

PERANCANGAN PLTS ATAP ON GRID SYSTEM PADA KANTOR BADAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAERAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KOTA PROBOLINGGO

Allan Ardiansyah¹, I Nyoman Setiawan², I Wayan Sukerayasa³

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

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

aallanard@gmail.com¹

ABSTRAK

PLTS atap sistem *on grid* umum digunakan masyarakat baik dari sektor rumah tangga, komersil, hingga industri untuk mengurangi tagihan energi listrik dari PLN. Berdasarkan PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018, nilai ekspor energi listrik ke jaringan listrik PLN dinilai sebesar 65%, dan jika ekspor energi lebih besar dari tagihan energi maka sisanya akan disimpan dan diakumulasikan pada bulan berikutnya. Hal ini hanya berlaku maksimal 3 bulan, bulan ke- 4 sisa tabungan ekspor energi akan dihilangkan. Penentuan kapasitas PLTS yang tepat membuat kontribusi PLTS dalam melakukan penghematan tagihan lebih optimal. Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo digunakan sebagai lokasi penelitian. Perancangan PLTS Skenario 1 menggunakan kapasitas sesuai dengan kebutuhan energi kantor yaitu sebesar 21,6 kWp, dan kapasitas PLTS Skenario 2 lebih besar dari kebutuhan energi kantor sebesar 32,4 kWp. Berdasarkan analisis kelayakan investasi menggunakan metode NPV, PI, dan DPP menunjukkan perancangan PLTS Skenario 1 dan Skenario 2 layak untuk dijalankan. Investasi PLTS Skenario 1 dan Skenario 2 masing-masing sebesar Rp.267.000.000 dan Rp.395.850.000. Keuntungan dari penghematan tagihan selama 30 Tahun PLTS beroperasi, pada Skenario 1 sebesar Rp. 406.863.069 atau sebesar 152% dari total investasi, sedangkan Skenario 2 sebesar Rp. 595.619.904 atau sebesar 150% dari total investasi.

Kata kunci : PLTS *On grid*, Ekspor Energi, Analisis Kelayakan Investasi, PVsyst.

ABSTRACT

The rooftop on-grid PLTS system is commonly used by people from the household, commercial, to industrial sectors to reduce electricity bills from PLN. Based on PERMEN ESDM 49 of 2018, the export value of electrical energy to the PLN electricity grid is 65%, and if energy exports are greater than energy bills, the rest will be stored and accumulated in the following month. This is only valid for a maximum of 3 months, in the 4th month the remaining energy export savings will be eliminated. Determining the right PLTS capacity makes the contribution of PLTS in making bill savings more optimal. The office of BAPPEDA LITBANG Probolinggo City was used as the research location. The PLTS Scenario 1 design uses a capacity according to the energy needs of the office, which is 21.6 kWp, and the PLTS Scenario 2 capacity is greater than the office energy requirement of 32.4 kWp. Based on the investment feasibility analysis using the NPV, PI, and DPP methods, it shows that the Scenario 1 and Scenario 2 PLTS designs are feasible to run. PLTS Scenario 1 and Scenario 2 investment is Rp. 267,000,000 and Rp. 395.85 million, respectively. The benefit of saving bills for 30 years of PLTS operation, in Scenario 1 is Rp. 406,863,069 or 152% of the total investment, while Scenario 2 is Rp. 595,619,904 or 150% of the total investment.

Keywords : *PLTS On grid, Energy Export, Investment Feasibility Analysis, PVsyst.*

1. PENDAHULUAN

Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui Peraturan Presiden No. 79 tahun

2014 menyatakan bahwa bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) setidaknya 23% ditahun 2025 atau sebesar 6.500 MW. [1].

Pemerintah tengah serius mengejar target tersebut sehingga diterbitkannya Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (PERMEN ESDM) Nomor 49 Tahun 2018. Tujuan dari Peraturan Menteri tersebut adalah untuk mempermudah regulasi dari pemasangan PLTS Atap sehingga menarik minat masyarakat dan juga investor.

Dalam memanfaatkan potensi energi matahari, Pemerintah Provinsi Jawa Timur melalui Peraturan Daerah Nomor 6 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Timur Tahun 2019-2050 yang memiliki target dalam bauran energi baru terbarukan sebesar 17,09% pada tahun 2025 dan 19,56% pada tahun 2050. Dengan diterbitkannya PERDA Nomor 6 Tahun 2019, Pemerintah Provinsi Jawa Timur berharap beberapa instansi perkantoran, sekolah, maupun swalayan mampu mendukung program pemerintah dalam mempercepat target penggunaan Energi Baru Terbarukan. [2]

Dalam melakukan perancangan PLTS Atap sistem *on grid* harus mengikuti ketentuan dari PERMEN ESDM yang telah ditetapkan pemerintah. PLTS Atap sistem *on grid* terhubung dengan jaringan listrik PLN untuk melakukan ekspor/impor energi listrik. Penggunaan PLTS Atap dengan kapasitas besar tanpa mempertimbangkan beban listrik pada gedung mengakibatkan banyaknya energi listrik yang akan diekspor. Ketentuan PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018 mengenai ekspor energi listrik sebesar 65% dan akumulasi selisih tagihan dinihalkan setiap 3 bulan akan menjadi pertimbangan untuk menentukan jumlah kapasitas yang tepat sehingga penggunaan PLTS Atap dapat dimanfaatkan secara optimal dalam mengurangi tagihan listrik dari PLN. [3]

Berbagai penelitian mengenai potensi, perancangan, dan unjuk kerja PLTS telah banyak dilakukan. Penelitian mengenai unjuk kerja PLTS *rooftop* dengan kapasitas 158 kWp pada Kantor Gubernur Bali menggunakan *software helioscope* untuk mengetahui potensi produksi energi listrik dari PLTS. [4] Penelitian mengenai unjuk kerja PLTS *smart microgrid* 26,4 kWp yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana. [5]

Penelitian yang membahas kajian teknis PLTS adalah perancangan PLTS pada Gedung Sekolah Dasar Negeri 5 Pendungan [6], dan RSPTN UNUD [7].

