PLTS ini dilakukan dengan

mempertimbangkan aspek kualitas, harga, dan efisiensi setiap elemen yang digunakan.

1. Modul Surya

Pada sistem ini, digunakan modul surya Trina Solar TSM-DE19R 575 Wp, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut: tegangan rangkaian terbuka sebesar 46,1 V, tegangan titik daya maksimum sebesar 38,8 V, serta arus titik daya maksimum sebesar 14,83 A. Modul Surya ini telah memenuhi standar SNI, memiliki efisiensi 21,3%, dan ditawarkan dengan harga paling kompetitif. Dengan bobot 33,7 kg dan tingkat degradasi rendah hanya 0,45%, panel ini sangat sesuai untuk implementasi dalam sistem PLTS [12].

2. Inverter

Untuk mengubah daya listrik yang dihasilkan, sistem ini memanfaatkan *inverter* Growatt MID 50KTL3-X2. *Inverter* ini memiliki arus input maksimum sebesar 32 A, tegangan *input* minimum 200 V, dan tegangan *input* maksimum hingga 1100 V. Dengan efisiensi mencapai 98,8%, *inverter* ini menawarkan performa tinggi dengan harga yang ekonomis. Selain itu, fitur *limiter* yang disematkan memungkinkan pengaturan daya keluaran agar tidak melebihi konsumsi beban yang digunakan [13].

4.3 Iradiasi Matahari

Tingkat iradiasi matahari di suatu lokasi merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan potensi produksi energi surya. Untuk memperoleh data iradiasi dan parameter meteorologi seperti suhu, digunakan perangkat lunak PVsyst dengan memasukkan koordinat lokasi dan mengakses basis data cuaca. Tabel 1 menyajikan hasil impor data meteorologi wilayah Puspem Badung dari perangkat lunak PVsyst.

Tabel 1 Data Iradiasi Matahari Puspem Badung [14]

Bulan	Global horizontal irradiation (kWh/m ² /day)
Jan	5,64
Feb	5,67
Mar	5,89
Apr	6,05
May	5,24
Jun	4,88
Jul	5,07
Aug	5,62
Sep	6,17
Oct	6,98
Nov	6,74
Dec	6,46
Tahun	5,87

Merujuk pada data dalam Tabel 1, wilayah Puspem Badung memiliki rata-rata tingkat iradiasi matahari sebesar 5,87 kWh/m²/hari.

4.4 Potensi PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala Puspem Badung

Analisis potensi pemasangan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala membutuhkan data terkait luas atap serta spesifikasi modul surya, yang diawali dengan pengukuran menggunakan *Google Earth*. Modul surya yang digunakan harus memenuhi standar SNI, memiliki tingkat efisiensi tinggi, serta hemat biaya. Dalam perencanaan ini, dipilih modul Trina Solar TSM-DE19R 575 Wp dengan daya 575 Wp dan ukuran 2,384 m × 1,1344 m × 0,0030 m.

Secara geografis, lokasi Puspem Badung terletak pada koordinat 8,60° lintang selatan dan 115,17° bujur timur. Sudut optimal untuk pemasangan modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan (5):

$$\begin{aligned}\alpha &= 90^\circ + \delta(\text{shemisphere}) \\ \alpha &= 90^\circ + 8,60^\circ - 23,45^\circ \\ \alpha &= 75,15^\circ\end{aligned}$$

Dengan demikian, sudut optimal yang terbentuk antara modul surya dan lokasi

penelitian dapat ditentukan melalui persamaan (6):

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\beta = 90^\circ - 75,15^\circ$$

$$\beta = 14,85^\circ$$

Dalam perancangan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala, luas atap yang dapat dimanfaatkan menjadi faktor utama dalam menentukan potensi produksi energi listrik. Jumlah modul surya yang dapat dipasang dihitung dengan persamaan (4):

