

ANALISIS SISTEM KELISTRIKAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ON-GRID KAPASITAS 25 KWP DI BADAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAERAH (BAPPEDA) PROVINSI BALI

I Kadek Juniarta¹, I Nyoman Setiawan², Ida Ayu Dwi Giriantari³

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

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

Jln.Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec.Kuta Selatan, Kab.Badung, Prov.Bali, 80361

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

ABSTRAK

Pada tahun anggaran 2020, Kementerian ESDM Republik Indonesia memberikan hibah PLTS *On-Grid* kepada Provinsi Bali sebanyak 10 titik lokasi PLTS di Kota Denpasar. Salah satunya berada di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Provinsi Bali dengan kapasitas terpasang sebesar 25 kWp yang terhubung dengan jaringan PLN. BAPPEDA Bali adalah salah satu contoh Program Pengembangan EBT dan Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) yang mendukung sektor penggunaan PLTS. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem kelistrikan PLTS serta mensimulasikan hasil produksi PLTS menggunakan *software Helioscope* sehingga dapat membandingkan antara hasil produksi simulasi 2 skenario dengan kondisi riil untuk mengetahui tingkat efektivitas dalam penghematan tagihan listrik dan faktor yang mempengaruhi dari hasil produksi energi PLTS. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa potensi energi listrik yang dihasilkan selama setahun dari simulasi Skenario 1 dengan Skenario 2 yaitu sebesar 38,90MWh dan 39,07MWh. Diketahui hasil produksi energi riil dari bulan Juli s.d Desember 2021 sebesar 18.083 kWh dengan hasil simulasi skenario 1 dengan skenario 2 dari bulan Juli s.d Desember 2021 yaitu sebesar 19.810 kWh dan 20.015 kWh. Selisih produksi energi riil dengan hasil simulasi pada skenario 1 dan skenario 2 yaitu sebesar 1.727kWh dengan persentase 8,72%, dan sebesar 1.931kWh dengan persentase 9,65%. Persentase penghematan yang diperoleh selama 6 bulan di tahun 2021 dibandingkan 6 bulan di tahun 2020 yaitu sebesar 56,42% dengan nilai penghematan sebesar Rp.18.783.953.

Kata Kunci: Hasil Produksi Energi, Energi Terbarukan, Unjuk Kerja PLTS *On-Grid*

ABSTRACT

In the 2020 fiscal year, the Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia provided PLTS On-Grid grants to the Province of Bali as many as 10 PLTS locations in Denpasar City. One of them is in the Regional Development Planning Agency (BAPPEDA) of Bali Province with an installed capacity of 25 kWp which is connected to the PLN network. BAPPEDA Bali is an example of the NRE Development Program and the Regional Medium-Term Development (RPJMD) that supports the PV mini-grid sector. This research was conducted to determine the performance of the PLTS electrical system and to simulate the results of PLTS production using Helioscope software so that it can compare the simulation results of 2 scenarios with real conditions to determine the level of effectiveness in saving electricity bills and the factors that influence the results of PLTS energy production. The results showed that the potential for electrical energy generated for a year from the simulation of Scenario 1 and Scenario 2 was 38.90MWh and 39.07MWh. It is known that the real energy production from July to December 2021 is 18,083 kWh with the simulation results of scenario 1 and scenario 2 from July to December 2021 which are 19,810 kWh and 20,015 kWh. The difference between real energy production and the simulation results in scenario 1 and scenario 2 is 1,727kWh with a percentage of 8.72%, and 1,931kWh with a percentage of 9.65%. The percentage of savings obtained for 6 months in 2021 compared to 6 months in 2020 is 56.42% with a saving value of Rp. 18,783,953.

Key Words : Energy Production Results, Renewable Energy, On-Grid PLTS Performance

1. PENDAHULUAN

Energi berperan bagi pembangunan nasional. Pesatnya pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang mengakibatkan tingginya permintaan energi dan ketergantungan terhadap penggunaan Sumber Daya Alam artinya, ketimpangan besar akan terus muncul antara bahan bakar fosil dan pasokan dari permintaan energi di tingkat nasional [1].

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), target bauran konservasi energi terbarukan pada tahun 2025 memiliki target Energi Baru Terbarukan paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% sepanjang keekonomiannya terpenuhi [2]. Kebijakan lintas sektoral yang mencerminkan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 sebagai dasar lahirnya Program Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang merepresentasikan kebijakan pengelolaan energi pemerintah di tingkat nasional, termasuk penyusunan dan rencana pelaksanaan energi nasional. [3].

Berdasarkan data RUEN tahun 2021 menyatakan besarnya potensi EBT yang dimiliki Indonesia diantaranya, panas bumi sebesar 29,5 GW, air sebesar 75 GW, mini/mikrohidro sebesar 19 GW, bioenergi sebesar 32,7 GW, energi surya 207,9 GW, dan energi angin 60,6 GW [4]. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dewan Energi Nasional (DEN), potensi energi surya Indonesia rata-rata 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp [5] Dengan potensi yang besar tersebut, sudah seyakinya memulai memprioritaskan pengembangan PLTS sebagai Energi Baru Terbarukan (EBT) dan sebaran EBT lainnya.