Kajian ekonomis bertujuan untuk mengetahui layak atau tidaknya perancangan PLTS direalisasikan. Kajian teknis dan ekonomis telah digunakan dalam penelitian Perancangan PLTS untuk Villa [8], Gedung Rektorat Kampus Universitas Udayana [9], dan Kantor Pusat Pemerintahan Badung. [10]

Penelitian potensi pemanfaatan atap tribun Stadion I Wayan Dipta Gianyar menggunakan dua skenario dengan kapasitas yang berbeda. Tujuannya untuk menentukan kapasitas yang paling menguntungkan secara ekonomi. Berdasarkan kajian ekonomis, perancangan dengan skenario kapasitas yang lebih besar memiliki keuntungan lebih besar. [11]. Hal ini dipengaruhi oleh biaya investasi pada masing-masing skenario. Tabel biaya investasi PLTS Atap di Bali Tahun 2019 menunjukkan bahwa semakin besar kapasitas PLTS maka biaya per kWpnya lebih rendah. [12].

Menentukan kapasitas PLTS dalam jumlah yang besar tanpa mempertimbangkan kebutuhan beban memungkinkan terjadinya ekspor energi listrik dalam jumlah besar. Berdasarkan PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018 ekspor energi listrik ke jaringan PLN hanya dinilai sebesar 65%.

Penelitian ini membahas tentang perancangan PLTS atap sistem *on grid* dengan berdasarkan ketentuan PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018. Perancangan PLTS menggunakan 2 Skenario dengan kapasitas berbeda bertujuan untuk menentukan kapasitas PLTS yang paling optimal dalam menghemat tagihan rupiah. Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian dan Pengembangan (BAPPEDA LITBANG) Kota Probolinggo digunakan sebagai objek penelitian. Perancangan PLTS Skenario 1 menggunakan kapasitas sesuai dengan kebutuhan energi kantor sehingga dapat meminimalisir jumlah ekspor energi listrik. Perancangan PLTS Skenario 2 menggunakan kapasitas lebih besar dari kebutuhan energi kantor, memungkinkan terjadinya ekspor energi listrik yang dinilai hanya sebesar 65% dalam jumlah besar.

2. KAJIAN PUSTAKA

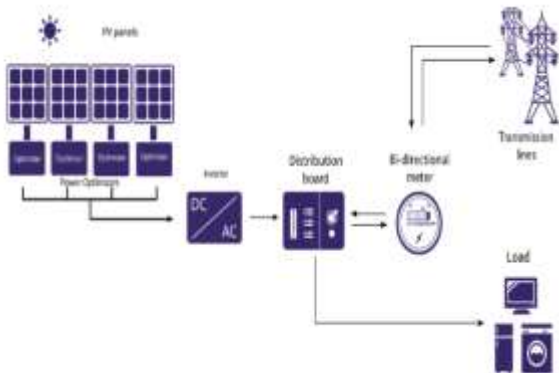
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi dari cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik.

PLTS menggunakan 2 komponen utama yaitu modul surya dan inverter untuk dapat beroperasi. [13]

2.2 Prinsip Kerja PLTS On grid

PLTS *on grid* merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik PLN. Tujuan PLTS *on grid* untuk mengurangi pemakaian energi listrik PLN sehingga mampu menghemat tagihan rupiah setiap bulannya. Prinsip kerja dari PLTS *on grid* disajikan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 1. Prinsip Kerja PLTS On grid [13]

Secara sederhana, unjuk kerja PLTS *on grid* sebagai berikut:

1. Saat PLTS beroperasi, arus keluaran modul surya (DC) dikonversi menjadi AC melalui inverter.
2. Keluaran inverter terhubung paralel dengan dengan PLN pada panel beban dan dilakukan sinkronisasi tegangan, frekuensi, dan sudut fasa. Arus keluaran dari sistem PLTS (inverter) bersinergi dengan arus dari PLN dalam memenuhi kebutuhan listrik dengan memprioritaskan arus keluaran dari sistem PLTS.
3. Impor energi listrik terjadi saat produksi daya PLTS tidak dapat memenuhi beban secara keseluruhan, sehingga masih menggunakan daya PLN. Ekspor energi listrik terjadi ketika produksi daya PLTS lebih besar dari beban listrik, sehingga sisa daya akan disalurkan ke jaringan listrik PLN. Ekspor dan Impor daya listrik tercatat pada kWh meter dalam bentuk energi.

2.3 PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018

Berdasarkan PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018, energi listrik pelanggan PLTS Atap yang diekspor dihitung berdasarkan nilai kWh ekspor yang tercatat pada kWh

meter dikali 65%. Berikut rumus perhitungannya. [3]

$$(\text{selisih lebih kWh}) = (\text{jumlah kWh impor}) - (\text{jumlah kWh Ekspor}) \times 65\% \quad (2.6)$$

Berdasarkan rumus perhitungan diatas, jika jumlah energi listrik yang diekspor lebih besar dari jumlah energi listrik yang diimpor pada bulan berjalan, selisih lebih akan diakumulasikan dan diperhitungkan sebagai pengurang tagihan listrik bulan berikutnya.

Ketentuan kapasitas PLTS atap telah diatur berdasarkan PERMEN tersebut yaitu kapasitas maksimal inverter tidak lebih besar dari daya terpasang PLN.

2.4 Analisis Kelayakan Ekonomi

Tujuan analisis kelayakan ekonomi adalah memastikan keberlanjutan ekonomi suatu proyek. Proyek dianggap layak secara ekonomi jika proyek tersebut dibutuhkan dan mampu memberikan manfaat yang lebih baik atau manfaat serupa namun dengan biaya yang lebih murah.

a. Net Present Value (NPV)

Nilai Net Present Value dapat dihitung dengan total arus kas bersih dikalikan faktor diskonto tiap tahunnya dikurangi Initial Investment. Atau dapat dirumuskan sebagai berikut. [14]

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

Proyek dapat dikatakan layak jika nilai NPV lebih besar dari 0.

b. Profitability Index

Profitability Index menunjukkan keuntungan yang didapat dari sebuah proyek dalam kurun waktu umur proyek, investasi dapat dikatakan layak jika PI harus lebih besar dari 1. Rumus perhitungan PI sebagai berikut. [14]

