

# PERANCANGAN PLTS ATAP GEDUNG PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS UDAYANA

Marcelinus Anggiat Situmorang<sup>1</sup>, Ida Ayu Dwi Giriantari<sup>2</sup>, I Nyoman Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

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

Email : [marcelsitumorang07@gmail.com](mailto:marcelsitumorang07@gmail.com)<sup>1</sup>

## ABSTRAK

PLTS Atap merupakan salah satu solusi dalam pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dan konsumsi energi listrik yang mulai meningkat. Berdasarkan PP No.79 tahun 2014, Indonesia berkomitmen untuk memanfaatkan 23% energi terbarukan dari total keseluruhannya hingga tahun 2025. Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pada tahun 2025 Indonesia menargetkan kapasitas energi listrik yang berasal dari energi baru terbarukan sebesar 45 GW dimana tenaga surya sebesar 6,5 GW (14%). Pada penelitian ini akan dibahas perancangan PLTS Atap pada gedung Perpustakaan Universitas Udayana. Berdasarkan hasil simulasi helioscope, pada sudut riil 20,6° dan 20,3° modul surya yang dapat dipasang sebanyak 84 buah dengan kapasitas daya 28,1 kWp sementara pada sudut optimum 14,66°, modul surya yang dapat dipasang sebanyak 66 buah dengan kapasitas daya sebesar 22,1 kWp. Berdasarkan hasil simulasi HOMER, konfigurasi antara PLTS sudut pemasangan riil dengan grid mampu memproduksi energi sebesar 83.253 kWh/tahun dengan penurunan emisi sebesar 41,764 % sedangkan konfigurasi PLTS sudut pemasangan optimum dengan grid mampu memproduksi energi sebesar 79.775 kWh/tahun dengan penurunan emisi sebesar 34,527 %. Dari hasil simulasi HOMER tersebut dilakukan analisis ekonomi dengan harga jual energi sebesar Rp.900/kWh. Kedua desain PLTS atap tersebut layak untuk diinvestasikan dimana pada desain PLTS Atap dengan sudut pemasangan riil 20,6° dan 20,3° mampu mengembalikan biaya investasi awal pada tahun ke-17 sementara pada desain PLTS Atap dengan sudut pemasangan optimum 14,66° mampu mengembalikan biaya investasi pada tahun ke-20.

**Kata Kunci** : PLTS Atap, Emisi, Helioscope, HOMER, Analisis Ekonomi

## ABSTRACT

*Solar Rooftop PV is one solution in reducing CO<sub>2</sub> emissions and the increasing consumption of electrical energy. Based on PP No.79 of 2014, Indonesia is committed to utilizing 23% of the total renewable energy of the total by 2025. In the General National Energy Plan (RUEN), in 2025 Indonesia targets the capacity of electrical energy from new and renewable energy of 45 GW of which solar power of 6.5 GW (14%). In this research, we will discuss the design of Solar Rooftop PV in the Udayana University Library building. Based on the helioscope simulation results, at a real angle of 20.6° and 20.3° solar modules that can be installed as many as 84 units with a power capacity of 28.1 kWp while at an optimum angle of 14.66°, as many as 66 solar modules can be installed with power capacity of 22.1 kWp. Based on the results of the HOMER simulation, the configuration between the real angle PV mini-grid and the grid is able to produce energy of 83,253 kWh/year with an emission reduction of 41.764%, while the configuration of the Solar Rooftop PV with the optimum installation angle with the grid is able to produce energy of 79.775 kWh/year with a reduction in emissions of 34.527%. From the results of the HOMER simulation, an economic analysis was carried out with an energy selling price of Rp. 900/kWh. The two Solar Rooftop PV designs are worth investing in where the Solar Rooftop PV design with a real installation angle of 20.6° and 20.3° is able to return the initial investment costs in the 17th year while the Solar Rooftop PV design with an optimum installation angle of 14.66° able to return the investment cost in the 20th year.*

**Keywords:** Solar Rooftop PV, Emissions, Helioscope, HOMER, Economic Analysis

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga kebutuhan industri. Di Indonesia sendiri, sumber energi listrik masih memanfaatkan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan lain sebagainya. Hal tersebut tentunya sangat berdampak buruk pada sektor ketersediaan fosil, kesehatan manusia dan lingkungan. Menyikapi hal tersebut, pemerintah Indonesia berusaha untuk mengatasinya dengan membentuk Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang tercantum pada PP.79 tahun 2014. Adapun Kebijakan Energi Nasional (KEN) berisi tentang komitmen Indonesia dalam menggunakan 23% energi terbarukan hingga tahun 2025 dan akan meningkat menjadi 31% dari total energi terbarukan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia hingga pada tahun 2050 [1].

Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pada tahun 2025 Indonesia menargetkan kapasitas energi listrik yang berasal dari energi baru terbarukan sebesar 45 GW dimana tenaga angin berkontribusi sebesar 1,8 GW (4%), panas bumi sebesar 7,2 GW (16%), tenaga air sebesar 17,9 GW (40%), mini hidro dan mikro hidro sebesar 3,0 GW (7%), bioenergi sebesar 5,5 GW (12%), tenaga surya sebesar 6,5 GW (14%) dan EBT lainnya sebesar 3,0 GW (7%) [2][3]. Indonesia merupakan negara kepulauan yang letaknya berada pada garis khatulistiwa yang memungkinkan potensi energi surya yang diterima lebih besar dibandingkan dengan daerah lainnya yaitu sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari [4]. Dari hal tersebut, target kontribusi tenaga surya sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 sangat memungkinkan untuk tercapai jika pembangunan PLTS dapat dimaksimalkan.

Salah satu Provinsi di Indonesia yang diharapkan mampu mengembangkan pemanfaatan energi surya adalah Provinsi Bali. Provinsi Bali memiliki potensi energi surya sebesar 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/hari [5]. Melihat potensi tersebut, Bali mulai melakukan pembangunan Pembangkit Listrik Surya Pada tahun 2007. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh A.A.G.A Pawitra, dkk

tahun 2020 tentang Perkembangan PLTS di Provinsi Bali, diketahui bahwa PLTS pertama yang dibangun ialah PLTS Nusa Penida dengan kapasitas 16,6 kWp pada tahun 2007 dan tercatat total kapasitas PLTS pada tahun 2007 mencapai 47,02 kWp. Kemudian pada tahun 2013 kapasitas PLTS mengalami peningkatan yang sangat besar yaitu mencapai 2.349,42 kWp. Peningkatan tersebut didapatkan karena adanya bantuan PLTS sebesar 2,1 MWp dari pemerintahan Indonesia kepada Bali sebagai daerah percontohan pemanfaatan energi baru terbarukan. Hingga pada tahun 2020 total kapasitas PLTS mencapai 3.712,53 kWp [6]. Dari data perkembangan PLTS Bali dari tahun ke tahun tersebut yang hanya mencapai 3,44 % dari total target pada tahun 2025 maka dibutuhkan pembangunan PLTS yang cukup besar pada setiap daerah di Bali agar target tersebut dapat tercapai.

