

PERANCANGAN PLTS ATAP DI GEDUNG GRAHA SEWAKA DHARMA

I Gede Agus Januar Ariawan¹, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Wayan Sukerayasa²

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

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

Jln. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali 80361

januariawan@student.unud.ac.id, dayu.giriantari@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Pemanfaatan EBT dapat menjadi solusi untuk menyokong pasokan energi listrik salah satunya pemanfaatan energi surya dengan PLTS atap. Pada penelitian ini, atap Gedung Graha Sewaka Dharma digunakan sebagai lokasi perancangan PLTS atap untuk dapat membantu kebutuhan energi listrik serta mendukung program pemerintah dalam mengembangkan pemanfaatan energi surya. Total luasan atap Gedung Graha Sewaka Dharma yaitu sebesar 1.616,37 m². Perancangan ini menggunakan sistem PLTS On-grid tanpa baterai dengan menggunakan modul surya Solaria PowerXT-400R-PM berkapasitas 400 Wp dan inverter Ginlong Solis S5-GC36K-LV berkapasitas 36 kW. Kapasitas modul surya yang dapat terpasang dihitung dengan batasan luasan atap dan profil beban di Gedung Graha Sewaka Dharma sehingga didapatkan energi yang dihasilkan per tahunnya. Berdasarkan hasil penelitian, kapasitas PLTS atap yang terpasang di Gedung Graha Sewaka Dharma adalah sebesar 188,8 kWp dengan jumlah komponen sebanyak 472 unit modul surya dan 6 unit inverter. Energi *output* yang dihasilkan pertahun (*energy yield*) adalah sebesar 306,2 MWh/tahun.

Kata kunci: Energi listrik, EBT, PLTS atap, On-grid.

ABSTRACT

The utilization of renewable energy can be a solution to support the supply of electrical energy, one of which is the use of solar energy with rooftop solar panels. In this study, the roof of the Graha Sewaka Dharma Building was used as a location for the design of rooftop solar power plants to be able to help with electrical energy needs and support government programs in developing the use of solar energy. The total roof area of Graha Sewaka Dharma Building is 1,616.37 m². This design uses a battery-free On-grid PLTS system using a Solaria PowerXT-400R-PM solar module with a capacity of 400 Wp and a Ginlong Solis S5-GC36K-LV inverter with a capacity of 36 kW. This design will calculate the capacity of solar modules that can be installed and the electrical energy produced with the limitation of the roof area and load profile in the Graha Sewaka Dharma Building. Based on the results of the study, the capacity of the rooftop PLTS installed in the Graha Sewaka Dharma Building is 188.8 kWp with a total of 472 solar module units and 6 inverter units. The energy output produced per year (energy yield) is 306,2 MWh/year. The investment feasibility study using the methods Net Present Value, Profitability Index, and Discounted Payback Period shows that this design investment is feasible. Further research is recommended to study the impact of reducing carbon emissions on the use of the PV grid.

Key Words: Electrical energy, renewable energy, rooftop solar PV, grid connected.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat saat ini, baik untuk kegiatan sehari – hari maupun kegiatan industri. Seiring dengan perkembangan ekonomi dan infrastruktur,

kebutuhan energi listrik cenderung mengalami peningkatan sehingga dibutuhkan lebih banyak pasokan energi listrik. Sumber energi listrik saat ini di Indonesia masih menggunakan sumber dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan

minyak bumi. Lebih dari 88% dari listrik yang dihasilkan, berasal dari bahan bakar fosil, sekitar 60% dari batu bara, 22% dari gas alam, dan 6% dari minyak, dan hanya 12% yang dihasilkan dari energi terbarukan [1]. Hal tersebut berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil dunia, terutama di Indonesia.

Hal ini berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil di Indonesia. Cadangan minyak bumi Indonesia terus menurun dari 5,9 miliar barel sejak tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada tahun 2015 dan diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 11 tahun lagi jika ini terus berlangsung. Kondisi serupa pun terjadi untuk cadangan gas alam cadangan gas alam dan batu bara yang diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 36 tahun dan 70 tahun kedepan [2].

