

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PEMANFAATAN PLTS OFF-GRID PADA SISTEM KENDALI TINGGI MUKA AIR PADA TANDON DI SEKAR ANUGERAH PENGLIPURAN

Fikri Fadlikha Ramadhan¹, I Putu Elba Duta Nugraha², I Gusti Ngurah Janardana²

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

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

Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali

Email : fikri.rmdn321@gmail.com

ABSTRAK

Dalam pemenuhan kebutuhan air bersih sehari hari dibutuhkan perluasan sistem penyediaan air yang terjaga untuk mengurangi resiko penggunaan air yang tidak terkendali. *Water Level Control* (WLC) merupakan sebuah sistem kendali yang mampu mengendalikan kapasitas air sesuai dengan yang diperlukan secara otomatis. Perancangan PLTS *Off-Grid* di Sekar Anugerah Penglipuran sebagai pemasok energi pada sistem kendali tinggi muka air pada tandon dan menghidupkan pompa pada tandon. Pemanfaatan PLTS pada operasi sistem kendali tinggi muka air pada tandon serta mengetahui daya yang dibangkitkan dan kebutuhan komponen serta kelayakan investasi PLTS *Off-Grid*. Penelitian ini meliputi perancangan PLTS *Off-Grid* dengan menganalisis teknis dan ekonomis. Hasil dari penelitian ini perancangan PLTS *Off-Grid* diperkirakan dapat menghasilkan daya untuk kebutuhan sistem kendali sebesar 525,76 Wp dan dapat menghasilkan energy yield sebesar 932,575 kWh/tahun dengan *performance ratio* sebesar 85%. Perancangan PLTS dibutuhkan biaya investasi awal sebesar Rp.70.330.605,- dengan NPV sebesar -Rp.65.668.939,506,- sehingga berdasarkan aspek ekonomis perancangan PLTS *Off-Grid* tidak layak investasi.

Kata Kunci : PLTS *Off-Grid*, NPV

ABSTRACT

To fulfill the daily need for clean water, it is necessary to expand the water supply system to reduce the risk of uncontrolled water use. Water Level Control (WLC) is a control system that can control water capacity according to what is required automatically. The design of the Off-Grid PLTS in Sekar Penglipuran as an energy supplier for the water level control system in the reservoir and the start of the pump in the reservoir. Utilization of PLTS in the operation of water level control systems in reservoirs as well as knowing the power generated and component requirements as well as the feasibility of investing in Off-Grid PLTS. This research includes the design of Off-Grid PLTS by analyzing technically and economically. The results of this research are that the Off-Grid PLTS design is estimated to be able to produce power for the control system needs of 525.76 Wp and can produce an energy yield of 932.575 kWh/year with a performance ratio of 85%. Designing a PLTS requires an initial investment cost of Rp. 70,330,605,- with an NPV of -Rp. 65,668,939,506,- so based on economic aspects, designing an Off-Grid PLTS is not worthy of investment.

Key Words : PLTS *Off-Grid*, NPV

1. PENDAHULUAN

Topik transisi energi semakin sering diperbincangkan, terutama mengingat Indonesia menetapkan target Net Zero Emisi (NZE) pada tahun 2060. Berdasarkan letak geografis, Indonesia berada

disepanjang garis khatulistiwa Indonesia menikmati paparan sinar matahari sepanjang tahun secara terus-menerus. Oleh karena itu, menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai opsi pembangkit listrik yang paling potensial

untuk dikembangkan di Indonesia dalam rangka memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu daerah yang memiliki potensi untuk PLTS adalah Desa Penglipuran. Kabupaten Bangli Provinsi Bali. Potensi PLTS pada kabupaten ini hingga 1702,5 kWh/m²/tahun.

Berdasarkan uraian di atas didapatkan satu tempat yang tertarik akan pengembangan dari hal tersebut yaitu Sekar Anugrah Penglipuran. Sekar Anugrah Penglipuran merupakan salah satu agroindustri yang berada di daerah Penglipuran, Kecamatan Bangli, Kabupaten Bangli, Bali. Sekar Anugrah Penglipuran memiliki tandon utama sebesar 16.500 L. Hal ini membuktikan bahwa ketersediaan air yang cukup dan berkualitas merupakan faktor kunci dalam keberhasilan agroindustri. Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dilakukan penelitian berjudul Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid Pada Sistem Kendali Tinggi Muka Air Pada Tandon Di Sekar Anugrah Penglipuran, Bali.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi sinar matahari sebagai sumber utamanya. Menggunakan sel surya pada panel yang bertugas mengkonversi energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. [1]

Terdapat tiga jenis konfigurasi yang sering digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), yakni PLTS On-Grid, PLTS Off-Grid, dan PLTS Hybrid. Meskipun memiliki komponen utama dan pendukung yang dominan serupa, PLTS Off-Grid dan PLTS Hybrid memiliki tambahan komponen berupa baterai.