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

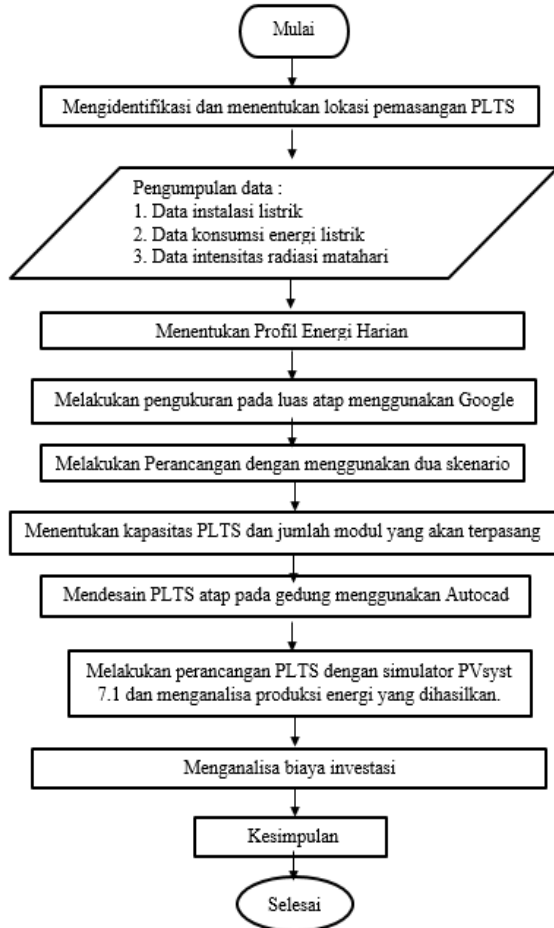
c. Discounted Payback Period

Discounted Payback Period merupakan periode waktu pengembalian uang investasi yang dihitung menggunakan discount factor. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa lama nilai arus kas bersih setara dengan investasi awal. [15]

3. METODE PENELITIAN

Perancangan PLTS atap sistem *on grid* dilakukan di Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah

Penelitian dan Pengembangan (BAPPEDA LITBANG) Kota Probolinggo. Sumber data yang digunakan adalah pemakaian energi listrik setiap bulan dari tagihan kantor, profil energi dari data AMR PLN, data iklim dari website nasa, data hasil simulasi dari PVsyst, harga modul surya dan inverter berdasarkan website warung energi. Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo

Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo beroperasi pada saat hari kerja, yaitu pada Hari Senin-Jumat pukul 7.30-16.00 WIB. Berdasarkan letak geografis memiliki titik koordinat Lintang Selatan dan Bujur Timur sebesar - 7.7533132°, 133.2071383°. Daya PLN terpasang pada kantor sebesar 33 kVA.

4.2 Tagihan Pemakaian Energi Listrik

Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo memiliki daya terpasang

sebesar 33.000 VA dapat dikategorikan pada golongan tarif P-1/TR dengan biaya perKWh sebesar Rp. 1.352. Data rekening pembayaran listrik di Kantor BAPPEDA LITBANG dari bulan Januari sampai bulan Desember 2019 dengan nomor ID Pelanggan 513560023403 dapat dilihat pada tabel berikut.

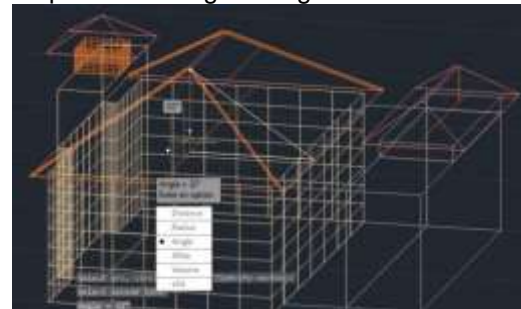
Tabel 1. Tagihan Pemakaian Energi PLN

Bulan	Pemakaian Energi (kWh)	Pembayaran (Rp.)
Januari	6.953,26	9.400.809,00
Februari	6.870,78	9.289.296,00
Maret	7.274,50	9.835.124,00
April	7.434,03	10.050.814,00
Mei	7.462,25	10.088.964,00
Juni	7.599,18	10.274.091,00
Juli	6.572,52	8.886.044,00
Agustus	7.192,20	9.723.861,00
September	7.578,82	10.246.565,00
Oktober	7.787,91	10.529.255,00
November	8.419,64	11.383.355,00
Desember	9.604,57	12.985.374,00
Total	90.749,67	122.693.552,00

Sumber: BAPPEDA LITBANG Probolinggo

4.3 Sudut Kemiringan

Berdasarkan hasil proyeksi 3 dimensi menggunakan Autocad, diketahui kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo memiliki 2 atap yaitu atap besar dan atap kecil. Dari hasil pengukuran sudut dapat diketahui sudut kemiringan atap besar dan atap kecil masing masing sebesar 32°.



Gambar 3. Sudut Atap Besar



Gambar 4. Sudut Atap Kecil

4.4 Data Iklim

Data iklim yang diperlukan untuk simulasi menggunakan PVsyst terdiri dari

Radiasi Global Horizontal (GHI), Suhu, Kecepatan Angin, dan Persentase Kelembapan yang dapat diakses melalui website *Data Acces Viewer*. Data iklim dari Nasa dengan lokasi data di Kantor BAPPEDA LITBANG pada tahun 2019, disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Data Iklim NASA [16]

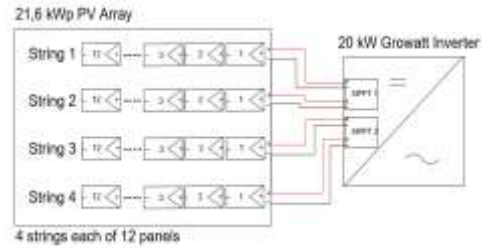
Bulan	Global Horizontal Irradiation (kWh/m ² /hari)	Horizontal Diffuse Irradiation (kWh/m ² /hari)	Temperature (°C)	Wind Velocity (m/s)	Relative Humidity (%)
Januari	3,07	2,81	25,97	2,34	86
Februari	3,97	2,65	26,08	1,62	86,12
Maret	3,46	2,63	25,77	2,02	86,94
April	4,5	2,22	26,23	2,09	87
Mei	6,27	1,44	25,47	3,16	85,94
Juni	5,84	1,59	25,25	3,38	80,56
Juli	6,26	1,41	26	3,73	74,88
Agustus	6,66	1,55	27,06	4,09	70,25
September	6,96	1,63	28,47	4,03	68,12
Oktober	6,77	1,9	30,67	3,86	64,12
November	6,26	2,14	31,78	3,5	63,56
Desember	3,96	2,91	29,85	1,69	72,5
Rata-rata	5,33	2,07	27,38	2,96	77,17