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{3.736 \text{ m}^2}{2,7 \text{ m}^2}$$

$$\text{Jumlah Modul} = 1.212 \text{ Panel}$$

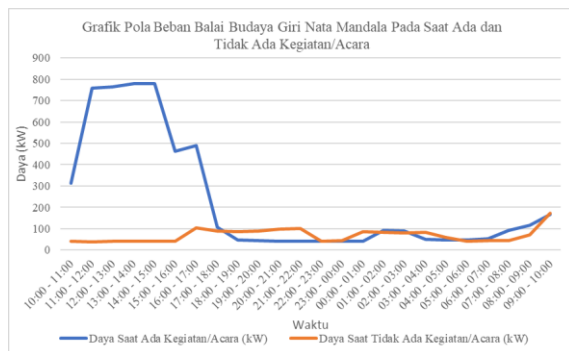
Maka total daya maksimum yang dapat dibangkitkan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala adalah:

$$\text{Total Daya maksimum} = 1.212 \times 575$$

$$\text{Total Daya maksimum} = 795.630 \text{ Wp}$$

4.5 Pola Beban dan Pemakaian Energi Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala Puspem Badung

Power Analyzer digunakan untuk mengukur beban harian secara lengkap, termasuk frekuensi, arus, tegangan, daya aktif, kompleks, reaktif, dan faktor daya. Gambar 2 menunjukkan grafik pola beban Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala saat ada dan tidak ada kegiatan.



Gambar 2 Grafik Pola Beban Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala Pada Saat Ada dan Tidak Ada Kegiatan/Acara

Dari hasil pengukuran pola beban Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala,

dapat dihitung jumlah pemakaian energi dalam satu hari pada saat ada kegiatan/acara maupun tidak ada. Tabel 2 merupakan perhitungan pemakaian energi listrik Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala.

Tabel 2 Pemakaian Energi Listrik Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

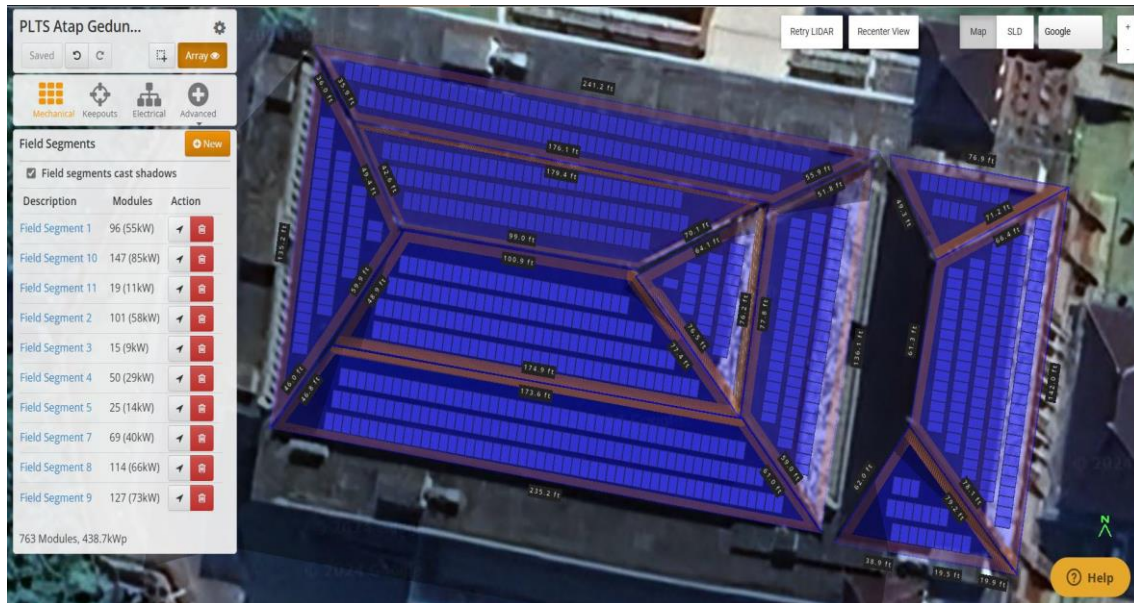
Gedung Balai Budaya			
Ada Kegiatan/Acara		Tidak Ada Kegiatan/Acara	
Jam	Energi (kWh)	Jam	Energi (kWh)
10:00 - 11:00	312	10:00 - 11:00	39,7
11:00 - 12:00	758,8	11:00 - 12:00	39,6
12:00 - 13:00	763,9	12:00 - 13:00	42,2
13:00 - 14:00	779,9	13:00 - 14:00	41,8
14:00 - 15:00	778,7	14:00 - 15:00	42,3
15:00 - 16:00	461,7	15:00 - 16:00	42,4
16:00 - 17:00	490,2	16:00 - 17:00	102,9
17:00 - 18:00	105,6	17:00 - 18:00	87,8
18:00 - 19:00	47,2	18:00 - 19:00	85,6
19:00 - 20:00	43,3	19:00 - 20:00	89,5
20:00 - 21:00	41,6	20:00 - 21:00	99,2
21:00 - 22:00	41,9	21:00 - 22:00	100,5
22:00 - 23:00	41,3	22:00 - 23:00	39,9
23:00 - 00:00	39,8	23:00 - 00:00	44,8
00:00 - 01:00	41	00:00 - 01:00	85,8
01:00 - 02:00	92,1	01:00 - 02:00	83,8
02:00 - 03:00	88,6	02:00 - 03:00	81,4
03:00 - 04:00	49,2	03:00 - 04:00	81,8
04:00 - 05:00	47,8	04:00 - 05:00	60
05:00 - 06:00	46,4	05:00 - 06:00	42,5
06:00 - 07:00	53,1	06:00 - 07:00	43,4
07:00 - 08:00	92,4	07:00 - 08:00	45
08:00 - 09:00	117,2	08:00 - 09:00	70,1
09:00 - 10:00	167,8	09:00 - 10:00	173,3
Total Pemakaian Energi Pada Saat Ada Acara(kWh)	5501,5	Total Pemakaian Energi Pada Saat Tidak Ada Acara(kWh)	1665,3