2.2. Analisa Teknis

Analisis teknis dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas yang direncanakan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), penentuan spesifikasi komponen, pemanfaatan, orientasi panel, dan estimasi daya yang akan dihasilkan.

2.2.1. Jumlah Panel Surya

Dalam perancangan PLTS diperlukan area untuk merancang modul photovoltaic supaya menjadi suatu array tertentu. Untuk menentukan area array yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{AV} \times \eta_{pv} \times PR} \quad (1)$$

Keterangan :

E_L = Pemakaian. energi (kWh/hari)
 G_{AV} = Rata-rata Insolasi harian matahari (kWh/m²/hari)
 η_{pv} = Efisiensi Panel
 PR = Performance Ratio

2.2.2. Kapasitas Baterai

Jumlah kapasitas baterai yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi harian, seperti yang dijelaskan oleh Lynn (2010), bisa diestimasi menggunakan rumus berikut:

$$C = \frac{N \times Ed}{Vs \times DOD \times \eta} \quad (2)$$

Keterangan

C = Kapasitas Baterai (Ah)
 N = Hari (tanpa matahari)
 Ed = Konsumsi energi matahari (kWh)
 DOD = Kedalaman maksimum penosongan baterai
 η = Efisiensi Baterai

2.2.3. Kapasitas Charge Controller

Charge controller dibutuhkan agar dapat melindungi baterai dari pengosongan atau pengisian berlebih. Input atau output Charge controller disesuaikan dengan tegangan baterai dan arus keluaran array [2]

Menghitung kapasitas charge controller untuk PLTS menggunakan rumus berikut :

$$\frac{\text{Demand Watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \quad (3)$$

2.2.4. Kapasitas Inverter

Menghitung kapasitas inverter yang digunakan PLTS Off-Grid menggunakan rumus berikut

$$\text{Demand Watt} \times \text{Safety Factor} \quad (4)$$

2.3. Analisa Ekonomis

Analisis ekonomi teknik bertujuan untuk menilai kelayakan investasi proyek dengan mempertimbangkan alternatif-alternatif paling menguntungkan. Nilai investasi teknik memiliki umur ekonomis

dalam satuan tahun. Karena nilai mata uang bisa berfluktuasi seiring waktu, maka diperlukan proses penyesuaian nilai mata uang (ekuivalen) untuk membandingkan nilai-nilai tersebut secara adil. [3]

2.3.1. Biaya Investasi Penggantian

Komponen

Biaya investasi penggantian komponen mencakup biaya penggantian komponen yang diukur berdasarkan periode dan spesifikasi komponen.

2.3.2. Biaya Operasional dan

Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) per tahun untuk PLTS biasanya diperkirakan sebesar 1% dari total biaya investasi awal [4]. Estimasi biaya O&M per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dihitung menggunakan Rumus berikut :

$$M = 1\% \times \text{Total biaya instalasi} \quad (5)$$

2.3.3. Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup adalah total semua biaya yang dikeluarkan suatu sistem. Pada sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) dihitung berdasarkan present value (pv) dan biaya total sistem PLTS, yang meliputi biaya investasi awal, biaya lahan, biaya penggantian komponen, biaya O&M. [5] Biaya siklus hidup (LCC) dihitung menggunakan rumus berikut

$$LCC = C + M_{pW} + R_{pW} \quad (6)$$

Keterangan

LCC = Life Cycle Cost

C = biaya investasi awal + investasi lahan

M_{pW} = Biaya nilai sekarang untuk total biaya O&M selama umur proyek

R_{pW} = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian selama umur proyek.

Nilai dari Biaya O&M tahunan yang akan dikeluarkan selama umur proyek dengan jumlah pengeluaran tetap. Sementara itu, untuk menghitung nilai sekarang (PV) dari biaya penggantian komponen selama umur proyek. [6]Dapat dihitung menggunakan rumus berikut

$$M_{pW} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (7)$$

$$R_{pW} = B \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (8)$$

Keterangan:

A = Biaya O&M tahunan

i = tingkat diskonto

n = umur Proyek

B = biaya penggantian komponen

2.3.4. Analisa Biaya Energi

Biaya energi adalah perbandingan antara biaya total dalam setahun, dengan energi yang dihasilkan dalam periode yang sama. Perhitungan biaya energi listrik, atau *Cost Of Energy* (COE) suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), *Capital Recovery Factor* (CRF) dan produksi energi tahunan PLTS. [6]