Melihat situasi tersebut, pemerintah menindaklanjuti Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 2 Tahun 2018 dan Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Atap gedung untuk PLTS kepada pelanggan PT.PLN yang tertarik untuk menghemat tagihan listrik setiap bulannya [6]. Bali merupakan salah

satu daerah terdepan dalam pengembangan Energi Bersih, Hal ini tercermin dalam Pergub No 45 Tahun 2019 tentang Energi Bersih Ramah Lingkungan [7]. Melalui Surat Edaran Gubernur Bali Nomor 5 tahun 2022 yang mendukung penggunaan PLTS Atap paling sedikit 20% pada Pemprov dan Pemda Provinsi Bali dan Menurut RUEN, target Provinsi Bali adalah mengembangkan PLTS sebesar 8,62%, yaitu 108,2 MW dari total potensi 1.254 MW [8].

Pada tahun anggaran 2020, Kementerian ESDM RI memberikan hibah PLTS *On-Grid* kepada Provinsi Bali sebanyak 10 titik lokasi PLTS di Kota Denpasar. Salah satunya berada di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Provinsi Bali dengan kapasitas terpasang sebesar 25 kWp dengan terhubung dengan jaringan PLN dengan daya 41,5 kVA. BAPPEDA Provinsi Bali sebagai contoh bagi OPD lainnya untuk pengembangan peraturan EBT seperti Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) dalam mendukung penggunaan PLTS. Proses pemasangan PLTS atap dimulai pada Bulan Oktober 2020, dan proses *commissioning* dilakukan pada tanggal 15 Desember 2020 dan pada bulan Juni 2021 kWh EXIM sudah terpasang. Oleh karena itu, perlu diketahui berapa efektifitas dalam penghematan energi listrik setelah pemasangan PLTS..

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis melakukan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana sisyem kerja dari kelistrikan PLTS 25 kWp BAPPEDA Provinsi Bali serta mengetahui faktor yang mempengaruhi dari hasil produksi energi PLTS. Pada penelitian ini menggunakan data *logger* monitoring dari inverter selama kurun waktu Juli 2021 s.d Desember 2021. Selain itu penelitian ini mensimulasikan hasil produksi PLTS menggunakan *software Helioscope* untuk mendapatkan acuan dari produksi energi PLTS yang dihasilkan simulasi dan membandingkan dengan produksi energi kondisi riil dari PLTS untuk mengetahui tingkat efektifitas

dalam penghematan tagihan listrik di Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah salah satu pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari (*solar radiation*) yang mengenai sel surya, maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Dalam kondisi sinar matahari tropis dan khatulistiwa Indonesia, PLTS merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik yang potensial diterapkan.

Sistem PLTS bisa diklasifikasikan dalam beberapa jenis. Berdasarkan pelaksanaan dan konfigurasi, secara generik PLTS bisa dibagi sebagai dua sistem, yaitu sistem PLTS yang terhubung menggunakan jaringan (*on-grid PV system*) dan sistem PLTS yang tidak terhubung ke dalam jaringan (*off-grid PV system*) atau PLTS yang berdiri sendiri (*stand-alone*) [9].

2.2 PLTS Rooftop

PLTS *rooftop* adalah proses suatu pembangkitan tenaga listrik yang menggunakan pemasangan modul surya secara *Roof-mounting*, yang diletakkan di atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLN seperti di atap perumahan, bangunan komersial atau kompleks industri yang terhubung dalam jaringan yang diatur dengan *Feed-in-Tarif* (Fit) [10]. Secara generik PLTS atap memiliki prosedur skema & komponen primer misalnya dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema PLTS Rooftop

Skema dari sistem PLTS *Rooftop* dimulai dari modul surya mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik sehingga dapat menghasilkan arus listrik searah (DC) dan mengubahnya menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan menggunakan komponen inverter, kemudian terhubung ke jaringan listrik rumah melalui panel hubung bagi (PHB) menuju beban elektronik rumah, Penggunaan kWh meter ekspor impor (exim) menggunakan sistem net metering dengan menggunakan pengukuran sistem grid, meteran exim membaca ekspor energi dari pelanggan PLTS ke jaringan PLN dan impor energi dari jaringan PLN ke pelanggan PLTS.

2.3 Hasil akhir (Y_F)

Hasil akhir atau *final yield* (Y_F) adalah hasil keluaran energi AC bersih (net) dibagi dengan daya puncak pada *PV array* dengan kondisi standart pengujian (STC) yang ditetapkan dalam satuan waktu [11].

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

Dengan:

E_{PV} : Energi bersih (kWh_{AC})
 P_o : Daya puncak PV (kWp_{DC})

2.4 Faktor Kapasitas (CF)

Faktor kapasitas atau *Cafacity Faktor* adalah keluaran rasio energi aktual yang diperoleh dalam periode satu tahun, jika beroperasi selama setahun dengan kondisi optimal (24 jam selama setahun) [11].

$$CF = \frac{YF}{8760} = \frac{E_{PV}}{P_o \cdot 8760} = \frac{HT.PR}{P_o \cdot 8760} \quad (2)$$

2.5 Analisis Kelayakan Investasi

Tujuan dari menganalisis kelayakan investasi adalah, untuk mengetahui kelayakan dari suatu proyek. Analisis dikatakan layak jika proyek mampu memberikan manfaat dengan biaya yang dikeluarkan secara optimal.

a. Net Present Value (NPV)