Jumlah energi listrik yang dikonsumsi di Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala saat berlangsungnya kegiatan atau acara tercatat mencapai 5501,5 kWh. Sementara itu, ketika tidak ada kegiatan atau acara, penggunaan listrik menurun cukup drastis menjadi 1665,3 kWh. Adapun beban puncak terjadi pada pukul 13.00 WITA dengan daya yang digunakan sebesar 779,9 kW.

4.6 Perancangan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Perancangan sistem PLTS Atap pada Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala dilakukan dengan menggunakan *software Helioscope*. *Software* ini sangat bermanfaat dalam merancang sistem PLTS karena memungkinkan pengguna untuk membuat desain secara visual dengan berbagai sudut pandang. Simulasi ini juga menyediakan

hasil output yang mendetail, baik dari sisi performa teknis maupun potensi energi yang dapat dihasilkan dari sistem yang dirancang. Gambar 3 menunjukkan hasil visualisasi desain PLTS yang dipasang pada atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala, memperlihatkan konfigurasi panel surya serta arah pemasangannya.



Gambar 3 Desain PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Perancangan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala yaitu memanfaatkan seluruh luasan atap untuk memenuhi beban puncak. Jumlah modul yang dapat di pasang yaitu 763 modul surya dengan daya yang dihasilkan sebesar 438,7 kWp. Tipe *inverter* yang digunakan yaitu Growatt MID 50KTL3-X2 dengan kapasitas sebesar 50 kW sebanyak 8 buah.