Biaya produksi energi listrik pada sistem PLTS dapat dihitung menggunakan rumus berikut

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (9)$$

Keterangan:

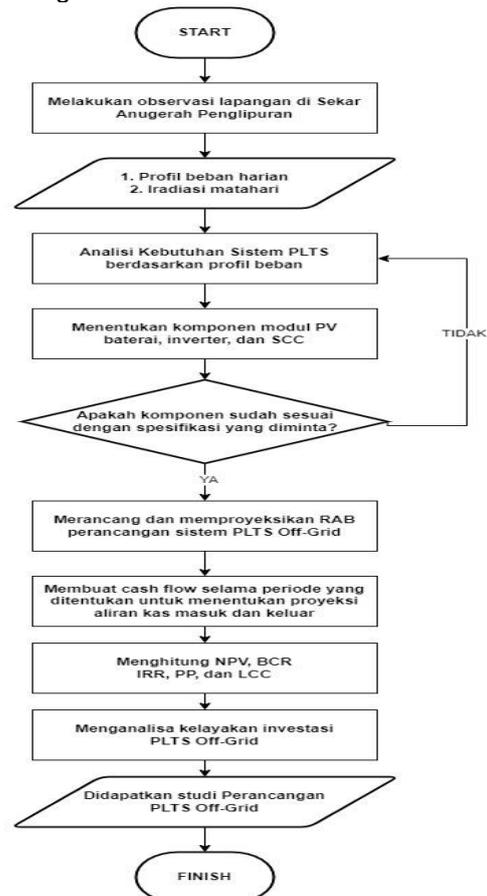
COE = Biaya energi listrik (Rp/kWh)

CRF = Faktor pemulihan modal

A kWh =Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Sekar Anugerah Penglipuran yang terletak di Kab. Bangli, Bali. Waktu penelitian dimulai dari bulan januari 2023. Analisa dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1 Flowchart perancangan PLTS Off-Grid

Berikut penjelasan pada gambar 1:

1. Melakukan survey lapangan di Sekar Anugrah Penglipuran Bangli
2. Pengumpulan data berupa profil beban harian dan iradiasi matahari di daerah tersebut
3. Melakukan kajian teknis dengan menganalisa profil beban,
4. Menentukan komponen yang digunakan dalam sistem PLTS (Modul surya, inverter, baterai, solar charge controller) dan merancang sistem PLTS.
5. Jika komponen sudah sesuai dengan spesifikasi maka akan berlanjut ke proses prancangan RAB, dan jika komponen tidak sesuai dengan spesifikasi maka proses akan kembali ke analisis kebutuhan sistem PLTS berdasarkan profil beban
6. Merancang dan memproyeksikan RAB perancangan PLTS Off-grid.
7. Membuat cash flow selama periode yang ditentukan untuk menentukan proyeksi aliran kas masuk dan keluar.
8. Melakukan kajian ekonomis dengan menghitung NPV, BCR, IRR, PP, dan LCC
9. Menganalisis hasil kajian teknis dan ekonomis untuk kelayakan investasi PLTS Off-Grid pada Sekar Anugrah Penglipuran.
10. Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang dilakukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Profil Beban Sistem Kendali

Profil beban adalah data pemakaian bebanyang dihubungkan dengan PLTS dimana beban yang diterim berasal dari pompa dan sistem kendali yang menyala per hari. Total energi per hari adalah hasil dari daya dikali waktu pemakaian. Untuk mengantisipasi penggunaan yang lebih lama maka cadangan energi sebesar 30% dari total energi yang dibangkitkan seperti tabel berikut

No	Jenis Bahan	Jumlah	Daya	Total energi
1	Pompa	1x10jam 20menit	125 watt	1.291,25 Wh
2	Sistem kendali	1x24jam	10 watt	240 Wh
Total A				1.531,25 Wh
Cadangan energi 30%				459,375
TOTAL				1.990,625 Wh

Tabel 1 Profil beban perancangan PLTS Off-Grid

Diketahui bahwa total energi listrik yang akan menjadi beban untuk perancangan PLTS *Off-Grid* di Sekar Anugrah Penglipuran adalah 1.531,25 Wh ditambah dengan cadangan energi sebesar 30% menjadi 1.990,625 Wh (1,991 kWh). Besar energi yang dibutuhkan ini menjadi acuan untuk perancangan PLTS *Off-Grid* untuk sistem kendali ini.

4.2. Data Iradiasi dan Temperatur

Data iradiasi matahari beserta temperatur di Kecamatan Bangli didapatkan dari software PVSyst yang menggunakan database PVGIS-ERA5 berdasarkan data dari tahun 2005-2020.

