

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP BERBASIS PVsyst

Dimas Eka Juli Sutiawan^{1*}, Didik Notosudjono², Bloko Budi Rijadi³, Yamato⁴

^{1*,2,3,4}Fakultas Teknik Universitas Pakuan/Universitas Pakuan

^{1*,2,3}Jl. Pakuan, Tegallega. Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor. Jawa Barat 16143, 0251-8312206/(0251)8312206/Universitas Pakuan
dimasejs23@gmail.com^{1*}, notosudjono@unpak.ac.id², bloko.budirijadi@unpak.ac.id³, yamato@unpak.ac.id⁴

Article Info

Article history:

Diterima 4 Maret 2024

Revisi 10 Maret 2024

Diterbitkan 5 April, 2024

Keywords:

Panel Surya

On-Grid

Performance Ratio

Payback Period

PVsyst

ABSTRAK

Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan teknologi yang berkembang dibidang pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi matahari dan diubah menjadi energi listrik dengan alat bantu modul surya. Hal tersebut sejalan dengan keputusan Rektor Universitas Pakuan No.204/7KEP/REK/X/2022 tentang “Penetapan Kebijakan Penghematan Energi Listrik di Lingkungan Kampus Universitas Pakuan”. Tujuan dari pemasangan PLTS yaitu pengurangan pemakaian listrik dari jaringan untuk mengurangi tagihan bulanan listrik. Peluang untuk penggunaan PLTS *On-Grid* pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas cukup baik, dikarenakan potensi radiasi matahari rata-rata pada Kota Bogor yaitu 2,66 kWh/ m². Hal yang perlu diperhatikan dalam analisis teknis dan ekonomi PLTS *On-Grid* ini yaitu pemilihan komponen, lokasi pemasangan, luas atap gedung dan faktor ekonomi. Dalam penelitian ini menggunakan perhitungan perencanaan dan membandingkan dengan hasil dari simulasi PVsyst. Komponen yang digunakan yaitu modul surya jenis *monocrystalline* dengan kapasitas 550 Wp berjumlah 50 buah panel surya dipasang secara seri dalam 3 string, di setiap string terdapat 22 buah panel surya, dengan menggunakan 2 buah inverter dan 2 MPPT dengan kapasitas 22 kVA. Berdasarkan dari hasil perhitungan perencanaan, daya yang dihasilkan dari PLTS *On-Grid* untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam satu tahun yaitu sebesar 22694,787 kWh/tahun dan *Performance Ratio* sebesar 85%. Untuk biaya investasi awal yang dibutuhkan sebesar Rp. 246.419.576 dan periode pengembalian investasi awal dalam 14 tahun, dengan pengoperasian PLTS berlangsung selama 20 tahun serta minimal biaya energi yang dihasilkan dari PLTS pertahun sebesar Rp. 20.425.308 dan total akumulasi saving jika PLTS terpasang sebesar Rp. 427.701.220.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Dimas Eka Juli Sutiawan,

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan, Tegallega. Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor. Jawa Barat 16143, Indonesia

Email: dimasejs23@gmail.com

1. PENDAHULUAN

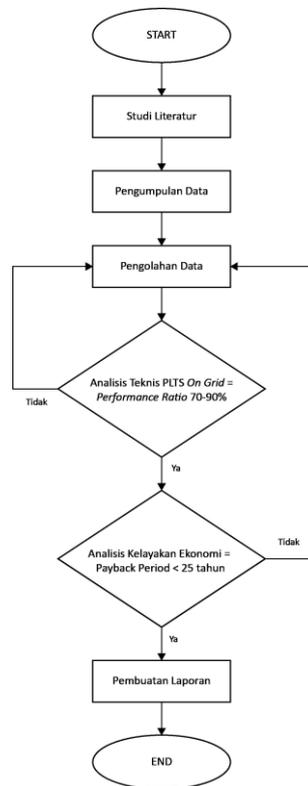
Energi listrik saat ini merupakan kebutuhan utama di masyarakat, terutama di perkotaan, di mana ketergantungan pada energi listrik untuk kegiatan sehari-hari, seperti penerangan dan kebutuhan lainnya, sangat tinggi. Dengan melihat perkembangan teknologi dan ekonomi setiap wilayah, khususnya di perkotaan, memerlukan pasokan energi listrik untuk mendukung kegiatan manusia [1]. Sebagai contoh, lembaga pendidikan seperti Universitas menjadi konsumen besar energi listrik untuk berbagai kegiatan. Mengacu pada keputusan Rektor Universitas Pakuan No.204/7KEP/REK/X/2022 tentang “Penetapan Kebijakan