Sumber: *Data Access Viewer*

4.5 Perancangan PLTS Atap Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo

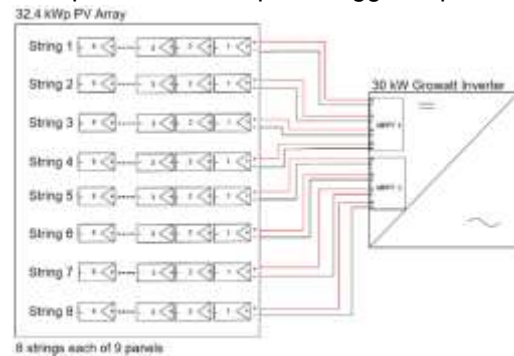
Pada perancangan PLTS Atap Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo mengacu pada PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018. Dalam PERMEN tersebut terdapat regulasi dimana kapasitas maksimum dari PLTS tidak lebih besar dari daya terpasang oleh PLN.

Perancangan PLTS Skenario 1 menggunakan kapasitas PLTS sesuai dengan kebutuhan energi kantor saat beroperasi. Tujuan dari penentuan kapasitas tersebut agar tidak ada ekspor energi listrik oleh PLTS ke jaringan PLN pada saat kantor beroperasi. Diketahui pemakaian energi puncak sebesar 21 kWh sehingga dapat ditentukan daya *output* inverter yang digunakan sebesar 20 kW. Untuk dapat melakukan simulasi menggunakan *PVsys*, daya puncak *output* modul surya harus lebih besar dari daya inverter. Dengan mengoptimalkan jumlah slot string pada MPPT inverter, kapasitas modul surya yang digunakan adalah sebesar 450 Wp sebanyak 48 modul sehingga kapasitas PLTS pada Skenario 1 yang direkomendasikan oleh *PVsys* sebesar 21,6 kWp. Konfigurasi seri-paralel ditampilkan pada gambar single line diagram berikut.



Gambar 5. Single Line Diagram Skenario 1

Perancangan PLTS Skenario 2 menggunakan kapasitas lebih besar dari pemakaian energi puncak kantor. Daya Inverter yang digunakan pada Skenario 2 sebesar 30 kW. Dalam melakukan simulasi menggunakan *PVsys*, kapasitas daya *output* modul surya harus lebih besar dari inverter yang digunakan. Dengan mengoptimalkan jumlah slot string pada MPPT inverter, digunakan 72 modul surya berkapasitas 450 Wp sehingga kapasitas



Skenario 2 sebesar 32,4 kWp. Konfigurasi seri-paralel ditampilkan pada gambar single line diagram berikut.

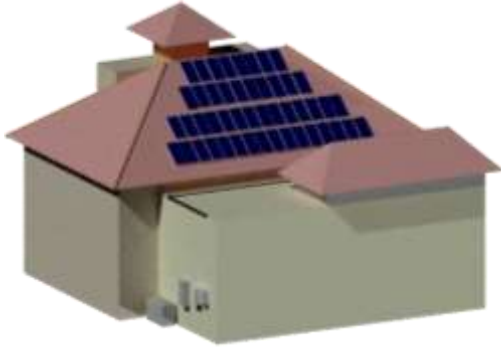
Gambar 6. Single Line Diagram Skenario 2

4.6 Desain 3 Dimensi menggunakan Autocad

Kantor BAPPEDA LITBANG terdiri dari 2 atap dengan sudut kemiringan yang sama sebesar 32°. Dalam penelitian ini modul surya dipasang menghadap garis kathulistiwa atau sebelah utara dari titik koordinat lokasi penelitian. Luas sisi utara atap besar dan atap kecil masing masing sebesar 183,7m² dan 50,1m² dengan total luas sisi utara atap sebesar 233,8 m²

4.6.1 Perancangan PLTS Skenario 1

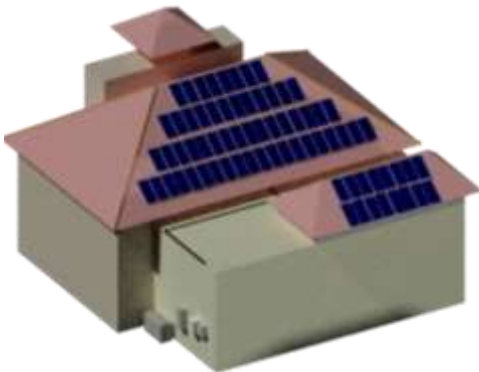
Perancangan PLTS Skenario 1 kapasitas sebesar 21,6 kWp dengan menggunakan total 48 modul surya merk *Longi Solar* berkapasitas 450 Wp. Inverter yang digunakan merk *Growatt* dengan tipe 20000TL3X kapasitas 20 kW.



Gambar 7. Perancangan PLTS Skenario 1

4.6.2 Perancangan PLTS Skenario 2

Perancangan PLTS Skenario 2 menggunakan kapasitas sebesar 32,4 kWp dengan menggunakan total 72 modul surya merk *Longi Solar* berkapasitas 450 Wp. Inverter yang digunakan merk *Growatt* dengan tipe 30000TL3S kapasitas 30 kW. Perancangan PLTS Atap skenario 2 menggunakan 2 atap pada Kantor BAPPEDA LITBANG dengan jumlah sebanyak 56 modul surya pada atap besar dan 16 modul pada atap kecil.



