

ANALISA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SEBAGAI ENERGI PENGGERAK POMPA MINYAK PADA STASIUN PENGISIAN BAHAN BAKAR UMUM DI KOTA DENPASAR

I Putu Juliawan¹, I Nyoman Setiawan², I Wayan Sukerayasa²

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

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

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

iptjuliawan@gmail.com¹, setiawan@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id²

ABSTRAK

Pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi listrik merupakan pengembangan energi yang ramah lingkungan, salah satunya yaitu pemanfaatan energi surya dengan pengembangan PLTS pada atap bangunan sebagai media pemasangan modul surya. Pada penelitian ini, dilakukan perencanaan PLTS atap di SPBU Nangka Utara sebagai sumber energi listrik yang bertujuan agar dapat mengurangi biaya tagihan listrik PLN. Sistem PLTS atap di SPBU Nangka Utara menggunakan sistem PLTS *On-grid* tanpa baterai, dengan menggunakan modul surya *monocrystalline* 415 Wp sebanyak 36 unit serta satu unit inverter 15kW. Perencanaan PLTS atap SPBU Nangka Utara berkapasitas 14,9kWp dengan produksi energi yang dihasilkan sebesar 20,43 MWh per-tahun. Biaya investasi awal yang dibutuhkan yaitu sebesar Rp.101.179.000 dengan periode balik modal yang didapat selama 5 tahun 8 bulan.

Kata kunci : Energi Terbarukan, PLTS atap, *On-grid*, *Monocrystalline*, Analisa Ekonomi.

ABSTRACT

Utilization of renewable energy as a source of electrical energy is an environmentally friendly energy development, one of which is the use of solar energy by developing solar PV on the roof of buildings as a medium for installing solar modules. In this study, a rooftop solar PV plan was carried out at the Nangka Utara gas station as a source of electrical energy which aims to reduce the cost of PLN electricity bills. The rooftop solar PV system at the Nangka Utara gas station uses an On-grid solar PV system without batteries, using 36 units of 415 Wp monocrystalline solar modules and one 15kW inverter unit. Planning for rooftop solar PV of the Nangka Utara gas station with a capacity of 14.9 kWp with the resulting energy production of 20.43 MWh per year. The initial investment cost required is IDR. 101.179,000 with a payback period of 5 years and 8 months.

Key Words : Renewable Energy, Solar PV, On-Grid, Monocrystalline, Economic Analysis.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan primer manusia saat ini. Pemanfaatan energi baru terbarukan sebagai sumber energi listrik merupakan hal efektif yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Mengingat energi terbarukan

merupakan energi yang ramah lingkungan dengan sumber energi yang berlimpah.

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), potensi energi listrik dari sumber energi terbarukan mencapai 432 GW. Dari potensi tersebut mayoritas pembangkit listrik mengandalkan tenaga air dan panas

bumi, sedangkan rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat kecil walaupun potensinya hampir mencapai 50% dari potensi energi terbarukan di Indonesia [1].

Salah satu prasarana yang dapat memanfaatkan PLTS sebagai sumber energi listrik yaitu stasiun pengisian bahan bakar umum atau biasa dikenal dengan nama SPBU. Kota Denpasar merupakan salah satu daerah dengan keberadaan SPBU yang cukup banyak, salah satunya yaitu SPBU Nangka Utara. Dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, SPBU Nangka Utara mendapat sumber energi listrik dari PT. PLN dengan daya terpasang sebesar 16,5 kVA. Selain dari sumber listrik PLN, SPBU Nangka Utara juga menggunakan mesin genset dengan kapasitas 30kVA sebagai sumber energi cadangan jika terjadi pemadaman listrik PLN.

Beberapa penelitian terkait mengenai topik perencanaan PLTS sebagai berikut. Penelitian dari Merta pada tahun 2019 menjelaskan tentang potensi pembangkitan PLTS atap pada gedung 1 RSPTN Universitas Udayana yaitu sebesar 142.560Wp dengan produksi energi sebesar 166.407 kWh/tahun. Sedangkan jumlah pembangkitan PLTS yang didapat jika dijumlahkan dengan pembangkitan pada atap parkir menghasilkan 226.710Wp dengan produksi energi sebesar 249.610kWh/tahun [2].

Penelitian dari Kristiawan pada tahun 2019 menjelaskan tentang potensi energi dari sistem PLTS atap di SD Negeri 5 Pedungan yaitu sebesar 3214,6kWh dengan sudut kemiringan 30,96°. Sedangkan potensi energi PLTS dengan sudut kemiringan 15° didapat sebesar 3407kWh [3].

Mengingat pentingnya keberadaan SPBU bagi masyarakat maka direncanakan sistem PLTS dengan memanfaatkan atap bangunan di SPBU Nangka Utara sebagai media penempatan modul surya yang diharapkan dari perencanaan PLTS ini

dapat menghemat biaya tagihan energi listrik di SPBU Nangka Utara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel *photovoltaic*. [4].

2.2 Perencanaan PLTS

2.2.1 Kemiringan Modul Surya

Efisiensi optimum dari pembangkitan yang dihasilkan PLTS yaitu ketika iradiasi matahari yang jatuh pada modul surya berada pada sudut pemasangan yang optimal. Sudut kemiringan optimal modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [5].

$$\alpha = 90^\circ + lat - \sigma \text{ (S hemisphere)} \quad (1)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (2)$$

Keterangan :

α = Sudut tertinggi matahari

lat = Sudut *latitude* pada lokasi

σ = Sudut deklansi matahari (23,45°)

β = Sudut optimal kemiringan modul

2.2.2 Jumlah Modul Surya

Jumlah modul surya yang digunakan ditentukan dari kapasitas (*Wattpeak*) yang dibangkitkan PLTS. Adapun persamaan yang dipakai untuk menentukan jumlah modul surya yaitu sebagai berikut [6].

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{Kapasitas PLTS (Wp)}}{\text{Kapasitas modul (Wp)}} \quad (3)$$

2.2.3 Konfigurasi Inverter

Perhitungan konfigurasi inverter digunakan untuk mengetahui jumlah modul surya yang dirangkai seri-paralel untuk nantinya dapat dilayani oleh inverter. Konfigurasi inverter dapat menggunakan persamaan berikut [7].

$$R. \text{ seri minimal} = \frac{V_{min} \text{ inverter (V)}}{V_{oc} \text{ modul surya (V)}} \quad (4)$$

$$R. \text{ seri maksimal} = \frac{V_{max} \text{ inverter (V)}}{V_{mp} \text{ modul surya (V)}} \quad (5)$$

$$R. \text{ paralel maksimal} = \frac{I_{max} \text{ input inverter}}{I_{mp} \text{ modul surya}} \quad (6)$$

2.2.4 Daya Output Sistem PLTS

Perhitungan daya *output* yang dihasilkan PLTS dipengaruhi oleh beberapa *losses*. Daya *output* sistem PLTS dapat dihitung dengan persamaan berikut [6].

$$P. Output = Pmax - (Pmax \times losses) \quad (7)$$

2.3 Analisa Ekonomi Sistem PLTS

Dalam analisis ekonomi teknik, biaya dari suatu proyek umumnya digolongkan atas beberapa kelompok sebagai berikut.

1. Biaya Investasi Awal
Biaya ini terdiri atas biaya pengadaan lahan, biaya pembangunan, biaya pengadaan mesin dan peralatan pendukung, serta biaya instalasi.
2. Biaya Operasional dan Perawatan
Dalam membangun sebuah pembangkit, umumnya biaya yang dikeluarkan untuk operasional dan perawatan yaitu sebesar 1%-2% dari biaya investasi.
3. Biaya Pergantian Komponen
Biaya pergantian komponen meliputi biaya pergantian salah satu alat pendukung sistem seperti inverter apabila sudah melebihi umur pakai.

2.4 Analisa Kelayakan Investasi

Analisa kelayakan investasi meliputi *Benefit-Cost Ratio* (B-CR), *Net Present Value* (NPV), *Discounted Payback Period* (DPP).

1. *Benefit-Cost Ratio* (B-CR)
Nilai *Benefit-Cost Ratio* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [8].

$$B - CR = \frac{B}{C} = \frac{Benefit}{Cost} \quad (8)$$

Keterangan :

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

2. *Net Present Value* (NPV)
Nilai *Net Present Value* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [8].

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCFt}{(1+i)^t} - (II) \quad (9)$$

Keterangan :

$NCFt$ = Aliran kas bersih
 II = Investasi awal PLTS

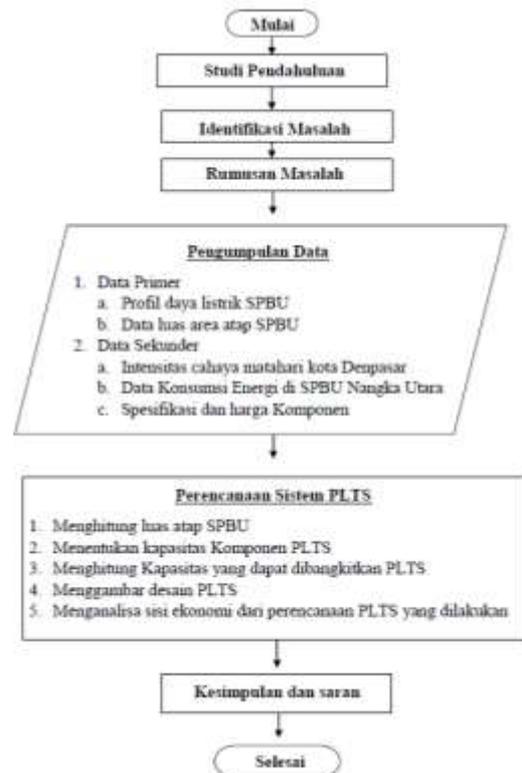
i = Tingkat diskonto
 n = Periode dalam tahun

3. *Discounted Payback Period* (DPP)
Discounted Payback Period (DPP) adalah proses pengembalian biaya modal yang dihitung dengan menggunakan *discount* faktor. Jika nilai DPP yang didapat kurang dari umur sistem PLTS ($DPP < 25$ tahun) maka investasi layak untuk dilaksanakan, begitu juga sebaliknya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Lokasi yang dipilih pada penelitian perencanaan PLTS atap ini yaitu di SPBU Nangka Utara yang beralamat di di jalan Nangka Utara No. 52 Kelurahan Tonja Kota Denpasar. Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dengan sebuah *Flowchart* sebagai berikut.



Gambar 1. *Flowchart* Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum SPBU Nangka Utara

SPBU Nangka Utara merupakan salah satu stasiun pengisian bahan bakar

umum yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan BBM di Kota Denpasar. SPBU Nangka Utara berdiri diatas lahan seluas 1184m² dengan 2 bangunan utama yaitu bangunan tempat pengisian BBM dan bangunan *manager* dengan luas 356,2m² dan 146,25m².



Gambar 2. SPBU Nangka Utara

4.2 Konsumsi Energi listrik SPBU Nangka Utara

SPBU Nangka Utara menggunakan sumber listrik utama dari PT.PLN, dengan daya listrik terpasang sebesar 16,5kVA. Data konsumsi energi di SPBU Nangka Utara didapat dari data rekening koran yang diperoleh dari PT.PLN yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Konsumsi Energi Listrik

Bulan	Konsumsi Energi (kWh)
Oktober 2020	1.702
November 2020	1.838
Desember 2020	1.781
Januari 2021	1.663
Februari 2021	1.561
Maret 2021	1.408
April 2021	1.578
Mei 2021	1.672
Juni 2021	1.758
Juli 2021	1.775
Agustus 2021	1.667
September 2021	1.640
Total	20.043

Sumber : PT. PLN (Persero)

4.3 Iradiasi Matahari

Berikut merupakan nilai iradiasi matahari di SPBU Nangka Utara yang

diakses melalui *software PVSyst* ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Iradiasi Matahari di SPBU Nangka Utara

Bulan	Iradiasi Matahari (kWh/m ² /bln)
Januari	174,4
Februari	149,5
Maret	164,1
April	172,8
Mei	152,9
Juni	141,6
Juli	156
Agustus	173,7
September	177,8
Oktober	209
November	193,7
Desember	192,5

Sumber : PVSyst

4.4 Kemiringan Modul Surya

Dalam menghitung sudut kemiringan optimal modul surya (β), harus ditentukan terlebih dahulu nilai ketinggian maksimum dari matahari (α) dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \alpha &= 90^\circ + lat - \sigma \\ &= 90^\circ + 8,62^\circ - 23,45 \\ &= 75,17^\circ \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai α , maka dapat ditentukan nilai sudut optimal kemiringan modul surya (β) menggunakan persamaan 2 sebagai berikut.

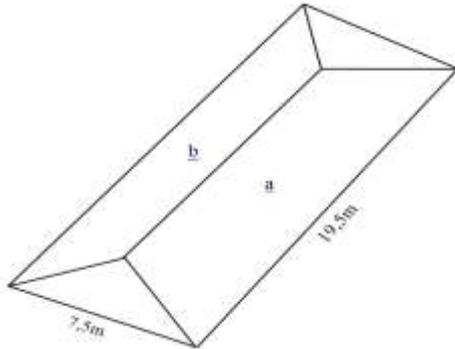
$$\begin{aligned} \beta &= 90^\circ - \alpha \\ &= 90^\circ - 75,17^\circ \\ &= 14,83^\circ \end{aligned}$$

Pemasangan modul surya nantinya akan menyesuaikan dengan sudut kemiringan atap bangunan *manager* yaitu sebesar 33° dengan *losses tilt angle* yang dihasilkan dari perbedaan sudut optimal yaitu sebesar 7,2% [9].

4.5 Luas Atap

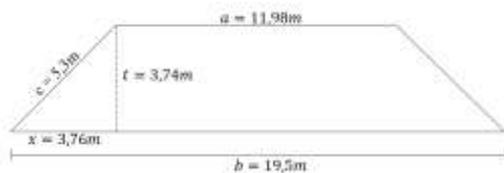
Pemasangan modul surya nantinya akan mengutamakan pada atap bangunan *manager*. Diketahui jenis atap bangunan *manager* merupakan gabungan dari beberapa bentuk bangunan datar seperti bentuk segitiga dan trapesium yang nantinya dipakai sebagai acuan dalam

perhitungan luas optimal yang dapat dipasang modul surya. Adapun sisi atap yang dimanfaatkan untuk penempatan modul surya yaitu pada sisi a dan b pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Lokasi Penempatan Modul Surya

Berdasarkan Gambar 3 diatas, diketahui dimensi pada sisi atap a dan b memiliki ukuran yang sama. Adapun dimensi dari satu sisi atap bangunan *manager* ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Dimensi Atap Bangunan *Manager*

Luas pada satu sisi bagian atap bangunan *manager* dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$L = \frac{(a+b) t}{2} \quad (10)$$

$$= \frac{(11,98m+19,5m) 3,74}{2}$$

$$= \frac{117,7}{2} = 58,85m^2$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui luas pada satu sisi bagian atap bangunan *manager* yaitu sebesar $58,8m^2$.

4.6 Perencanaan PLTS Atap

4.6.1 Kapasitas PLTS

Pada penelitian ini, perencanaan PLTS atap SPBU Nangka Utara menggunakan sistem PLTS *On-Grid* tanpa baterai. Kapasitas PLTS yang dibangkitkan memiliki batasan yaitu kapasitas yang

dibangkitkan sistem PLTS tidak boleh melebihi dari daya listrik terpasang yang diketahui sebesar 16,5kVA. Hal ini sesuai dengan Permen ESDM Nomor 49 tahun 2018 yang menyebutkan bahwa kapasitas sistem PLTS atap dibatasi paling tinggi 100% (seratus persen) dari daya tersambung pelanggan PT. PLN (Persero).

4.6.2 Pemilihan Komponen Modul dan Inverter

Pada penelitian ini, modul surya yang digunakan yaitu modul surya *monocrystalline* merk RISEN RSM144-6-415M dengan kapasitas 415Wp. Pada pemilihan komponen inverter harus mempertimbangkan kapasitas dari inverter agar tidak melebihi dari daya terpasang di SPBU Nangka Utara yaitu sebesar 16,5kVA. Oleh karena itu jenis inverter yang digunakan yaitu merk HUAWEI SUN2000-15KTL-M0 dengan kapasitas 15kW.

4.6.3 Konfigurasi Inverter

Konfigurasi inverter dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 4, 5, 6 sebagai berikut.

$$R. \text{Seri minimal} = \frac{200 V}{49 V} = 4,08 \sim 4$$

$$R. \text{Seri Maksimal} = \frac{1080 V}{40,7 V} = 26,5 \sim 26$$

$$R. \text{Paralel Maksimal} = \frac{44 A}{10,2 A} = 4,31 \sim 4$$

Diketahui bahwa satu unit inverter HUAWEI SUN2000-15KTL-M0 dapat melayani 4-26 unit modul surya yang dirangkai secara seri, serta rangkaian paralel maksimal sebanyak 4 rangkaian.

4.6.4 Jumlah Modul Surya

Diketahui luas permukaan modul yang digunakan yaitu sebesar $1,99m^2$ dengan dimensi panjang x lebar yaitu 2m x 0,996m. Jumlah modul surya yang dapat dipasang pada satu sisi atap bangunan *manager* dapat dihitung dengan persamaan berikut[10].

$$Jml. \text{modul} = \text{luas atap} : \text{luas modul} \quad (11)$$

$$= 58,8m^2 : 1,99m^2$$

$$= 29,5 \sim 29 \text{ unit}$$

Diketahui jumlah modul yang dapat dipasang pada satu sisi atap bangunan *manager* yaitu sebanyak 29 unit modul dengan jumlah total yang dapat dipasang pada kedua sisi atap yaitu sebanyak 58 unit.

Pada penelitian ini jumlah modul surya yang digunakan menyesuaikan dengan kapasitas inverter yaitu sebesar 15kW, oleh karena itu nantinya kapasitas maksimum dari sistem PLTS yaitu sebesar 15kWp. Kapasitas modul surya yang digunakan yaitu sebesar 415 Wp, maka untuk mendapatkan jumlah modul surya dapat menggunakan persamaan 3 sebagai berikut.

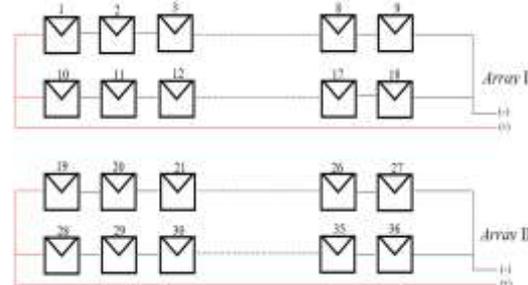
$$\begin{aligned} \text{Jumlah modul} &= \frac{\text{Kapasitas PLTS (Wp)}}{\text{Kapasitas modul (Wp)}} \\ &= \frac{15000 \text{ Wp}}{415 \text{ Wp}} \\ &= 36,1 \sim 36 \text{ Unit} \end{aligned}$$

Diketahui jumlah modul surya yang digunakan yaitu sebanyak 36 unit dengan kapasitas yang dibangkitkan sebesar 14,9kWp.

4.6.5 Modul Array PLTS Atap

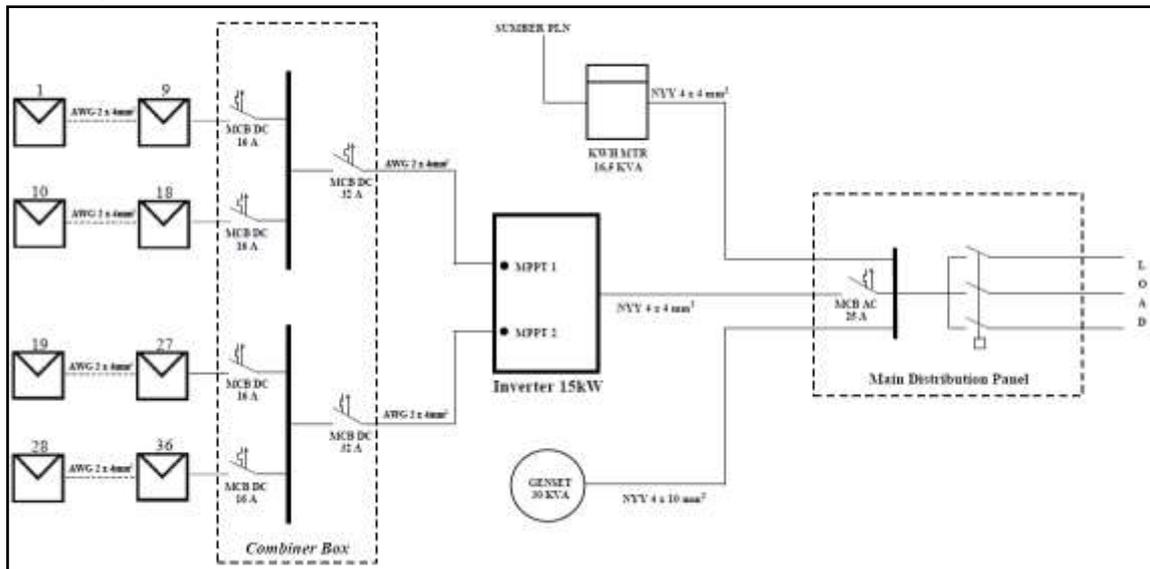
Jumlah modul surya yang digunakan yaitu sebanyak 36 unit dengan kapasitas pembangkitan yaitu sebesar 14,9kWp.

Adapun rangkaian *array* modul surya ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Modul array PLTS

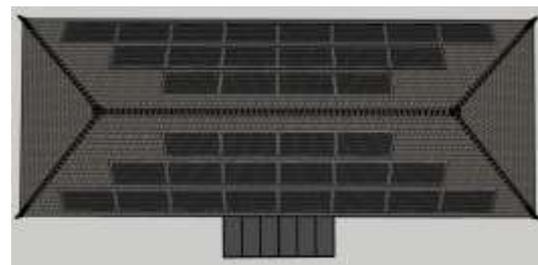
Berdasarkan Gambar 5 diatas diketahui sistem PLTS atap SPBU Nangka Utara terbagi menjadi dua *array*. Gambar *single line diagram* dari sistem PLTS atap di SPBU Nangka Utara ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Single Line Diagram Sistem PLTS

4.6.6 Layout Pemasangan Modul Surya

Gambar *layout* pemasangan modul surya dibuat menggunakan aplikasi *SketchUp*. Adapun *layout* pemasangan modul surya pada atap bangunan *manager* di SPBU Nangka Utara ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Tampak Atas Pemasangan Modul Surya

4.7 Analisa Daya dan Energi

4.7.1 Analisa Daya Output Sistem PLTS

Daya output yang dihasilkan sistem PLTS atap dipengaruhi oleh beberapa losses yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Jenis-Jenis Losses

Jenis Losses	Persentase
Losses Manufacture	3%
Losses Dirt (Kotoran)	5%
Losses Temperature Module	5,7%
Losses Kabel	0,02%
Losses Tilt Angle	7,2%
Total Losses	20,92%

Diketahui kapasitas PLTS yaitu sebesar 14,9 kWp, maka daya output yang dapat dihasilkan sistem PLTS atap setelah adanya losses dapat dihitung dengan persamaan 7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Output} &= 14,9 \text{ kW} - (14,9 \times 20,92\%) \\
 &= 14,9 \text{ kW} - 3,1 \text{ kW} \\
 &= 11,8 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Daya output yang dihasilkan sistem PLTS atap setelah adanya losses yaitu sebesar 11,8kW.

4.7.2 Analisa Produksi Energi Dengan Konsumsi Energi Dalam Satu Hari

Pada penelitian ini, data konsumsi energi dalam satu hari didapat dengan melakukan pengamatan langsung pada kWh meter di SPBU angka Utara serta data iradiasi matahari yang digunakan dalam pola produksi energi menggunakan data iradiasi perjam dalam satu hari yang diakses dari software PVsyst. Pola perbandingan produksi energi terhadap konsumsi energi di SPBU angka Utara ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.

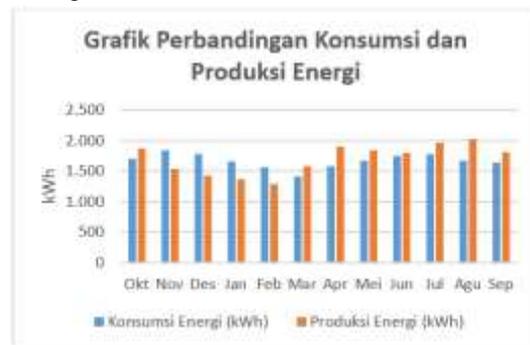


Gambar 8. Perbandingan Pola Beban Harian Dengan Daya PLTS

Berdasarkan Gambar 8 diatas, produksi energi PLTS yang dihasilkan didapat dari daya PLTS yang dipengaruhi oleh fungsi waktu, sehingga didapat nilai produksi energi pada setiap jamnya. Diketahui sistem PLTS memproduksi energi mulai pukul 06.00 hingga pukul 18.00 dengan kegiatan ekspor terjadi mulai pukul 08.00 hingga pukul 16.00. Besar kecilnya nilai ekspor-impor bervariasi disetiap harinya, hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti nilai iradiasi matahari yang bervariasi disetiap harinya sehingga berpengaruh pada produksi energi PLTS serta tingkat penggunaan komponen kelistrikan yang berpengaruh pada tinggi-rendahnya konsumsi energi. Oleh karena itu, pada penelitian ini nantinya dalam analisa ekspor-impor energi dalam satu tahun diambil data konsumsi energi dari PT.PLN serta data nilai produksi energi PLTS atap didapat dari simulasi PVsyst.

4.7.3 Analisa Produksi Energi Dengan Konsumsi Energi Dalam Satu Bulan

Pada penelitian ini nilai produksi energi sistem PLTS didapat dari simulasi PVsyst serta data konsumsi energi di SPBU Angka Utara didapat dari data rekening koran di PT.PLN. Adapun grafik perbandingan serta tabel perbandingan konsumsi energi terhadap produksi energi ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 4 sebagai berikut.



Gambar 9. Perbandingan Konsumsi Energi dengan Produksi Energi

Tabel 4. Perbandingan Konsumsi Energi dengan Produksi Energi Per-Bulan

Bulan	Konsumsi Energi (kWh)	Produksi Energi (kWh)
Oktober 2020	1.702	1.867
November 2020	1.838	1.538
Desember 2020	1.781	1.434
Januari 2021	1.663	1.368
Februari 2021	1.561	1.293
Maret 2021	1.408	1.582
April 2021	1.578	1.898
Mei 2021	1.672	1.847
Juni 2021	1.758	1.803
Juli 2021	1.775	1.971
Agustus 2021	1.667	2.022
September 2021	1.640	1.808
Total	20.043	20.430

4.8 Analisa Ekonomi PLTS Atap

4.8.1 Biaya Investasi Awal PLTS

Pada penelitian ini informasi harga dari perencanaan sistem PLTS diperoleh dengan mencari informasi pada internet dengan melihat beberapa *e-commerce*. Biaya investasi awal terdiri dari biaya komponen PLTS, biaya pengiriman barang, serta biaya pemasangan dan instalasi. Diketahui biaya investasi awal sistem PLTS atap SPBU Nangka Utara yaitu sebesar Rp.101.179.000.

4.8.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

Biaya operasional dan pemeliharaan per-tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan 1-2% dari total investasi awal sistem PLTS [11]. Maka didapat total biaya operasional dan pemeliharaan yaitu sebesar Rp. 1.011.790 per-tahun dengan total biaya yang dibutuhkan selama umur sistem PLTS (25 tahun) yang dipengaruhi oleh suku Bunga Bank Indonesia sebesar 3,50% dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$O\&M_p = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (12)$$

$$O\&M_p = Rp. 1.011.790 \left[\frac{(1+0,035)^{25} - 1}{0,035(1+0,035)^{25}} \right] = Rp. 17.200.430$$

Diketahui total biaya yang operasional dan pemeliharaan yang

diperlukan selama umur sistem PLTS yaitu sebesar Rp.17.200.430.

4.8.3 Biaya Pergantian Inverter

Pada penelitian ini jenis inverter yang digunakan memiliki umur pakai selama 10 tahun, dengan pergantian inverter terjadi pada tahun ke-11 dan tahun ke-21 dengan total biaya yang diperlukan yaitu sebesar Rp.25.341.684.

4.8.4 Life Cycle Cost (LCC)

Life Cycle Cost (LCC) merupakan jumlah keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk sistem PLTS mulai dari investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, serta biaya pergantian inverter. Pada penelitian ini biaya LCC yang didapat pada perencanaan PLTS atap SPBU Nangka Utara yaitu sebesar Rp.143.721.114.

4.8.5 Penghematan Tagihan Listrik

Pada penelitian ini, data tagihan listrik yang digunakan didapat dari data rekening Koran di PT.PLN. Untuk mendapatkan nilai penghematan dari tagihan listrik, maka dilakukan perbandingan tagihan listrik sebelum dan sesudah adanya sistem PLTS. Diketahui sesudah adanya sistem PLTS, mewajibkan pelanggan membayar biaya rekening minimum (RM) yaitu sebesar Rp.953.502 per-bulan. Maka didapat nilai penghematan tagihan listrik yang ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Penghematan Tagihan Listrik

Bulan	Tagihan		Penghematan
	Sebelum PLTS	Sesudah PLTS	
Oktober	Rp. 2.871.908	Rp. 953.502	Rp. 1.918.406
November	Rp. 3.053.663	Rp. 953.502	Rp. 2.100.161
Desember	Rp. 2.958.963	Rp. 953.502	Rp. 2.005.461
Januari	Rp. 2.762.917	Rp. 953.502	Rp. 1.809.415
Februari	Rp. 2.593.454	Rp. 953.502	Rp. 1.639.952
Maret	Rp. 2.339.259	Rp. 953.502	Rp. 1.385.757
April	Rp. 2.621.698	Rp. 953.502	Rp. 1.668.196
Mei	Rp. 2.777.869	Rp. 953.502	Rp. 1.824.367
Juni	Rp. 2.920.750	Rp. 953.502	Rp. 1.967.248
Juli	Rp. 2.948.994	Rp. 953.502	Rp. 1.995.492
Agustus	Rp. 2.769.563	Rp. 953.502	Rp. 1.816.061
September	Rp. 2.724.704	Rp. 953.502	Rp. 1.771.202
TOTAL	Rp.33.343.742	Rp.11.442.024	Rp.21.901.718

Berdasarkan Tabel 5 diatas, diketahui nilai penghematan tagihan listrik

yang didapat setelah adanya sistem PLTS yaitu sebesar Rp.21.901.718 per-tahun.

4.9 Analisa Kelayakan Investasi

Dalam melakukan analisa kelayakan investasi, diperlukan nilai *Present Value Net Cash Flow* (PVNCF) atau nilai arus kas bersih yang sudah dipengaruhi oleh *discount factor* disetiap tahunnya. Adapun nilai PVNCF ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perhitungan PVNCF PLTS atas SPBU Nangka Utara

Tahun	Arus Kas Bersih (Rp)	Investor	DF	PVNCF (Rp)	Kumulatif PVNCF (Rp)
1.	Rp. 20.889.928		0,97	Rp. 20.263.230	Rp. 20.263.230
2.	Rp. 20.889.928		0,93	Rp. 19.427.633	Rp. 39.690.863
3.	Rp. 20.889.928		0,90	Rp. 18.800.835	Rp. 58.491.798
4.	Rp. 20.889.928		0,87	Rp. 18.174.237	Rp. 76.666.036
5.	Rp. 20.889.928		0,84	Rp. 17.547.540	Rp. 94.213.575
6.	Rp. 20.889.928		0,81	Rp. 16.920.842	Rp. 111.134.417
7.	Rp. 20.889.928		0,79	Rp. 16.303.045	Rp. 127.637.460
8.	Rp. 20.889.928		0,76	Rp. 15.676.345	Rp. 143.513.805
9.	Rp. 20.889.928		0,73	Rp. 15.049.647	Rp. 158.763.452
10.	Rp. 20.889.928		0,71	Rp. 14.431.849	Rp. 173.595.301
11.	Rp. 20.889.928	Rp. 14.829.074	0,68	Rp. 4.121.381	Rp. 177.716.682
12.	Rp. 20.889.928		0,66	Rp. 13.787.352	Rp. 191.504.034
13.	Rp. 20.889.928		0,64	Rp. 13.369.534	Rp. 204.873.568
14.	Rp. 20.889.928		0,62	Rp. 12.951.755	Rp. 217.825.343
15.	Rp. 20.889.928		0,60	Rp. 12.533.937	Rp. 230.359.300
16.	Rp. 20.889.928		0,58	Rp. 12.116.158	Rp. 242.475.458
17.	Rp. 20.889.928		0,56	Rp. 11.698.360	Rp. 254.173.818
18.	Rp. 20.889.928		0,54	Rp. 11.280.561	Rp. 265.454.379
19.	Rp. 20.889.928		0,52	Rp. 10.862.763	Rp. 276.317.142
20.	Rp. 20.889.928		0,50	Rp. 10.444.964	Rp. 286.762.106
21.	Rp. 20.889.928	Rp. 10.512.610	0,49	Rp. 5.084.886	Rp. 291.846.992
22.	Rp. 20.889.928		0,47	Rp. 9.818.266	Rp. 301.665.258
23.	Rp. 20.889.928		0,45	Rp. 9.400.468	Rp. 311.065.726
24.	Rp. 20.889.928		0,44	Rp. 9.191.568	Rp. 320.257.294
25.	Rp. 20.889.928		0,42	Rp. 8.773.770	Rp. 329.031.064

Metode yang digunakan dalam analisa kelayakan investasi meliputi *Benefit-Cost Ratio*, *Net Present Value*, *Discounted Payback Period*.

4.9.1 Benefit-Cost Ratio (B-CR)

Sebuah perencanaan PLTS dapat dikatakan layak ketika nilai B-CR lebih besar dari satu (B-CR >1). Perhitungan nilai B-CR dapat dihitung dengan persamaan 8 sebagai berikut.

$$B - CR = \frac{Rp. 329.031.064}{Rp. 101.179.000} = 3,2$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapat nilai B-CR pada perencanaan PLTS

atap SPBU Nangka Utara yaitu sebesar 3,2 (B-CR>1), sehingga perencanaan PLTS layak untuk dilaksanakan.