Maka untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil, Indonesia mulai beralih pada energi baru terbarukan (EBT). Pada tahun 2025, diperkirakan bahwa kapasitas kelistrikan nasional adalah 135 GW dan 45 GW harus berasal dari pembangkitan dengan energi baru terbarukan [3]. Salah satu program terobosan yang telah diluncurkan oleh Kementerian ESDM adalah Gerakan Nasional Sejuta Surya Atap Menuju Gigawatt Fotovoltaik [4]. Berdasarkan pada Peta Jalan PLTS Atap di Bali: Menuju Bali Mandiri Energi pada tahun 2019, potensi PLTS atap pada kompleks perkantoran Gedung Graha Sewaka Dharma berkisar antara 1.958 – 5.134 kWp [5].

Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini akan membahas mengenai perancang PLTS atap pada Gedung Graha Sewaka Dharma. Perancangan ini berupa perhitungan secara teoritis untuk mendapatkan kapasitas optimal energi listrik terpasang yang dihasilkan sehingga mampu memberikan gambaran nyata terkait potensi atap Gedung Graha Sewaka Dharma. Selain itu, dengan pemasangan PLTS atap di Gedung Graha Sewaka Dharma juga membantu pengembangan pemanfaatan potensi energi surya di Indonesia.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik

yang mengubah energi matahari menjadi listrik melalui proses fotovoltaic. PLTS sering juga disebut solar cell, atau solar photovoltaic, atau solar energi. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik dengan arus searah atau DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak – balik AC (*alternating current*) sehingga dapat digunakan oleh berbagai macam peralatan yang menggunakan energi listrik [6].

Sistem pembangkit listrik tenaga surya yang dikenal saat ini memiliki tiga jenis sistem kelistrikan yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan. Ketiga sistem tersebut, yaitu *On Grid System*, *Off Grid System*, dan *Hybrid System* [7].

2.1. Komponen PLTS

1. Sel surya atau solar cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip *photovoltaic* [8].
2. Inverter adalah konverter tegangan arus searah (DC) ke tegangan bolak – balik (AC).
3. Modul surya merupakan beberapa rangkaian seri dan paralel dari sebuah sel surya. Rangkaian seri paralel modul surya juga mempengaruhi parameter tegangan dan arus pada sistem PLTS itu sendiri. Untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar, maka pada rangkaian ditambahkan susunan seri. Sedangkan untuk mendapatkan arus yang lebih besar, maka ditambahkan rangkaian secara *parallel* [9].

2.2. PLTS Atap

PLTS atap adalah proses pembangkitan tenaga listrik yang menggunakan modul fotovoltaik, yang diletakkan di atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLN [10].

2.3. Perencanaan dan Perancangan PLTS Atap

Tahap perencanaan meliputi analisa lokasi pemasangan PLTS Atap, seperti analisa bayangan serta orientasi atap dan perhitungan luas area atap. Tahap

perencanaan juga meliputi analisa sistem kelistrikan yaitu analisa beban listrik [11]. Langkah awal merancang PLTS yaitu dengan menentukan modul surya dan inverter yang akan digunakan. Langkah selanjutnya yaitu menghitung kapasitas maksimal system PLTS Atap [12] [13]. Untuk menghitung jumlah kebutuhan modul surya dengan menggunakan persamaan berikut:

Jumlah Modul = Kapasitas PLTS/Kapasitas Modul (1)

Perhitungan konfigurasi seri-paralel dalam perencanaan sangat penting untuk mengetahui tegangan dan arus input DC dari panel surya ke inverter. Perhitungan konfigurasi seri-paralel dapat menggunakan persamaan berikut:

Rangkaian seri min.= V_{min} inverter/ V_{oc} modul (2)

Rangkaian seri maks = V_{max} inverter/ V_{mp} modul (3)

Rangkaian paralel maks.= I_{max} input inverter/ I_{mp} modul (4)

Setelah mengetahui jumlah modul surya yang akan dipasang, maka perlu dihitung berapa total luas yang akan dipakai untuk pemasangan modul. Langkah selanjutnya yaitu perhitungan daya output dari sistem PLTS. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung daya output modul:

$P_{out} = P_{max} - (P_{max} \times \text{rugi rugi})$ (5)