Penghematan Energi Listrik di Lingkungan Kampus Universitas Pakuan” keadaan ini memberikan kerugian bagi Universitas Pakuan karena penggunaan daya listrik yang tidak terkelola dengan baik, yang menyebabkan besarnya tagihan listrik yang harus dibayar oleh Universitas setiap bulannya.

Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi inovasi perkembangan teknologi di sektor pembangkit listrik, dimana energi panas matahari dimanfaatkan dan dirubah menjadi energi listrik menggunakan modul surya [2]. Untuk pengguna PLTS mandiri atau gedung, disarankan untuk menggunakan konfigurasi *On-Grid* karena dapat terhubung ke jaringan listrik selama 24 jam [2] [3]. Dalam penelitian ini, modul surya akan dipasang di atap gedung universitas untuk mencapai hasil listrik yang optimal. Selain itu, tindakan ini juga bertujuan untuk menghemat tempat dan mencegah adanya objek yang dapat menghalangi modul surya. Tujuan lainnya adalah menentukan nilai ekonomi PLTS *On-Grid*.

2. METODE

Tahapan penelitian “Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Berbasis PVsyst” melalui beberapa tahapan. Penelitian bersangkutan terbagi menjadi dua buah penelitian, yaitu teknis dan ekonomi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Penelitian ini dilakukan berlokasi di Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan. Guna penyusunan penelitian ini lebih terarah dan mudah untuk di pahami, diperlukan kerangka penelitian dengan tahapan yang akan dilakukan sampai selesai. Diagram alir dari penelitian secara keseluruhan terlihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Teknis PLTS *On-Grid*

Dalam menganalisis teknis PLTS *On-Grid* diwajibkan mengetahui data-data yang dibutuhkan pada gedung Fakultas Teknik Universitas Pakuan. Analisis teknis memerlukan perhitungan yang tepat supaya daya yang dibutuhkan pada sistem PLTS tersebut dapat optimal sesuai dengan apa yang direncanakan. Perhitungan awal meliputi menentukan kapasitas PLTS, menentukan jumlah modul surya, perhitungan string modul surya, menentukan kapasitas MCB dan SPD untuk proteksi sistem PLTS *On-Grid*, dan menghitung Performance Ratio (PR) [4].

3.1.1. Kebutuhan Energi Harian

Pada penelitian ini hal yang dilakukan terlebih dahulu adalah memperhitungkan rata-rata pemakaian listrik pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan dengan daya PLN yang terpasang 147 kVA dengan total kebutuhan listrik harian diketahui sebesar 728 kWh, maka langkah selanjutnya dalam analisis teknis PLTS *On-Grid* adalah menghitung komponen PLTS yang akan digunakan.

3.1.2. Pemilihan Komponen PLTS *On-Grid*

A. Panel Surya

Pada analisis teknis PLTS *On-Grid* di Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan, penulis menggunakan panel surya jenis monokristal merk JA Solar dengan kapasitas 550 Wp yang memiliki dimensi lebih kecil dibandingkan dengan jenis panel surya polikristal. Selain itu, efisiensi yang dimiliki panel surya jenis monokristal merk JA Solar sebesar 21,3% dibandingkan dengan panel surya monokristal dan *thin film*, efisiensi jenis monokristal paling tinggi [5] [6].