4.9.2 Net Present Value (NPV)

Sebuah perencanaan PLTS dapat dikatakan layak ketika nilai NPV lebih besar dari nol (NPV>0). Perhitungan nilai NPV dapat dihitung dengan persamaan 9 sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - (II) = Rp. 329.031.064 - Rp. 101.179.000 = Rp. 227.852.064$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapat nilai NPV pada perencanaan PLTS atap SPBU Nangka Utara yaitu sebesar Rp.227.852.064 (NPV>0), sehingga perencanaan PLTS layak untuk dilaksanakan.

4.9.3 Discounted Payback Period (DPP)

Pada penelitian ini jika mengacu pada Tabel 6 diatas, diketahui nilai PVNCF pada tahun ke-5 sudah mendekati nilai investasi awal skenario 1 dengan selisih sebesar Rp.6.965.425. Sedangkan nilai PVNCF pada tahun ke 6 sudah melewati nilai investasi awal dengan selisih sebesar Rp. 9.955.417, sehingga dapat dicari waktu yang diperlukan untuk menutupi kekurangan investasi dengan persamaan berikut.

$$\frac{Rp.6.965.425}{Rp.9.955.417} \times 12 \text{ bulan} = 8 \text{ bulan} \quad (13)$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui periode waktu yang dibutuhkan untuk menutupi biaya investasi yaitu selama 5 tahun 8 bulan (DPP<25 tahun), sehingga perencanaan PLTS layak untuk dilaksanakan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang dilakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kapasitas sistem PLTS atap yang dibangkitkan sebagai sumber energi listrik di SPBU Nangka Utara yaitu sebesar 14,9kWp.
2. Media penempatan modul surya memanfaatkan atap bangunan *manager* dengan luas 117,8m², dari

luas atap tersebut menampung 36 unit modul surya dengan kapasitas PLTS yaitu sebesar 14,9kWp. Perencanaan PLTS menggunakan satu unit inverter 15kW. Daya output yang dihasilkan sistem PLTS yaitu sebesar 11,8kW dengan energi output yang didapat dari simulasi PVSyst dalam satu tahun sebesar 20,43 MWh.

3. Pada analisa ekonomi didapat penghematan tagihan listrik sebesar Rp.21.901.718 per-tahun. Biaya investasi awal sistem PLTS atap yaitu sebesar Rp.101.179.000. Pada analisa kelayakan investasi, diketahui keuntungan bersih yang didapat dari hasil analisa *net present value* yaitu sebesar Rp.227.852.064 dengan periode balik modal yang didapat dari analisa *discounted payback period* yaitu selama 5 tahun 8 bulan, sehingga dapat disimpulkan perencanaan PLTS atap di SPBU Nangka Utara layak untuk dilaksanakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tampubolon, A.P., Adiatma, J.C. 2019. *Laporan Status Energi Bersih Indonesia (Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019)*. Jakarta : Institute for Essential Services Reform.
- [2] Merta, K.H., Kumara, I.N.S., Ariastina, W.G. 2019. Rancangan Penempatan Modul Surya dan Simulasi PLTS Fotovoltaik Atap Gedung RSPTN Rumah Sakit Universitas Udayana. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol. 18 : 329-336
- [3] 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 06 : 66-70.
- [4] Kencana, B., Prasetyo, B., Berchmans, H., Agustina, I., Myrasandri, P., Bona, R., Panjaitan, R.R., Winne. 2018. *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. Jakarta Selatan : United States Agency For International Development (USAID).
- [5] Sihotang, S.R. 2020. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Sistem On Grid Pada Gedung Kantor Kecamatan Tapian Dolok Sinaksak" (*Skripsi*). Jakarta, Institut Teknologi – PLN.
- [6] Hariyati, R., Qosim, M.N., Hasanah, A.W., 2019. Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN. *Jurnal Ilmiah*. Vol. 11 : 17-26.
- [7] Roza, E., Mujirudin, M. 2019. Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA. *Ejournal Kajian Teknik Elektro*. Vol. 04 : 16-20.
- [8] Pangaribuan, B.M., Giriantari, I.A.D., Sukerayasa, I.W. 2020. Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana : Gedung Rektorat. *Jurnal SPEKTRUM*. Vol. 7 : 90-100.
- [9] George, A., R. Anto. 2012. Analytical and experimental analysis of optimal tilt angle of solar photovoltaic systems. *International Conference on Green Technologies (ICGT)*. pp. 234-239.
- [10] Pradika, G. 2020. "Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar Sebagai PTS Rooftop " (*Skripsi*). Bali, Universitas Udayana
- [11] Giriantari, I.A.D., Kumara, I.N.S., Santiari D.A. 2014. Economic Cost Study of Photovoltaic Solar System for Hotel in Nusa Lembongan. *International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)*.