Nilai *Net Present Value* ditentukan dari mengalikan total arus kas bersih dengan faktor diskonto setiap tahunnya dikurangi Investasi Awal. Proyek bisa dikatakan layak jika nilai ($NPV > 0$) [12]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - \text{Initial Investment}$$

b. Profitability Index

Profitability Index merupakan keuntungan pelaksanaan proyek yang diperoleh kurun waktu umur proyek serta dikatakan layak jika $(PI > 1)$. [12]

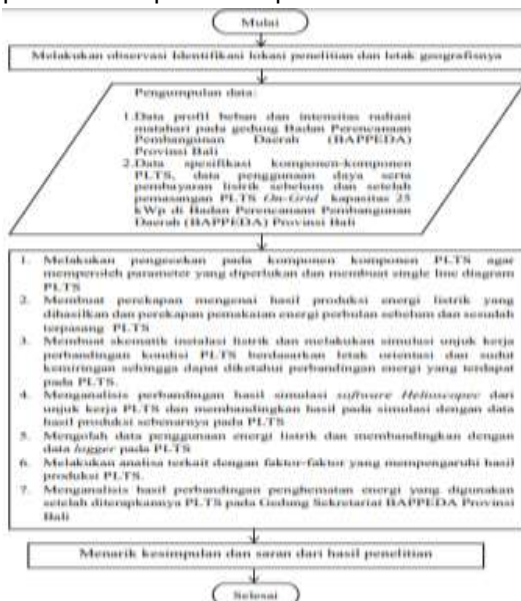
$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t(1+i)^{-t}}{\text{initial investment}}$$

c. *Discounted Payback Period*

Discounted Payback Period adalah pengembalian uang *Initial Investment* dalam periode waktu yang dihitung menggunakan *discount factor*. DPP diperoleh dari menghitung lama nilai arus kas bersih hingga setara dengan *Initial Investment*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Provinsi Bali di Jl. Cok Agung Tresna, Sumerta Kelod, Kecamatan. Denpasar Timur, Kota Denpasar, Bali. Waktu penelitian dimulai dari bulan Juli hingga Desember 2021. Sumber data yang dipakai pada penelitian ini berupa data catatan AMR PLN, data monitoring *logger* pada aplikasi *Shinephone*, data-data spesifikasi komponen dan panel pendukung PLTS, melakukan observasi lokasi penempatan PLTS dan peralatan pendukung PLTS, jurnal, buku kontrol, data rekening pembayaran listrik dari PLN dan beberapa *literature* lainnya. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Kantor BAPPEDA Provinsi Bali

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Provinsi Bali merupakan salah satu titik lokasi hibah PLTS *on-grid* melalui Kementerian ESDM RI yang terletak di Jl. Cok Agung Tresna, Sumerta Kelod, Kec. Denpasar Timur, Kota Denpasar, Bali dengan kapasitas daya yang terpasang sebesar 25 kWp. Berdasarkan hasil tinjauan pada Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali memiliki luas area bangunan sebesar 1.024 m² dengan total daya PLN yang terpasang yaitu sebesar 41,5 kVA. Kantor Bappeda Provinsi Bali beroperasi saat hari kerja Senin-Jumat pukul 8.30-16.00 WITA.

4.2 Konsumsi Energi Listrik dan Rekening Pembayaran Listrik

Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali termasuk dalam keperluan Kantor Pemerintah dan Penerangan Jalan Umum. Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali memiliki daya gedung sebesar 41,5 kVA sehingga dikategorikan pada golongan tarif P-1/TR dengan biaya per kWh sebesar Rp. 1.447,70. Data rekening pembayaran listrik 6 bulan sebelum pemasangan PLTS hingga 6 bulan sesudah pemasangan PLTS dengan nomor ID pelanggan 551000691171 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Tagihan Konsumsi Energi Listrik

Bulan Pengguna	Konsumsi Energi Listrik Sebelum PLTS 2020 (kWh)	Pembayaran Energi Listrik Tahun 2020 (Rp)	Konsumsi Energi Listrik Sesudah PLTS 2021 (kWh)	Pembayaran Energi Listrik Tahun 2021 (Rp)
Juli	3.786	5.470.151	1.660	2.398.202
Agustus	3.347	4.834.818	1.660	2.398.202
September	3.483	5.031.434	1.660	2.398.202
Oktober	4.000	5.778.132	1.660	2.398.202
November	4.563	6.592.387	1.660	2.398.202
Desember	3.866	5.584.708	1.742	2.516.667
Total	23.044	33.291.630	10.042	14.507.677

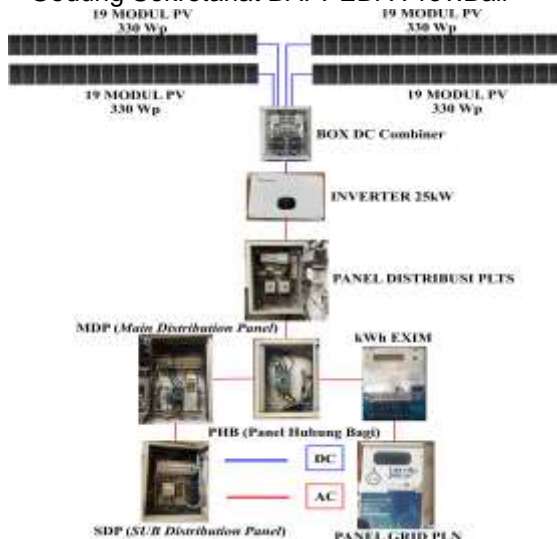
Sumber: *Automatic Meter Reading* PT. PLN UP3 Bali Selatan

