

DESAIN PLTS ATAP KAMPUS UNIVERSITAS UDAYANA: GEDUNG REKTORAT

Bagas Maruli Pangaribuan¹, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Wayan Sukerayasa³

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

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

Jl. Raya Kampus Unud No.88, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali 80361

bagasm2101@gmail.com¹, dayu.giriantari@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Pemanfaatan energi baru terbarukan merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kebutuhan listrik yang semakin meningkat, diantaranya adalah PLTS. Pemanfaatan energi surya sudah banyak dilakukan. Salah satunya adalah aplikasi PLTS pada atap gedung perkantoran, sekolah dan rumah tangga yang umumnya disebut PLTS atap. Pemanfaatan PLTS Atap dapat dilakukan di Gedung Rektorat Universitas Udayana karena memiliki potensi PLTS yang mampu sebagai catu daya listrik untuk memenuhi kebutuhan sendiri. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas Desain PLTS Atap Gedung Rektorat Universitas Udayana. Desain PLTS Atap Gedung Rektorat Universitas Udayana akan disimulasikan menggunakan simulator helioscope. Pada sudut optimal $14,66^{\circ}$ modul surya yang dapat dipasang sebanyak 135 buah dan 2 buah inverter 50 kW dengan kapasitas PLTS sebesar 45,5 kWp. Sedangkan, pada sudut kemiringan atap $15,6^{\circ}$ mendapatkan hasil modul surya sebanyak 137 buah dan 2 buah inverter 50 kW dengan kapasitas PLTS sebesar 45,9 kWp. Dalam perhitungan produksi energi listrik yang dihasilkan PLTS dengan simulator HOMER mendapatkan hasil konfigurasi PV dengan Grid mampu menyuplai energi listrik sebesar 304.772 kWh/tahun. PV mampu menyuplai sebesar 61.217 kWh/tahun dan Grid menyuplai energi listrik sebesar 243.555 kWh/tahun. Berdasarkan hasil desain PLTS Atap dan hasil perhitungan produksi energi listrik kemudian dapat dianalisis nilai ekonomi hasil simulator HOMER dengan ketentuan biaya jual energi listrik PLTS ke PLN sebesar Rp. 883/kWh. Berdasarkan hasil analisis dapat dikatakan PLTS atap layak dirancang karena mampu mengembalikan biaya investasi awal PLTS Atap Gedung Rektorat Universitas Udayana.

Kata kunci :PLTS Atap, Helioscope, HOMER, Analisis Ekonomi

ABSTRACT

Utilization of renewable energy is a solution to overcome electricity demand, including PV. PV rooftop can be applied in every building, where solar modules can be placed on the roof buildings. It also can be done in the University of Udayana Rectorate building because the roof has the potential of PV and capable of being a power supply to meet its own needs. This study will discuss about the design PV rooftop of the Udayana rectorate building. It simulates the helioscope with an optimal angle of 14.66° get the result with solar module as much as 135 units with 2 inverter pieces of 50 kW the capacity of 45.2 kWp PLTS. While with a sloped roof angle of 15.6° get the solar module result as many as 137 units with 2 inverter pieces of 50 kW with PLTS capacity of 45.9 kWp. The calculating production of electric energy produced by PV by simulating HOMER get the result of PV configuration with Grid capable of supplying electrical energy of 304,772 kWh/year, where PV is able to supply at 61,217 kWh/year and Grid supplying electricity energy of 243,555 kWh/year. The results of the design PV rooftop and calculation results of electrical energy production can analyze the economy of the simulation results HOMER with the cost of selling electricity energy PV to PLN in the amount of Rp. 883/kWh can be said to be worthy designed because it is able to restore the cost of early investment costs PV rooftop of the rectorate building.

Keywords: PV Rooftop, Helioscope, HOMER, Economic analysis.

1. PENDAHULUAN

Pada Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional mempunyai sasaran yaitu pada tahun 2025 peran energi baru dan energi

terbarukan paling sedikit 23% sepanjang perekononimannya terpenuhi dan pada tahun 2050 peran energi baru memiliki target energi terbarukan paling sedikit 31% selama perekonomiannya terpenuhi [1].

Menurut, RUPTL PT PLN (Persero) periode 2018 s.d. 2027, pemerintah berencana menambah kapasitas pembangkit sebesar 56.395 GW. Dari jumlah tersebut, EBT akan dibangun sebesar 16 GW atau sekitar 26,7% [2]. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral jumlah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menurut Permen ESDM Nomor 12 dan Nomor 13 tahun 2019 yang terpasang hingga tahun 2019 di Indonesia hanya 9.761,5 MW [3].