Bulan	Temperatur (°C)	GHI (kWh/m ² /Hari)
Januari	24,7	3,98
Februari	24,6	4,54
Maret	24,7	4,49
April	24,6	5,02
Mei	24,6	5,17
Juni	23,5	4,92
Juli	23,3	4,75
Agustus	23,2	4,89
September	23,6	5,32
Oktober	24,9	5,78
November	25,0	6,99
Desember	24,9	4,31
Minimum	23,2	3,98
Maksimum	25,0	6,99
Rata Rata	24,3	5,01

Tabel 2 Data GHI dan temperatur Kec. Bangli

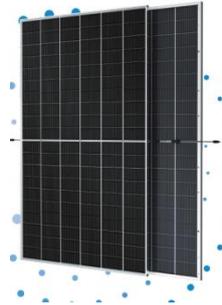
Perencanaan PLTS *Off-Grid* ini menggunakan nilai iradiasi matahari minimum dan menggunakan nilai temperatur maksimum.

4.3. Perhitungan Kapasitas dan Jumlah Panel Surya

Pemilihan komponen yang tepat sangatlah penting dalam merencanakan sebuah sistem PLTS. Dalam perancangan ini, menggunakan perhitungan kapasitas berdasarkan spesifikasi yang tertera pada datasheet komponen. Pemilihan brand pada komponen didasarkan kapasitas maksimal panel dan efisiensi. Selain itu, pertimbangan penggunaan biaya dan kualitas sistem menjadi yang terpenting dalam perancangan ini.

Berdasarkan hal tersebut digunakan Panel Surya Trina Solar TSM DEG20C.20 dengan kapasitas daya maksimal sebesar 600Wp dengan tegangan maksimal 34,6 V

dan arus maksimal 17.34 A dan spesifikasi lain ditunjukkan pada table 3.



Gambar 2 Panel Surya Trinasolar TSM DEG20C.20

Nama Material	Spesifikasi
Trina Solar TSM DEG20C.20	Tipe: Monokristalin P _{Max} : 600 W V _{MPP} : 34,6 V I _{MPP} : 17,34 A V _{OC} : 41,7 V I _{sc} : 18,42 A Efisiensi: 21,2%

Tabel 3 Spesifikasi Panel Surya Trinasolar TSM DEG20C.20

4.3.1. Menghitung PV Area

Menurut datasheet Panel Surya Trina Solar 600 Wp, setiap peningkatan temperatur 1°C dari temperatur STC (25°C) pada panel surya, akan mengurangi daya yang dihasilkan panel surya sebesar 0,34%. Data temperatur maksimum wilayah Kec. Bangli periode tahun 2005 sampai dengan tahun 2020 adalah sebesar 25°C. Dihitung menggunakan persamaan

$$P_{saat\ T\ naik\ T^{\circ}C} = T_{coeff\ of\ Pmax} \times P_{MPP} \times \Delta T$$

$$P_{saat\ T\ naik\ T^{\circ}C} = 0,34\% \times 600\ W \times 0^{\circ}C$$

$$P_{saat\ T\ naik\ T^{\circ}C} = 0\ W$$

$$P_{MPP\ saat\ T^{\circ}C} = P_{MPP} - P_{saat\ T\ naik\ 0^{\circ}C}$$

$$P_{MPP\ saat\ T^{\circ}C} = 600\ W - 0\ W = 600\ W$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maksimum panel surya ketika temperatur maksimum, nilai TCF (Temperature Correction Factor) dapat ditentukan seperti berikut

$$TCF = \frac{P_{MPP\ saat\ naik\ T^{\circ}C}}{P_{MPP}}$$

$$TCF = \frac{600\ W}{600\ W} = 1$$

Setelah mendapatkan nilai TCF, selanjutnya adalah menentukan nilai efisiensi sistem PLTS dengan menggunakan persamaan

$$PV\ Area = \frac{E_L}{G_{av} \times TCF \times \eta_{PV} \times PR}$$

$$PV\ Area = \frac{1,991}{3,98 \times 1 \times 0,212 \times 0,95} = 2,48\ m^2$$

4.3.2. Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS (WattPeak)

Dengan area array sebesar 2,48 m², Peak Sun Insolation (PSI) adalah 1000W/m² dan efisiensi panel surya adalah 21,2%, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (Wattpeak) dapat dihitung sebagai berikut

$$P_{peak} = PV\ Area \times PSI \times \eta_{PV} [Watt]$$

$$P_{peak} = 2,48 \times 1000 \times 0,212 [Watt]$$

$$P_{peak} = 525,76\ Wattpeak$$

4.3.3. Menghitung Jumlah Panel Surya

Panel surya yang dipergunakan sebagai acuan adalah panel surya panel surya Trina Solar TSM DEG20C.20 dengan kapasitas daya maksimal sebesar 600 Wp. Untuk mengetahui jumlah panel surya dihitung sebagai berikut :

$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{P_{Wattpeak}}{P_{MPP}}$$

$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{525,76}{600}$$

$$Jumlah\ Panel\ Surya = 0,876 \cong 1$$

Sehingga, dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan sebanyak 0,876 unit panel surya atau dibulatkan ke atas menjadi 1 unit panel surya.