4.3 Kondisi PLTS *Rooftop* 25 kWp *On-Grid* di Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali

Proses pemasangan PLTS atap *On-Grid* 25 kWp dimulai pada bulan Oktober 2020, dan proses *commissioning* dilakukan pada tanggal 15 Desember 2020 dengan koordinat $-8^{\circ} 66' 78.626''$ LS (*latitude*), $115^{\circ} 23' 61.672''$ BT (*longitude*). Instalasi kWh meter ekspor *import* (EXIM) pada tanggal 28 Juni 2021, sudah terpasang beserta sistem monitoring untuk mengetahui produksi energi listrik pada PLTS atap tersebut. PLTS terpasang pada bagian sisi utara atap dengan orientasi pada modul surya menghadap ke utara dari atap gedung Sekretariat. Kondisi rill *rooftop* Gedung Sekretariat BAPPEDA mempunyai sudut kemiringan atap sebesar $22,07^{\circ}$ dan sudut optimum kemiringan modul sebesar $14,79^{\circ}$. Berikut menunjukkan orientasi PLTS *Rooftop* 25kWp yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Orientasi PLTS *Rooftop* 25kWp Gedung Sekretariat BAPPEDA Prov.Bali



Gambar 4. Skema PLTS *Rooftop* 25kWp Gedung Sekretariat BAPPEDA Prov.Bali

Berdasarkan skema PLTS pada Gambar 4, diketahui PLTS *Rooftop* 25kWp terdiri dari 76 modul surya yang dibagi menjadi dari 4 string dengan jumlah modul

persetiap string sebanyak 19 modul surya yang dihubungkan secara seri, modul surya akan menghasilkan energi listrik arus DC. Kemudian tegangan dikonversikan pada inverter menjadi arus bolak-balik (AC) 3 fasa 5 kawat dengan kapasitas inverter 25kW. selanjutnya dihubungkan ke Panel Distribusi PLTS untuk dihubungkan menuju PHB (Panel Hubung Bagi) untuk disalurkan ke Panel gedung. Jika terjadi produksi energi berlebih maka energi akan diekspor ke jaringan PLN melalui catatan kWh meter ekspor-*import*. Sebaliknya jika produksi PLTS rendah maka akan mendapatkan suplai dari jaringan PLN.

4.4 Hasil Simulasi Pada *Helioscope*

Berikut merupakan bagian dari hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software Helioscope*. Terdapat 2 skenario dalam simulasi PLTS 25 kWp Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali. Skenario 1 menggunakan sudut sesuai kemiringan atap gedung sekretariat yaitu $22,07^{\circ}$ dan skenario 2 yakni menggunakan sudut optimal modul yakni $14,79^{\circ}$, yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. *Simulation Monthly Energy Potential PLTS On-Grid 25 kWp Skenario 1*

Bulan	GHI (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Energy (kWh)
January	137,6	2.914,7	2.488
February	139,1	3.078,4	2.591,6
March	157	3.697,4	3.071,3
April	163,7	4.189,8	3.429,6
May	168,9	4.708	3.844,7
June	154,2	4.431,4	3.666,7
July	163,8	4.637,7	3.857,2
August	168,3	4.474,1	3.693
September	169,8	4.113,8	3.391,4
October	184,5	4.138,1	3.421,3
November	154,1	3.247,9	2.745
December	151,8	3.157,7	2.702,9

Tabel 3. *Simulation Monthly Energy Potential PLTS On-Grid 25 kWp Skenario 2*

Bulan	GHI (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Energy (kWh)
January	137,6	3.069	2.703,9
February	139,1	3.196,1	2.800,4
March	157	3.762	3.315,5
April	163,7	4.154,7	3.602,5
May	168,9	4.547,1	3.729,1

June	154,2	4.239,5	3.725,7
July	163,8	4.456,4	3.721,8
August	168,3	4.385,8	3.627,4
September	169,8	4.155,1	3.417,1
October	184,5	4.287,6	3.525,6
November	154,1	3.428,9	2.878
December	151,8	3.345,1	2.845,2

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa pada kolom pertama, GHI (*Global Horizontal Irradiation*) adalah iradiasi total yang akan jatuh pada bidang modul PV. Kolom kedua adalah tabel *namplate* yang merupakan potensi daya maksimum yang didapatkan modul PV, yang didefinisikan menjadi total iradiasi penerima dikalikan daya yang tertera pada papan nama/spesifikasi komponen. Kolom ketiga merupakan *energy*, yang merupakan total keluaran daya AC sehabis menghitung rugi-rugi kabel AC pada titik sambungan. Selain itu, berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, juga dapat dilihat bahwa *monthly energy production* di kolom papan *namplate* lebih besar dari kolom *energy*. Hal ini terjadi karena hasil simulasi pada kolom *nameplate* telah mengabaikan faktor losses.

