

Perancangan dan Analisis Tekno Ekonomi PLTS *On-Grid System* sebagai *Supply* Energi Listrik Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember

Argo Tri Winnarni^{*a)}, Risse Entikaria Rachmanita^{a)}

(Received 21 Desember 2023 || Revised 22 Januari 2023 || Accepted 22 Oktober 2024)

Abstract: The increasing energy demand is directly proportional to the growing population and technological advancements. The energy needs in Indonesia largely rely on fossil fuels, which are limited and environmentally unfriendly due to their emission characteristics. The potential of solar energy in Indonesia is around 4.8 kWh/m², making it a renewable and environmentally friendly energy source that can be utilized for Solar Power Plants (PLTS). The aim of this research is to design an on-grid PLTS system and conduct techno-economic analysis using PVSyst software. This design requires 14 Longi Solar/LR5-72HPH-550M solar panels and 1 Huawei SUN2000-6KTL-M1 inverter. The estimated electricity production is 10,852 kWh/year in the first year. The initial investment cost for this PLTS system is Rp. 120,343,517.00, with estimated savings over 25 years amounting to Rp. 270,115,412.00. Economically, based on the feasibility analysis using the LWBP tariff calculation method, the NPV is Rp. 2,174,707.00, BCR is 1.68, and PBP is 11.8 years. Meanwhile, based on the feasibility analysis using the LCoE calculation method, the NPV is Rp. 74,877,690.00, BCR is 2.61, and PBP is 7.5 years. Based on the conducted research, the construction of this PLTS is deemed feasible to be implemented.

Keywords: On-Grid, PLTS, PVSyst, techno economics, savings

1. Pendahuluan

Meningkatnya pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi beriringan dan berbanding lurus dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik. Ketergantungan Indonesia menggunakan energi fosil dalam mencukupi kebutuhan energi listrik masih menjadi permasalahan yang klise dari tahun ke tahun. Produksi listrik nasional masih didominasi pembangkit listrik berbahan bakar fosil (batubara, gas, BBM) sekitar 66% hingga 80% [1]. Sampai dengan akhir tahun 2020 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia mencapai 72.750,72 MW dimana sebesar 43.186,53 MW berasal dari pembangkit PLN. Kapasitas tersebut mengalami kenaikan sebesar 3,071.87 MW dibandingkan dengan tahun 2019 sebesar 69.678,85 MW [2].

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) terbesar salah satunya berasal dari sektor energi yaitu pembangkit listrik, terutama yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. Pembangkit listrik menghasilkan emisi GRK sebesar 175,62 juta ton CO₂ pada tahun 2015 dimana 70% emisi berasal dari pembakaran batubara [3]. Dengan meningkatnya kebutuhan energi, maka emisi karbon dari sektor energi juga semakin meningkat tiap tahunnya. Dimana apabila hal tersebut dibiarkan akan menimbulkan efek GRK yang buruk untuk lingkungan.

Aksi mitigasi yang berperan paling besar dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca di sektor energi adalah pengembangan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai langkah transisi menuju energi yang lebih bersih, minim emisi, dan ramah lingkungan [4]. Disamping itu, sebagai upaya dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi, pemerintah mendorong untuk meningkatkan peran EBT secara terus menerus. Hal tersebut juga merupakan komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca sesuai rumusan Dewan Energi Nasional (DEN) melalui PP No. 79 tahun 2014 tentang bauran EBT dari PLTS sebesar 6,379 MW pada tahun 2025 mendatang.

Salah satu penerapan EBT adalah pemanfaatan tenaga surya sebagai pembangkit listrik atau yang disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Menurut Herjuno (2018)

Indonesia terletak pada area garis khatulistiwa dengan iklim tropis sehingga Indonesia bias mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun [5]. Akibat dari posisi tersebut, Indonesia menerima radiasi sinar matahari paling besar dari arah barat dan timur. Menurut Rencana Strategis Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral potensi energi panas matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² per hari atau setara dengan 112 ribu GWp [6]. Penerapan energi baru terbarukan (EBT) merupakan salah satu program yang terus didorong oleh Pemerintah RI [7]. Bauran EBT dalam memenuhi kebutuhan listrik nasional pada tahun 2021 yang lalu telah mencapai angka 12,4%, sedangkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia menargetkan bauran EBT mencapai 23% pada tahun 2025 mendatang [8].

Pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan, PLTS mengonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik melalui sel PV [9]. Sistem PLTS memerlukan area terbuka dan bebas dari benda atau bayangan yang dapat menghalangi panel surya dalam menyerap dan menerima radiasi matahari, sehingga untuk keperluan penempatan panel surya dapat dilakukan dengan memanfaatkan atap bangunan [10]. Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember menggunakan atap jenis dak beton dengan luas atap yang sebagian tidak terpakai sehingga dapat dimanfaatkan untuk lokasi penempatan panel surya tanpa mengubah fungsi atap tersebut. Disamping itu, tidak adanya genset membuat masjid memerlukan *back up* daya ketika listrik padam disiang hari. Penerapan PLTS ini juga diharapkan dapat mengurangi tagihan listrik pada masjid yang mana berdasarkan PLN *Adjustment* tempat ibadah termasuk kedalam golongan tarif Sosial S-3. Perlu dilakukannya perancangan dan analisis tekno ekonomi PLTS sistem *on-grid* dengan memanfaatkan atap masjid untuk menyuplai energi listrik. Penggunaan *software* simulasi seperti PVSyst dapat memudahkan perancang dalam mendesain sistem PLTS dan mengetahui estimasi produksi energi yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dalam penelitian ini yang berjudul "Perancangan dan Analisis Tekno Ekonomi PLTS

* Korespondensi: argotriwinnarni@gmail.com

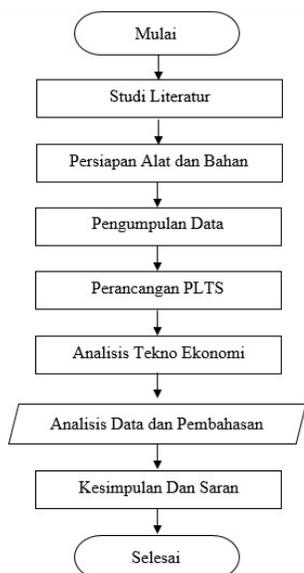
a) Prodi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip, Krajan Timur, Sumbersari, Jember, Indonesia

On-Grid System Sebagai *Supply* Energi Listrik Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember Politeknik Negeri Jember". Perancangan ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan suplai listrik dari PLN yang sebagian besar berasal dari energi fosil. Diharapkan dengan pemasangan PLTS sistem *on-grid* dapat menghemat tagihan listrik.

2. Metode

2.1 Alur Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah pada penelitian ini yang digambarkan dengan diagram alir pada Gambar 1.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Berikut penjelasan dari alur penelitian pada Gambar 1.

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai sel fotovoltaik yang meliputi karakteristik sel fotovoltaik, cara kerja sistem, dan parameter yang memengaruhi kinerja sistem PLTS.

b. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan pada penelitian ini yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti solarimeter, temperature meter, roll meter, alat tulis, laptop dan juga *software* yang akan digunakan seperti SketchUp, PVSyst, Microsoft Word dan Microsoft Excel.

c. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan pengumpulan data secara langsung dan tidak langsung baik observasi, studi literatur maupun wawancara. Data yang diperoleh terbagi menjadi dua bagian, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh berdasarkan survei langsung ke lokasi penelitian maupun data dari instansi terkait. Data-data tersebut antara lain tinggi bangunan, luas dan jenis atap, beban harian, dan lain-lain. Adapun data sekunder yaitu pengambilan data iradiasi matahari dan suhu lokasi dari *website Nasa POWER Data Access Viewer*, biaya investasi PLTS, spesifikasi komponen, dan suku bunga bank Indonesia dari *website resmi Bank Indonesia*.

d. Prancangan PLTS

Merupakan langkah awal untuk melakukan pembangunan

PLTS. Tujuan dari penilaian lokasi adalah untuk menentukan karakteristik lokasi sehingga dapat memberikan informasi yang diperlukan dalam tahap desain dan pemasangan sistem PLTS secara optimal.

e. Analisis Tekno Ekonomi

Merupakan teknik analisis untuk mengetahui kelayakan sebuah investasi dengan menghitung nilai investasi awal, pendapatan, biaya operasional dan perawatan, faktor suku bunga yang berlaku, serta kurun waktu analisis. Analisis tekno-ekonomi umumnya dilakukan pra investasi sebagai bahan dalam mengambil keputusan terhadap suatu investasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain dan Perancangan PLTS

A. Penilaian Lokasi (*Site Assessment*)

Penilaian lokasi merupakan langkah pertama untuk melakukan perancangan PLTS. Tujuan penilaian lokasi adalah untuk menentukan karakteristik lokasi dan dapat memberikan informasi yang diperlukan dalam tahap desain dan pemasangan sistem PLTS secara optimal. Adapun yang perlu diperhatikan yaitu:

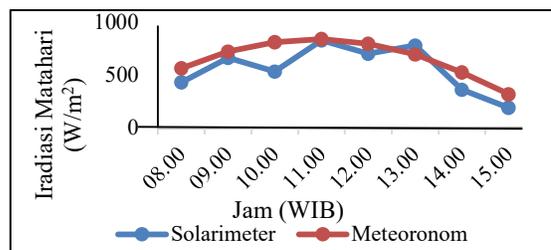
a. Peraturan Penerapan PLTS Atap

Merancang sistem PLTS dapat lebih terstruktur dan sistematis apabila mengetahui peraturan dan prosedur yang berlaku, arah serta batasannya. Mengacu Permen ESDM No 13 Tahun 2019 tentang perubahan atas Permen ESDM No 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara.

b. Data Meteorologi

Produksi energi yang dihasilkan PLTS dapat dipresentasikan berdasarkan tingkat iradiasi matahari yang terdapat pada atap Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember. Data iradiasi matahari dapat diambil dengan tiga cara, data pertama diperoleh dengan cara pengambilan data menggunakan alat solarimeter. Pengambilan data iradiasi kedua menggunakan data yang terdapat di dalam *software* PVSyst, data dalam *software* tersebut merupakan data dari *meteonorm 8.0 (2010-2014)*.

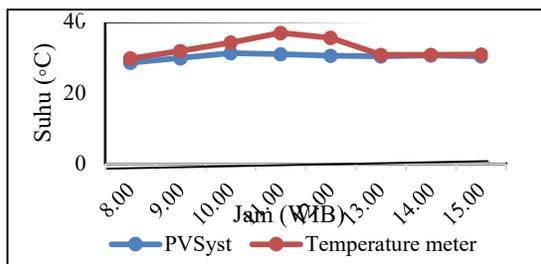
Nilai iradiasi matahari menggunakan *software* PVSyst lebih tinggi dibandingkan dengan nilai iradiasi matahari menggunakan solarimeter. Rata-rata iradiasi matahari berdasarkan PVSyst sebesar 661,4 W/m² sedangkan rata-rata iradiasi matahari menggunakan solarimeter sebesar 557,6 W/m². Perbandingan nilai iradiasi matahari menggunakan PVSyst dengan menggunakan Solarimeter dapat dilihat pada Gambar 3.1..



GAMBAR 3.1 GRAFIK PERBANDINGAN IRADIASI MATAHARI BERDASARKAN PVSYST DAN IRADIASI MATAHARI MENGGUNAKAN SOLARIMETER

Temperature atau suhu berpengaruh pada energi yang

akan dibangkitkan sistem PLTS. Energi yang dihasilkan akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu tergantung dari besarnya koefisien suhu pada panel surya. Suhu lingkungan rata-rata berdasarkan Temperature meter sebesar 32,6°C sedangkan berdasarkan software PVSyst sebesar 30,3°C. Perbandingan nilai suhu berdasarkan PVSyst dengan menggunakan Temperature meter dapat dilihat pada Gambar 3.2.



GAMBAR 3.2 GRAFIK PERBANDINGAN SUHU LINGKUNGAN BERDASARKAN PVSYST DAN SUHU LINGKUNGAN MENGGUNAKAN TEMPERATURE METER

Pengambilan data iradiasi matahari ketiga dari website Nasa POWER Data Access Viewer tahun 2022. Berikut merupakan data rata-rata iradiasi matahari dan suhu lokasi dari website Nasa POWER Data Access Viewer pada tahun 2022. Diketahui Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember yang berlokasi pada Latitude -8.1601 dan Longitude 113.7215, dengan jumlah iradiasi matahari dan kecepatan angin rata-rata sebesar 2,24 m/s. Diketahui PSH (*peak sun hour*) rata-rata di Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember sebesar 5,29 jam per hari.

$$PSH = \frac{1.930,840 [Wh/m^2]}{1000 [W/m^2] \times 365 \text{ hari}} = 5,29 \text{ jam/hari}$$

C. Penilaian Sistem Kelistrikan (*Electricity System Assessment*)

Diketahui total rincian beban harian sebesar 69,97 kWh pada hari biasa dan perkiraan konsumsi energi pada siang hari (jam 06.00 – 17.00) yaitu sebesar 16,41 kWh per hari. Hari Jum'at perkiraan konsumsi energi listrik lebih besar dari hari biasa yaitu sebesar 73,97 kWh per hari, dimana perkiraan konsumsi energi pada siang hari (jam 06.00 – 17.00) yaitu sebesar 20,41 kWh.