Gambar 8. Perancangan PLTS Skenario 2

4.7 Simulasi PVsyst

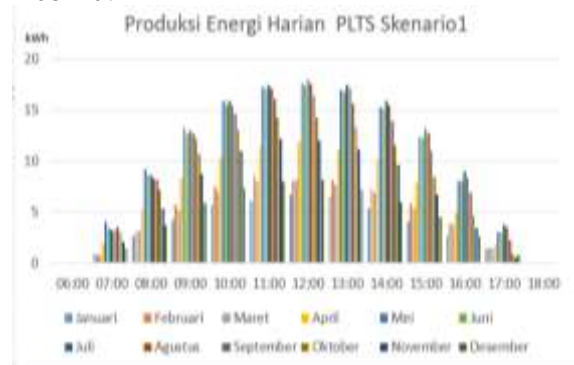
Dari data yang telah didapatkan diinputkan menggunakan PVsyst. Hasil simulasi ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil simulasi PVsyst

Bulan	Produksi Energi Skenario 1 (kWh)	Produksi Energi Skenario 2 (kWh)
Januari	1.438	2.224
Februari	1.700	2.605
Maret	1.778	2.728
April	2.557	3.886
Mei	4.131	6.242
Juni	3.892	5.882
Juli	4.200	6.346
Agustus	4.078	6.164
September	3.625	5.482
Oktober	3.157	4.785
November	2.489	3.787
Desember	1.726	2.651
Total	34.772	52.782

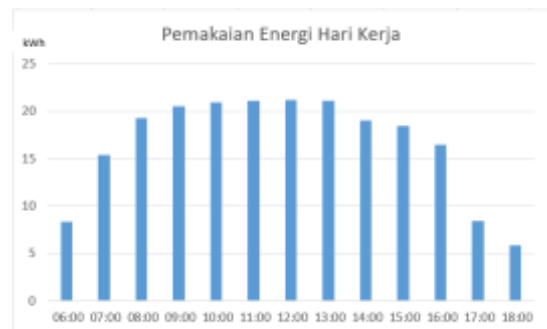
4.8 Suplai Energi PLTS Skenario 1

Berdasarkan hasil produksi energi bulanan yang telah didapatkan, perlu dianalisis jumlah energi terpakai dan jumlah energi yang diekspor ke jaringan PLN. Profil energi saat hari kerja dan hari libur memiliki rata rata pemakaian energi yang berbeda sehingga perlu diklasifikasikan suplai energi hari kerja dan hari libur. Rata rata produksi energi harian PLTS setiap bulan yang didapatkan dari hasil simulasi menggunakan PVsyst disajikan pada grafik berikut.



Gambar 9. Rata-Rata Produksi Energi Harian PLTS Skenario 1

Data AMR (*Automatic Meter Reading*) didapatkan dari PT. PLN UP3 Pasuruan. [17]. Data AMR digunakan untuk mengetahui pemakaian energi listrik harian. Berdasarkan data AMR diklasifikasikan menjadi pemakaian energi hari kerja dan hari libur. Dalam penelitian ini digunakan data AMR pada bulan Oktober 2021. Pemakaian energi pada bulan Oktober 2021 diasumsikan terjadi selama satu tahun. Rata-rata pemakaian energi hari kerja dan hari libur setiap bulannya ditampilkan pada grafik berikut.



Gambar 10. Pemakaian Energi Hari Kerja



Gambar 11. Pemakaian Energi Hari Libur

Dilakukan pengurangan produksi energi PLTS dengan pemakaian energi kantor setiap jamnya untuk menentukan jumlah ekspor energi pada hari kerja dan hari libur. Dari hasil pengurangan, saat jam pada bulan tertentu menunjukkan nilai negatif. Tanda negatif mengindikasikan besar energi yang diimpor atau tidak terjadi ekspor energi karena produksi energi PLTS kurang dari pemakaian energi kantor pada jam tersebut. Sedangkan nilai positif akan dijumlahkan setiap jamnya dan didapatkan rata-rata jumlah ekspor energi harian pada bulan tersebut. Rata-rata ekspor energi harian dikalikan dengan jumlah hari kerja dan hari libur pada bulan tersebut.

Tabel 4. Perhitungan Total Ekspor Energi

Bulan	Hari Kerja			Hari Libur		
	Ekspor Energi (kWh)	Jumlah	Total Ekspor (kWh)	Ekspor energi (kWh)	Jumlah	Total Ekspor (kWh)
Januari	0	22	0	8,42	9	75,77
Februari	0	19	0	20,12	9	181,11
Maret	0	20	0	17,32	11	190,56
April	0	19	0	42,52	11	467,76
Mei	0	20	0	88,91	11	977,98
Juni	0	15	0	85,41	15	1.281,11
Juli	0	23	0	90,51	8	724,06
Agustus	0	22	0	86,71	9	780,36
September	0	21	0	77,21	9	694,86
Oktober	0	23	0	59,41	8	475,26
November	0	21	0	42,62	9	383,61
Desember	0	21	0	17,25	10	172,46

Dengan diketahuinya jumlah ekspor energi, dapat ditentukan jumlah energi PLTS terpakai dengan melakukan pengurangan.

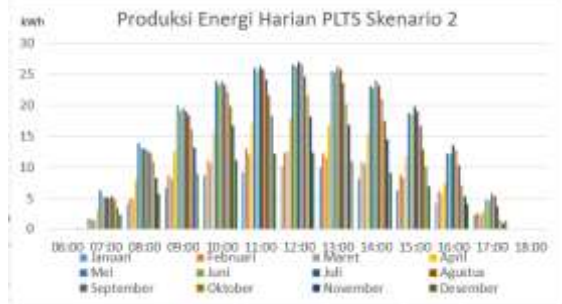
Tabel 5. Perhitungan Energi PLTS Terpakai

Bulan	Produksi Energi PLTS (kWh)	Total Ekspor Energi (kWh)	Energi PLTS Terpakai (kWh)
Januari	1.438	75,77	1.362,23
Februari	1.700	181,11	1.518,89
Maret	1.778	190,56	1.587,44
April	2.557	467,76	2.089,24
Mei	4.131	977,98	3.153,02
Juni	3.892	1.281,11	2.610,89
Juli	4.200	724,06	3.475,94
Agustus	4.078	780,36	3.297,64
September	3.625	694,86	2.930,14
Oktober	3.157	475,26	2.681,74
November	2.489	383,61	2.105,39

Desember	1.726	172,46	1.553,54
----------	-------	--------	----------

4.9 Suplai Energi PLTS Skenario 2

Dalam menentukan jumlah ekspor energi dan energi terpakai pada Skenario 2, dilakukan perhitungan yang sama dengan Skenario 1. Rata-rata produksi energi harian PLTS setiap bulan pada Skenario 2 sebagai berikut.



Gambar 12. Rata-Rata Produksi Energi Harian PLTS Skenario 1

Dilakukan pengurangan data rata-rata produksi energi harian kantor dengan rata-rata pemakaian energi kantor. Nilai positif akan dijumlahkan setiap jamnya dan didapatkan rata-rata jumlah ekspor energi harian pada bulan tersebut. Rata-rata ekspor energi harian dikalikan dengan jumlah hari kerja dan hari libur pada bulan tersebut. Perhitungan ekspor energi selama satu bulan pada hari kerja dan hari libur sebagai berikut.