4.3.4. Menghitung Kapasitas Charge Controller

Kapasitas SCC ditentukan berdasarkan string yang di desain pada interkoneksi rangkaian panel surya. Perhitungan kapasitas SCC dapat dihitung sebagai berikut

$$Capacity_{SCC} = \frac{P_{PV} \times Safety\ Factor}{V_{String\ PV}}$$

$$Capacity_{SCC} = \frac{600\ W \times 1,25}{34,6\ V} = 21,6\ A$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, kapasitas SCC yang terpasang pada PLTS Off-Grid minimal 21,6 Ampere. Dengan demikian, dipilih Solar Charge Controller PowMr POW-Keeper 1230 MPPT 30A dengan arus input maksimum sebesar 30 Ampere dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 4



Gambar 3 Solar Charge Controller PowMr POW-Keeper 1230

Nama Material	Spesifikasi
POW-Keeper1230 MPPT 30A	Tipe: Solar Charge Controller MPPT Nom. System Voltage: 12/24 V _{DC} Array Input: 1 Max. Array Input Current: 30 A Max. Array Input Voltage: 75 V Max. Battery Input Voltage: 32 V _{DC} Output Current to Load: 30 A _{DC} Efisiensi: 98,1%

Tabel 4 Spesifikasi Solar Charge Controller

4.3.5. Menghitung Kapasitas Inverter

PLTS Off-Grid sebagai sumber energi dari sistem kendali membutuhkan inverter yang dapat dihitung sebagai berikut
 $CO\ inverter = Demand\ Watt \times Safety\ Factor$
 $Capacity\ of\ inverter = 600 \times 1,25$
 $Capacity\ of\ inverter = 750\ Watt.$

Kapasitas inverter yang tersedia dipasaran mendekati perhitungan kapasitas inverter adalah Inverter Mean Well NTS-750 dengan kapasitas 750 Watt dan tegangan kerja sistem 24 Volt dengan spesifikasi komponen ditunjukkan pada Tabel 5



Gambar 4 Inverter Mean Well NTS-750

Nama Material	Spesifikasi
Mean Well NTS-750-224	Tipe: Power Inverter Output voltage: 200 - 240 VAC DC Input Voltage Range: 20-33 V Max. Efisiensi: 93%

Tabel 5 Inverter Mean Well NTS-750

4.3.6. Menghitung Kapasitas Baterai

Nilai Depth of Discharge (DoD) adalah 80% yang merupakan nilai DoD maksimum dari baterai Enersys OPzV. Sedangkan nilai efisiensi merupakan nilai efisiensi dari inverter berdasarkan datasheet, yaitu 93%. Menghitung Kapasitas baterai PLTS Off-Grid dapat menggunakan rumus berikut

$$C = \frac{N \times E_d}{V_s \times DoD \times \eta}$$

$$C = \frac{2 \times 1.991\ Wh}{24\ V \times 0,8 \times 0,93} = 223\ Ah$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas baterai, PLTS Off-Grid pada Sistem Kendali membutuhkan setidaknya baterai dengan minimal kapasitas 223 Ah. Dengan demikian, dipilih baterai Enersys 5 OpzV 250 dengan kapasitas nominal sebesar 265 Ah. Baterai ini memiliki tegangan nominal di setiap cell-nya yaitu 2 V dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 6



Gambar 5 Baterai Enersys OpzV

Nama Material	Spesifikasi
5 Enersys OpzV 250	Tipe: Lead Acid Nom. Voltage: 2 Jumlah Terminal: 2 Kapasitas: 265 Ah 10 hr rate 1,80 V _{DC} @ 20°C Berat: 23,5 kg Isc: 2.737 A Internal Resistance: 0,76Ω