B. Inverter

Untuk mengetahui kapasitas PLTS dibutuhkan daya PLN yang terpasang yaitu 147 kVA dikali dengan peraturan terbaru yang dikeluarkan oleh PLN (2022), menetapkan batas maksimal pemasangan PLTS atap menjadi 15% dari total kapasitas terpasang (Jawa dan Bali). Pertimbangan memilih inverter agar sesuai dengan daya yang dibutuhkan dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut [4] [7]:

$$\text{Watt (VA)} = \text{Daya PLN Terpasang} \times 15\% \quad (1)$$

$$\text{Watt (VA)} = 147000 \times 15\%$$

$$\text{Watt (VA)} = 22050 \text{ VA}$$

Serta nilai 15% adalah daya cadangan untuk memenuhi kebutuhan starting peralatan listrik. Dari nilai ini maka dapat dipilih inverter dengan kapasitas 22050 VA pembulatan ke bawah menjadi 22 kVA.

3.1.3. Menentukan Kapasitas PLTS

Setelah mengetahui rata-rata pemakaian listrik pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan dan kapasitas inverter yang digunakan. Selanjutnya dapat menghitung kapasitas listrik tenaga surya yang diperlukan, dari kapasitas inverter dikali dengan rasio DC-ke-AC yang baik untuk meminimalkan potensi kerugian dan meningkatkan efisiensi dengan nilai 1,25 maka dapat dihitung kapasitas PLTS menggunakan persamaan sebagai berikut [4] [8]:

$$\text{kWp PLTS} = \text{Kapasitas Inverter} \times 1,25 \quad (2)$$

$$\text{kWp PLTS} = 22050 \times 1,25$$

$$\text{kWp PLTS} = 27,562 \text{ kWp}$$

Jadi, diketahui kapasitas PLTS yang diperlukan sebesar 27,5 kWp.

3.1.4. Menentukan Jumlah Modul PLTS

Dalam penelitian ini sistem PLTS atap menggunakan jenis modul surya monokristal yang memiliki kapasitas 550 Wp merk JA Solar. Untuk menentukan berapa banyak modul surya yang akan digunakan menggunakan persamaan sebagai berikut [2] [4]:

$$\text{Jumlah modul PLTS} = \frac{\text{Energi dibutuhkan}}{\text{Kapasitas Modul}} \quad (3)$$

$$\text{Jumlah modul PLTS} = \frac{27562}{550}$$

$$\text{Jumlah modul PLTS} = 50,11 \sim 50 \text{ Panel}$$

Jadi, diketahui jumlah modul surya yang diperlukan sebanyak 50 panel.

3.1.5. Luas Area Aktif yang Dibutuhkan

Luas area aktif yang dimaksud merupakan area khusus yang diperuntukkan bagi penempatan modul surya, tanpa memasukkan area yang digunakan untuk mempermudah instalasi dan perawatan, serta tanpa melibatkan lahan untuk rumah daya, jarak dengan pagar, dan elemen lainnya. Informasi yang dibutuhkan mencakup nilai

efisiensi modul surya, ditentukan berdasarkan spesifikasi modul surya yang diinginkan. Perhitungan luas area efektif menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$\text{Area (m}^2\text{)} = \frac{kWp}{\text{Efisiensi Modul Surya}} \quad (4)$$

$$\text{Area (m}^2\text{)} = \frac{27,5}{21,3\%}$$

$$\text{Area (m}^2\text{)} = 129 \text{ m}^2$$

Jadi, total luas area yang dibutuhkan sebesar 129 m^2 .