Jumlah PLTS yang terpasang di Indonesia masih sangat kecil khususnya di Provinsi Bali. Provinsi Bali sebagai wilayah beriklim tropis yang memiliki potensi energi terbarukan khususnya di energi surya. Energi surya di Provinsi Bali memiliki potensi yang paling tinggi, yaitu 98% dari total potensi energi terbarukan yang terdapat di Bali, sehingga target nasional kapasitas PLTS tersebut didistribusikan ke seluruh provinsi, Provinsi Bali menargetkan untuk pemasangan kapasitas PLTS sebesar 108 MW pada tahun 2025 [4]. Tetapi kemajuan PLTS di Bali masih rendah, sekitar 1 % dari total kapasitas PLTS Bali sebesar 108 MW [5]. Kapasitas PLTS yg masih rendah diatasi dengan pemasangan PLTS di atap gedung. Oleh karena itu, sangat baik dipasang PLTS di kampus karena bisa memanfaatkan energi matahari pada siang hari. Dengan melakukan hal tersebut, diharapkan gedung kampus yang terpasang PLTS atap mampu mengurangi penggunaan energi listrik dari PLN. Disamping itu juga mampu mengurangi gas emisi CO₂ dari hasil pembangkit listrik PLN yang menggunakan bahan bakar fosil serta ramah lingkungan. Sehingga Universitas bisa menjadi pelopor *Green Energy* dalam memanfaatkan PLTS.

Gedung Rektorat Universitas Udayana sebagai tempat kegiatan administrasi dilingkungan Universitas Udayana. Gedung ini memiliki konsumsi energi listrik yang sangat besar. Adapun konsumsi energi listrik yang ada di setiap ruangan berasal dari berbagai macam beban, seperti lampu, AC (*Air Conditioner*), komputer, printer, *lift*, dan beban kotak kontak lainnya. Oleh karena itu, Gedung Rektorat Universitas Udayana dalam pengembangannya direncanakan untuk pemasangan PLTS atap untuk membantu menyuplai daya listrik sendiri.

Pada penelitian ini dilakukan desain PLTS Atap Gedung Rektorat

Universitas Udayana. Untuk menghitung jumlah panel surya, sudut pemasangan panel surya dan jumlah inverter menggunakan simulator *Helioscope*. Simulator HOMER, dipakai untuk mendapatkan produksi energi listrik dari PLTS ini. Dari hasil simulator *Helioscope* dan simulator HOMER dapat dilakukan analisis ekonomi yaitu mengetahui nilai NPV, B-CR, DPP, LCC, CRF, dan COE. Luaran atau hasil dari analisis ekonomi ini akan menyatakan bahwa PLTS Atap di Gedung Rektorat layak atau tidak diwujudkan.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Penelitian tentang PLTS atap di Provisnis Bali sudah cukup banyak dilakukan. Seperti PLTS atap di kantor PLN Distribusi Bali di Kota Denpasar, yang telah memasang PLTS dengan kapasitas 30 kWp dan 10 kWp [6]. Kantor PT Indonesia Power Unit Pembangkitan Bali, yang telah memasang PLTS berkapasitas 24 kWp [7]. Pemanfaatan gedung sekolah sudah dilakukan seperti SDN 5 Pedungan Denpasar yang telah memiliki PLTS berkapasitas 2.08 kWp [8]. Pengkajian pemanfaatan PLTS pada gedung pemerintahan menunjukkan bahwa gedung pemerintah sangat sesuai dengan karakteristik PLTS seperti Gedung Puspem Badung [9], Gedung kantor Gubernur Bali [10] dan dalam pemanfaatan gedung universitas terdapat di gedung Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran [11]. Hal ini tentu sangat positif untuk mendukung pencapaian target PLTS bagi Bali sebesar 108 MWp pada tahun 2025.

2.1 Sistem PLTS

Sistem PLTS dapat dibagi berdasarkan aplikasi dan konfigurasi. Secara umum PLTS dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on-grid PV system*) dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV system*) atau PLTS yang berdiri sendiri (*stand-alone*). PLTS *stand-alone* ini selain dapat beroperasi secara mandiri, juga dapat ditunjang oleh sumber daya lain seperti tenaga angin,

generator set, maupun tenaga air serta tenaga mikro hidro yang disebut sebagai sistem PLTS hybrid. Berdasarkan lokasi pemasangannya yaitu sistem pemasangan PLTS pola tersebar (*distributed PV system*) dan sistem PLTS pola terpusat (*centralized PV system*) [12].

2.2 PLTS Atap

PLTS atap merupakan fotovoltaik yang sedang berkembang. PLTS atap dapat dipasang di atap bangunan komersial dan perumahan. Hasil energi listrik dari PLTS yang dihasilkan dapat dimasukkan ke dalam jaringan diatur dengan *Feed-in-Tarif* (Fit), atau digunakan untuk konsumsi sendiri dengan pengukuran *net metering*. Dari sistem *net metering*, produksi listrik pelanggan seimbang dengan energi listrik dari jaringan (PLN).

2.3 Kajian Investasi

Ekonomi teknik dapat memberi pemahaman mengenai pengambilan keputusan berdasarkan parameter ekonomi yang meliputi, antara lain nilai bersih sekarang (*net present value*), nilai arus kas tahunan (*uniform annual cash flow*), ataupun rasio pendapatan terhadap biaya (*benefit-cost ratio*).