Tabel 6 Spesifikasi Baterai

4.3.7. Menghitung Daya Keluaran PLTS

Untuk menghitung energi yang dihasilkan rata-rata pertahun data radiasi menggunakan radiasi rata rata, atau Peak Sun Hour (PSH) dengan nilai 5,01 jam, maka :

$$P_{out} = Daya\ Real \times PSH$$

$$P_{out} = 0,51\ kW \times 5,01\ h$$

$$P_{out} = 2,555\ kWh$$

$$Energy\ Yield = P_{out} \times 365\ hari$$

$$Energy\ Yield = 2,555 \times 365\ hari$$

$$Energy\ Yield = 932,575\ kWh/tahun$$

Radiasi Matahari Terendah (kWh)	2,030
Radiasi Matahari Tertinggi (kWh)	3,565
Radiasi Matahari Rata-rata (kWh)	2,555
Energy Yield (kWh/tahun)	932,575

Tabel 7 Hasil perhitungan radiasi matahari dan energy yield

4.3.8. Menghitung Performance Ratio

Performance Ratio (PR) adalah ukuran suatu kualitas sistem dilihat dari energi tahunan yang dihasilkan. Apabila sistem tersebut nilai PR nya berkisar 70-90% , maka sistem tersebut dapat dikatakan layak. PR pada PLTS ini dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}}$$

$$PR = \frac{932,575 \text{ kWh/tahun}}{1.097,191 \text{ kWh/tahun}}$$

$$PR = 0,85 \times 100\%$$

$$PR = 85\%$$

4.4. Analisa Ekonomi dan Kelayakan Investasi

4.4.1. Menghitung Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal di bawah ini merupakan daftar peralatan yang diperlukan beserta harga untuk membangun PLTS sesuai dengan desain yang telah disusun.

No	Nama Barang	Satuan	Jumlah	Harga	Total
1	Solar Panel Trima Solar TSM DEG20C.20	Unit	1	Rp. 1.914.570	Rp. 1.914.570
2	Charge Controller POW-Keeper1230 MPPT 30A	Unit	1	Rp. 764.000	Rp. 764.000
3	Inverter Mean Well NTS-750-224	Unit	1	Rp. 4.298.875	Rp. 4.298.875
4	Baterai Energys OpzV 250	Unit	12	Rp. 5.171.930	Rp. 61.063.160
5	AC Cable (NYM 2x2,5 mm2)	meter	5	Rp. 46.000	Rp. 230.000
6	Grounding Cable (NYA 1x2,5 mm2)	meter	2	Rp. 26.000	Rp. 52.000
7	MCB AC (2P 16A)	unit	1	Rp. 188.000	Rp. 188.000
8	MCB DC (2P 25A)	Unit	1	Rp. 160.000	Rp. 160.000
9	SPD AC (2P20-40kA)	Unit	1	Rp. 140.000	Rp. 140.000
10	Galvanis	Batang	2	Rp. 160.000	Rp. 320.000
11	Biaya Pemasangan				Rp. 1.200.000
Total					Rp. 70.330.605

Tabel 8 Estimasi biaya yang dibutuhkan untuk PLTS Off-Grid

Biaya yang dibutuhkan untuk membangun PLTS pada sistem kendali tinggi muka air ini adalah Rp. 70.330.605, sudah termasuk biaya investasi peralatan. Untuk upah pekerja beserta biaya pemasangan dihitung setiap pemasangan 1000 W, akan dikenakan biaya Rp. 2.000.000. Untuk PLTS ini menggunakan 1 panel surya 600 WP, sehingga PLTS ini dengan 600 watt dikenakan biaya Rp.1.200.000.

4.4.2. Tingkat Diskonto

Tingkat diskonto dipengaruhi oleh suku bunga di Indonesia. Tingkat suku bunga yang digunakan adalah rata-rata suku bunga 10 tahun sebesar 5,46%. Kemudian untuk menentukan tingkat diskonto dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$Tingkat Diskonto = \frac{1}{(1+i)^t}$$

$$Tingkat Diskonto = \frac{1}{(1+5,46\%)^1} = 0,948$$

Tahun ke-	Tingkat Diskonto
0	1
1	0,948
2	0,899
3	0,853
4	0,808
5	0,767
6	0,727
7	0,689
8	0,654
9	0,620
10	0,588
11	0,557
12	0,528
13	0,501
14	0,475
15	0,450
16	0,427
17	0,405
18	0,384
19	0,364
20	0,345
21	0,327
22	0,310
23	0,294
24	0,279
25	0,265

Tabel 9 Tingkat diskonto selama Umur proyek dengan Suku Bunga 5,46%

4.4.3. Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya O&M tahunan untuk PLTS, biasanya diperkirakan sebesar 1% dari total biaya investasi awal [6]. Dengan

mengacu pada hal tersebut maka pada penelitian ini, persentase yang ditetapkan untuk biaya O&M tahunan PLTS, mencakup biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total investasi awal dan biaya untuk pembersihan panel surya

Adapun biaya O&M tahunan untuk PLTS yang akan dikembangkan menggunakan persamaan berikut.

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi}$$

$$M = 1\% \times \text{Rp.70.330.605}$$

$$M = \text{Rp.703.306} - \text{Per tahun}$$

Apabila panel surya diperkirakan memiliki usia mencapai 25 tahun, maka total biaya O&M untuk 25 tahun adalah sebesar Rp.17.582.650,-

4.4.4. Menghitung Biaya Siklus Hidup

Besarnya tingkat diskonto (i) yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dalam penelitian ini sebesar 5,46% yang diperoleh dari rata rata tingkat diskonto di indonesia selama 10 tahun terakhir. Besar nilai present value untuk biaya O&M PLTS pada sistem kendali kendali tinggi muka air selama umur proyek 25 tahun, dengan tingkat diskonto 5,46% dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$P = \text{Rp.703.306} \left[\frac{(1+0.0546)^{25} - 1}{0.0546(1+0.0546)^{25}} \right]$$

$$P = \text{Rp.9.473.143}$$

Biaya Siklus hidup (LCC) untuk PLTS pada sistem kendali tinggi muka air selama umur proyek 25 tahun dihitung sebagai berikut :

$$LCC = C + M_{PW}$$

$$LCC = \text{Rp.70.330.605} + \text{Rp.9.473.143}$$

$$LCC = \text{Rp.79.803.748}$$

4.4.5. Menghitung Biaya Energi PLTS

Faktor pemulihan modal untuk di konversikan semua arus kas dari biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, dihitung dengan persamaan berikut

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.0546(1+0.0546)^{25}}{(1+0.0546)^{25} - 1} = 0.0742$$

Energi kebutuhan listrik pompa air pada sistem kendali tinggi muka air 1.990 kWh per hari, sehingga pemakaian energi tahunan menggunakan panel surya diperhitungkan sebagai berikut :

$$AKWH = kWh \text{ harian} \times 365[kWh]$$

$$AKWH = 1,990 \times 365[kWh]$$

$$AKWH = 726.35 kWh$$

Besar biaya energi (COE) untuk pembuatan PLTS pada sistem kendali tinggi muka air menggunakan persamaan

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AKWH}$$

$$COE = \frac{\text{Rp.79.803.748} \times 0.0742}{726.35} = \text{Rp.8.152} / kWh$$

4.4.6. Menghitung NPV

NPV ditentukan dari present value arus kas bersih yang diperoleh dari hasil perkalian arus kas bersih dengan tingkat diskonto. Net Cash Flow (NCF) didapat dari pengurangan penghematan biaya energi listrik yang diasumsikan sebagai arus kas masuk dengan arus kas keluar untuk biaya maintenance.

$$\text{Penghematan} = AKWH \times \text{Tarif PLN} / kWh$$

$$\text{Penghematan} = 726,35 kWh \times \text{Rp.1.444,7} / kWh$$

$$\text{Penghematan} = \text{Rp.1.049.357,84}$$

$$NCF = \text{Penghematan} - \text{ arus kas keluar}$$

$$NCF = \text{Rp.1.049.357,84} - \text{Rp.703.306}$$

$$NCF = \text{Rp.346.231,84}$$

Tahun	Tingkat diskonto	NCF (Rp)	PV NCF (Rp)	Akumulasi PV NCF (Rp)
Investasi Awal = Rp. 70.330.605				
1	0,948		328.227,784	328.227,784
2	0,899		311.262,424	639.490,208
3	0,853		295.335,760	934.825,968
4	0,808		279.753,327	1.214.581,295
5	0,767		265.559,821	1.480.141,116
6	0,727		251.710,348	1.731.851,664
7	0,689		238.553,738	1.970.405,401
8	0,654		226.435,623	2.196.841,025
9	0,620		214.663,741	2.411.504,766
10	0,588		203.384,322	2.615.089,088
11	0,557		192.851,135	2.807.940,222
12	0,528		182.810,412	2.990.750,634
13	0,501	346.231,84	173.462,152	3.164.212,786
14	0,475		164.460,124	3.328.672,910
15	0,450		155.804,328	3.484.477,238
16	0,427		147.840,996	3.632.318,233
17	0,405		140.223,895	3.772.542,129
18	0,384		132.953,027	3.905.495,155
19	0,364		126.028,390	4.031.523,545
20	0,345		119.449,985	4.150.973,530
21	0,327		113.217,812	4.264.191,341
22	0,310		107.331,870	4.371.523,212
23	0,294		101.792,161	4.473.315,373
24	0,279		96.598,683	4.569.914,056
25	0,265		91.751,438	4.661.665,494

Tabel 10 Perhitungan Net Cash Flow sampai dengan umur proyek 25 Tahun

Sehingga dengan biaya investasi awal (I) Rp.70.330.605 maka besar NPV dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

$$NPV = \text{Rp.4.661.665,494} - 70.330.605$$

$$NPV = -\text{Rp.65.668.939,506}$$

Sehingga Net Present Value untuk PLTS Off-Grid pada sistem kendali ini adalah -Rp. 65.668.939,506. Nilai NPV negatif ($NPV < 0$) menunjukkan bahwa investasi memperoleh kerugian dan tergolong tidak layak secara ekonomi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian Analisis Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan PLTS *Off-Grid* Pada Sistem Kendali Tinggi Muka Air Pada Tandon dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

Perancangan PLTS *Off-Grid* Untuk Sistem Kendali Tinggi Muka Air pada tandon di Sekar anugrah Penglipuran dibutuhkan adanya perhitungan spesifikasi alat dengan acuan data pemakaian daya listrik perhari, data suhu daerah sekitar, data iradiasi matahari, dan PSH sehingga diketahui kebutuhan spesifikasi komponen yang digunakan. Panel Surya yang digunakan adalah Trina Solar TSM DEG20C.20 dengan kapasitas 600Wp sebanyak satu buah yang diperkirakan dapat membangkitkan daya untuk kebutuhan sistem kendali sebesar 525,76 Wp. POW-Keeper1230 MPPT 30A digunakan sebagai SCC dengan kapasitas maksimal sebesar 30A dengan tegangan array maksimal 75V dengan inverter Mean Well NTS-750-224 yang berkapasitas 750 Watt dengan tegangan sistem 24 Volt dan dapat mengalirkan arus maksimal sebesar 31,25A. Baterai yang digunakan adalah Enersys OpzV 265 dengan tegangan 2V dan kapasitas 250 A sehingga dibutuhkan baterai dengan jumlah 12 baterai untuk sistem bertegangan 24 V yang dihubungkan secara seri. PLTS *Off-Grid* ini dapat menghasilkan *energy yield* sebesar 932,575 kWh/tahun dengan energi yang terpakai sebesar 726.35 kWh/tahun dan *Perfurmance Ratio* (PR) sebesar 85%.

RAB pada rancang bangun sistem kendali tinggi muka air pada tandon membutuhkan biaya sebesar Rp.1.318.700 sedangkan pada perancangan PLTS *Off-Grid* dibutuhkan investasi awal sesuai RAB sebesar Rp. 70.330.605 dengan NPV sebesar -Rp.65.668.939,506 sehingga secara ekonomi tidak layak investasi. Berdasarkan PERMEN ESDM No.26 Tahun 2021 dan Surat Edaran Gubernur Bali No.5 Tahun 2022 guna mempercepat transisi energi menuju *Net Zero Emission* (NZE) tahun 2060 dan terbebas dari penggunaan energi fosil serta mempertimbangkan

kebutuhan penyediaan listrik mandiri untuk penggunaan tidak terbatas waktu maka penelitian perancangan PLTS ini masih layak untuk dilanjutkan meskipun secara ekonomis tidak layak investasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Ramadhani, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts, Jakarta: Energising Developmen (EnDev) Indonesia, 2008, pp. 1-6.
- [2] S. and B. D. Cahyono, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible," *JTE UNIBA*, vol. 7, no. 2, p. 314, April 2023.
- [3] B. Bagaskoro, J. Windarta and D. Dennis, *Perancangan dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik tenaga Surya Sistem Offgrid Menggunakan Perangkat Lunak Homer Di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara*, pp. 152-157, 2019.
- [4] C. A. Wicaksono, I. Supriyadi and M. S. Boedoyo, "ANALISA BIAYA DAN MANFAAT PENGGUNAAN PLTS DAN PLTD (HYBRID)," *Jurnal Ketahanan Energi*, vol. 6, no. 1, Desember 2020.
- [5] Foster, Ghassemi and Cota, "Solar Energy, Taylor & Francis Group," 2010. [Online]. Available: http://axagroup.eu/images/pdf/1308382_50-Solar-Energy.pdf.
- [6] H. H. N. Jannah, U. I. F. Styana, A. Kurniawan and F. Hindarti, "ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PERENCANAAN PLTS ROOFTOP," *Prosiding Webinar ITY Green Tchnology*, 5 Oktober 2023.
- [7] J. W. Agung, M. Irwan, I. Muallim and S. Saddam, *Perencanaan PLTS untuk Wilayah Kabupaten Gowa Dusun PAKKULOMPO Provinsi Sul-Sel*, 2012.