4.5 Perbandingan Produksi Energi Hasil Simulasi Dengan Produksi Energi Riil PLTS On-Grid 25 kWp

Perbandingan antara pembangkitan listrik dari hasil simulasi dan kondisi aktual pembangkitan dari PLTS *On-Grid* 25 kWp Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali akan dilakukan dengan menggunakan data hasil produksi energi listrik yang terjadi selama kurun waktu 6 bulan dari bulan Juni 2021 hingga bulan Desember 2021. Hasil simulasi yang dibandingkan dengan kondisi riil adalah hasil dari simulasi skenario 1 dan skenario 2.

Tabel 4. Perbandingan *Simulation Result Energy Production* Skenario 1 dengan Kondisi Riil

No	Bulan	Simulation Skenario 1 (kWh)	Riil (kWh)	Selisih (kWh)	Persentase (%)
1	Juli	3.857,2	2.903,2	954	24,73
2	Agustus	3.693,0	3.341,1	351,9	9,53
3	September	3.391,4	3.301,4	90	2,65
4	Oktober	3.421,3	3.296,1	125,2	3,66
5	November	2.745	2.612,5	132,5	4,83

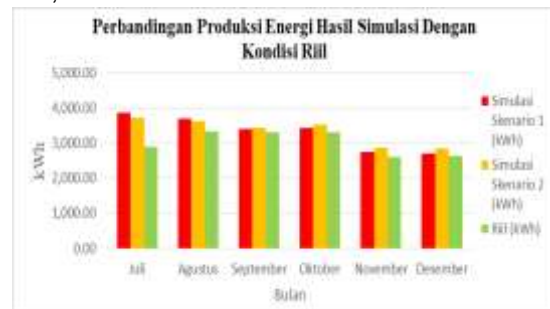
6	Desember	2.702,9	2.629,1	73,8	2,73
Total		19.810,8	18.083,4	1.727,4	8,72

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa total produksi energi PLTS selama 6 bulan pada kondisi simulasi skenario 1 sebesar 19.810,8 kWh, sedangkan total produksi energi pada kondisi riil atau aktual selama 6 bulan adalah 18.083,4 kWh dengan persentase selisih sebesar 8,72%. Perbandingan produksi energi pada kondisi riil atau aktual dengan hasil simulasi skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan *Simulation Result Energy Production* Skenario 2 dengan Kondisi Riil

No	Bulan	Simulation Skenario 2 (kWh)	Riil (kWh)	Selisih (kWh)	Persentase (%)
1	Juli	3.721,8	2.903,2	818,6	21,99
2	Agustus	3.627,4	3.341,1	286,3	7,89
3	September	3.417,1	3.301,4	115,7	3,39
4	Oktober	3.525,6	3.296,1	229,5	6,51
5	November	2.878	2.612,5	265,5	9,23
6	Desember	2.845,2	2.629,1	216,1	7,60
Total		20.015	18.083	1.931,7	9,65

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa total produksi energi PLTS selama 6 bulan pada simulasi skenario 2 sebesar 20.015 kWh, sedangkan total produksi energi pada kondisi riil selama 6 bulan adalah 18.083 kWh dengan selisih sebesar 9,65%.



Gambar 5. Perbandingan Produksi Energi Hasil Simulasi Dengan Kondisi Riil

Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa terdapat perbedaan antara hasil produksi energi pada kondisi riil dengan hasil simulasi kedua skenario. Hasil produksi energi pada simulasi kedua skenario cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan produksi energi riil, hal ini disebabkan karena bulan Juli 2021 terjadi *disconnecting* antara inverter dengan

aplikasi *shine phone* yang merupakan *software* untuk memonitoring hasil produksi energi dari PLTS sehingga menjadikan produksi PLTS akan di rata-ratakan.

Selain itu, perbedaan produksi energi antara hasil simulasi dengan data kondisi aktual diakibatkan adanya faktor kondisional cuaca, sudut kemiringan modul surya, dan bayangan (*shading*). Data cuaca pada simulasi menggunakan data cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY *weather* (*Typical Meteorological Year*), sedangkan data energi riil menggunakan data cuaca tahun 2021.

Tabel 6. Hasil Akhir dan *Capacity Factor* PLTS *On-Grid* 25 kWp

Bulan (2021)	Hasil Akhir (YF)			Capasitas Faktor (CF)		
	Kondisi aktual (h/d)	Sudut 22,07° (h/d)	Sudut 14,79° (h/d)	Kondisi Aktual (%)	Sudut 22,07° (%)	Sudut 14,79° (%)
Juli	3,75	4,98	4,80	15,63	20,74	20,01
Agustus	4,31	4,77	4,68	17,96	19,85	19,5
September	4,40	4,52	4,56	18,33	18,84	18,98
Oktober	4,25	4,41	4,55	17,71	18,4	18,95
November	3,48	3,66	3,84	14,50	15,25	15,99
Desember	3,39	3,49	3,67	14,13	14,53	15,3
Total	3,93	4,30	4,35	16,37	17,94	18,12

Diketahui pada Tabel 6 bahwa *final yield* yang dihasilkan pada kondisi riil lebih kecil dibandingkan pada hasil simulasi, hal ini dikarenakan hasil produksi energi pada kondisi riil yang kurang optimum dan faktor sudut kemiringan modul yang kurang optimal berpengaruh terhadap rendahnya nilai *final yield*.