Tabel 6. Perhitungan Total Ekspor Energi

Bulan	Hari Kerja			Hari Libur		
	Ekspor Energi (kWh)	Jumlah	Total Ekspor (kWh)	Ekspor energi (kWh)	Jumlah	Total Ekspor (kWh)
Januari	0,00	22	0,00	29,22	9	263,01
Februari	0,00	19	0,00	50,34	9	453,04
Maret	0,00	20	0,00	45,74	11	503,12
April	0,00	19	0,00	85,11	11	936,18
Mei	22,12	20	442,36	155,79	11	1.713,68
Juni	19,92	15	298,77	150,69	15	2.260,33
Juli	25,62	23	589,21	159,39	8	1.275,11
Agustus	22,12	22	486,59	153,29	9	1.379,60
September	12,30	21	258,36	137,61	9	1.238,46
Oktober	0,94	23	21,68	111,31	8	890,46
November	0,00	21	0,00	83,71	9	753,36
Desember	0,00	21	0,00	43,42	10	434,24

Tabel 7. Perhitungan Total Energi Terpakai

Bulan	Produksi Energi PLTS (kWh)	Total Ekspor Energi (kWh)	Energi PLTS Terpakai (kWh)
Januari	2.224	263,01	1.960,99
Februari	2.605	453,04	2.151,96
Maret	2.728	503,12	2.224,88
April	3.886	936,18	2.949,82
Mei	6.242	2.156,03	4.085,97
Juni	5.882	2.559,10	3.322,90
Juli	6.346	1.864,32	4.481,68
Agustus	6.164	1.866,19	4.297,81
September	5.482	1.496,83	3.985,17
Oktober	4.785	912,14	3.872,86
November	3.787	753,36	3.033,64

Desember	2.651	434,24	2.216,76
----------	-------	--------	----------

4.10 Perhitungan Biaya Investasi

Pada penelitian ini, diasumsikan Warung Energi sebagai vendor PLTS di Kantor BAPPEDA LITBANG.

Tabel 8. Perhitungan Biaya Investasi [18]

Komponen	Harga (Rupiah)	Jumlah Unit		Total Rupiah	
		Skenario 1	Skenario 2	Skenario 1	Skenario 2
Modul Surya Longi Solar, LR4-72 H80	2.781.000	48	72	133.488.000	218.918.000
Inverter Growatt, 20000TL3	28.500.000	1	-	28.500.000	-
Inverter Growatt, 30000TL3X	39.600.000	-	1	-	39.600.000
Komponen Pasokan: Rak Modul Kabel kWh Ekspor-Import Biaya Instalasi				105.012.000	156.018.000
Total				267.000.000	395.536.000

Sumber: Warung Energi

4.11 Analisa Ekonomi

Perhitungan tagihan energi mengacu pada PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018 disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 9. Tagihan Energi Skenario 1

Bulan	kWh Import		kWh Ekspor		Tagihan Energi (kWh)	Akumulasi Sisa Ekspor Energi (kWh)
	Pemakaian Energi Sebelum Terpasang PLTS	Energi PLTS Terpakai	Ekspor Energi 65%	Ekspor Energi 65%		
Januari	6.953,26	1.362,23	49,25	5.541,78	-	-
Februari	6.870,78	1.518,89	117,72	5.234,17	0	0
Maret	7.274,50	1.587,44	123,86	5.563,20	0	0
April	7.434,03	2.088,24	304,04	5.046,75	-	-
Mei	7.462,25	1.153,02	635,69	3.673,54	0	0
Juni	7.599,18	2.610,89	811,72	4.155,57	0	0
Juli	6.572,52	3.435,94	430,64	2.625,94	-	-
Agustus	7.192,20	3.297,64	597,24	3.387,33	0	0
September	7.578,82	2.938,14	451,66	4.197,02	0	0
Oktober	7.787,91	2.681,74	388,92	4.797,25	-	-
November	8.419,64	2.105,39	249,35	6.064,91	0	0
Desember	9.604,57	1.553,54	112,10	7.938,93	0	0
Total	90.749,67	28.366,10	-4.163,19	58.220,38	0	0

Tabel 10. Tagihan Energi Skenario 2

Bulan	kWh Import		kWh Ekspor		Tagihan Energi (kWh)	Akumulasi Sisa Ekspor Energi (kWh)
	Pemakaian Energi Sebelum Terpasang PLTS	Energi PLTS Terpakai	Ekspor Energi 65%	Ekspor Energi 65%		
Januari	6.953,26	1.960,99	170,96	4.821,32	-	-
Februari	6.870,78	2.151,96	254,48	4.424,35	0	0
Maret	7.274,50	2.224,88	327,03	4.722,59	0	0
April	7.434,03	2.949,82	608,52	3.875,70	-	-
Mei	7.462,25	4.085,97	1.401,42	3.974,86	0	0
Juni	7.599,18	3.322,90	1.665,41	2.612,86	0	0
Juli	6.572,52	4.481,68	1.211,81	879,03	-	-
Agustus	7.192,20	4.297,81	1.213,02	1.661,37	0	0
September	7.578,82	3.985,17	972,94	2.620,71	0	0
Oktober	7.787,91	3.872,86	592,89	3.322,16	-	-
November	8.419,64	3.033,64	489,69	4.896,32	0	0
Desember	9.604,57	2.216,76	282,25	7.105,56	0	0
Total	90.749,67	38.584,44	9.228,42	42.936,82	0	0

Tagihan energi diperoleh dari pengurangan antara pemakaian energi sebelum terpasang PLTS dengan Energi PLTS terpakai. Dengan Adanya Energi PLTS terpakai kontribusi energi PLN menjadi berkurang. Hasil pengurangan tersebut dikurangi dengan ekspor energi setelah dikali 65%. Apabila jumlah ekspor

energi setelah dikali 65% masih lebih besar maka tagihan energinya menjadi 0 dan sisa ekspor energi akan disimpan untuk mengurangi tagihan pada bulan berikutnya.