Salah satu daerah yang dapat dimaksimalkan potensinya ialah kabupaten Badung. Menurut Badan Pusat Statistik Badung, kabupaten Badung memiliki luas wilayah yang cukup luas yakni 418,50 km<sup>2</sup> atau sekitar 7,43 % dari total keseluruhan wilayah Bali [7]. Melihat potensi tersebut, pembangunan PLTS yang dapat dilakukan pada daerah tersebut ialah PLTS atap pada gedung Hotel, mal, gedung pemerintahan, gedung akademik seperti PLTS *Smart Microgrid Unud* [8], PLTS Kantor Gubernur Bali [9] dan PLTS Pusat Pemerintahan Badung [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam penelitian ini dilakukan perancangan PLTS Atap pada Perpustakaan Universitas Udayana. Hal ini dilakukan sebagai upaya dalam mendukung pembangunan PLTS agar mencapai target pada tahun 2025 seperti yang tertulis pada RUEN.

## 2. TEORI

### 2.1 PLTS

PLTS merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai produk utama yang kemudian akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan sel fotovoltaik. Secara umum, komponen utama penyusun PLTS adalah seperti modul surya sebagai

pembangkit listrik, Inverter sebagai pengubah dan pengatur tegangan DC ke AC, baterai sebagai penyimpan energi dan SCC sebagai media penyimpan energi ke baterai [11].

## 2.2 Sistem PLTS

Secara umum PLTS dapat dibedakan berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya. PLTS dapat dibagi menjadi 3 yaitu PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on grid*), PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off grid/stand alone*) dimana memungkinkan untuk menggunakan pembangkit lebih dari satu antara lain PLTS, mikrohidro, PLTB dan lain sebagainya serta PLTS penggabungan antara *on grid* dan *off grid* yaitu *hybrid* [12].

## 2.3 PLTS Atap

PLTS atap merupakan PLTS yang memungkinkan pemasangan panel surya pada atap suatu gedung baik itu perumahan, industri maupun komersil. PLTS atap dilakukan untuk meminimalisir lahan untuk pemasangan panel surya yang berbeda jika dipasang pada permukaan bumi yang tentunya akan membutuhkan area yang sangat luas. Selain itu, PLTS atap dapat memudahkan distribusi listrik pada suatu gedung ketika ingin dihubungkan dengan *grid*.

## 2.4 Kajian Emisi CO<sub>2</sub>

Jenis energi primer yang digunakan pembangkit listrik PLN untuk wilayah Jawa Bali terdiri dari batu bara, gas alam, minyak dan panas bumi. Dalam perhitungan emisi karbon ini akan digunakan Faktor emisi karbon ekivalen sebagai pengali per kWh energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional. Faktor emisi karbon ekivalen pada wilayah Jawa Bali yang digunakan dalam perhitungan ialah faktor emisi yang sudah dihitung pada RUPTL PLN 2021-2030.

## 2.5 Kajian Investasi

Kajian investasi dapat memberikan tolak ukur dalam pengambilan keputusan

yang tepat dalam melakukan investasi usaha. Dalam investasi PLTS adapun parameter yang digunakan dalam mengukur kelayakan proyek pembangunan PLTS yaitu NPV, BCR, DPP [13].

### 2.5.1 Net Present Value (NPV)

NPV berfungsi untuk menentukan nilai penerimaan uang dengan kondisi masa mendatang yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut [13].

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

Keterangan:

NCF<sub>t</sub> = NCF hingga periode tahun ke n  
 II = Investasi awal (*Initial Investment*)  
 n = Umur investasi  
 I = Tingkat diskonto

### 2.5.2 Benefit-Cost Ratio (BCR)

BCR memiliki fungsi untuk menentukan seberapa besar perbandingan antara keuntungan dengan biaya operasi PLTS yang akan dibangun. Untuk menghitung BCR dapat menggunakan persamaan (2) berikut [13].

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

Keterangan:

BCR = *Benefit Cost Ratio*  
 B = *Benefit*  
 C = *Cost*

Ketika nilai BCR <1 maka investasi tidak layak untuk diterima sedangkan apabila nilai BCR >1 maka investasi layak untuk diterima.

### 2.5.3 Discounted Payback Period

*Discounted Payback Period* (DPP) adalah periode pengembalian investasi yang didiskontokan atau dengan kata lain perhitungan dilakukan dengan menggunakan *discount factor* yang dapat dicari dengan menghitung berapa tahun kas bersih nilai sekarang (PVNCF) kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal [13].

## 2.6 Life Cycle Cost (LCC)

Biaya siklus hidup suatu sistem PLTS adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh

keseluruhan sistem baik itu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variasi (*variable cost*) selama PLTS masih beroperasi. Biaya siklus hidup (LCC) diperoleh dengan persamaan (3) berikut [14].

$$LCC = C + Mpw + Rpw \quad (3)$$

Keterangan:

LCC = Biaya Siklus Hidup

C = Biaya investasi awal

Mpw = biaya operasional

Rpw = biaya penggantian komponen

### 2.7 Faktor Pemulihan Modal

Faktor pemulihan modal merupakan faktor yang digunakan untuk mengkonversikan arus kas dari LCC menjadi sebuah rangkaian biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Untuk mencari nilai dari faktor pemulihan modal (CRF) dapat digunakan persamaan (4) yaitu sebagai berikut [15].

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

Keterangan:

CRF = Faktor Pemulihan Modal

i = Faktor Diskonto

n = Umur investasi

### 2.8 Cost of Energy (CoE)

Biaya energi pada PLTS merupakan perbandingan antara biaya total PLTS per tahun dengan energi yang dihasilkan oleh PLTS itu sendiri dengan periode sat tahun pula (periode waktu yang sama). Untuk mencari nilai biaya energi dapat menggunakan persamaan (5) berikut [15].