Diketahui bahwa *capacity factor* yang dihasilkan pada kondisi riil lebih kecil dibandingkan pada hasil simulasi yang mendekati kondisi optimum aktual sebesar 18%, rata-rata *final yield* yang tidak optimum dan faktor sudut kemiringan modul yang kurang optimal berpengaruh terhadap rendahnya persentase *capacity factor*

4.6 Penghematan Pembayaran Listrik Gedung BAPPEDA Provinsi Bali

Tabel 7. Pembayaran *E-Bill* Listrik (Rp) Sebelum dan Sesudah Terinstalnya PLTS

Bulan	Tahun 2020 (Rp)	Tahun 2021 (Rp)	Penghematan (Rp)	Persentase (%)
Juli	5.470.151	2.398.202	3.071.949	56,16
Agustus	4.834.818	2.398.202	2.436.616	50,40
September	5.031.434	2.398.202	2.633.232	52,34
Oktober	5.778.132	2.398.202	3.379.930	58,50
November	6.592.387	2.398.202	4.194.185	63,62
Desember	5.584.708	2.516.667	3.068.041	54,94
Total	33.291.630	14.507.677	18.783.953	56,42

Sumber : PT. PLN UP3 Bali Selatan

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat total pembayaran selama kurun waktu 6 bulan sebelum terinstalnya PLTS 25 kWp pada tahun 2020 dan setelah terinstalnya PLTS 25 kWp pada tahun 2021 masing-masing sebesar Rp.33.291.630 dan Rp. 14.507,677, sehingga penghematan yang mampu diberikan oleh PLTS sebesar Rp.18.783.953 dengan persentase sebesar 56,42%.



Gambar 6. Pembayaran rekening listrik sebelum dan sesudah pemanfaatan PLTS

4.7 Analisis Perhitungan Biaya Investasi

Biaya investasi awal merupakan total biaya yang dibutuhkan untuk melakukan pemasangan PLTS Atap pada Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali. Melalui pengembang PT Len Industri mengukaskan PT Surya Energi Indotama (SEI) sebagai vendor pemasangan PLTS didapatkan rincian harga untuk kategori material utama terdiri dari modul surya, sistem PV inverter, *controller* dan *mounting system*, distribusi daya & *grounding* sistem PLTS, peralatan kerja dan peralatan keselamatan kerja dan papan nama PLTS dengan total biaya sebesar Rp. 255.795.000. Sedangkan untuk kategori jasa dan layanan terdiri dari *setting-out* / persiapan lokasi, jasa instalasi PLTS, pengiriman barang, ULO dan SLO

dan pelatihan sosialisasi dengan total biaya sebesar Rp. 114.420.000. Berdasarkan daftar harga tersebut dapat diketahui total harga keseluruhan Rp. 370.215.000

4.7.1 Analisis Perhitungan Ekonomi

Analisis perhitungan tagihan energi mengacu pada PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018. PLTS rooftop 25kWp di Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali menggunakan daya yang tersambung pada PLN sebesar 41,5 kVA sehingga dapat dikategorikan pada golongan pemerintahan B-2/TR dengan biaya Rp 1.114,70/kWh.

Tabel 8. Perhitungan Penghematan Penggunaan kWh EXIM

Bulan	Stand kWh EXIM			Total kWh (untuk ekspor *65%)
	Stand Awal	Stand Akhir	Penggunaan kWh EXIM (S. akhir-S.awal)	
Juli 2021	450	1.491	1.041	676
Agustus 2021	1.491	3.339	1.847	1.201
September 2021	3.339	4.703	1.364	887
Oktober 2021	4.703	6.053	1.350	878
November 2021	6.053	6.818	764	497
Desember 2021	6.818	7.587	769	500

Tabel 9. Perhitungan Penghematan Tagihan Listrik Tahun 2020 & Tahun 2021

Bulan	Tanpa PLTS tahun 2020		Dengan PLTS tahun 2021		Selisih	
	Konsumsi Energi (kWh)	Biaya (Rp)	Konsumsi Energi (kWh)	Biaya (Rp)	Konsumsi Energi (kWh)	Biaya (Rp)
Juli	3.786	5.470.151	1.660	2.398.202	2.126	3.071.949
Agustus	3.347	4.834.818	1.660	2.398.202	1.687	2.436.616
September	3.483	5.031.434	1.660	2.398.202	1.823	2.633.232
Oktober	4.000	5.778.132	1.660	2.398.202	2.340	3.379.930
November	4.563	6.592.387	1.660	2.398.202	2.903	4.194.185
Desember	3.860	5.584.708	1.742	2.516.607	2.118	3.068.041
Total	23.044	33.291.630	10.042	14.507.677	13.002	18.783.953

Sumber : PT. PLN UP3 Bali Selatan

Berdasarkan Tabel 8 Total energi yang dapat diekspor ke jaringan PLN selama 6 bulan yaitu sebesar 3.439,2 kWh. didapatkan harga jual energi listrik selama 6 bulan di Gedung Sekretariat BAPPEDA sebesar Rp 4.968.613, dengan total per tahunnya yaitu Rp 9.937.227. Diketahui Tabel 9 dapat dilihat bahwa energi yang terpakai selama 6 bulan sebelum adanya PLTS sebesar 23.044 kWh dengan menggunakan sistem PLTS atap, total energi listrik yang dihasilkan selama 6 bulan sebesar 10.042 kWh. Di dapatkan selisih energi sebesar 13.002 kWh serta biaya penghematan energi listrik pada

Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali selama 6 bulan yaitu sebesar Rp 18.783.953. Pada penelitian ini menggunakan asumsi data pembayaran selama satu tahun dengan menggunakan pembayaran selama 6 bulan dikalikan dua yaitu sebesar Rp 37.567.906 yang digunakan dalam perhitungan analisa hasil kelayakan investasi.