$P_{out\ total} = P_{out\ modul} \text{ (Watt)} \times \text{jumlah modul}$ (6)

Untuk menghitung energi yang dihasilkan rata-rata pertahun (*energy yield*), maka data iradiasi yang digunakan adalah iradiasi rata-rata, atau disebut *Peak Sun Hour* (PSH) yang besarnya menggunakan data iradiasi matahari dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

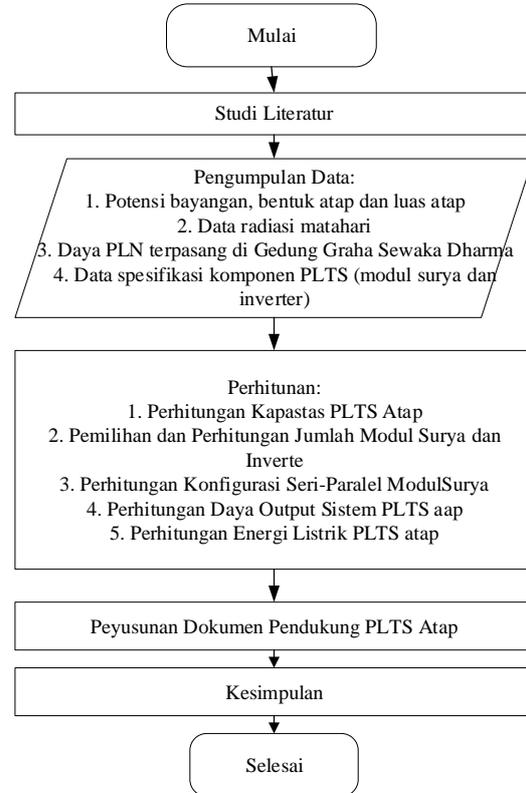
$E_{out} \text{ (kWh)} = P_{out} \text{ (kW)} \times \text{PSH (hour)}$ (7)

$\text{Energy yield/year} = P_{out} \times 365 \text{ hari}$ (8)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi yang dipilih untuk penelitian Rancang Bangun PLTS Atap ini yaitu di atap Gedung Graha Sewaka Dharma. Gedung ini beralamat di Jalan Majapahit No. 1, Dauh Puri Kaja, Kec. Denpasar Utara, Kota Denpasar [14]. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah profil beban listrik berdasarkan AMR PLN, besar iradiasi matahari, luas dan orientasi atap gedung serta data spesifikasi komponen PLTS Atap yang digunakan,

seperti spesifikasi modul surya dan inverter. Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Gedung Graha Sewaka Dharma

Gedung Graha Sewaka Dharma merupakan gedung yang berfungsi sebagai tempat beroperasinya berbagai aktivitas pelayanan administrasi di Kota Denpasar. Gedung ini terdiri dari dua bangunan gedung bertingkat tiga lantai dan basement dengan luas area secara keseluruhan yaitu sekitar 13.000 m², termasuk areal taman hingga parkir kendaraan.



Gambar 2. Gedung Graha Sewaka Dharma

kemiringan atap, arah orientasi atap, analisa bayangan serta perhitungan luas area atap optimal yang dapat digunakan di Gedung Graha Sewaka Dharma.

4.5.1 Analisa Atap

Model atap Gedung Graha Sewaka Dharma jika dilihat menggunakan aplikasi *Goole Earth* dapat dilihat pada Gambar 6. Banyak atap prisma pada Gedung Graha Sewaka Dharma yaitu lima bagian. Bentuk atap dari kelima atap tersebut adalah atap prisma dua sisi sehingga total seluruh atap Gedung Graha Sewaka Dharma yaitu 10 bagian.