B. Menentukan Kapasitas Inverter

Berdasarkan profil beban maksimum, dapat dihitung bahwa energi yang dibutuhkan sistem (*daily energy consumption*) adalah sebesar 20,41 kWh. Asumsi rasio performa PV sebesar 75% sehingga kapasitas inverter yang dibutuhkan sebesar 6 kW.

$$\text{Kapasitas inverter [W]} = \frac{20,410 [Wh] / 0,75}{5,29 [\text{jam}] \times 0,86} = 5.981,74 \text{ W}$$

C. Pemilihan Komponen Utama PLTS

a. Inverter

Inverter yang digunakan dalam perancangan ini yaitu *Grid Tie* Inverter 3 fasa merk Huawei SUN2000-6KTL-M1 dengan kapasitas 6 kW. Jumlah inverter yang dibutuhkan

adalah 1 inverter. Inverter yang dipilih merupakan inverter jenis multi *string* inverter yang memungkinkan fleksibilitas yang maksimal pada PV dan *energy yield* yang lebih tinggi serta lebih mudah dirawat.

b. Panel Surya

Perancangan sistem PLTS *On-Grid* ini menggunakan panel surya *monocrystalline* jenis *half cut* merk Longi Solar LR5- 72HPH-550M dengan kapasitas 550 Wp. Panel ini memiliki efisiensi 21,5%. Pemilihan panel tersebut karena termasuk dalam produsen panel Tier 1. Panel jenis *half cut*.

D. Menentukan Kapasitas Pane Surya

Kebutuhan kapasitas panel surya dapat dihitung dengan mengalikan total kapasitas inverter dengan *DC/AC ratio* yang diinginkan.

$$\text{Kapasitas PV} = 6.000 \text{ W} \times 1,3 = 7.800 \text{ Wp}$$

$$\text{Jumlah PV} = \frac{7.800 \text{ Wp}}{550 \text{ Wp}} = 14,18$$

Jumlah panel surya yang dibutuhkan didapatkan hasil 14,18 yang dibulatkan menjadi 14 buah panel surya, sehingga kapasitas daya total yang dihasilkan sebesar 7,7 kWp yang menghasilkan *DC/AC ratio* 1,28.

E. Desain SketckUp

Desain sistem PLTS pada atap masjid menggunakan *Software SketchUp* untuk mendapatkan gambaran 3 dimensi dari bangunan sebelum diinputkan pada *software PVSyst*. Pemasangan panel surya diletakkan pada atap bagian utara dengan jumlah panel surya yang terpasang sebanyak 14 buah. Orientasi panel surya dipasang dengan letak *portrait (vertical)* dengan kemiringan 11° menghadap utara, *module spacing* 17 mm mengikuti standard SNI-IEC 61730-1. *Racking* yang digunakan yaitu jenis *ground mount* karena atap terbuat dari dak beton.

F. Menentukan Konfigurasi Array PLTS

a. Rangkaian seri minimum

Panel surya yang dipilih memiliki tegangan MPP 41,95 V dan koefisien temperatur daya panel surya -0,00350/°C. Diketahui temperatur sel surya pada suhu lingkungan maksimum adalah 70°C. Jika diasumsikan penurunan tegangan maksimum pada kabel sebesar 3% maka tegangan pada inverter untuk setiap panel menjadi 40,54 V, sehingga jumlah minimum panel surya dalam *string* adalah 6 panel surya.

$$N_{min_per_string} = \frac{220 \text{ V}}{40,54 \text{ V}} = 5,43$$

b. Rangkaian seri maksimum

Suhu sel efektif minimum adalah 20°C. Panel surya yang dipilih memiliki tegangan rangkaian terbuka 49,80 V dan koefisien tegangan panel surya -0,0027/°C. Tegangan rangkaian terbuka maksimum pada suhu minimum adalah 49,82 V, sehingga jumlah maksimum panel surya dalam *string* adalah 20 panel surya.

$$N_{max_per_string} = \frac{1.000}{49,81} = 20,08$$

G. Menentukan Komponen Pendukung PLTS

a. *Mounting system*

Jenis atap yang digunakan pada bangunan Masjid Al-Istiqamah adalah jenis atap dak beton. Sistem pemasangan panel surya untuk jenis atap tersebut yaitu menggunakan *ground mount*. Selain itu, sistem *ground mount* dapat meningkatkan produksi energi yang lebih tinggi karena posisi panel surya dapat diatur ke arah dan sudut yang optimal.

b. Sistem proteksi

Perangkat proteksi yang digunakan dalam perancangan sistem PLTS ini yaitu *Mini Circuit Breaker* (MCB). Arus keluaran maksimal inverter dikalikan dengan faktor keamanan menghasilkan 12,63 A. Sehingga kapasitas MCB yang dibutuhkan dan tersedia dipasaran yaitu sebesar 20 A.

c. Kabel penghantar

Luas penampang kabel yang digunakan untuk menghubungkan *string* panel ke inverter menggunakan luas penampang 4 mm². Untuk jenis kabel yang digunakan yaitu PV1-F merk Slocable dengan inti tunggal. Sedangkan jenis kabel yang digunakan untuk arus AC yaitu kabel NYY merk Supreme dengan luas penampang kabel yang dipilih yaitu 4 x 2,5 mm².