4.7.2 Analisis Kelayakan Investasi

Besar biaya operasional dan pemeliharaan per tahun (OP) untuk PLTS Atap pada Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali dapat dihitung sebagai berikut.

$$OP = 1\% \times \text{Investasi Awal}$$

$$OP = 1\% \times \text{Rp } 370.215.000$$

$$OP = \text{Rp } 3.702.150 \text{ per tahun}$$

Menentukan Net Cash Flow atau nilai arus bersih adalah dengan menghitung arus kas masuk berupa penghematan tagihan listrik pertahun yang dikurangi arus kas keluar adalah biaya operasional dan pemeliharaan.

$$NCF = \text{Arus kas masuk} - \text{Arus kas keluar}$$

$$NCF = \text{Rp } 37.567.906 - \text{Rp } 3.702.150$$

$$NCF = \text{Rp } 33.865.756$$

Dengan tingkat diskonto (i) yang digunakan sebesar 3,5%, nilai ini diambil berdasarkan data uang beredar Bank Indonesia pertanggal 17 Maret 2022. Perhitungan untuk menentukan tingkat diskonto tahun ke n adalah sebagai berikut.

$$DF = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

Perhitungan faktor diskonto pada tahun pertama sebagai berikut:

$$DF_{Tahun ke 1} = \frac{1}{(1 + 3,5)^1}$$

$$DF_{Tahun ke 1} = 0,97$$

R_{PW} adalah biaya pergantian dari inverter yang memiliki *life-time* selama 10 tahun sehingga perlu dilakukan pergantian inverter setelah 10 tahun pemakaian. Harga inverter akan mengalami penurunan setiap tahunnya sesuai dengan faktor diskonto yang telah dihitung sebagai berikut.

$$R_{PW} = F \times DF$$

$$R_{PW \text{ tahun ke } 11} = 26.500.000 \times \frac{1}{(1 + 3,5)^{11}}$$

$$R_{PW \text{ tahun ke } 11} = 18.020.000$$

PVNCF (*Present Value Net Cash Flow*) merupakan nilai arus kas bersih saat ini. Perhitungan PVNCF disesuaikan dengan *life-time* modul surya merk Len Solar yaitu selama 25 tahun. Nilai arus kas bersih dari penghematan rupiah setiap tahunnya mengalami penurunan daya karena kinerja modul surya pada tahun pertama sebesar 2% dan 0,55% pada tahun berikutnya. Penurunan daya *output* modul PV berpengaruh terhadap jumlah produksi energi PLTS sehingga penghematan biaya setiap tahunnya akan menurun. Dalam hal ini penurunan penghematan rupiah diasumsikan sama dengan penurunan *output* modul surya.

Tabel 10. Perhitungan PVNCF dan Kumulatif PVNCF

Tahun	Arus Kas Bersih (NCF)	Inverter	Faktor Diskonto	PVNCF	Kumulatif PVNCF
1	33.865.736	-	0,97	32.849.783	32.849.783
2	33.114.398	-	0,93	30.796.390	63.646.173
3	32.363.774	-	0,90	29.616.997	93.263.170
4	32.701.151	-	0,87	28.490.001	121.753.171
5	32.484.527	-	0,84	27.295.403	149.008.574
6	32.267.904	-	0,81	26.155.202	175.161.776
7	32.051.280	-	0,79	25.044.211	200.505.988
8	31.834.657	-	0,76	24.024.739	224.750.727
9	31.618.033	-	0,73	23.117.604	247.868.331
10	31.401.410	-	0,71	22.337.601	270.185.932
11	31.254.787	18.020.000	0,68	8.999.655	279.185.647
12	31.048.163	-	0,66	20.491.788	299.677.435
13	30.841.540	-	0,64	19.738.586	319.416.020
14	30.634.916	-	0,62	18.993.648	338.409.668
15	30.428.293	-	0,60	18.256.976	356.666.644
16	30.221.669	-	0,58	17.528.568	374.195.212
17	30.015.046	-	0,56	16.808.426	391.003.638
18	29.808.422	-	0,54	16.096.548	407.100.186
19	29.601.799	-	0,52	15.392.935	422.493.121
20	29.395.175	-	0,50	14.697.588	437.190.709
21	29.188.552	12.985.000	0,49	7.839.740	445.130.449
22	28.981.928	-	0,47	13.621.506	458.751.955
23	28.775.305	-	0,45	12.948.887	471.700.843
24	28.568.681	-	0,44	12.570.220	484.271.062
25	28.362.058	-	0,42	11.912.064	496.183.127
Total		31.005.000		496.183.127	

Net Present Value (NPV) didapatkan dari dapat dihitung dengan total arus kas bersih dikalikan faktor diskonto tiap tahunnya dikurangi Initial Investment, nilai NPV dikatakan layak jika lebih besar dari nol (NPV > 0), diperhitungkan sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - Initial Investment$$

$$NPV = Rp. 496.183.127 - Rp 370.215.000$$

$$NPV = Rp. 125.988.127$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai NPV investasi sistem PLTS atap di Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali layak untuk dilaksanakan. Nilai *Profitability Index*