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

Keterangan:

CoE = Cost Of Energy

LCC = Life Cycle Cost

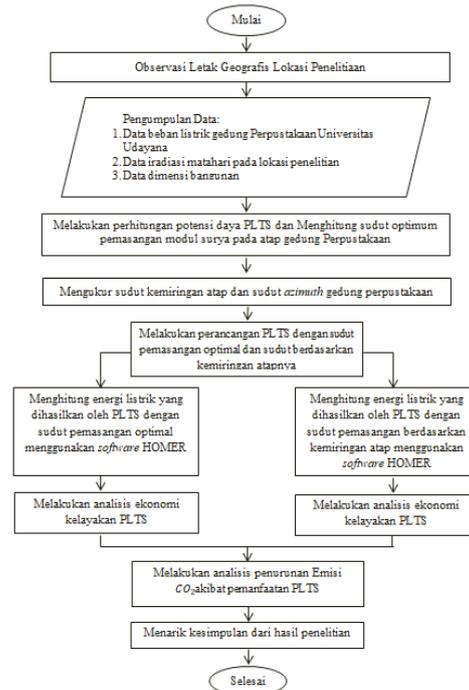
CRF = Faktor Pemulihan Modal

kWh = energi yang dihasilkan per tahun.

## 3. METODE PENELITIAN

Perancangan ini dilakukan di gedung Perpustakaan Universitas Udayana Jimbaran yang dilaksanakan pada bulan Januari hingga maret 2022. Adapun metode penelitian yang digunakan dalam penelitian

ini dapat dilihat seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gedung Perpustakaan Universitas Udayana

Gedung Perpustakaan Universitas Udayana terletak di Jl, Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali. Secara geografis berada pada titik koordinat -8,79 LS, 115,17 BT. Gedung Perpustakaan Universitas Udayana memiliki 2 gedung yaitu gedung selatan dan gedung barat. Gedung selatan memiliki luas bangunan seluas 854,68 m<sup>2</sup> sementara gedung barat memiliki luas bangunan seluas 810,21 m<sup>2</sup> dengan tinggi bangunan setinggi 16 m. Bentuk fisik tampak depan gedung Perpustakaan Universitas Udayana dapat dilihat seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Perpustakaan Universitas Udayana

#### 4.2 Profil Konsumsi Energi Listrik Perpustakaan Universitas Udayana

Dalam penenilitan ini, untuk mendapatkan nilai beban setiap harinya maka digunakan data energi perbulan selama 1 tahun periode 2021 yang didapat dari PT. PLN UP3 Bali seperti pada tabel 1 dibawah ini [16]

**Tabel 1.** Data Pemakaian Energi Listrik Perpustakaan Universitas Udayana 2021

No	Bulan	Pemakaian kWh	Tagihan Listrik (Rp)
1	Januari	4692	Rp 4.222.800
2	Februari	5750	Rp 5.175.000
3	Maret	5633	Rp 5.069.700
4	April	5598	Rp 5.038.200
5	Mei	5078	Rp 4.570.200
6	Juni	7500	Rp 6.750.000
7	Juli	6836	Rp 6.152.400
8	Agustus	5888	Rp 5.299.200
9	September	6430	Rp 5.787.000
10	Oktober	5582	Rp 5.023.800
11	November	6220	Rp 5.598.000
12	Desember	7045	Rp 6.340.500
Total		72252	65.026.800

#### 4.3 Iradiasi Matahari Pada Lingkungan Universitas Udayana

Radiasi matahari diperoleh dari *website Powerlabs NASA* dengan menggunakan titik koordinat wilayah lingkungan gedung Perpustakaan Universitas Udayana periode 2019-2020 [17].

**Tabel 2.** Data Solar global Horizontal Irradiance (GHI)

Bulan	Iradiasi (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	5,46
Februari	5,69
Maret	5,43
April	5,54
Mei	5,21
Juni	5,06
Juli	5,16
Agustus	5,81
September	6,34
Oktober	6,42
November	6,32
Desember	5,5
Rata-Rata	5,66

Seperti terlihat pada tabel 2, rata rata iradiasi selama 1 tahun penuh periode 2019-2020 ialah sebesar 5,66 kWh/m<sup>2</sup>/hari

#### 4.3 Sudut Pemasangan Modul Surya

Sudut pemasangan modul surya pada perancangan ini terdiri atas 2 yaitu sudut pemasangan optimum dan sudut pemasangan riil.

Sudut pemasangan optimum didapat berdasarkan letak geografis yaitu sebesar 14,66° sedangkan sudut pemasangan riil didapat melalui pengukuran dengan *Protactor* yaitu sebesar 20,6° dan 20,3° seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut ini.



**Gambar 3.** Sudut Pemasangan Riil

#### 4.4 Desain PLTS Atap Gedung Perpustakaan Universitas Udayana

Desain PLTS atap dirancang menggunakan bantuan *software Helioscope*. Pada sudut pemasangan riil yaitu 20,6° dan 20,1° ,jumlah modul surya yang dapat dipasang adalah sebanyak 84 buah, total daya sebesar 28,1 kWp dengan jumlah inverter sebanyak 2 buah seperti pada gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** Desain PLTS Atap dengan Sudut Kemiringan Atap

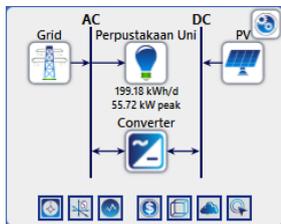
Pada sudut pemasangan optimum yaitu 14,66°, jumlah modul surya yang dapat dipasang adalah sebanyak 66 buah, total daya sebesar 22,1 kWp dengan jumlah inverter sebanyak 2 buah seperti pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Desain PLTS Atap dengan Sudut Kemiringan Optimum

4.5 Potensi PLTS Atap Ongrid Perpustakaan Universitas Udayana

Dalam menghitung potensi produksi energi listrik PLTS Atap gedung Perpustakaan Universitas Udayana digunakan software HOMER Pro x64 free trial version seperti pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Desain PLTS Atap dengan Sudut Kemiringan Optimum

4.5.1 Beban Listrik Perpustakaan Universitas Udayana

Beban listrik gedung perpustakaan Universitas Udayana dibedakan menjadi 2 yaitu beban listrik weekdays dan beban listrik weekends seperti pada tabel 3 dan tabel 4 berikut ini