3.1.6. Menghitung String Modul Surya

Untuk mengetahui jumlah maksimum dan minimum modul surya yang dapat dirangkai seri dalam 3 string, perlu dilakukan perhitungan dengan tujuan tegangan yang masuk ke inverter beroperasi dengan baik. Perhitungan jumlah panel per string menggunakan persamaan sebagai berikut [9]:

Secara Seri Minimal

$$\text{Min modul per string} = \frac{V_{dc \text{ min inverter}}}{V_{mp \text{ modul}}} \quad (5)$$

$$\text{Min modul per string} = \frac{200 \text{ Vdc}}{41,96 \text{ V}}$$

$$\text{Min modul per string} = 4,76 \sim 5 \text{ Modul}$$

Secara Seri Maksimal

$$\text{Max modul per string} = \frac{V_{dc \text{ max inverter}}}{V_{oc \text{ modul}}} \quad (6)$$

$$\text{Max modul per string} = \frac{1080 \text{ Vdc}}{49,90 \text{ V}}$$

$$\text{Max modul per string} = 21,6 \sim 22 \text{ Modul}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut hubungan secara seri per string maksimal 22 modul.

3.1.7. Sistem Proteksi PLTS On-Grid

Peralatan pengaman yang digunakan pada sistem PLTS terdiri dari bagian input atau disebut juga PV string combiner yaitu MCB DC dan SPD DC sedangkan pada bagian output atau disebut panel distribusi yaitu MCB AC dan SPD AC. Kapasitas MCB DC dan MCB AC yang digunakan dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut [10] [11]:

A. MCB DC

Untuk menentukan kapasitas pada MCB setiap 1 string terdapat 22 modul surya dipasang secara seri maka kapasitas MCB DC sebesar 20 A pada setiap stringnya. Ditentukan berdasarkan datasheet inverter pada maksimum *input current* inverter dengan nilai 18 A, dikarenakan tidak ada MCB yang berkapasitas 18 A, maka yang digunakan sebesar 20 A.

B. MCB AC

Inverter yang digunakan memiliki kapasitas 22 kVA dengan tegangan 3 fasa sebesar 480V sehingga arus yang mengalir sebesar:

$$I = \frac{P}{V} \quad (7)$$

$$I = \frac{20000}{480}$$

$$I = 41,6 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan MCB AC 3 fasa yang digunakan sebesar 50 A, dikarenakan arus maksimal yang mengalir sebesar 41,6 A.

Berdasarkan IEC 60364 pemilihan SPD dibedakan berdasarkan Tabel I dibawah ini:

Tabel I. Pemilihan Jenis SPD

Keadaan Bagunan	Bangunan berada di lokasi perkotaan atau kompleks yang di grupkan dalam satu area	Bangunan dengan lokasi sendiri	Bangunan dengan lokasi spesifik khusus. Misalnya lembah gunung, dan sejenisnya.
Rekomendasi Imac dengan nilai kA	20 kA	40 kA	65 kA

Karena lokasi Fakultas Teknik Universitas Pakuan terletak di perkotaan maka SPD AC dan DC yang digunakan sebesar 20 kA.

3.1.8. Energi yang Dihasilkan PLTS On-Grid

Menurut *Mark Hankins, Stand-Alone Electric System, London, 2010* daya yang dihasilkan oleh modul surya tersebut tidaklah 100% diasumsikan memiliki rugi-rugi sebesar 15% yang berasal dari sistem perangkat PLTS. Berikut untuk mengetahui energi yang dihasilkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Daya modul surya yang digunakan:

$$P_{pv} = \text{Jumlah Modul Surya} \times P_{\text{modul}} \quad (8)$$

$$P_{pv} = 50 \text{ modul} \times 550 \text{ Wp}$$

$$P_{pv} = 27500 \text{ Watt}$$

Daya Sistem PLTS:

$$P_{\text{input}} = P_{pv} \times \text{Losses} \quad (9)$$

$$P_{\text{input}} = 27500 \times (100\% - 15\%)$$

$$P_{\text{input}} = 27500 \times 85\%$$

$$P_{\text{input}} = 23375 \text{ Watt}$$

3.1.9. Peak Sun Hours

Berdasarkan data pada website *Global Solar Atlas* rata-rata radiasi matahari pada daerah Malabar, Kota Bogor sebesar 2,66 *Peak Hour*, dengan besar energi input DC yang masuk ke inverter sebesar 23375Watt dari data tersebut dapat diketahui *Peak Sun Hour* menggunakan persamaan sebagai berikut [12]:

$$P_{\text{output}} = P_{\text{input}} \times \text{PSH} \quad (10)$$

$$P_{\text{output}} = 23375 \text{ Watt} \times 2,66$$

$$P_{\text{output}} = 62177 \text{ Wh}$$

Sehingga untuk mengetahui energi *yield* (energi per tahun) digunakan persamaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Energi Yield} = \text{Energi Output} \times 365 \text{ hari} \quad (11)$$

$$\text{Energi Yield} = 62177 \text{ Wh} \times 365 \text{ hari}$$

$$\text{Energi Yield} = 22694787 \text{ Wh/tahun}$$

$$\text{Energi Yield} = 22694,787 \text{ kWh/tahun}$$

3.1.10. Performance Ratio

Performance Ratio (PR) yaitu mengukur kualitas sistem yang dihasilkan pertahun. PR bisa dikatakan layak jika nilainya 70-90%. Untuk menentukan nilai PR dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_{\text{tilt}} = \text{PSH} \times 365 \text{ Hari} \quad (12)$$

$$H_{\text{tilt}} = 2,66 \times 365 \text{ Hari}$$

$$H_{\text{tilt}} = 970,9 \text{ h/tahun}$$

Sehingga untuk mengetahui rata-rata radiasi selama setahun berdasarkan PSH (2,66 h) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_{ideal} = \text{Daya spesifikasi modul surya} \times \text{Jumlah modul} \times H_{tilt} \quad (13)$$

$$E_{ideal} = 550 \times 496 \times 970,9$$

$$E_{ideal} = 26699750 \text{ Wh/tahun}$$

$$E_{ideal} = 26699,750 \text{ kWh/tahun}$$

Sehingga diperoleh nilai *Performance Ratio* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}} \quad (14)$$

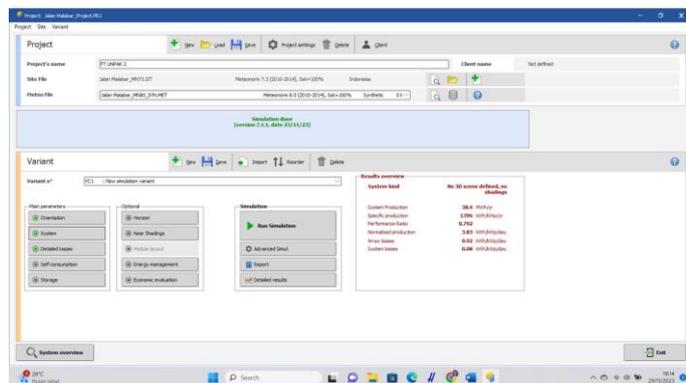
$$PR = \frac{22694,787 \text{ kWh/tahun}}{26699,750 \text{ kWh/tahun}}$$

$$PR = 0,85 \sim 85 \%$$

Dengan demikian nilai *Performance Ratio* sistem PLTS *On-Grid* pada penelitian ini sebesar 85 %, oleh karena itu sistem dapat dikatakan layak untuk direalisasikan.

3.1.11. Simulasi Pvsyst

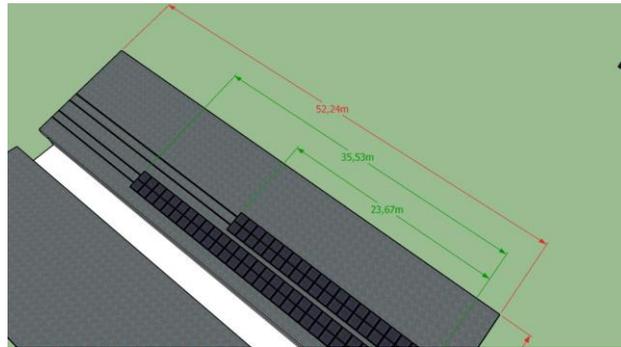
Tahapan ini melibatkan input daya yang dibutuhkan dalam proses perancangan dengan menetapkan jenis panel surya dan inverter yang sesuai dengan kebutuhan. Jenis panel surya yang dipilih adalah JA Solar dengan kapasitas 550 Wp dan tegangan 35 V. Sementara itu, inverter yang digunakan adalah Huawei dengan kapasitas 20 kW dan tegangan 200-1080 V, dengan jumlah total sebanyak 2 unit. Jumlah panel surya ditentukan berdasarkan pertimbangan terhadap inverter yang digunakan, sehingga diperoleh 50 panel surya yang terdiri dari 3 string, dimana setiap stringnya memiliki maksimal 22 panel, sesuai dengan perhitungan manual sebelumnya [13] [14]. Berikut simulasi PVsyst pada Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Simulasi Pvsyst

3.1.12. Penampakan 3D Desain PLTS Atap

Software yang digunakan untuk membuat desain penempatan PV pada PLTS atap adalah *SketchUp 3D Design*. Total panjang PV yang digunakan dari 50 PV, 2 MPPT dan 3 string adalah 35,53 m dan 23,67 m dari panjang total atap gedung 52,24 m. Pada preview 3D ini jumlah PV yang digunakan sebanyak 50 buah, dengan 1 string berjumlah 20 buah PV dan 2 string \times 15 buah PV. Berikut merupakan gambar desain PV pada PLTS atap pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Penampakan PLTS Atap

3.2. Analisis Faktor Ekonomi PLTS *On-Grid*

Analisis ekonomi dipengaruhi oleh biaya total investasi yang harus dikeluarkan, biaya operasional dan biaya pemeliharaan, biaya siklus hidup (*life cycle cost*), biaya energi PLTS, dan *payback period* PLTS. Biaya yang diinvestasikan dalam pembangunan PLTS ini dianalisis untuk menentukan apakah investasinya merugikan atau menguntungkan serta menentukan periode pengembalian investasi [15].

3.2.1. Biaya Investasi Sistem PLTS

Untuk mengetahui biaya dari investasi awal untuk membangun sebuah PLTS *on-grid* memang membutuhkan biaya yang cukup besar. Perkiraan biaya investasi awal pada perencanaan PLTS *on-grid* yang akan dikembangkan adalah biaya komponen yang terdiri dari biaya untuk pembelian panel surya dan inverter. Besarnya harga panel surya dan inverter yang digunakan sangat mempengaruhi besar kecilnya biaya investasi awal yang akan dikeluarkan [15]. Sehingga biaya yang diperlukan untuk membangkitkan listrik 27,5 kWp dapat diketahui pada Tabel II sebagai berikut:

Tabel II. Biaya Investasi Awal

Komponen	Jumlah Dibutuhkan	Harga Satuan	Total
PV modul	50	Rp. 2.350.000	Rp. 117.500.000
Inverter	2	Rp. 38.797.288	Rp. 77.594.576
kWh EXIM	1	Rp. 1.325.000	Rp. 1.325.000
Harga untuk biaya lainnya			Rp. 50.000.000
Total biaya			Rp. 246.419.576

3.2.2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya untuk sistem PLTS, menurut Kaltschmitt umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal untuk komponen sistem PLTS [15]. Dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$OP = 2\% \times \text{Investasi Awal} \quad (15)$$

$$OP = 2\% \times \text{Rp. 246.419.576}$$

$$OP = \text{Rp. 4.928.392}$$

3.2.3. Menghitung Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup (LCC) dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dihitung berdasarkan nilai sekarang dari total biaya sistem pada PLTS, yang mencakup biaya investasi awal (C), nilai sekarang biaya pemeliharaan jangka panjang, operasi, dan pemeliharaan (P) [15]. Sebagai contoh, PLTS yang akan dibangun dalam penelitian ini dianggap dapat digunakan selama 20 tahun. Penentuan umur proyek ini mengacu pada jaminan yang diberikan oleh produsen panel surya. Pada Rapat Dewan Gubernur (RDG) Bank Indonesia tanggal 23-24 Agustus 2023, diputuskan untuk mempertahankan suku bunga pinjaman Bank Indonesia sebesar

6,50%. Hal ini mempengaruhi tingkat diskonto (i). Sehingga biaya operasional dan pemeliharaan selama 20 tahun dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (16)$$

$$P = Rp. 4.928.392 \left[\frac{(1 + 0,065)^{20} - 1}{0,065(1 + 0,065)^{20}} \right]$$

$$P = Rp. 4.928.392 \times \left[\frac{2,523645064}{0,229036929} \right]$$

$$P = Rp. 4.928.392 \times 11,01850725$$

$$P = Rp. 54.303.518$$

Hasil yang didapat dari perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan PLTS yaitu Rp. 54.303.518 biaya tersebut digunakan untuk biaya operasional dan pemeliharaan dengan asumsi untuk 20 tahun. Berdasarkan dari biaya investasi awal (C) sehingga *Life Cycle Cost* (LCC) dengan umur PLTS 20 tahun didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$LCC = C + (MPW) \quad (17)$$

$$LCC = Rp. 246.419.576 + Rp. 54.303.518$$

$$LCC = Rp. 300.723.093$$

3.2.4. Menghitung Biaya Energi PLTS

Biaya energi PLTS (*Cost of Energy*) ditentukan dari *Life Cycle Cost* (LCC), *Capital Recovery Factor* (CRF) dan kWh produksi tahunan. *Cost of Energy* suatu PLTS menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (18)$$

$$CRF = \frac{0,065(1 + 0,065)^{20}}{(1 + 0,065)^{20} - 1}$$

$$CRF = \frac{0,229036929}{2,523645064}$$

$$CRF = 0,090$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC , CRF , dan kWh produksi setiap tahun, untuk mengetahui *Cost of Energy* (COE) dengan kapasitas 27,5 kWp pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (19)$$

$$COE = \frac{Rp. 300.723.093 \times 0,090}{22694,787 \text{ kWh}}$$

$$COE = \frac{Rp. 27.065.078}{22694,787 \text{ kWh}}$$

$$COE = Rp. 1.192/kWh$$

3.2.5. Payback Period

Penggunaan daya yang terpasang pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan yaitu sebesar 147 kVA dengan Golongan S-2/TR dan biaya pemakaian listrik per kWh sebesar Rp.900 dari PLN.

Potensi energi modul surya setahun ($A \text{ kWh}$) = 22694,787 kWh

Besar biaya energi (COE) PLTS = Rp. 1.192/kWh

Untuk mencari biaya energi PLTS selama satu tahun maka dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Energi PLTS} = \text{Potensi energi PV (kWh)} \times \text{Harga per kWh} \quad (20)$$

$$\text{Biaya Energi PLTS} = 22694,787 \text{ kWh} \times Rp. 900/kWh$$

$$\text{Biaya Energi PLTS} = Rp. 20.425.308$$

Untuk mengetahui berapa lama pengembalian investasi menggunakan *Payback Period* (PP) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Life Cycle Cost}}{\text{Biaya energi PLTS setahun}} \quad (21)$$

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Rp. 300.723.093}}{\text{Rp. 20.425.308}}$$

$$\text{Payback Period} = 14 \text{ Tahun}$$

Berdasarkan perhitungan *payback period* maka investasi awal pembangunan PLTS akan kembali dalam waktu 14 tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis teknis dan ekonomi PLTS On-Grid 27,5 kWp untuk Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan telah dihitung berdasarkan spesifikasi komponen. maka didapatkan kesimpulan:

1. Pada instalasi PLTS On-Grid, penyesuaian dengan beban yang akan disuplai sangat penting agar pemilihan komponen dapat optimal. Dalam hal ini, komponen yang digunakan mencakup 50 panel surya jenis monokristal dengan kapasitas 550 Wp per modul PV, 2 inverter, MCB DC 50 A, SPD DC 20 A, dan MCB AC 50 A serta SPD DC 20 A.
2. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemasangan modul surya dilakukan secara seri dengan 50 PV, 2 inverter, dan 2 MPPT, menggunakan 3 string dengan masing-masing string maksimal 22 panel surya. Dari hasil perhitungan beban tahunan diperoleh sejumlah 22.694.787 kWh per tahun. Sebuah pembangkit listrik tenaga surya dianggap layak jika Performance Ratio (PR) mencapai kisaran 70% hingga 90%. Perhitungan terhadap *Performance Ratio* pada PLTS menunjukkan hasil sebesar 85%, yang berarti bahwa PLTS dapat dianggap layak untuk diimplementasikan pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
3. Berdasarkan perhitungan analisis ekonomi, didapatkan total biaya investasi awal sebesar Rp. 246.419.576 dapat diketahui *Payback Period* atau didapatkan dalam jangka waktu 14 tahun dengan perkiraan lama pengoperasian PLTS berlangsung selama 20 tahun dengan total akumulasi saving jika PLTS terpasang sebesar Rp. 427.701.220.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada editor dan reviewer untuk semua saran, masukan dan bantuan dalam proses penerbitan naskah. Ucapan terima kasih juga kami tujukan kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian dan memberikan bantuan moril dan material.

REFERENSI

- [1] DIREKTORAT JENDERAL KETENAGALISTRIKAN KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, "Kementerian ESDM," 2023. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/eed9c-draft-rukun-cover.pdf. [Accessed Sabtu Agustus 2023].
- [2] KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, "Panduan Evaluasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik," Desember 2021. [Online]. [Accessed Sabtu Agustus 2023].
- [3] B. Kivanc and H. Sirdas, "Economic analsys of an on-grid photovoltaic system," *Internasional Congress on Energy Research*, 2018.
- [4] UNITED STATES AGENCY INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID), "Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat," November 2018. [Online]. [Accessed Sabtu Agustus 2023].

- [5] N. Didik and A. Fikri, *TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN*, Bogor: Unpak Press, 2018.
- [6] JA SOLAR, "550 MBB Half-cell Module JAM72S30 525-550/MR1500V," JA SOLAR, Shanghai.
- [7] Huawei Solar, "SUN2000-12/15/17/20KTL-M0 Smart PV Controller," Solar Huawei, Shanghai.
- [8] A. Solar, "How to choose the right size solar power inverter," [Online]. Available: aurorasolar.com. [Accessed 11 Oktober 2023].
- [9] Dzulfikar, "Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Surya Rooftop On-Grid 3000 Watt Peak Skala Rumah Tangga," Jakarta, 2018.
- [10] Handoko and dkk, "Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS Terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 HZ menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System," *Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS Terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 HZ menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System*, 2017.
- [11] Nadzira and Z. K. Nafilah, "Menentukan Sistem PLTS on-grid," Jakarta, 2020.
- [12] BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI (BPPT), "PENGEMBANGAN ENERGY STORAGE UNTUK SMART GRID SYSTEM," Desember 2013. [Online]. [Accessed Sabtu Agustus 2023].
- [13] F. P. Fajri, "Analisis Perbandingan Kinerja Sistem PLTS IT-PLN Menggunakan PVsyst," Jakarta, 2020.
- [14] K. A. Eriko, "Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL, dan Helioscope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. XII, no. 3, pp. 100-105, 2021.
- [15] H. Fian, W. Bambang and N. Agung, "Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro," *TRANSIENT, VOL. 7, NO. 4, DESEMBER 2018, ISSN: 2302-9927,878*, vol. VII, no. 4, 2018.