2.3.1 Net Present Value

Net Present Value digunakan untuk menentukan nilai tunai penerimaan dan pencairan uang di masa depan. *Net Present Value* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) [13], [14] :

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

Keterangan:

NCF_t = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n
 II = Investasi awal (Initial Investment)
 i = Tingkat diskonto
 n = Periode dalam tahun (umur investasi)

2.3.2 Benefit – Cost Ratio

Benefit-Cost Ratio merupakan nilai perbandingan antara aspek keuntungan (*benefit*) yang diperoleh dengan aspek

pengeluaran biaya (*cost*) dan investasi (*investment*) yang ditanggung dengan investasi tersebut. Untuk menghitung nilai *Benefit-Cost Ratio* dapat menggunakan persamaan (2) [13], [14]:

$$B-CR = \frac{B}{C} = \frac{Benefit}{Cost} \quad (2)$$

Keterangan:

B-CR = Benefit – Cost Ratio
 B = Benefit (keuntungan)
 C = Cost (pengeluaran)

Jika *B/C Ratio* lebih besar dari 1, maka keuntungan (*benefit*) yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek lebih dari biaya pengeluaran (*cost*) dan investasi (*investment*), sehingga proyek tersebut layak diwujudkan. Dan jika *B/C Ratio* kurang dari 1, maka *benefit* yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek tidak cukup untuk menutupi biaya pengeluaran dan investasi, sehingga proyek disebut tidak layak diwujudkan.

2.3.3 Discounted Payback Period

Discounted payback period (DPP) adalah proses pengembalian biaya modal yang dihitung dengan menggunakan discount faktor. Kriteria pengambilan keputusan proyek yang layak dirancang atau tidak layak dirancang. Metode ini adalah:

- 1) DPP yang periodenya waktu lebih pendek dari umur proyek maka investasi layak diwujudkan
- 2) DPP yang periodenya waktu lebih panjang dari umur proyek maka investasi tidak layak diwujudkan.

2.4 Life Cycle Cost

Biaya siklus hidup (*LCC*) diperoleh nilai total biaya pemasangan sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya untuk pemeliharaan dan operasional untuk biaya penggantian baterai. *LCC* dapat dihitung menggunakan persamaan (3) [15]:

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \quad (3)$$

Keterangan:

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*)
 C = Biaya investasi awal
 M_{PW} = Total nilai biaya pemeliharaan dan

operasional selama umur proyek
 R_{pw} = biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek

2.5 Faktor Pemulihan Modal

Faktor pemulihan modal adalah faktor yang dipergunakan untuk mengubah arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Faktor pemulihan modal diperoleh dengan persamaan (4) [15]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Keterangan:

- CRF = Faktor pemulihan modal
- i = Tingkat diskonto
- n = Periode dalam tahun (umur investasi)

2.6 Biaya Energi

Biaya Energi (*Cost of Energy*) merupakan harga jual energi PLTS ke PLN. Untuk biaya energi (*Cost of Energy*) PLTS diperoleh dengan persamaan (5) [15]:

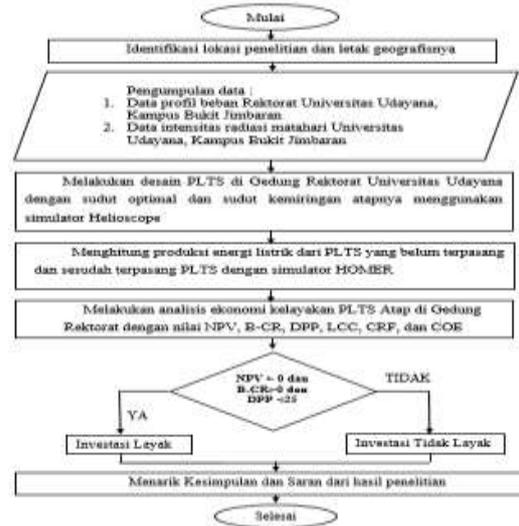
$$COE = \frac{LCC \times CRF}{kWh} \quad (5)$$

Keterangan:

- COE = Biaya Energi (Rp/kWh)
- CRF = Faktor pemulihan modal
- kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana Gedung Rektorat. Penelitian ini menggunakan simulator *helioscope* dan HOMER.



Gambar 1 Alur Metode Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rektorat Universitas Udayana

Gedung Rektorat Universitas Udayana terletak di Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali. Secara geografis memiliki titik koordinat -8,798149, 115,172572. Gedung Rektorat Universitas Udayana memiliki luas bangunan sebesar 4000 m² dengan tinggi bangunan 20 m. Gedung Rektorat terdiri dari 4 lantai yaitu semi basement, lantai 1, lantai 2, dan lantai 3.



Gambar 2 Gedung Rektorat Universitas Udayana

4.2 Profil Beban Gedung Rektorat

Penelitian ini menggunakan data beban Gedung Rektorat Universitas Udayana dipakai satu tahun pada tahun 2019. Data beban gedung didapatkan dari PT PLN (Persero) Area Bali Selatan [17] dan daya yang dipakai oleh Gedung Rektorat Universitas Udayana sebesar 197 kVA.

Tabel 1 Data Beban Listrik Gedung Rektorat Universitas Udayana

No	Bulan Pemakaian	Pemakaian kWh
1	Januari	29.275
2	February	29.540
3	Maret	26.235
4	April	25.559
5	Mei	30.983
6	Juni	34.047
7	Juli	25.559
8	Agustus	24.707
9	September	26.832
10	Oktober	26.372
11	November	33.525
12	Desember	30.929

4.3 Iradiasi Matahari di Gedung Rektorat Universitas Udayana.

Iradiasi harian matahari yang berada di wilayah Universitas Udayana memiliki rata-rata sebesar 4,57 kWh/m²/hari [18]. Data iradiasi matahari ini terekam oleh software *HOBOWare* melalui sensor radiasi matahari yang terletak di stasiun gedung Teknik Elektro Universitas Udayana bekerjasama dengan pihak ESDM. Pada tabel 2 dapat dilihat iradiasi matahari di wilayah Universitas Udayana

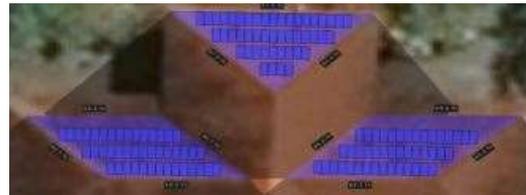
Tabel 2 Iradiasi Matahari di wilayah Universitas Udayana

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m ² /hari)
Januari	4,11
Februari	4,26
Maret	4,98
April	5,10
Mei	4,87
Juni	3,48
Juli	4,53
Agustus	4,81
September	5,64
Oktober	5,18
November	4,07
Desember	3,80
Rata-rata	4,57

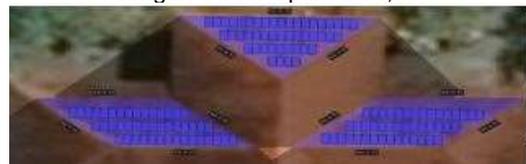
4.4 Desain Modul Surya Sudut Optimal dan Sudut Kemiringan Atapnya.

Desain PLTS Atap Gedung Rektorat Universitas Udayana menghadap ke utara dengan menggunakan simulator Helioscope. Data masukan untuk simulator Helioscope berupa pemasangan modul dengan sistem *fixed tilt tracking*, tinggi gedung 20 m dan titik azimuth

sebesar 1,258⁰. Luaran yang didapat dari input ini adalah sudut optimal sebesar 14,66⁰ mendapatkan hasil total modul surya yang dipasang sebanyak 135 buah dengan kapasitas 45,7 kWp dapat dilihat pada gambar 3. Sudut kemiringan atap sebesar 15,6⁰ yaitu kemiringan atap gedung sekarang mendapatkan hasil total modul surya yang dipasang pada sudut kemiringan atapnya 15,6⁰ sebanyak 137 buah dengan kapasitas sebesar 45,9 kWp dapat dilihat pada gambar 4.



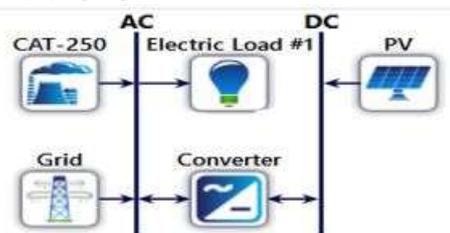
Gambar 3 Desain PLTS Atap Gedung Rektorat dengan Sudut Optimal 14,66⁰



Gambar 4 Desain PLTS Atap Gedung Rektorat dengan Sudut Kemiringan Atap 15,6⁰

4.5 Potensi Energi Listrik PLTS Atap di Gedung Rektorat Universitas Udayana

Potensi Produksi Energi PLTS Atap di Gedung Rektorat Universitas Udayana disimulasikan menggunakan simulator HOMER. Pada gambar 5 dapat dilihat desain skematik PLTS Atap Gedung Rektorat UNUD.



Gambar 5 Desain Skematik PLTS Atap Gedung Rektorat UNUD

4.5.1 Beban Gedung Rektorat Universitas Udayana

Penelitian ini menggunakan data beban Gedung Rektorat Universitas Udayana tahun 2019 pada tabel 1. Pemasukan data dibagi dua yaitu data beban *weekdays* (jam kerja) ditunjukkan oleh gambar 6 dan data *weekend* (jam libur

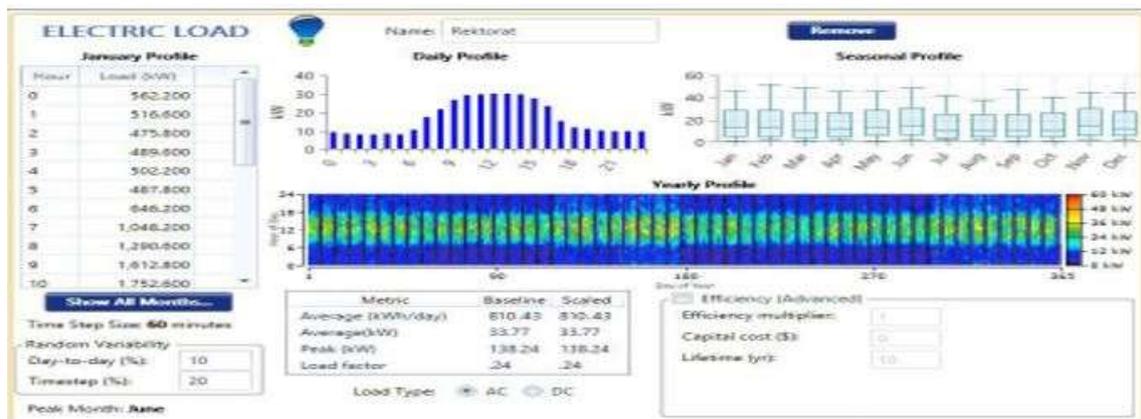
kerja) ditunjukkan oleh gambar 7. Pada simulator HOMER menunjukkan beban listrik Gedung Rektorat per satu jam memiliki rata-rata 138,24 kW, sedangkan rata-rata beban listrik dalam sehari 810,43 kWh/hari. Pada gambar 8 dapat dilihat beban listrik Gedung Rektorat.

Hour	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Gambar 6 Inputan beban Weekdays

Hour	Saturday	Sunday
0	0.00	0.00
1	0.00	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
9	0.00	0.00
10	0.00	0.00
11	0.00	0.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00
14	0.00	0.00
15	0.00	0.00
16	0.00	0.00
17	0.00	0.00
18	0.00	0.00
19	0.00	0.00
20	0.00	0.00
21	0.00	0.00
22	0.00	0.00
23	0.00	0.00
24	0.00	0.00

Gambar 7 Inputan beban Weekend

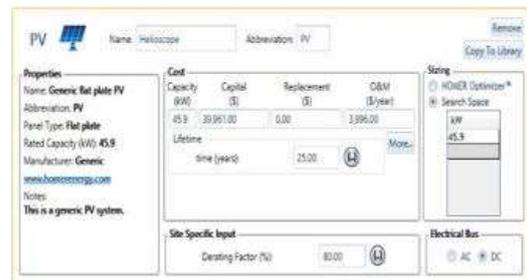


Gambar 8 Beban Listrik Gedung Rektorat UNUD

4.5.2 PV dan Inverter Gedung Rektorat Universitas Udayana

Panel surya yang dirancang di Gedung Rektorat Universitas Udayana menggunakan panel surya dengan merek Yingli Solar, YL335P-35b sebanyak 137 buah modul surya dengan kapasitas 45,9 kWp. Inverter yang digunakan yaitu tipe Solis 3P 25K-US-SW-25000Watt. sebanyak 2 buah dengan kapasitas 50 kW. Pada gambar 9 dapat dilihat tampilan inputan panel surya yang dimana inputan kapasitas panel surya sebesar 45,9 kW dan pada gambar 10 dapat dilihat tampilan inputan kapasitas inverter sebesar 50 kW. Hasil luaran dari inputan panel surya dan

inverter yaitu hasil optimasi pada simulator HOMER.



Gambar 9 Tampilan layout komponen Panel Surya



Gambar 10 Tampilan layout komponen Inverter

4.5.3 Generator Diesel di Gedung Rektorat Universitas Udayana

Kapasitas generator yang dipakai sebesar 250 kVA yaitu generator yang ada di Gedung Rektorat Universitas Udayana. Pada penginputan generator tidak mempengaruhi hasil simulator melainkan sebagai komponen pelengkap pada simulator HOMER. Pada gambar 11 dapat dilihat tampilan layout generator.



Gambar 11 Tampilan Layout Generator

4.5.4 Grid

Input *Grid* pada simulator HOMER berupa harga beli energi listrik dari PLN sebesar 0,070 US\$/kWh (Rp 900/kWh) dan harga jual ke PLN sebesar 0,059 US\$/kWh (Rp 585/kWh). Tampilan layout *grid* pada simulator HOMER dapat dilihat pada gambar 12.

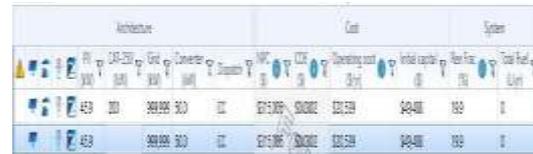


Gambar 12 Layout pada Grid

4.5.5 Hasil Optimasi dari HOMER

Hasil optimasi simulator HOMER yaitu inputan dari komponen panel surya, inverter, generator dan grid. Nilai optimum yaitu sel surya (*photovoltaic*) 45,9 kW, inverter 50 kW, Generator (tanpa Generator), dan *Grid*. Sehingga konfigurasi

PLTS yang dipilih yaitu memiliki nilai NPC paling kecil sebesar \$315,005. Tampilan hasil optimasi simulator HOMER dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Hasil optimasi Homer

4.5.6 Daya PLTS

Daya yang dihasilkan oleh PLTS yaitu dari hasil simulator HOMER yang terjadi selama setahun maka total produksi energi pertahun sebesar 61.217 kWh dan *Levelized Cost* sebesar \$0.116/kWh. Pada tabel 3 dapat dilihat parameter keluaran PLTS

Tabel 3 Parameter Keluaran PLTS

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	45,9	kW
Mean Output	6,98	kW
Mean Output	168	kWh/d
Capacity Factor	15,2	%
Total Production	61.217	kWh/yr

4.5.7 Daya Grid Tanpa Terkoneksi PV dan Daya Grid Terkoneksi dengan PV

Proses simulator menggunakan HOMER grid tanpa terkoneksi dengan PV pada gambar 14 dapat dilihat kolom *energy purchased* bernilai 295.807 kWh dan *energy sold* bernilai 0. Dan grid yang terkoneksi dengan PV yang sistemnya *On-Grid* dapat dilihat pada gambar 15 menghasilkan *energy purchased* sebesar 243.685 kWh dan *energy sold* sebesar 8.238 kWh.

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Load (kW)	Energy Charge (\$)	Demand Charge (\$)
January	26,481	0	26,481	125	\$1,851,01	\$0
February	22,921	0	22,921	138	\$1,602,17	\$0
March	23,330	0	23,330	129	\$1,610,77	\$0
April	21,964	0	21,964	122	\$1,535,30	\$0
May	27,426	0	27,426	122	\$1,919,38	\$0
June	38,719	0	38,719	130	\$2,007,45	\$0
July	22,567	0	22,567	113	\$1,578,83	\$0
August	22,719	0	22,719	101	\$1,588,05	\$0
September	22,134	0	22,134	126	\$1,547,16	\$0
October	23,410	0	23,410	110	\$1,638,57	\$0
November	27,948	0	27,948	130	\$1,953,68	\$0
December	26,134	0	26,134	119	\$1,626,76	\$0
Annual	295,807	0	295,807	138	\$2,047,91	\$0

Gambar 14 Hasil Grid

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Load (kW)	Energy Charge \$	Demand Charge \$
January	22,448	576	21,872	119	\$1,534.93	\$0
February	18,214	605	18,609	112	\$1,307.12	\$0
March	18,647	901	17,746	105	\$1,249.90	\$0
April	17,139	711	16,428	102	\$1,155.78	\$0
May	22,727	730	21,996	98	\$1,545.20	\$0
June	25,198	247	24,941	130	\$1,745.98	\$0
July	18,112	605	17,506	98	\$1,230.03	\$0
August	18,137	813	17,324	85	\$1,219.47	\$0
September	16,951	939	16,012	92	\$1,129.50	\$0
October	18,444	841	17,604	98	\$1,239.33	\$0
November	24,248	712	23,536	112	\$1,652.89	\$0
December	22,430	558	21,872	102	\$1,534.72	\$0
Annual	242,665	8,238	235,447	120	\$19,544.26	\$0

Gambar 15 Hasil PV-Grid

4.6 Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal untuk perancangan sistem PLTS Atap Gedung Administrasi, Gedung Rektorat Universitas Udayana yaitu komponen sistem PLTS, dan biaya instalasi sistem PLTS. Pada tabel 4 dapat dilihat biaya investasi awal PLTS.

Tabel 4 Biaya investasi awal sistem PLTS

Nama	Jml	Satuan	Harga	Total
Panel Surya	137	buah	Rp3.800.000	Rp.520.000.000
Inverter	2	buah	Rp67.100.000	Rp. 134.200.000
Instalasi	1	kali	Rp35.000.000	Rp35.000.000
Biaya Pengiriman	1	kali	Rp25.000.000	Rp25.000.000
Rak Panel	1	kali	Rp.16.500.000	Rp.16.500.000
Total				Rp. 730.700.000

4.7 Hasil Data Biaya PLTS dari HOMER

Hasil simulator dari HOMER, energi listrik yang tersalur dengan jaringan PLN saja. Pada gambar 14 dapat dilihat dikolom *energy purchased* (energi beli) dengan harga beli energi listrik ke PLN sebesar Rp 900/kWh. Pembayaran listrik yang belum tersambung PLTS dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Pembayaran Sebelum Tersambung PLTS harga beli Rp 900/kWh

Bulan	Jual kWh	Pembayaran (Rp)
Januari	26.481	23.832.900
Februari	22.921	20.628.900
Maret	23.330	20.997.000
April	21.964	19.767.600
Mei	27.459	24.713.100
Juni	28.719	25.847.100
Juli	22.587	20.328.300

Agustus	22.719	20.447.100
September	22.134	19.920.600
Oktober	23.410	21.069.000
November	27.949	25.154.100
Desember	26.134	23.520.600
Total	295.807	266.226.300

Hasil simulator HOMER dari interkoneksi antara jaringan PLN dengan PLTS. Dengan harga jual listrik sebesar Rp 585/kWh dan penjualan energi listrik dari hasil simulator HOMER pada gambar 15 dikolom *energy sold* (energi jual) maka pendapatan penjualan energi listrik dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Pendapatan penjualan energi listrik yang ke PLN sebesar Rp 585/kWh

Bulan	kWh Jual	Pemasukan (Rp)
Januari	576	336.960
Februari	605	353.925
Maret	901	527.085
April	711	415.935
Mei	730	427.050
Juni	247	144.495
Juli	605	353.925
Agustus	813	475.605
September	939	549.315
Oktober	841	491.985
November	712	416.520
Desember	558	326.430
Total	8.238	4.819.230

Perhitungan penghematan energi listrik didapatkan dari hasil simulator HOMER dengan membandingkan PLTS yang belum terpasang dengan PLTS yang sudah terpasang. Pada tabel 7 dapat dilihat hasil perhitungan penghematan pembayaran rekening listrik ke PLN saat PLTS terpasang dengan saat PLTS tidak terpasang.

Tabel 7 Perhitungan penghematan PLTS

Bulan	Kwh Tanpa PLTS	Pembayaran Tanpa PLTS	Kwh dengan PLTS	Pembayaran dengan PLTS	Selisih kwh	Penghematan
Januari	26.481	23.832.900	22.448	20.202.200	4.033	3.630.700
Februari	22.921	20.628.900	19.214	17.292.600	3.707	3.336.300
Maret	23.380	20.997.000	18.647	16.782.300	4.683	4.214.700
April	21.964	19.767.600	17.139	15.425.300	4.825	4.342.300
Mei	27.489	24.713.100	22.727	20.454.300	4.732	4.256.800
Juni	28.719	25.847.100	25.188	22.669.300	3.531	3.177.900
Juli	22.587	20.328.300	18.112	16.300.800	4.475	4.027.500
Agustus	22.719	20.447.100	18.137	16.323.300	4.582	4.123.800
September	22.134	19.920.600	16.951	15.255.900	5.183	4.664.700
Oktober	23.410	21.069.000	18.444	16.599.600	4.966	4.469.400
November	27.949	25.154.100	24.248	21.823.200	3.701	3.330.900
Desember	26.134	23.520.600	22.430	20.187.000	3.704	3.333.600
Total	295.807	266.226.300	241.685	219.318.500	52.122	46.909.800

Pada tabel 7 perhitungan penghematan pembayaran rekening listrik di Gedung Rektorat UNUD melalui simulator HOMER didapatkan pembayaran rekening listrik sebelum PLTS terpasang sebesar Rp. 266.226.300 dan pembayaran rekening listrik yang tersambung PLTS dengan jaringan PLN sebesar Rp. 219.316.500 maka mendapatkan penghematan sebesar Rp. 46.909.800.

4.8 Kelayakan Investasi

Arus kas masuk didapatkan dari tabel 6 yaitu hasil penjualan energi listrik seharga Rp 585/kWh sebesar Rp 4.819.230, dan pada tabel 7 yaitu penghematan energi listrik sebesar Rp 46.909.800. Jadi, total arus kas masuk sebesar Rp. 51.729.030. Sedangkan arus keluar didapatkan dari biaya operasional PLTS sebesar Rp 6.542.000 maka arus bersih merupakan hasil dari pengurangan arus kas masuk dengan arus keluar dengan nilai sebesar Rp. 45.187.030. Dalam melakukan perhitungan pendapatan kumulatif selama 25 tahun didapatkan sebesar Rp. 637.588.99 dan hasil perhitungan pendapatan kumulatif selama 25 tahun tidak mampu menutupi biaya investasi awal sebesar Rp. Rp730.700.000.

Untuk mendapatkan nilai ekonomi kelayakan investasi perlu menghitung LCC (3), CRF (4), dan COE (5). Dari menghitung ketiga metode ini nilai LCC sebesar Rp 771.914.600, nilai CRF sebesar 0,07 dan

nilai COE sebesar Rp. 883/kWh. Dari perhitungan penjualan energi listrik ke PLN sebesar Rp. 883/kWh mendapatkan pendapatan selama setahun Rp. 7.274.154 jadi arus masuk sebesar Rp. 58.614.324 dengan arus keluar sebesar Rp 6.542.000 maka arus bersih sebesar Rp. 52.072.324. Harga jual listrik ke PLN Rp. 883/kWh mendapatkan pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp. 734.740.492. Dengan melakukan perhitungan metode *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (B-CR) dan *Discounted Payback Period* (DPP) untuk mendapatkan kelayakan investasi. Tabel 6 memperlihatkan kelayakan investasi PLTS berdasarkan nilai NPV, B-CR, dan DPP.

Tabel 6 Kelayakan investasi PLTS dengan harga jual energi PLN Rp 883/kWh

No	Analisis	Kriteria	Hasil Analisis	Kesimpulan
1	<i>Net Present Value</i> (NPV)	Layak diwujudkan (NPV>0) Tidak Layak (NPV < 0)	Rp.4.040.492	Investasi layak diwujudkan karena nilai NPV lebih besar dari 0.
2	<i>Benefit – Cost Ratio</i> (B-CR)	Layak diwujudkan (NPV>0) Tidak Layak (NPV < 0)	1,005	Investasi layak diwujudkan karena bernilai lebih besar dari 1.
3	<i>Discounted Payback Period</i> (PP)	Layak (DPP<umur proyek) Tidak Layak (DPP > umur proyek)	25 Tahun	Dari investasi ini pengembalian modal terjadi 25 tahun, Sehingga dikatakan layak

Pada tabel 6 kelayakan investasi PLTS dengan harga jual energi PLN sebesar Rp 883/kWh mendapatkan nilai NPV > 0, B-CR > 0 dan nilai DPP lebih kecil dari target umur proyek. Berdasarkan ketiga nilai ini maka PLTS Atap di Gedung Rektorat Universitas Udayana layak diwujudkan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan.

1. Desain PLTS Atap Gedung Rektorat Universitas Udayana menggunakan simulator helioscope dengan sudut optimal sebesar 14,66⁰ menghasilkan modul surya sebanyak 135 buah

memiliki kapasitas yang dibangkitkan PLTS sebesar 45,2 kWp. Dan desain PLTS Atap dengan sudut sesuai kemiringan atap sebesar $15,6^{\circ}$ menghasilkan modul surya sebanyak 137 buah memiliki kapasitas yang dibangkitkan PLTS sebesar 45,9 kWp.

2. Hasil simulator HOMER pada produksi energi listrik daya yang dihasilkan sistem PLTS sebesar 61.217 kWh/tahun.
3. Hasil analisis ekonomi didapatkan dari hasil simulator helioscope dan simulator HOMER. PLTS dapat menjual energi listrik ke PLN sebesar Rp. 883/kWh mendapatkan pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp. 734.740.092 maka dari perhitungan mendapatkan hasil nilai NPV > 0, B-CR > 0, dan nilai DPP lebih kecil dari target umur proyek maka desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana, Gedung Rektorat layak diwujudkan karena mampu mengembalikan biaya investasi awal dan mendapatkan keuntungan sebesar Rp. 4.040.492 berdasarkan nilai NPV pada tabel 6.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) No. 79 Tahun 2014. Jakarta.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (RUPTL PT PLN) Tahun 2018 s.d. 2027 Jakarta: KESDM.
- [3] Kementerian Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2019. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor: 12 Tahun 2019 Tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi. Jakarta.
- [4] Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D., Ariastina, W.G., Sukerayasa, I.W., Setiawan, I.N., Partha, C.G.I. 2019. "Peta Jalan Pengembangan PLTS Atap: Menuju Bali Mandiri Energi, Center For Community Based Renewable Energy (CORE) Universitas Udayana, Greenpeace Indonesia. Bali
- [5] Kumara, I.N.S., Ariastina, W.G., Sukerayasa, I.W., Giriantari, I.A.D. 2014. "On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali," 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). Yogyakarta.
- [6] Saskara, I.P.E., Kumara, I.N.S., Sukerayasa, I.W. 2018. *Comparison of PV Rooftop Energy Production at Denpasar City Office Building, Proceeding ICSGTEIS.*
- [7] Kumara, K.V., Kumara, I.N., Ariastina, W.G. 2018. Tinjauan Terhadap PLTS 24 Kw Atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggaran Bali. *Jurnal Spektrum*, Vol.5, No.2.
- [8] Kristiawan, H., Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D. 2019. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar. *Jurnal Spektrum*, Vol.6, No.4
- [9] Pratama, I.D.G.Y.P., Kumara, I.N., Setiawan, I.N. 2018. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Untuk PLTS Rooftop. *Jurnal Spektrum* Vol. 5, No.2
- [10] Wicaksana, M.R. Kumara, I.N.S.; Giriantari, I. A. D. 2019. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 Kwp Pada Kantor Gubernur Bali. *Jurnal Spektrum* Vol.6, No.3
- [11] 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. *Jurnal SPEKTRUM*, Vol.6, No.3
- [12] 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 23 November 2019].
- [13] Patricia, H.J. 2012. "Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)," FT UI.

- [14] A.M. Thyra., M. Facta., Karnoto. 2015. "Analisis Ekonomi Penggunaan Inverter Sel Surya Pelanggan Rumah Tangga Terhubung Dengan Jaringan Pada Perumahan Syailendra Residence Banyumanik Semarang," pp. 1–15.
- [15] Sihotang, G.H. 2019. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Univeritas Tanjungpura*. Vol 1, No.1.
- [16] Sanjaya, O.I., Giriantari, I.A.D., Kumara, I.N. 2019. "Perancangan Sistem Pompa Irigasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Pertanian Subak Sema Agung. *Jurnal SPEKTRUM Vol 6, No.3*
- [17] PT. PLN (Persero) Area Bali Selatan. 2019. Data Beban Gedung Rektorat Universitas Udayana. Bali.
- [18] Medina, I.A., Giriantari, I.A.D., Sukerayasa, I.W. 2018. Kajian dan Evaluasi Sistem Suplai Energi Listrik PLTS dan PLTB di Kampus Teknik Elektro Universitas Udayana Bukit Jimbaran Bali. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 17, No. 3.