4.5.2 Arah Orientasi Atap

Sudut kemiringan atap optimal harus diperhitungkan dalam perancangan PLTS atap untuk mendapatkan potensi yang optimal dari arah penyinaran matahari. Untuk menghitung sudut kemiringan optimal atap dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\alpha = 90^\circ + \text{lat} - \sigma \quad (9)$$

Lat adalah garis lintang (latitude) lokasi instalasi panel surya terpasang (dalam satuan derajat) dan δ adalah sudut dari deklinasi matahari ($23,45^\circ$) [15]. Dengan persamaan tersebut, maka:

$$\begin{aligned} \alpha &= 90^\circ + 8,63^\circ - 23,45^\circ \\ &= 75,18^\circ \end{aligned}$$

Maka, didapatkan nilai sudut kemiringan modul optimal:

$$\begin{aligned} \beta &= 90^\circ - \alpha \quad (10) \\ &= 90^\circ - 75,18^\circ \\ &= 14,82^\circ \end{aligned}$$

Untuk hasil pengukuran menggunakan aplikasi *Smart Protractor*, menunjukkan hasil seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengukuran dengan *Smart Protractor*

Pada perancangan PLTS atap di Gedung Graha Sewaka Dharma ini digunakan sudut kemiringan optimal berdasarkan kemiringan atap gedung, yaitu $27,2^\circ$ dengan tujuan untuk mengurangi biaya berlebih pada pemasangan modul surya serta untuk mempermudah pemasangan modul surya. Dengan demikian, terjadi perbedaan dengan sudut kemiringan optimum sehingga akan menyebabkan *losses tilt angle* sebesar 2% untuk setiap perbedaan sebesar 2° [16].

4.5.3 Orientasi Atap dan Potensi Bayangan

Orientasi atap Gedung Graha Sewaka Dharma pada kesepuluh bagian atap memiliki orientasi yang berbeda. Empat bagian menghadap ke arah timur dan barat, Empat bagian yang menghadap ke arah utara dan selatan, dan dua bagian atap yang

Berdasarkan observasi pada siang hari dapat dilihat bahwa tidak terdapat potensi bayangan jatuh seperti bayangan atap, vegetasi atau pohon, dan bangunan atau gedung lain. Namun pada pengambilan pagi dan sore hari terdapat bayangan atap pada atap gedung yang memiliki orientasi barat dan timur dengan bayangan jatuh mengikuti arah datangnya matahari pada siang dan sore hari. Hal ini tentu mengurangi produksi energi matahari pada modul surya namun tetap mampu memproduksi energi listrik. Oleh karena itu, untuk atap gedung dengan orientasi arah barat dan timur, modul surya yang

dipasang akan mengalami *losses* sebesar 15% [17].

4.5.4 Total Luas Area Atap

Pada penelitian ini, untuk menghitung luas area seluruh bagian atap tersebut dapat dihitung dengan menggunakan aplikasi *Goole Earth*. Total bagian atap pada Gedung Graha Sewaka Dharma sebanyak 10 bagian, dimana 8 bagian atap yang menghadap ke arah timur, barat, utara, dan selatan memiliki ukuran yang sama, sedangkan dua bagian lainnya memiliki ukuran yang berbeda. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan aplikasi *Google Earth*, total luas area atap keseluruhan, yaitu 1.616,37 m²

4.6 Kapasitas Maksimal Sistem PLTS Atap

Menurut Permen ESDM Nomor 49 Tahun 2018 [18], kapasitas sistem PLTS atap dibatasi paling tinggi 100% (seratus persen) dari daya tersambung pelanggan PT. PLN (Persero). Gedung Graha Sewaka Dharma memiliki dua buah daya listrik yang tersambung dari PLN, yaitu sebesar 164 kVA dan 197 kVA. Pada perancangan PLTS atap ini menggunakan daya sebesar 197 kVA sebagai referensi guna mendapatkan batasan optimal sehingga kapasitas maksimal PLTS atap yang dirancang dapat lebih besar. Oleh sebab itu, kapasitas maksimal sistem PLTS atap pada perancangan ini sebesar 197 kWp.

4.7 Pemilihan Komponen

Modul surya yang digunakan adalah modul surya merk *Solaria PowerXT-400R-PM* dengan daya output maksimal 400 Wp dengan jenis monokristalin. Untuk inverter dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas PLTS yang akan dipasang pada atap Gedung Graha Sewaka Dharma. Inverter harus memiliki kapasitas yang kurang lebih sama dengan output modul surya. Oleh karna itu, untuk memenuhi kebutuhan, maka inverter yang digunakan yaitu merk *Ginlong Solis S5-GC36K-LV* dengan kapasitas inverter 36 kW.