Tabel 3. Beban Listrik Weekdays

Waktu	Beban (kW)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
00:00	3,90	3,61	2,82	3,56	3,11	3,61	4,15	2,57	2,96	3,12	3,04	2,48
01:00	3,81	3,53	2,76	3,48	3,04	3,53	4,05	2,51	2,89	3,05	2,97	2,42
02:00	3,83	3,55	2,77	3,49	3,05	3,55	4,08	2,52	2,90	3,06	2,98	2,43
03:00	3,81	3,53	2,76	3,48	3,04	3,53	4,05	2,51	2,89	3,05	2,97	2,42
04:00	3,74	3,47	2,71	3,41	2,98	3,46	3,98	2,46	2,84	2,99	2,91	2,38
05:00	3,76	3,49	2,72	3,43	3,00	3,48	4,00	2,47	2,85	3,01	2,93	2,39
06:00	3,77	3,49	2,73	3,44	3,01	3,49	4,01	2,48	2,86	3,01	2,94	2,40
07:00	8,14	7,55	5,89	7,43	6,49	7,54	8,67	5,36	6,17	6,51	6,34	5,18
08:00	22,17	20,55	16,04	20,24	17,69	20,54	23,60	14,59	16,82	17,73	17,27	14,10
09:00	32,10	29,76	23,22	29,30	25,61	29,73	34,17	21,12	24,35	25,67	25,01	20,41
10:00	33,34	30,91	24,12	30,43	26,60	30,88	35,50	21,94	25,29	26,66	25,98	21,20
11:00	34,05	31,57	24,64	31,08	27,17	31,54	36,25	22,41	25,83	27,23	26,53	21,65
12:00	33,45	31,01	24,20	30,53	26,69	30,98	35,61	22,01	25,37	26,75	26,06	21,27
13:00	33,46	31,02	24,21	30,54	26,69	30,99	35,62	22,02	25,38	26,75	26,07	21,27
14:00	31,54	29,24	22,81	28,78	25,16	29,21	33,57	20,75	23,92	25,22	24,57	20,05
15:00	7,40	6,86	5,35	6,75	5,90	6,85	7,88	4,87	5,61	5,92	5,77	4,70
16:00	4,18	3,88	3,03	3,82	3,34	3,88	4,45	2,75	3,17	3,35	3,26	2,66
17:00	4,15	3,85	3,01	3,79	3,31	3,85	4,42	2,73	3,15	3,32	3,24	2,64
18:00	3,91	3,62	2,83	3,57	3,12	3,62	4,16	2,57	2,96	3,12	3,04	2,48
19:00	3,99	3,70	2,88	3,64	3,18	3,69	4,24	2,62	3,02	3,19	3,11	2,53
20:00	3,94	3,65	2,85	3,59	3,14	3,65	4,19	2,59	2,99	3,15	3,07	2,50
21:00	3,93	3,64	2,84	3,58	3,13	3,64	4,18	2,58	2,98	3,14	3,06	2,50
22:00	3,95	3,66	2,86	3,60	3,15	3,66	4,20	2,60	2,99	3,16	3,08	2,51
23:00	3,94	3,65	2,85	3,59	3,14	3,65	4,19	2,59	2,99	3,15	3,07	2,50

Tabel 4. Beban Listrik Weekends

Waktu	Beban (kW)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
00:00	3,50	3,86	3,47	3,55	3,25	4,25	3,73	3,16	3,48	2,80	3,57	2,59
01:00	3,48	3,84	3,45	3,53	3,23	4,22	3,71	3,14	3,46	2,78	3,55	2,58
02:00	3,54	3,91	3,51	3,59	3,29	4,30	3,77	3,19	3,52	2,83	3,62	2,62
03:00	3,56	3,93	3,53	3,61	3,31	4,32	3,79	3,21	3,54	2,85	3,64	2,64
04:00	3,50	3,86	3,47	3,55	3,25	4,25	3,73	3,16	3,48	2,80	3,57	2,59
05:00	3,46	3,82	3,43	3,51	3,21	4,20	3,68	3,12	3,44	2,77	3,53	2,56
06:00	3,40	3,75	3,37	3,45	3,16	4,12	3,62	3,06	3,38	2,72	3,47	2,51
07:00	3,44	3,80	3,41	3,49	3,19	4,17	3,66	3,10	3,42	2,75	3,51	2,55
08:00	3,61	3,98	3,57	3,66	3,35	4,37	3,84	3,25	3,58	2,88	3,68	2,67
09:00	3,67	4,05	3,63	3,72	3,41	4,45	3,90	3,30	3,64	2,93	3,74	2,71
10:00	3,71	4,09	3,67	3,76	3,44	4,50	3,95	3,34	3,68	2,97	3,78	2,74
11:00	3,65	4,02	3,61	3,70	3,39	4,42	3,88	3,29	3,62	2,92	3,72	2,70
12:00	3,65	4,02	3,61	3,70	3,39	4,42	3,88	3,29	3,62	2,92	3,72	2,70
13:00	3,75	4,14	3,71	3,80	3,48	4,55	3,99	3,38	3,73	3,00	3,83	2,78
14:00	3,75	4,14	3,71	3,80	3,48	4,55	3,99	3,38	3,73	3,00	3,83	2,78
15:00	3,71	4,09	3,67	3,76	3,44	4,50	3,95	3,34	3,68	2,97	3,78	2,74
16:00	3,77	4,16	3,74	3,82	3,50	4,57	4,01	3,40	3,75	3,02	3,85	2,79
17:00	3,73	4,12	3,69	3,78	3,46	4,52	3,97	3,36	3,70	2,98	3,81	2,76
18:00	3,65	4,02	3,61	3,70	3,39	4,42	3,88	3,29	3,62	2,92	3,72	2,70
19:00	3,61	3,98	3,57	3,66	3,35	4,37	3,84	3,25	3,58	2,88	3,68	2,67
20:00	3,71	4,09	3,67	3,76	3,44	4,50	3,95	3,34	3,68	2,97	3,78	2,74
21:00	3,65	4,02	3,61	3,70	3,39	4,42	3,88	3,29	3,62	2,92	3,72	2,70
22:00	3,56	3,93	3,53	3,61	3,31	4,32	3,79	3,21	3,54	2,85	3,64	2,64
23:00	3,52	3,89	3,49	3,57	3,27	4,27	3,75	3,17	3,50	2,82	3,59	2,61

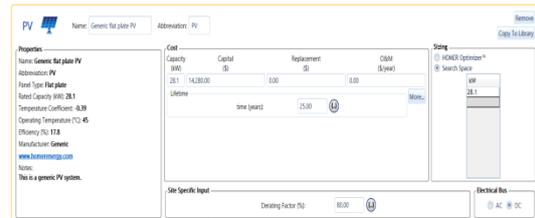
Dari hasil tersebut didapat rata-rata beban perhari sebesar 199,13 kWh/day dan beban puncak 54,96 kW seperti yang terlihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Desain Beban Listrik Gedung Perpustakaan Universitas Udayana

4.5.2 Panel Surya PLTS Atap Gedung Perpustakaan Universitas Udayana

Panel surya yang digunakan pada penelitian ini bermerek RSM 144-5-335P. Pada rancangan PLTS dengan sudut kemiringan atap 20,6° dan 20,1° modul surya yang dipasangkan sebanyak 84 buah dengan biaya sebesar \$ 14.280 seperti yang terlihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Layout Import Modul Surya dengan Sudut Kemiringan Riil

Pada rancangan PLTS dengan sudut kemiringan optimum 14,66° modul surya yang dipasangkan sebanyak 66 buah