Tabel 11. Perhitungan Penghematan Tagihan Rupiah

Bulan	Tagihan Sebelum Terpasang PLTS (Rupiah)	Skenario 1		Skenario 2	
		Tagihan Setelah Terpasang PLTS (Rupiah)	Penghematan (Rupiah)	Tagihan Setelah Terpasang PLTS (Rupiah)	Penghematan (Rupiah)
Januari	9.400.809	7.492.485	1.908.324	6.518.419	2.882.390
Februari	9.289.296	7.076.599	2.212.697	5.981.715	3.307.581
Maret	9.835.124	7.521.441	2.313.683	6.384.942	3.450.182
April	10.050.814	6.815.094	3.235.720	5.239.941	4.810.873
Mei	10.088.964	4.966.631	5.122.333	2.670.015	7.418.949
Juni	10.274.091	5.618.327	4.655.764	3.532.593	6.741.498
Juli	8.886.044	3.550.268	5.335.776	1.188.449	7.697.595
Agustus	9.723.861	4.579.673	5.144.188	2.273.215	7.450.646
September	10.246.565	5.674.375	4.572.190	3.543.200	6.703.365
Oktober	10.529.255	6.485.883	4.043.572	4.491.560	6.037.695
November	11.383.355	8.199.753	3.183.602	6.619.823	4.763.532
Desember	12.985.374	10.733.431	2.251.943	9.606.703	3.378.671
Total	122.693.552	78.713.960	43.979.592	58.056.575	64.642.977

4.12 Analisa Kelayakan Investasi

Pada perancangan PLTS arus kas yang masuk berupa penghematan tagihan listrik pertahun. Sedangkan untuk arus kas keluar adalah biaya operasional dan pemeliharaan.

$NCF = Arus\ kas\ masuk - Arus\ kas\ keluar$
Perhitungan NCF Skenario 1 tahun pertama sebagai berikut:

$$NCF_{Sk1} = Rp. 43.979.592 - Rp. 2.670.000$$

$$NCF_{Sk1} = Rp. 41.309.592$$

Perhitungan NCF Skenario 2 tahun pertama sebagai berikut:

$$NCF_{Sk2} = Rp. 64.642.977 - Rp. 3.958.500$$

$$NCF_{Sk2} = Rp. 60.684.477$$

Tingkat diskonto (i) yang digunakan sebesar 3,5%, nilai ini diambil berdasarkan data uang beredar Bank Indonesia pertanggal 1 Oktober 2021. Perhitungan untuk menentukan faktor 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} merupakan biaya pergantian inverter, inverter hanya memiliki *life-time* selama 10 tahun sehingga perlu dilakukan pergantian inverter setelah 10 tahun

pemakaian. Harga inverter diasumsikan akan mengalami penurunan setiap tahunnya sesuai dengan faktor diskonto yang telah dihitung. Perhitungan biaya pergantian inverter pada tahun ke 11 pada Skenario 1 sebagai berikut.

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

$$R_{PW \text{ tahun ke } 11, sk1} = Rp. 28.500.000 \times \frac{1}{(1 + 3,5)^{11}}$$

$$R_{PW \text{ tahun ke } 11, sk1} = Rp. 19.520.953$$

PVNCF (Present Value Net Cash Flow) merupakan nilai arus kas bersih saat ini, Perhitungan PVNCF disajikan pada tabel berikut.

Tabel 12. Perhitungan PVNCF Skenario 1 dan Skenario 2

Tahun	Arus Kas Bersih (NCF)		Inverter		Faktor Diskonto	PVNCF	
	Sk 1	Sk 2	Sk 1	Sk 2		Sk 1	Sk 2
1	41.399.592	60.684.477	-	-	0,97	39.912.650	58.632.345
2	40.430.001	59.391.617	-	-	0,93	37.741.838	55.442.710
3	40.232.092	59.100.724	-	-	0,90	36.287.042	53.305.407
4	40.034.184	58.809.831	-	-	0,87	34.887.479	51.249.370
5	39.836.276	58.518.937	-	-	0,84	33.541.076	49.271.375
6	39.638.368	58.228.044	-	-	0,81	32.245.838	47.368.551
7	39.440.460	57.937.151	-	-	0,79	30.999.845	45.538.077
8	39.242.552	57.646.257	-	-	0,76	29.801.247	43.777.234
9	39.044.643	57.355.364	-	-	0,73	28.648.264	42.083.407
10	38.846.735	57.064.470	-	-	0,71	27.539.181	40.454.077
11	38.648.827	56.773.577	19.520.953	27.123.850	0,68	13.101.555	20.308.453
12	38.450.919	56.482.684	-	-	0,66	25.446.176	37.379.297
13	38.253.011	56.191.790	-	-	0,64	24.459.134	35.929.204
14	38.055.103	55.900.897	-	-	0,62	23.509.749	34.534.556
15	37.857.194	55.610.003	-	-	0,60	22.596.604	33.193.089
16	37.659.286	55.319.110	-	-	0,58	21.718.333	31.902.858
17	37.461.378	55.028.217	-	-	0,56	20.873.621	30.661.950
18	37.263.470	54.737.323	-	-	0,54	20.061.204	29.468.448
19	37.065.562	54.446.430	-	-	0,52	19.279.863	28.320.620
20	36.867.654	54.155.536	-	-	0,50	18.528.425	27.216.725
21	36.669.745	53.864.643	13.838.773	19.228.608	0,49	11.080.057	16.818.251
22	36.471.837	53.573.750	-	-	0,47	17.310.785	25.134.158
23	36.273.929	53.282.856	-	-	0,45	16.442.451	24.152.353
24	36.076.021	52.991.963	-	-	0,44	15.799.751	23.208.208
25	35.878.113	52.701.069	-	-	0,42	15.181.715	22.300.299
26	35.680.205	52.410.176	-	-	0,41	14.594.476	21.428.181
27	35.482.296	52.119.283	-	-	0,39	14.036.689	20.591.434
28	35.284.388	51.828.389	-	-	0,37	13.507.769	19.797.222
29	35.086.480	51.537.496	-	-	0,36	13.015.717	19.042.044
30	34.888.572	51.246.602	-	-	0,34	12.558.534	18.322.401
Total			33.359.724	46.352.458		673.863.069	991.469.904

Perhitungan PVNCF disesuaikan dengan *life-time* modul surya merk Longi Solar yaitu selama 30 tahun. Nilai arus kas bersih dari penghematan rupiah setiap tahunnya menurun karena kinerja modul surya selalu mengalami penurunan daya setiap tahunnya sebesar 2% pada tahun pertama dan 0,45% pada tahun berikutnya [19]. Penurunan *output* modul surya berpengaruh terhadap jumlah produksi energi PLTS sehingga akan penghematan rupiah setiap tahunnya akan menurun. Dalam hal ini penurunan penghematan rupiah diasumsikan sama dengan penurunan *output* modul surya.

1. Net Present Value

Perhitungan Skenario 1 sebagai berikut:

$$NPV_{Sk1} = Rp. 673.863.069 - Rp. 267.000.000 = Rp. 406.863.069$$

Perhitungan Skenario 2 sebagai berikut:

$$NPV_{Sk2} = Rp. 991.469.904 - Rp. 395.850.000 = Rp. 595.619.904$$

Berdasarkan hasil perhitungan, NPV Skenario 1 dan Skenario 2 dapat dikatakan layak karena memiliki NPV lebih dari 0.

2. Profitability Index

Perhitungan PI Skenario 1 sebagai berikut :

$$PI_{Sk1} = \frac{Rp. 673.863.069}{Rp. 267.000.000} = 2,52$$

Perhitungan PI Skenario 2 sebagai berikut :

$$PI_{Sk2} = \frac{Rp. 991.469.904}{Rp. 395.850.000} = 2,50$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Profitability Index*, Perancangan PLTS dari kedua skenario menunjukkan nilai PI lebih besar dari 1, sehingga dapat disimpulkan layak untuk dijalankan.

3. Discounted Payback Period

Diketahui investasi awal PLTS Skenario1 dan Skenario 2 masing masing sebesar Rp.267.000.000 dan Rp.395.850.000. Berdasarkan tabel perhitungan kumulatif PVNCF didapatkan periode waktu pengembalian saat tahun ke-8 pada masing masing skenario.

4.13 Persentase Keuntungan dari Penghematan PLTS

Berdasarkan hasil analisis investasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Skenario 1 dan Skenario 2 dari perancangan PLTS layak untuk dijalankan. Namun dari kedua skenario tersebut, perlu diketahui skenario paling menguntungkan.

$$Persentase \text{ Untung} = \frac{NPV}{Initial \text{ Investment}} \times 100\%$$

Perhitungan Skenario 1 sebagai berikut:

$$\%Untung_{Sk1} = \frac{Rp. 406.863.069}{Rp. 267.000.000} \times 100\% = 152\%$$

Perhitungan Skenario 2 sebagai berikut:

$$\%Untung_{Sk2} = \frac{Rp. 595.619.904}{Rp. 395.850.000} \times 100\% = 150\%$$

NPV merupakan perhitungan dari total pemasukan dikurangi investasi awal sehingga NPV dapat dikatakan sebagai keuntungan bersih dari masing masing skenario perancangan PLTS. PLTS Skenario 1 memiliki persentase keuntungan

yang lebih besar sedangkan biaya investasi yang dibutuhkan lebih rendah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan perancangan PLTS Skenario 1 kapasitas 21,6 kWp membutuhkan investasi sebesar Rp.267.000.000 sedangkan perancangan PLTS Skenario 2 kapasitas 32,4 kWp membutuhkan investasi sebesar Rp.395.850.000. PLTS Skenario 1 dan Skenario 2 pada tahun pertama mampu menghemat tagihan listrik Kantor BAPPEDA LITBANG masing masing sebesar Rp.43.979.592 dan Rp.64.642.977. Keuntungan yang didapatkan selama 30 tahun PLTS Skenario 1 beroperasi sebesar Rp. 406.863.069 atau 152% dari total investasinya, sedangkan PLTS Skenario 2 memiliki keuntungan sebesar Rp.595.619.904 atau 150% dari total investasinya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden Nomor 79 Tahun 2014 "Kebijakan Energi Nasional", 2014
- [2] Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 6 Tahun 2019 "Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Timur"
- [3] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 49 tahun 2018 "Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero)"
- [4] Wicaksana, dkk. 2019. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Rooftop* 158 KWP pada Kantor Gubernur Bali. Jurnal SPEKTRUM Vol.6, No.3
- [5] Gunawan, dkk. 2019. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWP pada Sistem *Smartmicrogrid* UNUD. Jurnal SPEKTRUM Vol. 6, No. 3
- [6] Kristiawan, dkk. 2019. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar. Jurnal SPEKTRUM Vol. 6, No. 4
- [7] Merta, dkk. 2019. Rancangan Penempatan Modul Surya dan Simulasi PLTS Fotovoltaik Atap Gedung RSPTNRumah Sakit Universitas Udayana. Journal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 18, No. 3
- [8] Sumariana, dkk. 2019. Desain dan Analisa Ekonomi PLTS Atap untuk Villa di Bali. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 18, No. 3
- [9] Pangaribuan, dkk. 2020. Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat. Jurnal SPEKTRUM Vol. 7, No.2.
- [10] Putra Pratama, dkk. 2018. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Untuk Potensi PLTS *Rooftop*. Jurnal SPEKTRUM. Vol. 2, No. 5.
- [11] Pradika, 2020. Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar sebagai PLTS *Rooftop*. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 19, No. 2.
- [12] Center for Community Based Renewable Energy (CORE) Universitas Udayana, Greenpeace Indonesia. 2019. Peta Jalan Pengembangan PLTS Atap: Menuju Bali Mandiri Energi.
- [13] Sianipar Rafael. 2014. "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *On grid*" JETri,
- [14] H.J. Patricia, "Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)," FT UI. 2012.
- [15] Kashmir & Jakfar, "Studi Kelayakan Bisnis" Edisi Revisi, Penerbit PT. Desindo Putra Mandiri, Jakarta. 2017.
- [16] Data Access Viewer Nasa. "Data Iklim Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo" 2021
- [17] PT. PLN (Persero) UP3 Kota Pasuruan. "Data *Automatic Meter Reading* Kantor BAPPEDA LITBANG Kota Probolinggo Bulan Oktober", 2021
- [18] Warung Energi, "Daftar Harga Komponen PLTS *On grid*" 2021
- [19] LONGi *Green Energy Technology Co.,Ltd.* "Performance and Characteristics of Module Longi Solar". 2017