4.8 Perancangan PLTS Atap

4.8.1 Jumlah Modul Surya

Untuk menentukan berapa jumlah modul yang sesuai dengan perancangan dan kapasitas beban yang digunakan maka harus diketahui terlebih dahulu berapa kapasitas modul yang akan dipakai. Pada perancangan PLTS atap Gedung Graha Sewaka Dharma, modul yang digunakan adalah modul jenis *monocrystalline* dengan kapasitas 400 Wp. Dengan kapasitas maksimal sistem PLTS atap, yaitu 197 kWp, maka didapatkan jumlah maksimal modul surya yang dapat digunakan, yaitu 492 unit.

4.8.2 Perancangan Sistem PLTS Atap

Untuk delapan bagian atap gedung dengan luas satu bagian atapnya sebesar 144,93 m² (luas I), mampu dipasangkan modul surya sebanyak 44 unit yang terdiri dari 22 modul yang disusun secara seri dan 2 unit modul yang disusun secara paralel. Dengan demikian, jumlah seluruh modul surya pada delapan bagian atap gedung yang memiliki luas yang sama yaitu sebanyak 352 unit modul surya.

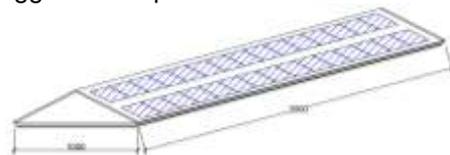
Dua bagian atap gedung lainnya dengan luas atap berturut-turut sebesar 207,01 m² (luas II) dan 249,92 m² (luas III), mampu dipasangkan modul surya sebanyak 60 unit modul surya untuk satu bagian atapnya yang terdiri dari 20 modul surya yang disusun secara seri dan 3 modul surya disusun secara paralel. Dengan demikian, jumlah seluruh modul surya pada seluruh bagian atap ini yaitu sebanyak 120 unit modul surya.

Total keseluruhan modul surya yang digunakan pada perancangan PLTS atap di Gedung Graha Sewaka Dharma ini hanya berjumlah 472 unit modul surya dengan kapasitas total sebesar 188,8 kW, sehingga inverter yang digunakan dengan kapasitas 36 kW dibutuhkan sebanyak 6 unit

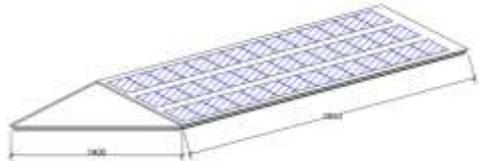
4.9 Desain Sistem PLTS Atap

4.9.1 Design dengan Autocad 2017

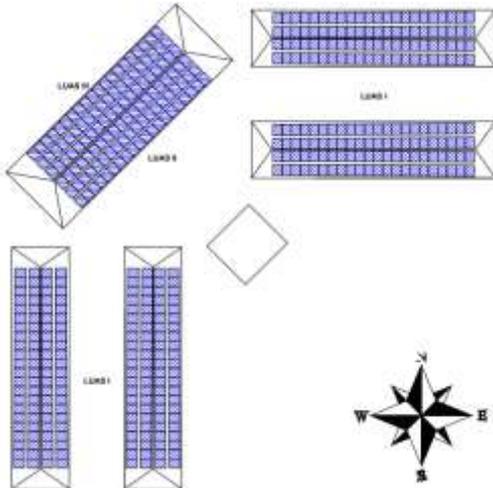
Berikut merupakan desain PLTS atap di Gedung Graha Sewaka Dharma menggunakan aplikasi *Autocad 2017*:



Gambar 7. Desain PLTS atap luas I



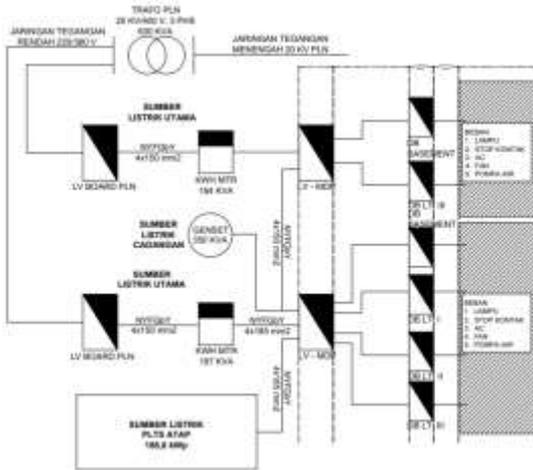
Gambar 8. Desain PLTS atap luas II dan III