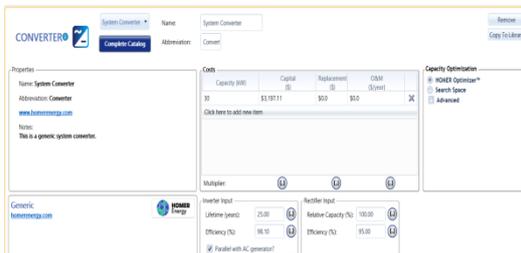
dengan biaya sebesar \$11.220 seperti yang terlihat pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Layout Import Modul Surya dengan Sudut Kemiringan Optimum

#### 4.5.3 Inverter PLTS Atap Gedung Perpustakaan Universitas Udayana

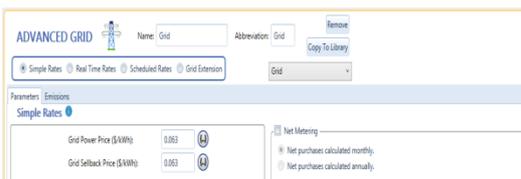
*Inverter* yang digunakan pada rancangan PLTS ini bermerek Solis -3P15P-4G 15.000 W. Berikut merupakan gambar 10 yang menunjukkan *layout input inverter* pada rancangan PLTS atap dengan sudut kemiringan riil dan optimum.



Gambar 10. Layout Import Inverter

#### 4.5.4 Grid

Pada rancangan PLTS ini, harga jual dan harga beli energi listrik pada input *grid* sama yaitu sebesar Rp.900/kWh sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No.26 tahun 2021 pasal 6 butir 1 dengan kurs 1\$ seharga Rp.14.388. Maka harga jual beli energi listrik 1 kWh adalah \$ 0,063 seperti yang terlihat pada gambar 11 berikut [18].



Gambar 11. Layout Import Grid

#### 4.5.5 Hasil Optimasi PLTS Atap Gedung Perpustakaan Universitas Udayana

Hasil optimasi PLTS dengan sudut pemasangan riil kapasitas 28,1 kW dan *inverter* 30 kW didapatkan energi listrik oleh

PV sebesar 40.927 kWh/tahun seperti yang terlihat pada gambar 12 berikut.

Architecture	Cost	System	PV
PV (kW)	28.1	999,999	20.1
Operating cost (\$/yr)	\$0.0338	\$2,052	
Initial capital (\$)	\$16,422	48.7	0
Ren. Freq. (%)			14,200
Total Fuel (kWh/yr)			40,927
Capital Cost (\$)			
Production (kWh/yr)			

Gambar 12. Hasil Optimasi HOMER PV Riil

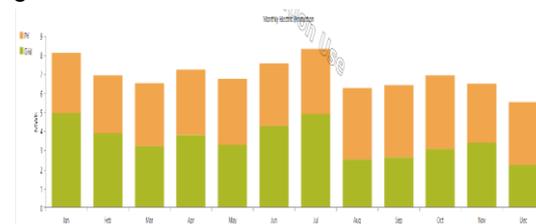
Sementara hasil optimasi PLTS dengan sudut pemasangan optimum kapasitas 22,1 kW dan *inverter* 30 kW didapatkan energi listrik oleh PV sebesar 32.188 kWh/tahun seperti yang terlihat pada gambar 13 berikut ini.

Architecture	Cost	System	PV
PV (kW)	22.1	999,999	15.6
Operating cost (\$/yr)	\$2,593	\$12,079	39.8
Initial capital (\$)			11,220
Ren. Freq. (%)			32,188
Total Fuel (kWh/yr)			
Capital Cost (\$)			
Production (kWh/yr)			

Gambar 13. Hasil Optimasi HOMER PV Optimum

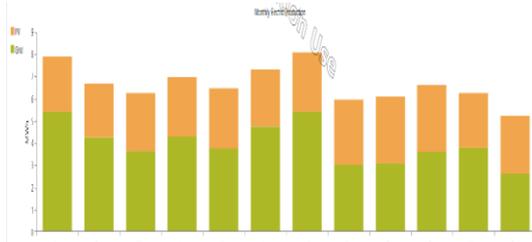
#### 4.5.5 Energi Listrik Sistem On-Grid

Hasil simulasi HOMER produksi energi listrik pada rancangan PLTS Sudut Pemasangan riil 20,6° dan 20,1° dengan Grid menghasilkan energi 83.253 kWh/tahun dengan PLTS Atap berkontribusi sebesar 49,2 % dan selebihnya 50,8% ditanggung oleh *grid* dengan total beban sebesar 82.433 kWh/tahun seperti yang terlihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Hasil Simulasi Electrical PV Sudut Kemiringan Riil-Grid

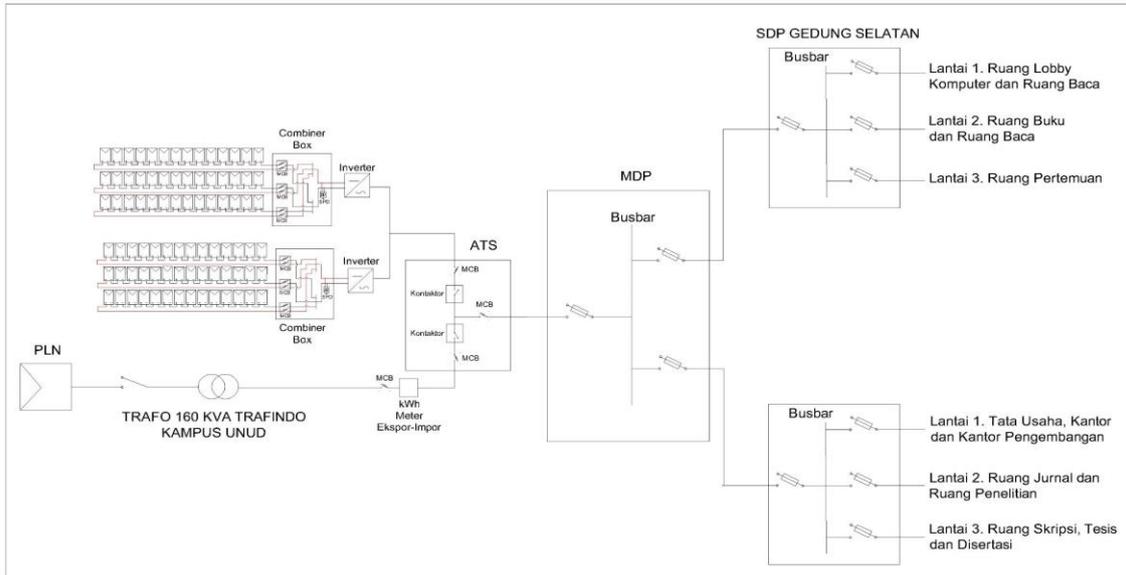
Sementara hasil simulasi HOMER produksi energi listrik pada rancangan PLTS Sudut Pemasangan Optimum 14,66° dengan Grid menghasilkan energi 79.775 kWh/tahun dengan PLTS Atap berkontribusi sebesar 40,3 % dan selebihnya 59,7% ditanggung oleh *grid* dengan total beban sebesar 78.110 kWh.tahun seperti yang terlihat pada gambar 15 berikut.