H. Perhitungan *Global Tilt Irradiation*

Pada perancangan ini digunakan sudut 11° menghadap utara agar diperoleh energi dari penyinaran matahari secara maksimal dan menghindari tampungan air pada sistem atap tersebut. Sebelum mengetahui nilai GTI dapat diketahui terlebih dahulu nilai sudut deklinasi (δ). Maka nilai GTI diketahui sebesar 1985,88 kWh/m²/tahun.

$$GTI = 1990,56 \text{ kWh/m}^2 \times \sin(75,07^\circ + 11^\circ)$$

$$= 1985,88 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$$

I. Perhitungan Produksi Energi yang Dihasilkan PLTS

Kerugian sistem harus diperhitungkan dengan menggunakan faktorpenurunan (*derating factors*). Efisiensi sistem yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

TABEL 3.1 FAKTOR PENURUNAN SISTEM PLTS

Faktor Penurunan	Nilai	Deskripsi
Temperatur panel surya	0,84	Dihitung pada lampiran
Debu / kotoran	0,98	Berdasarkan asumsi
Toleransi pabrikan	0,95	<i>Datasheet</i> panel
Bayangan	1	Berdasarkan asumsi
Efisiensi Inverter	0,98	<i>Datasheet</i> inverter
Kabel DC	0,98	Asumsi <i>voltage drop</i> 2%
Kabel AC	0,99	Asumsi <i>voltage drop</i> 1%
Ketidakcocokan (<i>Mismatch</i>)	0,98	Berdasarkan asumsi
Degradasi sistem	0,97	<i>Datasheet</i> panel
Faktor Penurunan Keseluruhan	0,71	

$$E_{yield} = 7,7 \text{ kWp} \times 1985,88 \text{ kWh/m}^2 \times 0,71$$

$$= 10.852 \text{ kWh/tahun}$$

Berdasarkan perhitungan *Eyield*, didapatkan energi yang dihasilkan PLTS sebesar 10.852 kWh per tahun pada tahun pertama. Dengan energi spesifik 1.409,35 kWh/kWp. PLTS akan mengalami penurunan sistem sebesar 0,55% setiap tahunnya.

J. *Performance Ratio* (PR)

Dalam praktiknya, *performance ratio* tidak pernah mencapai 100% karena adanya *losses* yang dipengaruhi oleh temperatur, bayangan, debu, komponen dll.

$$PR = \frac{10.852}{7,7 \times 1.985,88} \times 100\%$$

$$= 70,97\%$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai *performance ratio* dalam perancangan PLTS ini yaitu sebesar 70,97%. Sehingga perancangan PLTS *rooftop On-Grid system* di Masjid Al-Istiqamah dapat dikatakan layak karena memiliki nilai PR lebih dari 70%.

K. Hasil Simulasi PVsyst

Berdasarkan desain sistem PLTS, didapatkan hasil simulasi yaitu kapasitas panel surya yang terpasang pada atap sebesar 7,7 kWp dengan kapasitas total inverter sebesar 6 kW. Estimasi produksi energi yang dihasilkan sebesar 13,51 MWh per tahun pada tahun pertama. Hasil simulasi *performance ratio* atau persentase total energi *array* yang dapat dikonversikan menjadi listrik AC adalah sebesar 83,64% dengan energi spesifik sebesar 1.754 kWh/kWp.

3.2 Analisis Ekonomi

A. Biaya Investasi Awal

Sistem PLTS memiliki biaya investasi yang bisa dikatakan besar, namun dengan biaya operasional dan pemeliharaan yang relatif rendah. Pada penelitian ini diperoleh total biaya investasi awal (II) PLTS sebesar Rp. 120.343.517.00. Besarnya pembagian biaya investasi awal PLTS tertuang dalam Tabel 3.2.