Gambar 9. Desain PLTS atap tampak atas

4.9.2 Skema Kelistrikan Terbaru dengan PLTS Atap

Berikut merupakan skema kelistrikan terbaru di Gedung Graha Sewaka Dharma dengan PLTS atap:



Gambar 10 Sistem kelistrikan dengan PLTS Atap

4.10 Perhitungan Daya dan Energi

4.10.1 Pehitungan Daya

Daya input yang diterima modul surya dari radiasi matahari tidak 100% masuk ke inverter karena dipengaruhi oleh rugi-rugi/losses komponen dan sistem. Jenis-jenis losses dapat dilihat pada Tabel 3 [20]

Tabel 3. Jenis-jenis losses modul surya

Jenis Losses	Persentase
Losses Manufacture (Power Tolerance)	3%
Losses dirt/ kotoran (debu, kotoran burung, dll)	5%
Losses temperature module	5,7%
Losses kabel	0,04%
Losses tilt angle	4,9%
Total Losses	18,64%

Daya output yang dihasilkan satu modul surya dengan daya 400 Wp dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya Output} &= P_{out} - (P_{out} \times \text{rugi-rugi}) \\ &= 400 \text{ W} - (400 \text{ W} \times 18,64\%) \\ &= 400 \text{ W} - 76,54 \text{ W} \\ &= 325,44 \text{ W} \end{aligned}$$

Untuk modul surya yang menghadap ke arah timur dan barat, terdapat losses output sebesar 15%, sehingga nilai daya output dari modul surya menjadi 265,44 W, sehingga total keseluruhan daya output sistem PLTS atap di Gedung Graha Sewaka Dharma, yaitu 143 kW.

4.10.2 Perhitungan Energi Listrik

Untuk menghitung energi rata-rata yang dihasilkan selama satu hari yang dapat dihitung dengan persamaan (7) dan (8). Energi yang dihasilkan sistem PLTS atap dapat dilihat pada Tabel 4.

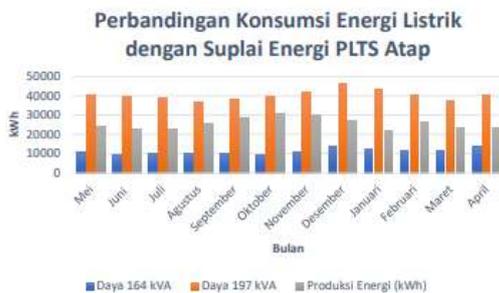
Tabel 4. Produksi energi listrik PLTS atap

Bulan	Iradiasi Matahari (kWh/m ² /hari)	Pout (kW)	Energi Output (kWh)	
			Perhari	Perbulan
Januari	4,96	143	709,28	21987,680
Februari	5,86		837,98	25977,380
Maret	5,22		746,46	23140,260
April	5,32		760,76	23583,560
Mei	5,42		775,06	24026,860
Juni	5,05		722,15	22386,650
Juli	5,18		740,74	22962,940
Agustus	5,76		823,68	25334,080
September	6,38		912,34	28282,540
Oktober	6,96		995,28	30853,680
November	6,85		979,55	30366,050
Desember	6,11		873,73	27085,630

Berikut merupakan perbandingan energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS atap dengan konsumsi energi di Gedung Graha Sewaka Dharma yang ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan konsumsi dengan produksi energi listrik

Bulan	Daya 164 kVA	Daya 197 kVA	Produksi Energi (kWh)
	Konsumsi Energi Listrik (kWh)		
Mei	10.670	40.555	24.027
Juni	9.278	39.461	22.387
Juli	10.094	38.879	22.963
Agustus	9.759	36.769	25.534
September	10.190	37.885	28.283
Oktober	9.669	39.325	30.854
November	11.056	41.763	30.366
Desember	14.125	46.478	27.086
Janaari	12.635	42.955	21.988
Februari	11.495	40.054	25.977
Maret	11.182	37.139	23.140
April	13.533	40.144	23.584
Total	133.686	481.407	306.187