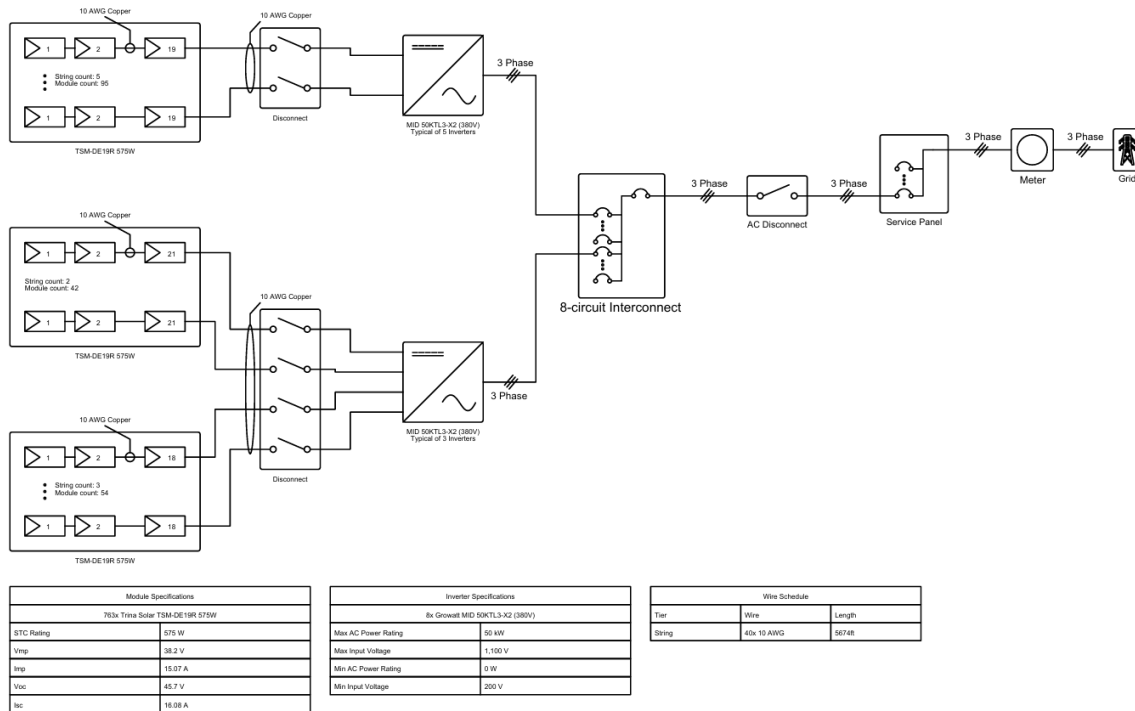
Konfigurasi modul surya, baik seri maupun paralel, ditentukan oleh kapasitas tegangan input *inverter* yang digunakan. Proses penentuan ini melibatkan kalkulasi susunan seri-paralel. Perhitungan jumlah modul yang disusun secara seri dan paralel menggunakan rumus yang tercantum dalam persamaan (1), (2), dan (3), yaitu:

$$\text{Minimal rangkaian seri} = \frac{200}{46,1} = 4,3 \approx 4$$

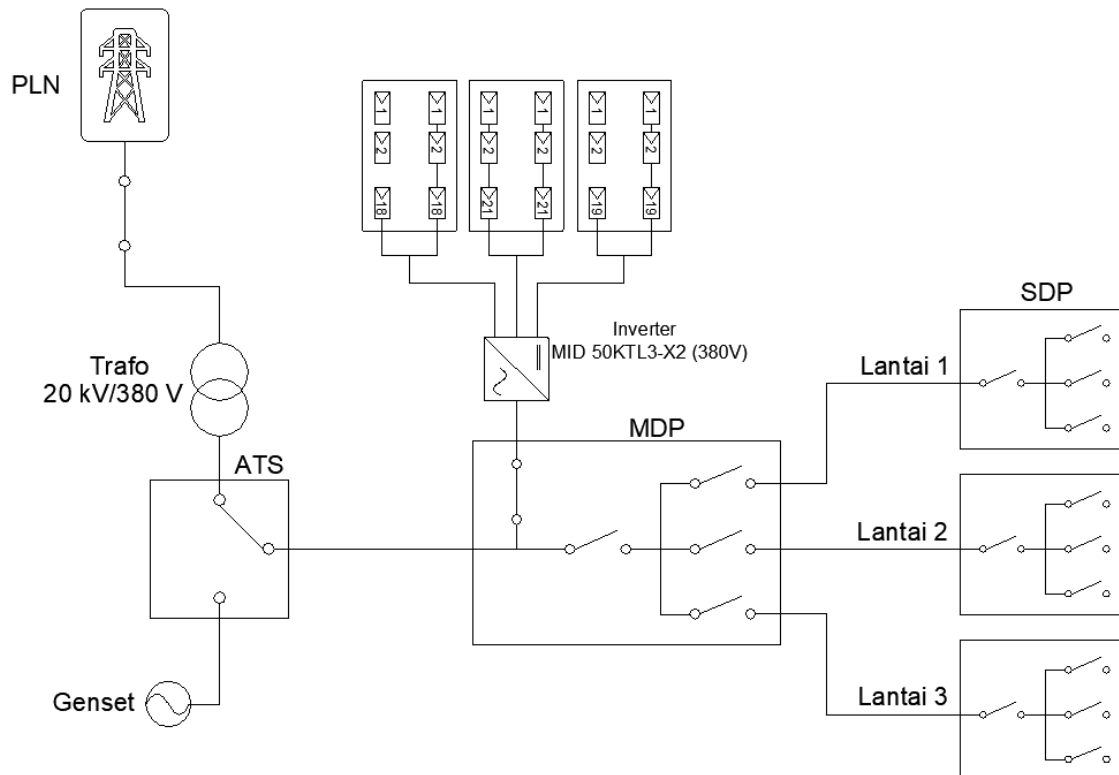
$$\text{Maksimal rangkaian seri} = \frac{1100}{38,8} = 28,3 \approx 28$$

$$\text{Maksimal rangkaian paralel} = \frac{160}{14,83} = 10,7 \approx 1$$

Gambar 4 menggambarkan konfigurasi sistem PLTS yang dirancang dengan memanfaatkan 8 *inverter* dan 40 *string*, yang secara keseluruhan terdiri dari 763 modul surya. Gambar 5 memperlihatkan bahwa sistem PLTS ini menerapkan konfigurasi *on-grid*, dengan PLTS berfungsi sebagai sumber utama dan PLN sebagai sumber cadangan yang beroperasi secara bersamaan. Energi yang dihasilkan oleh PLTS dialirkan ke *Main Distribution Panel* (MDP) melalui *inverter* yang bertugas mengubah arus DC menjadi AC. Di Balai Budaya Giri Nata Mandala, MDP ini terhubung ke tiga *Secondary Distribution Panel* (SDP), yang masing-masing menyuplai listrik untuk satu lantai, sehingga pengelolaan energi menjadi lebih efisien dan terorganisir.



Gambar 4 Single Line Diagram PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala



Gambar 5 Skematik Sistem Kelistrikan Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala Setelah Dipasang PLTS Atap

4.7 Simulasi Unjuk Kerja PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

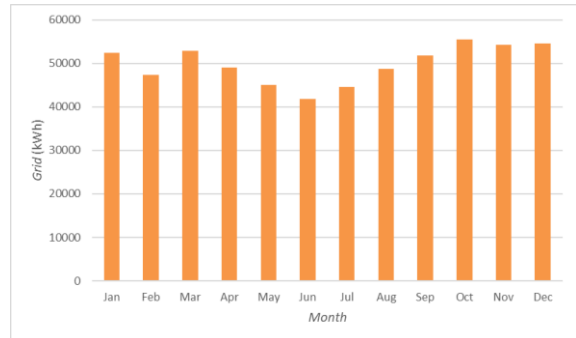
Data Data hasil simulasi kinerja PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala yang diperoleh menggunakan *software Helioscope* meliputi informasi tentang produksi energi tahunan, kapasitas sistem PLTS, rasio kinerja, serta berbagai parameter lainnya. Gambar 6 menampilkan hasil simulasi dari PLTS Atap di Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala.

System Metrics	
Design	PLTS Atap Gedung Balai Budaya
Module DC Nameplate	438.7 kW
Inverter AC Nameplate	400.0 kW Load Ratio: 1.10
Annual Production	597.7 MWh
Performance Ratio	75.5%
kWh/kWp	1,362.3
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, Meteonorm 8 (meteonorm_v8)
Simulator Version	efbec4da91-d9a61fcf09-0f13ce6397-7b1f9abb0b

Gambar 6 Hasil Simulasi PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Mengacu pada Gambar 6, PLTS menunjukkan potensi kapasitas daya terpasang yang cukup signifikan, yakni sebesar 438,7 kWp. Dengan kapasitas tersebut, sistem ini mampu menghasilkan total energi tahunan sekitar 597,7 MWh. Nilai ini mencerminkan efisiensi kinerja sistem yang mencapai 75,5%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar potensi energi surya berhasil dikonversi menjadi listrik yang dapat digunakan. Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai fluktuasi produksi energi dari waktu ke waktu, Gambar 7 menyajikan distribusi produksi energi secara bulanan dari PLTS Atap yang terpasang di Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala. Visualisasi ini membantu dalam memahami pola

produksi energi yang dipengaruhi oleh variasi radiasi matahari sepanjang tahun.



Gambar 7 Produksi Energi Bulanan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

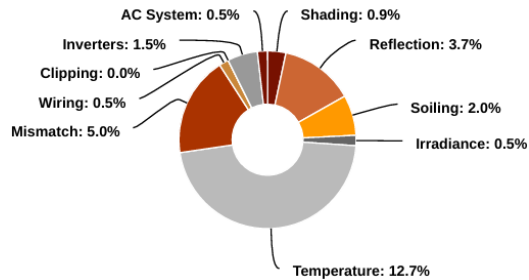
Merujuk pada Gambar 7, produksi energi bulanan mencapai puncaknya pada bulan Oktober dengan nilai 55,456.4 kWh, sementara produksi terendah tercatat pada bulan Juni sebesar 41,657.4 kWh. Rincian lebih lanjut dapat ditemukan pada Tabel 3.

Tabel 3 Produksi Energi Bulanan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
Jan	171.3	157.1	156.1	64,935.8	52,428.8
Feb	155.8	141.3	140.3	58,279.0	47,313.6
Mar	181.4	160.7	159.2	66,105.8	52,922.5
Apr	175.4	149.9	148.2	61,363.5	48,987.0
May	160.7	137.0	135.6	56,008.4	45,110.1
Jun	148.3	125.8	124.5	51,377.2	41,657.4
Jul	157.4	133.8	132.4	54,623.7	44,568.9
Aug	169.6	145.7	144.2	59,719.3	48,602.9
Sep	178.7	156.5	154.9	64,244.5	51,782.4
Oct	189.8	168.7	167.2	69,533.6	55,456.4
Nov	180.0	164.8	163.4	67,919.4	54,321.8
Dec	177.9	164.2	163.1	67,797.1	54,538.0

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa produksi energi bulanan pada kolom *nameplate* lebih besar dibandingkan dengan kolom *grid*. Perbedaan ini terjadi karena produksi energi pada kolom *nameplate* menunjukkan hasil simulasi tanpa mempertimbangkan faktor kerugian. Sementara itu, produksi energi pada kolom *grid* lebih kecil karena telah memasukkan faktor kerugian dalam perhitungannya. Untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan kehilangan energi pada sistem PLTS, Gambar 8 menggambarkan rincian rugi-rugi yang terjadi pada PLTS

Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala.



Gambar 8 Rugi – Rugi Sistem PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Berdasarkan informasi yang ditampilkan pada Gambar 8, kerugian energi terbesar dalam sistem PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala disebabkan oleh faktor *temperature*, yang menyumbang sebesar 12,7% dari total rugi-rugi sistem. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu di permukaan panel surya secara signifikan dapat menurunkan efisiensi konversi energi. Di sisi lain, beberapa faktor lain seperti *wiring*, *AC system*, dan *irradiance* memberikan kontribusi kerugian energi yang paling rendah, masing-masing hanya sebesar 0,5%. Selain itu, faktor lain seperti *mismatch*, *clipping*, *inverter*, *shading*, dan (*reflection*) juga turut berkontribusi terhadap rugi-rugi sistem dalam proporsi yang bervariasi.

4.8 Analisis Produksi Energi PLTS Atap dan Konsumsi Energi Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Analisis produksi dan konsumsi energi listrik di Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala bertujuan mengevaluasi kontribusi PLTS atap dalam memenuhi kebutuhan energi gedung secara menyeluruh. Kajian ini mengasumsikan bahwa gedung digunakan untuk kegiatan hanya sekali seminggu, dengan total 48 hari aktif dan 312 hari tanpa aktivitas dalam setahun. Berdasarkan asumsi tersebut, dihitung konsumsi energi dalam dua kondisi operasional. Tabel 4 menampilkan persentase konsumsi energi listrik saat gedung digunakan untuk kegiatan maupun

saat tidak digunakan, guna memperjelas dampak pemasangan PLTS.

Tabel 4 Tabel Persentase Pemakaian Energi Listrik Setelah Terpasang PLTS pada Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala

Kondisi Energi	Ada Kegiatan	Tidak Ada Kegiatan
Pemakaian Rill Energi Listrik (kWh)/Tahun	264.072	519.574
Pemakaian Energi PLTS (kWh)/Tahun	75.615	160.930
Persentase Pemakaian Energi PLTS/Tahun (%)	28,63	30,97

Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa PLTS dapat menyuplai energi listrik sebanyak 28,63% dari total pemakaian rill energi listrik pada saat ada kegiatan/acara dan 30,97% pada saat tidak ada kegiatan/acara. Total pemakaian energi PLTS lebih besar pada saat tidak ada kegiatan/acara dikarenakan jumlah hari diasumsikan sebanyak 312 hari dalam setahun sedangkan jumlah hari saat ada kegiatan/acara hanya 48 hari dalam setahun.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai perancangan PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala di Puspem Badung, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS tipe *on-grid* dirancang menggunakan 763 modul fotovoltaik Trina Solar TSM-DE19R berkapasitas 575 Wp. Sistem ini dilengkapi dengan 8 unit *inverter* Growatt MID 50KTL3-X2 yang tersusun dalam konfigurasi 40 *string*.

Desain PLTS Atap Gedung Balai Budaya Giri Nata Mandala menghasilkan daya keluaran sebesar 438,7 kWp dengan total produksi energi tahunan sekitar 597,7 MWh namun pemakaian energi dari hasil produksi energi PLTS yaitu 236.544,2 kWh.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN. 2021. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021 2030, 2019–2028. PT PLN (Persero). Jakarta.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2017. Rencana Umum Energi Nasional 2017. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Jakarta.
- [3] Pemerintahan Provinsi Bali. 2019. Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 Tentang Bali Energi Bersih.
- [4] Pemerintahan Provinsi Bali. 2022. Surat Edaran Gubernur Bali Nomor 05 Tahun 2022 Tentang Bali Energi Bersih.
- [5] BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). 2023. Iradiasi Matahari di Provinsi Bali 2023.
- [6] I. O. Silaban, I. N. S. Kumara, & I. N. Setiawan. 2021. "Perancangan PLTS Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba". *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 8, No. 2.
- [7] N. L. A. Anggasari, I.A.D. Giriantari, I.W. Sukerayasa. 2023. "Rancangan PLTS Atap Di Gedung Rumah Jabatan Gubernur Provinsi Bali". *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 10, No. 4.
- [8] A.Y. Firmansyah, I.A.D. Giriantari, I.W. Sukerayasa. 2023. "Perancangan PLTS Atap Di Gedung Kantor Bupati Jembrana". *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 10, No. 4.
- [9] H. Kristiawan, I.N.S. Kumara, I.A.D. Giriantari. 2019. "Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah Di Kota Denpasar". *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 6, No. 4.
- [10] Folsom Labs. (n.d.). HelioScope [Software]. Folsom Labs. <https://www.helioscope.com>
- [11] Google, "Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung," Google Maps, <https://maps.google.com/>, diakses pada 25 April 2025.
- [12] Trina Solar Co., Ltd., Vertex TSM-DE19R 575W Solar Panel, 2023. [Online]. Available: <https://www.trinasolar.com/>
- [13] Growatt New Energy Technology Co., Ltd., MID 50KTL3-X2 Three-Phase Inverter, 2023. [Online]. Available: <https://growattinverters.com/>
- [14] PVSyst SA. PVSyst: Software for photovoltaic system analysis* [Software]. PVsyst SA. <https://www.pvsyst.com>