TABEL 3.2 BIAYA INVESTASI AWAL SISTEM PLTS

No.	Komponen	Total(Rp)
1	Panel Surya	35.318.346
2	Inverter	12.256.425
3	Sistem Penyangga	9.435.400
4	Kelistrikan & Aksesoris	14.430.318
5	Tenaga Kerja Instalasi & Peralatan	17.320.765
6	Perizinan & Inspeksi	3.468.773
7	Logistik & Lain-lain	11.562.551
8	Kontingensi	4.625.005
Total Harga (Tidak termasuk PPN)		108.417.583
PPN 11%		11.925.934
Total Harga (Termasuk PPN)		120.343.517

B. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) sistem PLTS yaitu sebesar Rp. 1.203.435.00 per tahun. Berdasarkan *datasheet* panel surya sistem PLTS beroperasi selama 25 tahun, sehingga nilai sekarang dari biaya O&M jika besarnya tingkat bunga adalah 5,75% mengacu pada suku bunga bank acuan yang telah ditetapkan oleh Bank Indonesia (BI) per April 2023.

$$O\&M_{pw} = Rp. 1.474.925 + \left[\frac{(1 + 5,75\%)^{25} - 1}{5,75\% (1 + 5,75\%)^{25}} \right]$$

$$= Rp. 15.756.272$$

Berdasarkan garansi yang ditawarkan oleh produsen Huawei, inverter dapat beroperasi selama 10 tahun. Sehingga inverter akan diganti sebanyak 2 kali. Maka biaya yang harus dikeluarkan untuk

pergantian inverter adalah sebesar Rp. 24.512.850.00. Total biaya O&Mpw sistem PLTS selama 25 tahun beroperasi adalah sebesar Rp. 40.269.122.00.

C. Biaya Siklus Hidup (LCC)

Berdasarkan biaya investasi awal, biaya O&M jangka panjang dan biaya pergantian komponen yang sudah diketahui, maka biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) yang harus dikeluarkan sistem PLTS selama 25 tahun yaitu sebesar Rp. 160.611.284.00.

D. Biaya Energi PLTS (LCoE)

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF dan estimasi produksi energi yang dihasilkan PLTS dalam satu tahun, maka besar biaya energi (*Levelized Cost of Energy*) untuk PLTS dapat diketahui.

$$\text{LCoE} = \frac{\text{Rp. } 160.611.284 \times 0,077}{\text{Rp. } 10.852 \text{ kWh/tahun}} \\ = \text{Rp. } 1.140/\text{kWh}$$

Berdasarkan perhitungan biaya energi (LCoE) sistem PLTS ini diketahui jika ingin membangkitkan energi per kWh maka membutuhkan biaya sebesar Rp. 1.140.00 (setara dengan US\$ 8 sen per kWh) sehingga LCoE sistem PLTS ini layak untuk diterapkan.

E. Penghematan Biaya Energi Listrik

Penggunaan PLTS sistem *on-grid* dapat mengurangi jumlah pemakaian energi listrik dari listrik PLN, sehingga dapat menghemat biaya energi listrik. TDL yang harus dibayarkan adalah sebesar Rp. 735.00/kWh. Maka didapatkan penghematan biaya energi listrik dengan menggunakan sistem PLTS yaitu sebesar Rp. 7.976.220.00 per tahun pada tahun pertama. Energi PLTS akan berkurang setiap tahunnya yaitu sebesar 0,55%. Didapatkan penghematan energi listrik selama 25 tahun dengan menggunakan sistem PLTS yaitu sebesar 254.126,91 kWh dan penghematan biaya energi listrik dengan menggunakan sistem PLTS yaitu sebesar Rp. 270.115.412.00.

F. Net Present Value (NPV)

Perhitungan dalam analisis nilai NPV menggunakan dasar perhitungan tarif LWBP Rp. 735.00/kWh dan LCoE Rp. 1.140.00/kWh. Maka NPV PLTS menggunakan dasar perhitungan tarif LWBP didapatkan hasil Rp. 10.680.337.00. Sedangkan NPV PLTS menggunakan dasar perhitungan LCoE didapatkan hasil Rp. 74.877.690.00.

$$\text{NPV}_{\text{LWBP}} = \text{Rp. } 122.518.224 - \text{Rp. } 120.343.517 \\ = \text{Rp. } 2.174.707$$

$$\text{NPV}_{\text{LCoE}} = \text{Rp. } 195.221.207 - \text{Rp. } 120.343.517 \\ = \text{Rp. } 74.877.690$$

Dengan demikian, berdasarkan analisis kelayakan menggunakan metode NPV dengan dasar perhitungan tarif LWBP dan LCoE, PLTS yang direncanakan layak untuk diwujudkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa jika NPV lebih besar dari 0 maka investasi tersebut layak (*feasible*) untuk diwujudkan.

G. Benefit Cost Ratio (BCR)

Perhitungan nilai BCR menggunakan dasar perhitungan tarif LWBP didapatkan hasil 1,68. Sedangkan nilai BCR menggunakan dasar perhitungan tarif LCoE didapatkan hasil 2,61.

$$\text{BCR(LWBP)} = \frac{\text{Rp. } 270.115.412}{\text{Rp. } 160.611.284} \\ = 1,68$$

$$\text{BCR(LCoE)} = \frac{\text{Rp. } 418.811.960}{\text{Rp. } 160.611.284} \\ = 2,61$$

Berdasarkan analisis kelayakan investasi menggunakan metode ini dengan dasar perhitungan tarif LWBP dan LCOE, terlihat bahwa nilai BCR lebih dari satu, artinya PLTS yang direncanakan layak (*feasible*) untuk diwujudkan.

H. Payback Period (PBP)

Berdasarkan perhitungan, kas bersih rata-rata selama umur proyek untuk dasar perhitungan tarif LWBP yaitu sebesar Rp. 10.174.366.00 sedangkan dasar perhitungan LCoE sebesar Rp. 16.122.225.00.

$$\text{PBP(LWBP)} = \frac{\text{Rp. } 120.343.517}{\text{Rp. } 10.174.366} \\ = 11,8 \text{ Tahun} \approx 11 \text{ Tahun } 9 \text{ Bulan } 18 \text{ Hari}$$

$$\text{PBP(LCoE)} = \frac{\text{Rp. } 120.343.517}{\text{Rp. } 16.122.225} \\ = 7,5 \text{ Tahun} \approx 7 \text{ Tahun } 6 \text{ Bulan}$$

Berdasarkan hasil analisis kelayakan menggunakan metode *payback period*(PBP) dengan dasar perhitungan tarif LWBP dan LCoE, PLTS yang direncanakan layak (*feasible*) untuk diwujudkan. Hal ini dikarenakan masa pengembalian nilai investasi yang lebih singkat dibandingkan masa pakai (*lifetime*) system.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan bahwa perancangan PLTS *on-grid system* menggunakan panel surya jenis *monocrystalline* merk Longi Solar LR5-72HPH-550M dengan kapasitas 550 Wp per panel. Jumlah *string* pada perancangan ini yaitu 2 *string* dengan masing-masing *string* sebanyak 7 panel surya dirangkai secara seri, sehingga total jumlah panel surya yang terpasang pada atap sebanyak 14 panel surya dengan total daya terpasang sebesar 7,7 kWp. Inverter yang digunakan merk Huawei SUN2000-6KTL-M1 dengan kapasitas daya sebesar 6 kW sebanyak 1 buah inverter. Estimasi produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dalam setahun berdasarkan perhitungan manual yaitu sebesar 10.852 kWh pada tahun pertama dengan *performance ratio* sebesar 70,97% dan energi spesifik 1.409,35 kWh/kWp sedangkan berdasarkan hasil simulasi PVSyst, estimasi produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dalam setahun yaitu sebesar 13.510 kWh pada tahun pertama dengan *performance ratio* sebesar 84,46% dan energi spesifik 1.754 kWh/kWp. Berdasarkan analisis ekonomi, biaya investasi awal PLTS yaitu sebesar Rp. 120.343.517,00 dan biaya O&M selama 25 tahun sebesar Rp. 15.756.272.00 serta pergantian inverter sebesar Rp. 24.512.850.00. Estimasi penghematan yang didapat dengan menggunakan PLTS selama 25 tahun yaitu sebesar Rp. 270.115.412.00. Secara ekonomis, berdasarkan analisis kelayakan menggunakan metode dengan dasar perhitungan tarif LWBP menghasilkan NPV sebesar Rp. 2.174.707.00, BCR sebesar 1,68 dan PBP selama 11,8 tahun. Sedangkan berdasarkan analisis kelayakan menggunakan metode dengan dasar perhitungan LCoE menghasilkan NPV

Rp. 74.877.690.00, BCR sebesar 2,61 dan PBP selama 7,5 tahun. Sehingga berdasarkan analisis kelayakan menggunakan metode dengan dasar perhitungan tarif LWBP dan LCoE, pembangunan PLTS rooftop ini layak (*feasible*) untuk diwujudkan.

Referensi

- [1] R. Hammam, "Outlook energi indonesia 2021 perspektif teknologi energi indonesia: tenaga surya untuk penyediaan energi charging station," Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2021.
- [2] KESDM. *Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2020*. Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. 2020
- [3] KESDM. *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016
- [6] KESDM. *Rencana Strategis Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015
- [7] Adi, A. C., F. Lasnawatin, A. B. Prananto, V. M. Suzanti, I. G. Anutomo, D. Anggreani, M. Yusuf, L. Ambarsari, dan H. Yuanningrat. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia (Final Edition)*. Ministry of Energy and Mineral Resource Republic of Indonesia. 2018
- [8] PLN. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030*. Jakarta. 2021.
- [9] Jamaaluddin. *Buku Petunjuk Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Sidoarjo: UMSIDA Press. 2021.
- [11] BSN. 2011. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [12] Council, C. E. Grid connected solar PV system (no battery storage) design guidelines for accredited installers. 2013.
- [13] GSES. "Grid-Connected PV Systems: Design and Installation 8". https://www.gses.com.au/wp-content/uploads/2020/03/GCPV-Updates_version-8.pdf. 2020.
- [14] Gumintang, M., M. Sofyan, dan I. Sulaeman. *Design and Control of PV Hybrid System in Practice*. Jakarta: Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 2020.
- [16] ICED. 2020. Panduan Perencanaan Dan Pemanfaatan PLTS Atap Di Indonesia. Jakarta.
- [18] KESDM. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016.
- [19] KESDM. Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019.
- [20] KESDM. *Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. 2020.
- [21] NASA, "Power Data Access Viewer." <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (Diakses tanggal 10 Januari 2022).
- [22] KESDM. 2022. *Energi Baru Terbarukan Berperan Besar Dalam Upaya Penurunan Emisi di Sektor Energi*. [https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/energi-](https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/energi-baru-terbarukan-berperan-besar-dalam-upaya-penurunan-emisi-di-sektor-energi)
- baru-terbarukan-berperan-besar-dalam-upaya-penurunan-emisi-di-sektor-energi (Diakses pada 10 Januari 2023).
- [23] F. F. Wibowo, M. Rokhmat, and A. Aripriantoni, "Efek Penempatan Panel Surya Terhadap Produksi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Cirata 1 Mw," *eProceedings of Engineering*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [24] I. K. A. Setiawan, I. N. S. Kumara, and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli," *Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1, 2014.
- [25] I. B. K. Sugirianta, I. G. N. A. D. Saputra, and I. G. A. M. Sunaya, "Modul praktek PLTS on-grid berbasis micro inverter," *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika*, vol. 9, no. 1, pp. 19–26, 2019.
- [26] G. H. Sihotang, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [27] G. Riawan, I. N. S. Kumara, and W. G. Ariastina, "Analisis Performansi dan Ekonomi PLTS Atap 10 kWp pada Bangunan Rumah Tangga di Desa Batuan Gianyar," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 63, 2022.
- [28] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2014.
- [29] [7]R. Rafli, J. Ilham, and S. Salim, "Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop Pada Gedung Fakultas Teknik UNG," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 8–15, 2022.
- [30] M. N. Qosim and R. Hariyati, "Kajian Kelayakan Finansial Fotovoltaik Terintegrasi On Grid Dengan Kapasitas 20 kWp," *Kilat*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [31] T. G. V. S. Putra, "Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 KW Di Dusun Asah Teben Desa Datah Karangasem," *Skripsi, Universitas Udayana*, 2015.
- [32] E. A. Karuniawan, "Analisis Perangkat Lunak PVSYS, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic," *Jurnal Teknologi Elektro Universitas Mercubuana*, vol. 12, no. 3, pp. 100–105, 2021.
- [33] [11]B. Purwoto, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 18, pp. 10–14, Mar. 2018, doi: 10.23917/emitor.v18i01.6251.
- [34] A. W. Hasanah, R. Hariyati, and M. N. Qosim, "Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN," *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [35] E. Tarigan, "Simulasi optimasi kapasitas PLTS atap untuk rumah tangga di Surabaya," *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, vol. 14, no. 1, pp. 13–22, 2020.
- [36] A. V. Fadilla, M. A. H. Prakoso, Nurhayati, M. N. Hidayat, and A. Hermawan, "Rancang Bangun Passive Photovoltaic 50 Wp Di Laboratorium Energi Terbarukan Politeknik Negeri Malang," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 21–26, 2020, Accessed: Mar. 06, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elposys/article/view/664>
- [37] I. B. Kurniansyah, F. Ronilaya, and M. F. Hakim, "Real Time Monitoring System Dari Active Solar Photovoltaic Tracker Berbasis Internet Of Things," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 7–13, 2020.