Gambar 11. Grafik perbandingan konsumsi dengan produksi energi listrik

Berdasarkan Tabel V dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan konsumsi energi listrik Gedung Graha Sewaka Dharma dengan suplai energi listrik dari sistem PLTS atap yang dirancang. Energi yang dihasilkan mampu memenuhi konsumsi energi listrik dengan dengan daya 197 kVA sebesar 63% dari total konsumsi energi selama setahun. Oleh sebab itu, kekurangan energi listrik yang

Tabel 6. Total ekspor energi listrik

Waktu	Profil Beban Weekdays	Profil Beban Weekend	Produksi Energi PLTS Atap	Ekspor / Impor Weekdays	Ekspor / Impor Weekend	Total Ekspor Energi Listrik Weekdays	Total Ekspor Energi Listrik Weekend
06:00	40.547,9	35.721,6	8.322,6	-32225,3	-27399,0	0	217.252,1
07:00	48.885,8	38.423,4	39.725,4	-9160,4	1302,0		
08:00	65.390,0	38.573,4	51.994,8	-13395,2	13421,4		
09:00	91.316,3	38.873,9	57.600,4	-33715,9	18726,5		
10:00	101.582,6	39.174,0	65.193,7	-36388,9	26019,7		
11:00	110.468,0	37.823,1	73.330,4	-37137,6	35507,3		
12:00	105.304,8	37.522,9	76.547,9	-28756,9	39025,0		
13:00	103.743,8	38.723,9	75.975,9	-27767,9	37252,0		
14:00	104.704,6	39.624,4	68.968,9	-35735,7	29344,5		
15:00	97.800,2	40.074,6	54.883,4	-42916,8	14808,8		

dihasilkan oleh sistem PLTS atap akan dibantu oleh suplai energi listrik dari PLN.

Berikut merupakan perbandingan profil beban dengan produksi energi listrik PLTS atap di Gedung Graha Sewaka Dharma yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perbandingan profil beban dengan produksi energi PLTS atap

Berdasarkan grafik pada Gambar 12, dapat dilihat bahwa PLTS atap mulai memproduksi energi listrik mulai pukul 06.00 hingga pukul 18.00. Dapat dilihat pada grafik bahwa energi yang dihasilkan PLTS atap mampu di ekspor ke jaringan listrik PLN selama weekend, sedangkan energi yang dihasilkan sistem PLTS atap belum mampu untuk memenuhi kebutuhan beban sepenuhnya pada weekdays sehingga kekurangan energi listrik pada hari kerja di impor dari jaringan listrik PLN. Total Ekspor energi listrik dapat dilihat pada Tabel 6.

16:00	91.196,1	37.522,9	39.367,9	-51828,2	1845,0		
17:00	67.322,2	38.423,4	20.220,2	-47102,0	-18203,2		
18:00	52.352,1	38.423,7	786,5	-51565,6	-37637,2		
Total Eskpor Energi Listrik						217,25 kWh	
Biaya Eskpor Energi Listrik (65% x Eskpor listrik x tarif berlaku)						Rp204.009	

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa impor energi listrik dinotasikan dengan nilai negatif, sedangkan ekspor energi listrik dinotasikan dengan nilai positif. Dapat dilihat bahwa total energi yang dapat diekspor oleh Gedung Graha Sewaka Dharma ke jaringan PLN yaitu sebesar 217,25 kWh dalam satu hari. Dengan tarif yang berlaku di Gedung Graha Sewaka Dharma sebesar Rp 1.444,70/kWh, maka didapatkan harga jual energi listrik di Gedung Graha Sewaka Dharma sebesar Rp204.009 perhari dengan total Rp74.463.540 per tahunnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa Gedung Graha Sewaka Dharma memiliki luas area atap potensial yang digunakan sebagai lokasi pemasangan modul surya sebesar 1.616,37 m². Dengan daya daya PLN terpasang 197 kVA, kapasitas PLTS atap yang terpasang yaitu sebesar 188,8 kWp dengan jumlah komponen yang digunakan sebanyak 472 unit modul surya dan 6 unit inverter. Daya output yang dihasilkan yaitu sebesar 143 kWh dengan energi *output* yang dapat dihasilkan selama setahun (*energy yield*) adalah sebesar 306,2 MWh. Sistem PLTS atap yang dirancang mampu memenuhi konsumsi energi listrik untuk daya PLN yang terpasang sebesar 63% dari total kebutuhan energi selama setahun untuk daya PLN terpasang sebesar 197 kVA, sehingga kekurangan energi listrik akan disuplai dari PLN.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] IESR. 2019. Dinamika Batu Bara Indonesia: Menuju Transisi Energi yang Adil.