Investasi PLTS dapat dikatakan layak jika nilai lebih besar dari satu (PI > 1)

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t (1+i)^t}{Initial Investment}}{Rp. 496.183.127}$$

$$PI = \frac{Rp. 370.215.000}{Rp. 370.215.000}$$

$$PI = 1,34$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai PI pada sistem PLTS atap di Gedung Sekretariat BAPPEDA Provinsi Bali sebesar 1,34 (PI > 1), sehingga investasi PLTS yang di rancang layak untuk dilaksanakan. Nilai *Discounted Payback Period* diperoleh dengan menghitung lama waktu agar nilai PVNCF akan sama atau lebih besar dari nilai investasi. Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui biaya awal yang dibutuhkan untuk modal investasi PLTS 25 kWp yaitu sebesar Rp. 370.215.000, waktu yang dibutuhkan untuk menutupi investasi awal pada tahun ke-16 dengan kumulatif PVNCF sebesar Rp. 374.195.212.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

PLTS *On-Grid* 25 kWp mulai aktif beroperasi dengan baik pada 28 Juni 2021 setelah dilakukannya Uji Laik Operasi (ULO) dan pemasangan kWh Meter Eksim oleh PLN. PLTS *On-Grid* 25 kWp ini diperuntukan untuk melayani Gedung Sekretariat BAPPEDA. Komponen PLTS *Rooftop On-Grid* 25 kWp terdiri dari 76 modul PV dengan jenis Len Solar 330 Wp, Box DC Combiner, Inverter *Growatt MID25KTL3-X* 25 kW dengan monitoring *shine WiFi* dan Panel distribusi AC PLTS.

Hasil Simulasi *software Helioscope* PLTS *On-Grid* 25 kWp dipasang menghadap ke arah utara dengan sudut asumsi kemiringan atap sebesar 22,07°, mampu menghasilkan energi potensial sebesar 38,90 MWh pertahun serta pada sudut kemiringan modul PV optimal 14,79° mampu menghasilkan energi potensial sebesar 39,07 MWh pertahun. Perbedaan pembangkitan energi antara hasil simulasi dan data keadaan sebenarnya disebabkan oleh kondisi meteorologi, perbedaan sudut kemiringan modul surya serta data cuaca

pada simulasi menggunakan data cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY *weather*, sedangkan produksi energi aktual menggunakan kondisi cuaca tahun 2021.

Setelah terinstalnya PLTS 25 kWp, terjadi penghematan biaya pembayaran E-Bill listrik yang dikalkulasikan selama 6 bulan, Diketahui total pembayaran selama kurun waktu 6 bulan sebelum diterapkannya PLTS tahun 2020 dan setelah diterapkannya PLTS tahun 2021 masing-masing sebesar Rp. 33.291.630 dan Rp. 14,507,677, sehingga penghematan yang mampu diberikan PLTS sebesar Rp.18.783.953 dengan persentase sebesar 56,42% dan juga setelah melakukan analisis kelayakan investasi menggunakan metode *Net Present Value*, *Profitability Index*, dan *Discounted Payback Period* menunjukkan bahwa investasi PLTS 25 kWp layak untuk dilaksanakan, dengan estimasi modal kembali yaitu selama 16 tahun.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Disnaker ESDM. 2021. Pengembangan sektoral Energi Baru Terbarukan dan Profil Dinas Ketenagakerjaan dan Energi Sumber Daya Mineral Provinsi Bali.
- [2] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014. Kebijakan Energi Nasional (KEN). Jakarta
- [3] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017. Peraturan Presiden (PERPRES) tentang Rencana Umum Energi Nasional. LN. 2017/ No. 43, LL SETNEG : 6 HLM
- [4] Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Tahun 2021.
- [5] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi, (2021) PLTS Atap: Kaya Potensi, Amankan Investasi, Kunci Bauran Energi
- [6] Menteri Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2019. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 13 Tahun 2019 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 49 Tahun 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero).
- [7] Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019. Bali Energi Bersih. Bali.
- [8] Peraturan Surat Edaran Gubernur Bali Nomor 05 Tahun 2022 Tentang Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Di Provinsi Bali
- [9] Sukmajati, Sigit. 2015. Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw On Grid Di Yogyakarta. Jurnal Energi dan Kelistrikan Vol.7 No.1
- [10] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia. Jakarta: KESDM.
- [11] ABB, 2010. *Technical Application Paper No. 10 Photovoltaic Plants*.
- [12] Kashmir & Jakfar, "Studi Kelayakan Bisnis" Edisi Perevisi, Penerbit PT. Desindo Putra Mandiri, Jakarta. 2017.
- [13] Bagas, Maruli Pangaribuan, Ida Ayu Dwi Giriantari, I Wayan Sukerayasa Juni 2020. Desain Plts Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat. Jurnal SPEKTRUM Vol. 7, No.2 90-100
- [14] Gunawan, N. S., Kumara, I. N. S., Irawati, R. 2019. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWp pada Sistem Smart Microgrid UNUD. E-Journal SPEKTRUM, Vol. 6, No. 3, pp. 1-9.
- [15] Janaloka, 2017. Pelaksanaan Net Metering Dengan kWh Meter EXIM.
- [16] 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