Gambar 15. Hasil Simulasi *Electrical PV* Sudut Kemiringan Optimum-Grid

#### 4.5.6 Rancangan *Single Line Diagram* PLTS Atap *On Grid* Perpustakaan Universitas Udayana

Berikut merupakan gambar 16 yang menunjukkan rancangan *Single Line Diagram* (SLD) PLTS atap *On Grid* gedung Perpustakaan Universitas Udayana.



Gambar 16. SLD PLTS Atap *On Grid* Universitas Udayana

#### 4.6 Analisis Ekonomi

##### 4.6.1 Investasi Awal

Dalam perhitungan investasi awal, biaya yang perlu diperhitungkan ialah biaya seperti biaya komponen PLTS, biaya pemasangan dan instalasi dan biaya mobilitas. Berikut merupakan tabel 5 yang menunjukkan perhitungan investasi awal dari desain PLTS yang dirancang

Tabel 5. Investasi Awal PLTS Atap

Nama Komponen	Desain PLTS Mengikuti Sudut Atap			Desain PLTS dengan Sudut Optimum		
	Jumlah	Harga	Total	Jumlah	Harga	Total
Panel Surya RSM144-6-335P	84	Rp 2.446.000	Rp 205.464.000	66	Rp 2.446.000	Rp 161.436.000
Inverter SG20KTL-MT-Sungrow 20 kW	2	Rp 23.000.000	Rp 46.000.000	2	Rp 23.000.000	Rp 46.000.000
Pemasangan dan Instalasi	1	Rp 48.700.000	Rp 48.700.000	1	Rp 48.700.000	Rp 48.700.000
Biaya Pengiriman	1	Rp 21.000.000	Rp 21.000.000	1	Rp 21.000.000	Rp 21.000.000
Biaya Rak Panel	1	Rp 11.550.000	Rp 11.550.000	1	Rp 9.900.000	Rp 9.900.000
<b>Jumlah</b>			<b>Rp 332.714.000</b>			<b>Rp 287.036.000</b>

Selain investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional didapat berdasarkan jumlah investasi awalnya dimana pada rancangan PLTS dengan sudut kemiringan atap didapat P&O sebesar Rp. 6.654.280 sementara pada rancangan PLTS dengan sudut kemiringan optimum didapat P&O sebesar Rp.5.740.600.

Selama operasional PLTS, tentunya akan terjadi pergantian komponen PLTS atap dengan total biaya Rp. 50.750.000.

##### 4.6.2 Pendapatan Penjualan Energi

Dari hasil simulasi menggunakan *software* HOMER maka didapat hasil penjualan energi (*energy sales*) dari rancangan PLTS dengan kemiringan riil ke *grid* seperti yang terlihat pada tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Hasil Penjualan Energi PLTS dengan Kemiringan Riil Rp. 900/kWh

Bulan	Energi Terjual (kWh)	Pemasukan
Januari	677	Rp609.300
Februari	757	Rp681.300
Maret	849	Rp764.100
April	702	Rp631.800
Mei	810	Rp729.000
Juni	682	Rp613.800
Juli	664	Rp597.600
Agustus	959	Rp863.100
September	949	Rp854.100
Oktober	940	Rp846.000
November	817	Rp735.300
Desember	945	Rp850.500
Jumlah	9751	Rp8.775.900

Ketika menggunakan rancangan PLTS dengan sudut kemiringan optimum maka didapat hasil penjualan energi listrik seperti yang terlihat pada tabel 7 berikut.

**Tabel 7.** Hasil Penjualan Energi PLTS dengan Kemiringan Optimum Rp. 900/kWh

Bulan	Energi Terjual (kWh)	Pemasukan
Januari	450	Rp405.000
Februari	504	Rp453.600
Maret	552	Rp496.800
April	453	Rp407.700
Mei	536	Rp482.400
Juni	432	Rp388.800
Juli	420	Rp378.000
Agustus	642	Rp577.800
September	618	Rp556.200
Oktober	635	Rp571.500
November	553	Rp497.700
Desember	633	Rp569.700
Jumlah	6428	Rp5.785.200

Sementara ketika PLTS atap belum terpasang, didapat hasil biaya yang harus dibayarkan seperti yang terlihat pada tabel berikut.

**Tabel 8.** Hasil Biaya Pembayaran Energi Listrik Ketika PLTS Belum Terpasang Rp.900/kWh

Bulan	Energi Dibeli (kWh)	Pengeluaran
Januari	7383	Rp6.644.700
Februari	6122	Rp5.509.800
Maret	5627	Rp5.064.300
April	6469	Rp5.822.100
Mei	5877	Rp5.289.300
Juni	6838	Rp6.154.200
Juli	7620	Rp6.858.000
Agustus	5256	Rp4.730.400
September	5408	Rp4.867.200
Oktober	5927	Rp5.334.300
November	5632	Rp5.068.800
Desember	4523	Rp4.070.700
Jumlah	72682	Rp65.413.800

### 4.6.3 Perhitungan Penghematan PLTS Atap Perpustakaan Udayana

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan hasil penghematan energi listrik yang didapat dengan membandingkan PLTS sudah terpasang dengan ketika PLTS belum terpasang. Berikut merupakan tabel 9 yang menunjukkan hasil penghematan ketika PLTS dengan sudut pemasangan atap terpasang dimana total penghematan yang didapat sebesar Rp. 27.319.500

**Tabel 9.** Penghematan Pada PLTS dengan Sudut Kemiringan Riil

Bulan	Energi Tanpa PLTS (kWh)	Biaya Tanpa PLTS	Energi dengan PLTS (kWh)	Biaya dengan PLTS	Penghematan Energi (kWh)	Penghematan Biaya
Januari	7.383	Rp 6.644.700	4.957	Rp4.461.300	2.426	Rp 2.183.400
Februari	6.122	Rp 5.509.800	3.885	Rp3.496.500	2.237	Rp 2.013.300
Maret	5.627	Rp 5.064.300	3.225	Rp2.902.500	2.402	Rp 2.161.800
April	6.469	Rp 5.822.100	3.829	Rp3.446.100	2.640	Rp 2.376.000
Mei	5.877	Rp 5.289.300	3.306	Rp2.975.400	2.571	Rp 2.313.900
Juni	6.838	Rp 6.154.200	4.311	Rp3.879.900	2.527	Rp 2.274.300
Juli	7.620	Rp 6.858.000	4.918	Rp4.426.200	2.702	Rp 2.431.800
Agustus	5.256	Rp 4.730.400	2.530	Rp2.277.000	2.726	Rp 2.453.400
September	5.408	Rp 4.867.200	2.631	Rp2.367.900	2.777	Rp 2.499.300
Oktober	5.927	Rp 5.334.300	3.083	Rp2.774.700	2.844	Rp 2.559.600
November	5.632	Rp 5.068.800	3.401	Rp3.060.900	2.231	Rp 2.007.900
Desember	4.523	Rp 4.070.700	2.251	Rp2.025.900	2.272	Rp 2.044.800
Jumlah	72.682	Rp 65.413.800	42.327	Rp38.094.300	30.355	Rp 27.319.500

Ketika menggunakan rancangan sudut pemasangan optimum, hasil penghematan yang didapat ialah sebesar Rp. 22.585.500 seperti yang terlihat pada tabel 10 berikut.