[2] BPPT. 2019. BPPT: Indonesia Darurat Energi. <https://www.bppt.go.id/teknologi-informasi-energi-dan-material/3296-bppt-indonesia-darurat-energi>. Diakses tanggal 4 Februari 2021. ESDM. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia:

Indonesia Clean Energy Development II. 2020.

[3] ESDM. 2016. Indonesia Energy Outlook 2016.

[4] Kumara, I. N. S., I.A.D. Giriantari, W.G. Ariastina, W. Sukerayasa, N. Setiawan, C.G.I Partha, I.G.D. Arjana. 2019. Peta Jalan Pengembangan PLTS Atap: Menuju Bali Mandiri Energi, Center for Community Based Renewable Energy (CORE) Universitas Udayana, Greenpeace Indonesia, Bali.

[5] Kurniawan, A. 2021. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya. <https://www.gurupendidikan.co.id/pembangkit-listrik-tenaga-surya/>. Diakses tanggal 17 Januari 2021.

[6] Jarwinn. 2020. 3 Sistem Pembangkit Tenaga Surya / Energi Surya. <https://www.royalpv.com/3-sistem-pembangkit-listrik-tenaga-surya-energi-surya/>. Diakses tanggal 18 Januari 2021.

[7] Surya. 2015. Cara Kerja Panel Surya dalam Menghasilkan Listrik. <https://gosurya.co.id/cara-kerja-panel-surya-dalam-menghasilkan-listrik/>. Diakses tanggal 19 Januari 2021.

[8] Rahayuningtyas, A., Seri, I. K., Ign, F. A. 2014. Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan. Prosiding SNaPP2014 Sains, Teknologi, dan Kesehatan.

[9] Peraturan Direksi PT PLN Nomor 0733.K/DIR/2013 tahun 2013 tentang Pemanfaatan Energi Listrik Dari Fotovoltaik Oleh Pelanggan PT. PLN (Persero).

[10] ESDM. 2020. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia: Indonesia Clean Energy Development II.

[11] Hariyati, R., M. N. Qosim., H. W. Hasannah. 2019. Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung

- STT-PLN. Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah; Vol. 11. No. 1.
- [12] Pradika, G., Ida, A, D, G., I, N, S. 2020. Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kaptan I Wayan Dipta Gianyar sebagai PLTS Rooftop. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 19, No. 2.
- [13] Tabloid Sewaka Dharma. 2007. Dinas Perijinan, Gebrakan Pemkot Tingkatkan Pelayanan.
- [14] Kumara, K. V., I, N. S. K., Wayan, G. A. 2018. Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT. Indonesia Power Pesanggaran Bali. *E-Journal Spektrum* Vol. 5, No. 2.
- [15] George, A., R. Anto. 2012. Analytical and experimental analysis of optimal tilt angle of solar photovoltaic systems. *International Conference on Green Technologies (ICGT)*. pp. 234-239, doi: 10.1109/ICGT.2012.6477978.
- [16] SolarReviews. 2021. What is the best direction for solar panels to face?. <https://www.solarreviews.com/blog/best-direction-orientation-solar-panels>. Diakses tanggal 9 Juli 2021
- [17] Peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018 tentang penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap oleh konsumen PLN.
- [18] Bien, Kasim, & Wibowo. Mark Hankins. 1991: 68. 2008.
- [19] Australian/New Zealand Standard: Electrical installations—Selection of cables. 2017
- [20] Energising Development (EnDev) Indonesia. 2018. Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts.