

STUDI TERHADAP UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP KANTOR DESA PADANGSAMBIAN KAJA

Baskara Formasakti¹, I Nyoman Setiawan², Ida Ayu Dwi Giriantari²

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

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

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

formasakti@student.unud.ac.id¹, setiawan@unud.ac.id², dayu.giriantari@unud.ac.id³

ABSTRAK

Pemerintah Desa Padangsambian Kaja di Kota Denpasar melalui program SDGs dari Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal dan Transmigrasi telah menerapkan energi bersih dan terbarukan. Pembangkit listrik yang dioperasikan yakni Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap berkapasitas 7,2 kWp yang terhubung ke jaringan PLN. Penelitian dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari PLTS yang terpasang dengan bantuan simulasi dari *software HelioScope*. Produksi energi akan dibandingkan antara hasil simulasi 2 skenario dengan hasil monitoring pada inverter dalam kurun waktu bulan Mei s.d Juli 2021, sehingga akan diketahui faktor- faktor yang memberi pengaruh terhadap produksi energi PLTS. Hasil penelitian menunjukkan potensi produksi energi setiap tahun dari hasil simulasi skenario 1 dan skenario 2 masing-masing sebesar 9.964 kWh dan 10.306 kWh, dan hasil simulasi produksi energi dalam kurun waktu bulan Mei s.d Juli pada skenario 1 dan skenario 2 masing-masing sebesar 2.937,3 kWh dan 3.057,8 kWh. Produksi energi hasil simulasi skenario 1 dan skenario 2 lebih tinggi dibandingkan dengan produksi energi riil, memiliki selisih sebesar 180,9 kWh dengan persentase 6,1% untuk skenario 1, serta sebesar 301,4 kWh dengan persentase 9,8% untuk skenario 2.

Kata kunci : Energi Terbarukan, PLTS Atap, Unjuk Kerja, Produksi Energi

ABSTRACT

The Padangsambian Kaja Village Government in Denpasar City through the SDGs program from the Ministry of Villages, Development of Disadvantaged Regions and Transmigration has implemented clean and renewable energy. The power plant being operated is the rooftop solar power plant with a capacity of 7,2 kWp which is connected to the PLN network. The study was conducted to determine the performance of the installed solar power plant with the help of HelioScope software simulation. Energy production will be compared between the simulation results of the 2 scenarios with the results of monitoring on the inverter in the period from May to July 2021, so that it will be known the factors that influence the production of solar power plant energy. The results show the potential for energy production each year from the simulation results of scenario 1 and scenario 2 respectively are 9.964 kWh and 10.306 kWh, and the simulation results for energy production in the period from May to July in scenario 1 and scenario 2 respectively are 2.937,3 kWh and 3.057,8 kWh. Energy production from scenario 1 and scenario 2 simulation is higher than real energy production, with a difference of 180,9 kWh with a percentage of 6,1% for scenario 1, and 301,4 kWh with a percentage of 9,8% for scenario 2.

Key Words : *Renewable Energy, Rooftop Solar Power Plant, Performance, Energy Production.*

1. PENDAHULUAN

Meninjau Peraturan Pemerintah Nomor 79 mengenai Kebijakan Energi Nasional pada tahun 2014, target

kombinasi energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 [1]. Namun berdasarkan Data Statistik PLN 2019,

hingga akhir Bulan Desember 2019 tercatat bahwa kapasitas pembangkit yang terpasang di Indonesia yakni mencapai 43.856,58 MW dengan jumlah pembangkit sebanyak 5.987 unit. PLTU dalam hal kapasitas pembangkit masih dominan tertinggi, yakni 20.750,50 MW atau sebesar 47,31%, pada PLTGU sebesar 10.708,76 MW atau 24,42%, PLTD sebesar 3.692,38 MW atau 8,42%, PLTMG sebesar 1.336,93 MW atau 3,05%, dan PLTG sebesar 3.188,90 MW atau 7,27%, serta Pembangkit EBT total sebesar 4.179,10 MW atau 9,53% [2].

Provinsi Bali pada tahun 2019 melalui Pergub Bali Nomor 45 mengenai Bali Energi Bersih menyatakan bahwa Provinsi Bali menerapkan kebijakan energi dengan menggunakan energi yang ramah lingkungan. Tertuang pada Pasal 22 disebutkan bahwa pelestarian dan pemeliharaan pada bangunan hijau digunakan cara yakni menyeimbangkan energi yang dipakai dengan yang dihasilkan, salah satunya melalui sistem PLTS atap atau penggunaan teknologi surya lainnya, melibatkan gedung Pemerintah tingkat Pusat maupun Daerah dengan dipasangnya PLTS atap atau penggunaan teknologi surya lainnya minimum 20 persen dari luas atap atau kapasitas daya yang terpasang[3].

Mengacu pada Perpres Nomor 59 tahun 2017 mengenai rencana pembangunan nasional. Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal dan Transmigrasi memperkenalkan program SDGs atau yang disebut dengan program pembangunan berkelanjutan desa. Tujuan Pembangunan Keberlanjutan melalui SDGs Desa ini ada 18, salah satu tujuan tersebut adalah Desa yang berenergi bersih dan terbarukan [4].

Salah satu desa di Provinsi Bali tepatnya di Desa Padangsambian Kaja, Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar dilakukan pemasangan PLTS atap berkapasitas 7200 Wp. PLTS atap yang dibangun ini merupakan program SDGs di Desa Padangsambian Kaja. Proses pemasangan dimulai pada bulan Januari 2021 serta mulai beroperasi dari bulan Mei 2021. Proses *commissioning* dilakukan pada tanggal 9 Maret 2021 dengan *output* daya yang dihasilkan sebesar 933 Watt. Pada bulan Mei 2021 kWh meter ekspor impor (EXIM) sudah terpasang, serta sistem monitoring untuk

mengetahui produksi energi listrik pada PLTS atap tersebut sudah tersedia. Suplai energi listrik pada Kantor Desa Padangsambian Kaja sebelumnya hanya berpatokan dengan sumber energi dari PLN dengan kapasitas terpasang sebesar 7700 VA dengan biaya rata – rata pembayaran rekening listrik pada 3 bulan sebelum PLTS terpasang sebesar Rp. 1.389.670,-. Sehingga perlu diketahui berapa penghematan pembayaran energi yang didapat setelah PLTS terpasang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis melakukan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana unjuk kerja PLTS atap Kantor Desa Padangsambian Kaja dan faktor – faktor apa saja yang berpengaruh terhadap produksi energi. Pada penelitian ini digunakan data *logger* dari sistem monitoring dari inverter yang beroperasi selama 3 bulan pertama, yaitu selama kurun waktu Mei s.d. Juli 2021. Selain itu, dengan bantuan *software HelioScope* dilakukan simulasi untuk memperkirakan acuan dari produksi energi PLTS dan dibandingkan dengan produksi energi kondisi riil PLTS. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang unjuk kerja penggunaan PLTS atap kepada kantor pemerintahan lain yang akan menggunakan PLTS atap sebagai salah satu sumber energi untuk menopang kebutuhan energi di instansinya.

2. KAJIAN PUSTAKA

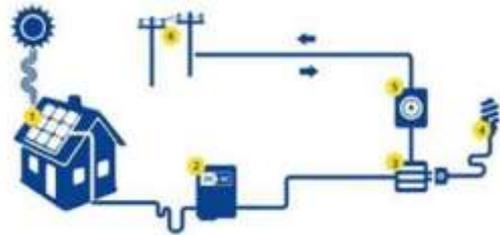
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu pembangkit dengan sumber energi yang bersih dan ramah terhadap lingkungan. Pembangkit ini menggunakan sumber energi surya yakni sinar matahari yang dikonversi menjadi energi listrik. Ketika cahaya matahari diterima oleh modul fotovoltaik, akan dihasilkan listrik searah. Listrik searah ini akan dikonversi oleh inverter menjadi listrik bolak-balik atau *alternating current* (AC) yang siap bila digunakan, jika cuaca yang terjadi mendung dan masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap bisa menghasilkan energi listrik [5].

Berdasarkan penerapan dan sistem konfigurasinya, secara singkat PLTS diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan utilitas/PLN (*on-grid*) atau disebut *grid-connected PV system* dan sistem PLTS

yang tidak terhubung dengan jaringan utilitas/PLN atau PLTS yang berdiri sendiri (*off-grid*) [6].

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap
 Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap merupakan proses yakni pembangkitan tenaga listrik pada modul fotovoltaik, yang ditempatkan pada *rooftop*, tembok, atau bidang lain dari bangunan milik konsumen PLN [7] - [9]. Secara universal PLTS atap mempunyai pola operasi dan elemen utama yang ditampilkan pada skema di Gambar 1.



Gambar 1. Pola Operasi Sistem PLTS Atap [10]

Keterangan pola operasi sistem PLTS atap dipaparkan sebagai berikut:

1. Sinar matahari dikonversi menjadi energi listrik oleh panel surya, sehingga dihasilkan arus listrik DC.
2. Inverter mengkonversi arus DC menjadi listrik AC.
3. Arus AC tersalur ke jaringan listrik dalam bangunan melalui AC *breaker* panel.
4. Penggunaan energi listrik sebagai iluminasi atau peralatan elektronik rumah tangga.
5. Penggunaan kWh meter ekspor impor (*exim*) dengan pemakaian sistem *net metering*.
6. Meter *exim* akan memonitor ekspor listrik dari pengguna PLTS ke jaringan PLN, dan memonitor impor listrik dari jaringan PLN ke pengguna PLTS.

2.3 Analisa Parameter Unjuk Kerja PLTS

Perhitungan parameter unjuk kerja PLTS mengikuti acuan yang ditetapkan oleh standar IEC, yaitu mengacu pada IEC *Standard* 61724 yang direpresentasikan ke dalam beberapa formula sebagai berikut[11]:

2.3.1 Final Yield (Y_F)

Final yield (Y_F) atau hasil akhir merupakan *output* bersih (*net*) energi AC pada sistem yang dibagi daya puncak PV *array* pada kondisi pengujian standar (STC) yang ditetapkan dalam periode tahunan, bulan, atau harian[12].

$$Y_F = \frac{E_{PV}}{P_O} \quad (\text{kWh}_{AC} / \text{kWp}_{DC}) \quad (1)$$

Dengan:

E_{PV} : Energi ke jaringan (kWh_{AC})

P_O : Daya puncak (kWp_{DC})

2.3.2 Capacity Factor (CF)

Capacity factor (CF) atau faktor kapasitas adalah skala dari *output* energi aktual pada periode waktu setahun, jika bekerja pada daya nominal selama setahun penuh (24 jam setiap hari selama setahun)[12].

$$CF = \frac{Y_F}{8760} = \frac{E_{PV}}{P_{O,8760}} = \frac{H_T \cdot PR}{P_{O,8760}} \quad (2)$$

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Unjuk Kerja PLTS

PLTS dalam memproduksi energi listriknya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sebagai berikut. Pertama, adalah iradiasi, pada saat iradiasi menurun, arus yang dihasilkan modul surya akan menurun secara proporsional, sedangkan penurunan tegangan tanpa beban relatif lebih kecil dibandingkan dengan penurunan arus listriknya. Kedua, ketika suhu modul meningkat, arus yang dihasilkan mengalami kenaikan sangat sedikit atau dapat dikatakan praktis tidak berubah, sedangkan tegangan menurun. Ketiga adalah *shading*, pada saat bayangan menutupi modul, hubungan P-N pada sel surya berhenti menghasilkan energi dan menjadi beban pasif. Keempat, iklimasi dan orientasi pada modul surya, jika sudut kemiringan ideal atau optimum maka keluaran daya dari modul akan optimum, sehingga *tilt angle* pada modul berpengaruh terhadap produksi energi PLTS [5]. Kelima yakni *soiling*, *losses* daya karena *soiling* pada modul PV dapat dikurangi dengan pembersihan rutin [13].

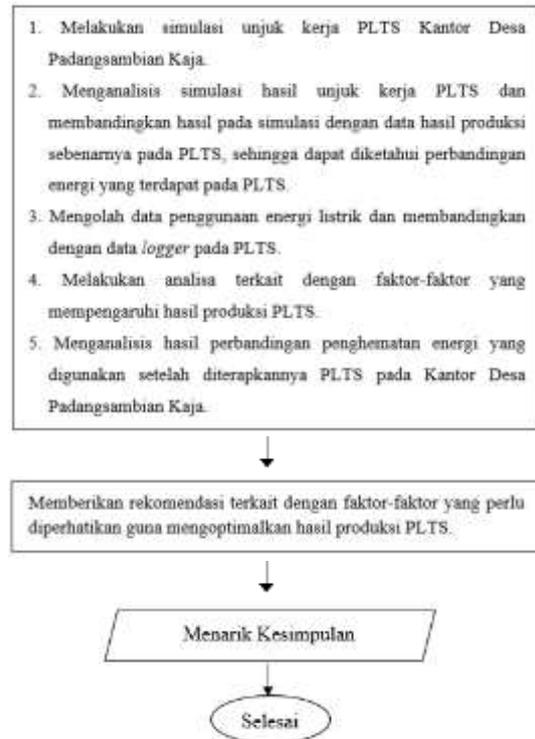
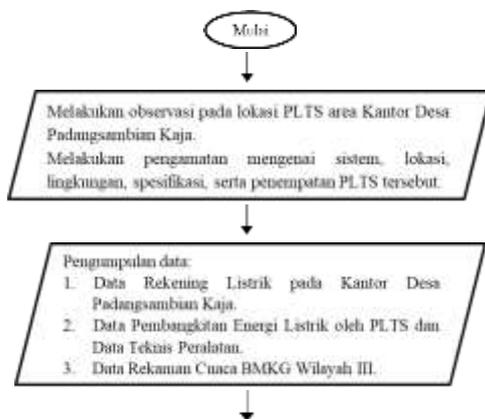
2.5 HelioScope

HelioScope merupakan suatu program simulasi yang bersifat *open software* berbasis *website*. *HelioScope*

dikeluarkan oleh *Folsom Lab USA*. Pengguna yang menggunakan *software* ini dapat memprediksi produksi energi juga *losses* akibat cuaca dan iklim. Bayangan, *wiring*, efisiensi komponen, kesesuaian panel, dan pemakaian lampau (penuaan) bisa juga dianalisa untuk memberikan usulan untuk peralatan komponen dan tata letak rangkaian. *Software* ini menyajikan produksi tahunan, *library* data cuaca, *performance ratio*, sumber rugi-rugi dan parameter-parameter sistem lain pada hasil simulasi [14].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan PLTS area Kantor Desa Padangsembian Kaja, Jalan Kebo Iwa No.35, Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar, Bali. Pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan April hingga Agustus 2021. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data monitoring dari inverter yang terekam pada PLTS, pencarian data-data spesifikasi dari alat pendukung PLTS, melakukan observasi terhadap faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil produksi PLTS, dan dokumentasi berupa foto-foto di lokasi PLTS baik lokasi penempatan PLTS, lokasi penempatan peralatan pendukung PLTS, jurnal, buku, data rekaman cuaca dari BMKG, data rekening pembayaran listrik dari PLN dan beberapa literature lainnya. Secara sistematis Gambar 2 menunjukkan tahapan penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir (Flowchart) Alur Analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Sistem PLTS Atap Kantor Desa Padangsembian Kaja

Berdasarkan hasil observasi pada PLTS *on-grid* yang berada di atap Kantor Desa Padangsembian Kaja dapat ditunjukkan bahwa PLTS ini memiliki daya total 7200 Wp, yang terdiri dari 30 buah modul, daya dari setiap modulnya yakni 240 Wp dengan tipe *mono crystalline*. Keseluruhan modul surya dibagi menjadi 2 *string* yang masing-masing *string* terdiri dari 15 modul yang terhubung seri.

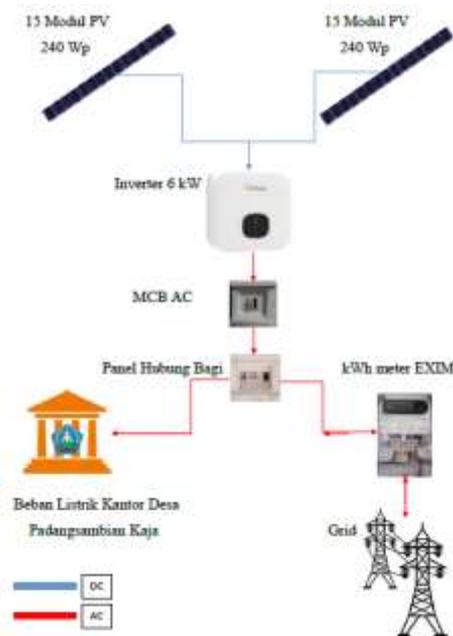
PLTS 7,2 kWp Kantor Desa Padangsembian Kaja terletak pada titik koordinat -8,63 lintang selatan (*latitude*) dan 115,18 bujur timur (*longitude*). PLTS dibangun dibagian utara dari atap gedung aula yang menghadap ke gedung yang berisi ruang Kepala Desa dan ruang Sekretariat di arah utara. Sehingga orientasi pada modul surya menghadap ke utara mengikuti atap gedung. Sudut kemiringan modul mengikuti kemiringan atap pada gedung aula Kantor Desa yang memiliki kemiringan atap sebesar 25,17°, dan sudut kemiringan modul optimum sebesar 14,82°. Gambar 3. menunjukkan

lokasi posisi modul surya yang berada di atap gedung aula Kantor Desa.



Gambar 3. PLTS 7,2 kWp Kantor Desa Padangsambian Kaja

Sumber: PT. Fuji Home Japan, 2021



Gambar 4. Blok Diagram PLTS rooftop Kantor Desa Padangsambian Kaja

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 4. di atas, dapat diketahui bahwa energi listrik yang diproduksi oleh susunan dari 30 modul surya terdiri dari 2 string. Masing-masing string terdiri dari 15 modul surya yang dihubungkan secara seri, menghasilkan energi listrik berupa arus DC. Arus DC dikonversikan oleh inverter menjadi arus AC 1 fasa 2 kawat dengan kapasitas masing-masing 3,6 kW. Daya yang dihasilkan oleh modul surya dan setelah diubah menjadi tegangan AC oleh inverter, selanjutnya dihubungkan ke Panel Hubung Bagi untuk kemudian digunakan untuk mensuplai beban kantor desa (7,2

kVA). Jika output daya modul melebihi kebutuhan beban, maka daya lebih tersebut akan diekspor ke jaringan PLN melalui kWh meter ekspor-impor. Serta jika output daya dari modul tidak bisa memenuhi kebutuhan daya listrik beban kantor desa, maka akan mendapat suplai dari jaringan PLN.

4.2 Hasil Simulasi HelioScope

Berikut ini merupakan hasil dari simulasi dengan software HelioScope pada PLTS rooftop 7,2 kWp Kantor Desa Padangsambian Kaja yang dibagi menjadi 2 skenario, skenario 1 yakni menggunakan sudut kemiringan atap pada gedung aula kantor yakni 25,17°, dan skenario 2 yakni menggunakan sudut optimal yakni 14,82°, masing-masing ditunjukkan oleh Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Potensi Produksi Energi Bulanan Simulasi PLTS Skenario 1

Bulan	GHI (kWh/m2)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
Januari	133,8	791,5	644,6
Februari	135,7	837,7	673,7
Maret	151,0	1.010,7	804,0
April	157,2	1.147,6	897,1
Mei	163,2	1.298,6	1.003,7
Juni	147,1	1.222,9	961,4
Juli	152,0	1.229,3	972,2
Agustus	153,4	1.154,1	912,0
September	157,6	1.084,0	853,6
Oktober	175,3	1.098,1	868,6
November	147,3	854,5	691,6
Desember	146,0	833,4	681,2
Total Satu Tahun			9.963,7

Tabel 2. Potensi Produksi Energi Bulanan Simulasi PLTS Skenario 2

Bulan	GHI (kWh/m2)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
Januari	133,8	853,1	687,0
Februari	135,7	887,4	706,9
Maret	151,0	1.034,4	819,5
April	157,2	1.136,4	889,2
Mei	163,2	1.245,2	1.038,1
Juni	147,1	1.152,9	1.007,9
Juli	152,0	1.170,3	1.011,8
Agustus	153,4	1.129,8	895,4
September	157,6	1.100,5	863,4
Oktober	175,3	1.158,6	908,0
November	147,3	929,3	743,1
Desember	146,0	911,9	736,3
Total Satu Tahun			10.306,6

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada kolom pertama yakni GHI (Global Horizontal Irradiance) merupakan total iradiasi yang akan jatuh

pada bidang datar di lokasi *array*. Kolom kedua yakni *nameplate* yang merupakan potensi daya maksimum pada *array*, didefinisikan sebagai total iradiasi kolektor yang dikalikan dengan daya pada *nameplate* / spesifikasi sistem. Kolom ketiga yakni *grid* yang merupakan total *output* energi AC setelah memperhitungkan rugi-rugi kabel AC ke titik interkoneksi. Selain itu berdasarkan kedua tabel di atas dapat diketahui juga bahwa produksi energi bulanan pada kolom *nameplate* lebih tinggi daripada *grid*. Hal ini terjadi karena produksi energi hasil simulasi pada kolom *nameplate*, faktor rugi-rugi diabaikan.

4.3 Perbandingan Simulasi HelioScope dan Riil PLTS Kantor Desa Padangsambian Kaja

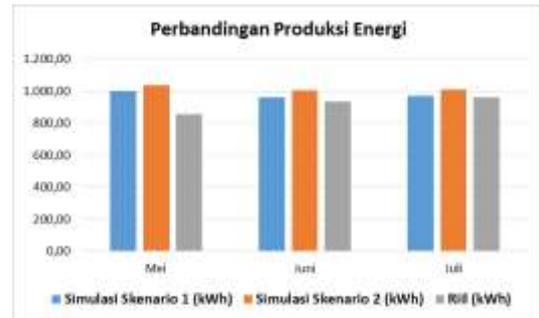
Perbandingan produksi energi hasil simulasi dengan produksi energi riil PLTS 7,2 kWp Kantor Desa Padangsambian Kaja dilakukan dengan menggunakan data hasil produksi energi listrik yang terjadi selama kurun waktu 06 Mei sampai dengan 31 Juli 2021. Hasil yang dibandingkan adalah hasil simulasi *HelioScope* skenario 1, skenario 2, dan kondisi riil.

Tabel 3. Perbandingan Produksi Energi Hasil Simulasi Skenario 1 dengan Kondisi Riil

No	Bulan	Simulasi (kWh)	Riil (kWh)	Selisih (kWh)	Selisih (%)
1	Mei	1.003,7	855	148,7	14,8
2	Juni	961,4	937,2	24,2	2,5
3	Juli	972,2	964,2	8	0,8
Total		2.937,3	2.756,4	180,9	6,1

Tabel 4. Perbandingan Produksi Energi Hasil Simulasi Skenario 2 dengan Kondisi Riil

No	Bulan	Simulasi (kWh)	Riil (kWh)	Selisih (kWh)	Selisih (%)
1	Mei	1.038,1	855	183,1	17,6
2	Juni	1.007,9	937,2	70,7	7
3	Juli	1.011,8	964,2	47,6	4,7
Total		3.057,8	2.756,4	301,4	9,8



Gambar 5. Perbandingan Produksi Energi Hasil Simulasi dengan Kondisi Riil

Berdasarkan Tabel 3, Tabel 4, dan Gambar 5 dapat dilihat selisih produksi energi cenderung terpaut jauh pada Bulan Mei disebabkan karena data loger pada sistem monitoring baru tersedia per tanggal 6 Mei 2021, tepat bersamaan dengan baru terpasangnya kWh meter ekspor-impor di Kantor Desa Padangsambian Kaja. Sehingga, data loger untuk produksi energi riil pada PLTS tidak utuh 31 hari.

Selain itu, adanya perbedaan pada hasil produksi energi pada simulasi dan kondisi riil juga disebabkan karena adanya perbedaan keadaan cuaca. Pada hasil produksi energi hasil simulasi kedua skenario, digunakan metode analisa cuaca TMY yang menggunakan data cuaca dari stasiun cuaca semua belahan dunia, yakni preferensi kondisi cuaca yang aktual dengan keadaan saat tersebut menurut data 30 tahun terakhir, sedangkan produksi energi riil menggunakan keadaan cuaca pada saat ini, yakni pada tahun 2021.

Tabel 5. *Final Yield* dan *Capacity Factor* PLTS Kantor Desa Padangsambian Kaja

Bulan (2021)	<i>Final Yield (Y_F)</i>			<i>Capacity Factor (CF)</i>		
	Skenario 1 [h/d]	Skenario 2 [h/d]	Riil [h/d]	Skenario 1 [%]	Skenario 2 [%]	Riil [%]
06 – 31 Mei	4,49	4,65	4,56	18,73	19,37	19,03
01 – 30 Juni	4,45	4,66	4,33	18,54	19,44	18,07
01 – 31 Juli	4,35	4,53	4,31	18,14	18,88	17,99
Total produksi	4,43	4,61	4,40	18,47	19,23	18,33

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa produksi energi listrik dan sudut kemiringan modul yang tidak optimum berpengaruh terhadap unjuk kerja dari PLTS Kantor Desa. PLTS Kantor Desa memiliki performa spesifik waktu harian

selama 4,40 jam/hari untuk dapat menghasilkan energi listrik pada daya maksimum terpasang, lebih rendah dibandingkan hasil simulasi pada kedua skenario yaitu masing-masing sebesar 4,43 jam/hari dan 4,61 jam/hari. Sedangkan *capacity factor* PLTS Kantor Desa Padangsambian Kaja dalam memproduksi energi aktual selama kurun waktu satu hari penuh (24 jam) lebih rendah dari kedua skenario pada simulasi yaitu 18,33%.

4.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Unjuk Kerja PLTS

4.4.1 Kondisi Cuaca

Tabel 6. Unsur Cuaca pada Tahun 2021

Parameter	Mei	Juni	Juli
Lama Penyinaran Matahari (%)	65	60	63
Curah Hujan (mm)	1,1	127,5	8,7
Hari Hujan (hari)	2	11	4

Sumber: BMKG Provinsi Bali, 2021

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa unsur cuaca lama penyinaran matahari tertinggi terjadi pada Bulan Mei sebesar 65%, berbanding lurus dengan total produksi energi riil tertinggi sebesar 855 kWh (6-31 Mei) dengan rata-rata per bulan sebesar 32,88 kWh. Unsur cuaca curah hujan dan jumlah hari hujan tertinggi terjadi pada Bulan Juni dengan nilai masing-masing sebesar 127,5 mm dan 11 hari, berbanding lurus dengan total produksi energi riil terendah sebesar 937,2 kWh (1-30 Juni) dengan rata-rata per bulan sebesar 31,24 kWh.

4.4.2 Sudut Kemiringan Modul Surya

Tabel 7. Perbandingan Hasil Simulasi Sudut Atap dan Sudut Optimal

Bulan	Produksi Energi Bulanan Hasil Simulasi (kWh)		Nilai Selisih	Selisih (%)
	Sudut 25,17°	Sudut 14,82°		
Jan	644,6	687,0	42,4	6,17
Feb	673,7	706,9	33,2	4,69
Mar	804,0	819,5	15,5	1,89
Apr	897,1	889,2	-7,9	-0,88
Mei	1.003,7	1.038,1	34,4	3,31
Jun	961,4	1.007,9	46,5	4,61
Jul	972,2	1.011,8	39,6	3,91
Agu	912,0	895,4	-16,6	-1,85
Sep	853,6	863,4	9,8	1,13
Okt	868,6	908,0	39,4	4,33
Nov	691,6	743,1	51,5	6,93
Des	681,2	736,3	55,1	7,48
TOTAL (kWh)	9.963,7	10.306,6	342,9	3,32

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui Potensi energi listrik PLTS dengan sudut

optimal 14,82° lebih tinggi 3,32% daripada menggunakan sudut terpasang 25,17°, sehingga dengan selisih hasil produksi energi dengan persentase yang sedikit, hal ini menunjukkan bahwa sudut kemiringan modul berpengaruh terhadap hasil produksi energi dari PLTS.

4.4.3 Bayangan (Shading)

PLTS terpasang di atap gedung aula Kantor Desa Padangsambian Kaja. Sedangkan untuk di kondisi lingkungan, PLTS dikelilingi dengan beberapa pepohonan dengan ranting-ranting yang menjalar, sehingga pada saat pagi menjelang siang beberapa bagian sel surya pada modul surya akan terkena bayangan (*shading*) dari pepohonan yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sebagian modul surya yang terkena shading dari pepohonan
Sumber: Kantor Desa Padangsambian Kaja, 2021

Bayangan (*shading*) yang muncul terjadi pada pukul 10.00 hingga pukul 11.00 dikarenakan pepohonan berada pada bagian Timur Laut PLTS, sehingga pada saat matahari mulai mengarah dari arah Timur, maka bayangan akan terjadi yang disebabkan oleh pepohonan terutama bayangan dari ranting-ranting dedaunan yang menutupi sebagian permukaan modul surya pada PLTS.

4.5 Kontribusi PLTS Terhadap Konsumsi Energi Listrik Kantor Desa Padangsambian Kaja

4.5.1 Pemakaian Energi Listrik Kantor Desa Padangsambian Kaja

Tabel 8. Pemakaian Energi Listrik Sebelum dan Sesudah Terpasang PLTS

Bulan	Pemakaian Energi PLN Sebelum PLTS – 2020 (kWh)	Pemakaian Energi PLN Sesudah PLTS – 2021 (kWh)
Mei	934	349
Juni	802	352
Juli	896	362
Rata-rata	877	354

Sumber: PLN, 2021

Tabel 9. Kontribusi PLTS pada Pemakaian Energi Listrik Kantor Desa

Bulan	Produksi Energi PLTS – 2021 (kWh)	Total Pemakaian Energi PLTS+PLN – 2021 (kWh)	Kontribusi PLTS – 2021 (%)
Mei	855	1204	71
Juni	937,2	1289,2	72,6
Juli	964,2	1326,2	72,7
Rata-rata	918,8	1273	72,1

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9, PLTS Kantor Desa Padangsambian Kaja pada tahun 2021 menghasilkan energi rata-rata sebesar 918,8 kWh. Berdasarkan data pemakaian energi PLN tahun 2021 dan produksi energi PLTS tahun 2021 diketahui bahwa PLTS mampu memberikan kontribusi energi listrik pada Kantor Desa Padangsambian Kaja dengan persentase rata-rata sebesar 72,1%. Grafik perbandingan penggunaan energi listrik sebelum dan sesudah pemanfaatan PLTS dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Penggunaan Energi PLN Tahun 2020 dan 2021

4.5.2 Pembayaran Rekening Listrik Kantor Desa Padangsambian Kaja

Tabel 10. Pembayaran Rekening Listrik (Rp) Sebelum dan Sesudah Pemanfaatan PLTS

Bulan	Tahun 2020 (Rp)	Tahun 2021 (Rp)	Penghematan (Rp)	Persentase (%)
Mei	1.378.440	447.468	930.972	32,5
Juni	1.184.759	447.468	737.291	37,8
Juli	1.322.683	447.468	875.215	33,8
Total	3.885.882	1.342.404	2.543.478	34,5

Sumber: PLN, 2021

Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat bahwa, penghematan yang diperoleh sebesar Rp.2.543.478 dengan persentase 34,5%. Grafik pembayaran rekening listrik sebelum dan sesudah diterapkannya PLTS dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pembayaran Rekening Listrik Sebelum dan Sesudah Pemanfaatan PLTS

5. KESIMPULAN

PLTS atap Kantor Desa Padangsambian Kaja terletak pada lokasi geografi -8,63 LS, 115,18 BT. PLTS dipasang menghadap ke arah utara dengan sudut kemiringan modul sebesar 25,17°, setiap tahun memproduksi energi dengan potensi sebesar 9.964 kWh. Potensi energi pada sudut kemiringan modul optimum sebesar 14,82°, setiap tahun memproduksi energi sebesar 10.306 kWh.

Hasil perbandingan yang diperoleh antara hasil simulasi kedua skenario dengan data kondisi riil pada PLTS Kantor Desa Padangsambian Kaja selama kurun waktu 3 bulan (Mei – Juli 2021) diperoleh selisih sebesar 180,9 kWh dengan persentase 6,1% untuk skenario 1, dan sebesar 301,4 kWh dengan persentase 9,8% untuk skenario 2. Perbedaan produksi energi antara hasil simulasi dengan data kondisi riil diakibatkan oleh faktor cuaca, sudut kemiringan modul surya, dan bayangan (*shading*).

Penerapan PLTS pada Bulan Mei 2021 mampu mengurangi penggunaan energi dari PLN pada Kantor Desa Padangsambian Kaja. Rata-rata penggunaan kWh dalam kurun waktu 3 bulan sebelum diterapkan PLTS (tahun 2020) sebesar 877 kWh dan penggunaan kWh setelah diterapkannya PLTS (tahun 2021) sebesar 354 kWh, dengan kontribusi PLTS di tahun 2021 sebesar 72,1%. Serta setelah diterapkannya PLTS biaya pembayaran rekening listrik dirasakan menjadi lebih hemat, di mana total pembayaran selama kurun waktu 3 bulan

sebelum diterapkannya PLTS (tahun 2020) dan setelah diterapkannya PLTS (tahun 2021) masing-masing sebesar Rp.3.885.882 dan Rp.1.342.404, sehingga penghematan yang diperoleh sebesar Rp.2.543.478 dengan selisih persentase sebesar 34,5%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014. Kebijakan Energi Nasional (KEN). Jakarta.
- [2] PT. PLN (Persero). 2019. Statistik PT PLN (Persero) Tahun 2019. Jakarta.
- [3] Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019. Bali Energi Bersih. Bali.
- [4] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2017. Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. Jakarta.
- [5] ABB, 2010. *Technical Application Paper No. 10 Photovoltaic Plants*. s.l.:s.n.
- [6] Florida Solar Energy Center. 2011. *Types of PV System*. [Online] Available at: http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/types_of_pv.htm [Accessed 27 Februari 2021].
- [7] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2019. Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Jakarta.
- [8] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 16 Tahun 2019. Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Jakarta.
- [9] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018. Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Jakarta.
- [10] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia. Jakarta: KESDM.
- [11] I. A. Setiawan, I. S. Kumara, and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1.2014, 2014.
- [12] British Standard, BS EN 61724:1998 IEC 61724:1998. *Photovoltaic system performance monitoring-Guidelines for measurement, data exchange and analysis, 1998, BSI, 1999*.
- [13] Vidyanandan, K.V., 2017. An Overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems. *Energy Scan A house journal of Corporate Planning*, NTPC Ltd., issue 27: 2-8.
- [14] Umar, N., Bora, B., Banerjee, C., Panwar, B. S., 2018. Comparison of Different PV Power Simulation Softwares: Case Study on Performance Analysis of 1 MW Grid-Connected PV Solar Power Plant. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(7): 11-24.