**Tabel 10.** Penghematan Pada PLTS dengan Sudut Kemiringan Optimum

Bulan	Energi Tanpa PLTS (kWh)	Biaya Tanpa PLTS	Energi dengan PLTS (kWh)	Biaya dengan PLTS	Penghematan Energi (kWh)	Penghematan Biaya
Januari	7.383	Rp 6.644.700	5.395	Rp4.855.500	1.988	Rp 1.789.200
Februari	6.122	Rp 5.509.800	4.274	Rp3.846.600	1.848	Rp 1.663.200
Maret	5.627	Rp 5.064.300	3.622	Rp3.259.800	2.005	Rp 1.804.500
April	6.469	Rp 5.822.100	4.294	Rp3.864.600	2.175	Rp 1.957.500
Mei	5.877	Rp 5.289.300	3.755	Rp3.379.500	2.122	Rp 1.909.800
Juni	6.838	Rp 6.154.200	4.747	Rp4.272.300	2.091	Rp 1.881.900
Juli	7.620	Rp 6.858.000	5.392	Rp4.852.800	2.228	Rp 2.005.200
Agustus	5.256	Rp 4.730.400	3.003	Rp2.702.700	2.253	Rp 2.027.700
September	5.408	Rp 4.867.200	3.101	Rp2.790.900	2.307	Rp 2.076.300
Oktober	5.927	Rp 5.334.300	3.587	Rp3.228.300	2.340	Rp 2.106.000
November	5.632	Rp 5.068.800	3.791	Rp3.411.900	1.841	Rp 1.656.900
Desember	4.523	Rp 4.070.700	2.626	Rp2.363.400	1.897	Rp 1.707.300
Jumlah	72.682	Rp 65.413.800	47.587	Rp42.828.300	25.095	Rp 22.585.500

### 4.6.4 Analisis Kelayakan Investasi

Dalam rancangan PLTS ini tingkat diskonto yang digunakan sesuai dengan tingkat diskonto yang beredar pada Bank Indonesia yaitu sebesar Rp.3,50%. Pada perancangan PLTS kemiringan atap dengan

harga jual energi Rp.900 /kWh didapat total PVNCF sebesar Rp. 454.942.050 dengan investasi awal sebesar Rp. 332.714.000. Dari hasil tersebut maka didapat nilai NPV sebesar Rp.122.228.050, BCR sebesar 1,367 dan DPP pada tahun ke-17 sehingga layak untuk diinvestasikan.

Sementara pada perancangan PLTS kemiringan optimum dengan harga jual energi Rp.900 /kWh didapat total PVNCF sebesar Rp. 342.686.124 dengan investasi awal sebesar Rp. 287.036.000. Dari hasil tersebut maka didapat nilai NPV sebesar Rp.55.650.124, BCR sebesar 1,194 dan DPP pada tahun ke-20 sehingga layak untuk diinvestasikan.

**4.6.5 Analisis Sensivitas Harga Jual Energi**

Dalam analisis sensivitas harga jual energi listrik hal yang perlu diperhatikan ialah nilai LCC, CRF dan COE.

Pada perancangan PLTS kemiringan atap didapat nilai LCC sebesar Rp. 442.383.189, nilai CRF sebesar 0,061 COE sebesar Rp. 659,354/kWh. Dari harga jual tersebut didapat total PVNCF sebesar Rp. 416.267.533 dengan investasi awal sebesar Rp. 332.714.000. Dari hasil tersebut maka didapat nilai NPV sebesar Rp.83.553.533, BCR sebesar 1,251 dan DPP pada tahun ke-19 sehingga layak untuk diinvestasikan.

Pada perancangan PLTS kemiringan optimum didapat nilai LCC sebesar Rp. 381.646.829, nilai CRF sebesar 0,061 dan COE sebesar Rp. 746,456/kWh. Dari harga jual tersebut didapat total PVNCF sebesar Rp. 326.419.183 dengan investasi awal sebesar Rp. 287.036.000. Dari hasil tersebut maka didapat nilai NPV sebesar Rp.39.383.183, BCR sebesar 1,137 dan DPP pada tahun ke-22 sehingga layak untuk diinvestasikan. Berikut merupakan tabel 11 yang menunjukkan hasil analisis kelayakan Investasi dengan sensitivitas harga jual energi listriknya.

**Tabel 11.** Kelayakan Investasi dengan Sensivitas Harga Jual Energi

No	Analisis Kelayakan	PLTS Atap dengan Sudut Pemasangan Mengikuti Kemiringan Atap			PLTS Atap dengan Sudut Pemasangan Optimum		
		Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan	Keterangan	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan	Keterangan
1	NPV (Net Present Value)	Rp83.553.533	NPV>0	Layak	Rp39.383.183	NPV>0	Layak
2	BC-R (Benefit Cost Ratio)	1,251	BCR>1	Layak	1,137	BCR>1	Layak
3	DPP (Discounted Payback Period)	19 Tahun	DPP< Umur Proyek	Layak	22 Tahun	DPP< Umur Proyek	Layak

**4.7 Analisis Reduksi Emisi Karbon**

Data yang dipakai pada analisis reduksi emisi karbon ialah data pada RUPTL tahun 2021 – 2030 dimana faktor emisi CO<sub>2e</sub> bernilai 0,894 ton CO<sub>2e</sub>/MWh atau setara dengan 894 g/kWh [19].

**4.7.1 Emisi Ketika PLTS Belum Terpasang**

Dari hasil simulasi HOMER, didapat jumlah emisi CO<sub>2e</sub> sebesar 64.978 kg/tahun seperti yang terlihat pada gambar 17 berikut.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	64,978	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

**Gambar 17.** Hasil Simulasi CO<sub>2e</sub> Ketika PLTS Atap Belum Terpasang

**4.7.2 Emisi Ketika PLTS dengan Sudut Atap Terpasang**

Dari hasil simulasi HOMER, didapat jumlah emisi CO<sub>2e</sub> pada rancangan PLTS atap dengan sudut pemasangan riil sebesar 37.840 kg/tahun seperti yang terlihat pada gambar 18 berikut.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	37,840	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

**Gambar 18.** Hasil Simulasi CO<sub>2e</sub> Ketika PLTS dengan Sudut Riil Terpasang

Dari gambar 18 diatas, dapat dihitung total persentase reduksi emisi CO<sub>2e</sub> ketika PLTS dengan sudut atap terpasang yaitu sebesar 41,764%

**4.7.3 Emisi Ketika PLTS dengan Sudut Optimum Terpasang**

Dari hasil simulasi HOMER, didapat jumlah emisi CO<sub>2e</sub> pada rancangan PLTS atap dengan sudut pemasangan optimum sebesar 42.543 kg/tahun seperti yang terlihat pada gambar 19 berikut

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	42,543	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

**Gambar 19.** Hasil Simulasi CO<sub>2e</sub> Ketika PLTS dengan Sudut Optimum Terpasang

Dari gambar 19 diatas, dapat dihitung total persentase reduksi emisi CO<sub>2e</sub> ketika PLTS dengan sudut optimum terpasang yaitu sebesar 34,527%

**5 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Rancangan PLTS dengan sudut riil yaitu 20,6° dan 20,3° dapat dipasangkan modul surya sebanyak 84 buah dengan daya sebesar 28,1 kWp sementara pada rancangan PLTS dengan sudut optimum yaitu 14,66° dapat dipasangkan modul surya sebanyak 66 buah dengan daya sebesar 22,1 kWp.
2. Rancangan PLTS dengan sudut riil yaitu 20,6° dan 20,3° layak untuk diinvestasikan karena pendapatan yang dihasilkan sebesar Rp.454.942.050 lebih besar dibandingkan dengan investasi awalnya yaitu sebesar Rp. 332.714.000 sementara pada rancangan PLTS dengan sudut optimum yaitu 14,66° juga layak untuk diinvestasikan karena pendapatan

yang dihasilkan sebesar Rp.342.686.124 lebih besar dibandingkan investasi awalnya yaitu sebesar Rp.326.419.183

3. Rancangan PLTS dengan sudut riil yaitu 20,6° dan 20,3° dengan nilai COE sebesar Rp. 659,354/kWh layak untuk diinvestasikan karena pendapatan yang dihasilkan sebesar Rp.416.267.533 lebih besar dibandingkan dengan investasi awalnya sementara pada rancangan PLTS dengan sudut optimum yaitu 14,66° dengan nilai COE sebesar Rp. 746,456/kWh juga layak untuk diinvestasikan karena pendapatan yang dihasilkan sebesar Rp.326.419.183 lebih besar dibandingkan investasi awalnya
4. Total emisi CO<sub>2e</sub> yang dihasilkan ketika PLTS belum terpasang ialah sebesar 64.978 kg/tahun. Ketika PLTS dengan sudut riil terpasang total emisi CO<sub>2e</sub> yang dihasilkan sebesar 37.840 kg/tahun dengan persentase reduksi sebesar 41,764% sementara Ketika PLTS dengan sudut optimum terpasang total emisi CO<sub>2e</sub> yang dihasilkan sebesar 42.543 kg/tahun dengan persentase reduksi sebesar 34,527%.

**6 DAFTAR PUSTAKA**

[1] Pemerintah Republik Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) No. 79 Tahun 2014. Jakarta

[2] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral .2004. Kebijakan Batubara Nasional. Jakarta: KESDM - No. 1128 K/40/MEM/2004.

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

- Universitas Udayana, Greenpeace Indonesia. Bali
- [4] Anggreni. R, Muliadi, Adriat. R. 2018. Analisis Pengaruh Tutupan Awan Terhadap Radiasi Matahari di Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, vol.6, No.3, Hal.214-219
- [5] Ngurah Rai Airport. 2008. Bali Sun Radiation. Graph Bali sunshine data, Ngurah Rai Airport. Lat: 8.8S; Lon: 115.2E.
- [6] A.A.G.A Pawitra, I.N.S Kumara, W.G. Ariastina. 2020. *Review Perkembangan PLTS di Provinsi Bali Menuju Target Kapasitas 108 MW Tahun 2025*. *Majalah Ilmiah Teknik Elektro*, vol.19, no.2
- [7] BPS Kabupaten Badung. "Kabupaten Badung Dalam Angka 2017". Badung: BPS Kabupaten Badung, no. 51030.1702.
- [8] Gunawan.N.S, Kumara.I.N.S, Irawati.R. 2019. Unjuk Kerja pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,3 kWp Pada Sistem Smart Microgrid Unud. *E-Journal SPEKTRUM*, vol.6, no.3.
- [9] Wicaksana.M.R, Kumara.I.N.S, Giriantari.I.A.D, Irawati.R. 2019. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 kWp Pada Kantor Gubernur Bali. *E-Journal SPEKTRUM*, vol.6, no. 3
- [10] Pratama.I.D.G.Y.P.P, Kumara.I.N.S, Setiawan.I.N. 2018. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Untuk PLTS Rooftop. *E-Journal SPEKTRUM*, vol.5, no. 2.
- [11] Diantari R.A. 2016. Optimasi Produksi Energi Surya Dari Desain Pembangkit Tenaga Surya di Atap STT-PLN. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol.8, no.1
- [12] Kumara.K, Kumara.I.N.S, Ariastina. W.G. 2018. Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT. Indonesia Power Pesanggaran Bali. *E-Journal SPEKTRUM*, vol.5, No.2.
- [13] Hidayat.F, Winardi.B, Nugroho.A. 2018. Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro universitas Diponegoro. *TRANSIENT*, vol.7, no.4, ISSN: 2307-9927,876
- [14] Rafli, Ilham.J, Salim.S. 2022. Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS *Rooftop* Pada Gedung Fakultas Teknik UNG. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol.4, no.1, e-ISSN: 2715-0887.
- [15] Pangaribuan.B.M, Giriantari.I.A.D, Sukerayasa.I.W. 2020. Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat. *E-Journal SPEKTRUM*, vol.7, No.2.
- [16] PT. PLN UP3. 2022. Profil Beban Listrik Perpustakaan Universitas Udayana. Bali Selatan.
- [17] Power Labs Nasa. 2020. *Data Access Viewer (Solar Global Horizontal Irradiance)*. NASA POWER.
- [18] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2021. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum. Jakarta: KESDM
- [19] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2021. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. Perusahaan Listrik Negara Persero (PT.PLN). Jakarta: KESDM