

KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP ON-GRID RESIDENSIAL BERKAPASITAS 46,6 KWP SERPONG, TANGERANG

Luthfian Ramdhan¹, Deria Pravitasari², Andriyatna Agung Setiawan³
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar
deria.pravitasari@untidar.ac.id

ABSTRAK

Energi baru terbarukan menjadi salah satu energi alternatif untuk menggantikan energi fosil. Peningkatan penggunaan pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia setiap tahunnya menyebabkan pentingnya analisis kinerja suatu pembangkit listrik tenaga surya. Analisis kinerja dilakukan pada sistem PLTS on-grid 46,6kWp yang berlokasi di Serpong Tangerang. Analisis kinerja dilakukan dalam periode 27 Agustus 2021 sampai 30 Juni 2022. Beberapa parameter analisis kinerja berdasarkan IEC61724 yaitu: *final yield* (yf), *capacity factor* (CuF), dan *performance ratio* (PR). Selanjutnya sistem 46,6 kWp disimulasikan menggunakan Helioscope dan hasilnya akan dibandingkan dengan kinerja sistem. Nilai keekonomian sistem juga dihitung berdasarkan energi tahunan, nilai investasi, *net present value*, *payback period*, dan *levelized cost of electricity*. Hasil energi yang didapatkan selama periode pengamatan dihasilkan sebesar 45766.04 kWh. Hasil analisis kinerja menunjukkan parameter *final yield*, *refrence yield*, *capacity factor*, dan *performance ratio* secara berurutan 3.19h, 4.60h, 13.33%, dan 70.34%. Hasil simulasi Helioscope menghasilkan energi yang lebih tinggi sekitar 5,59%. Biaya untuk membangun sistem 46,6 kWp dibutuhkan Rp 704.808.435. Diperkirakan dalam waktu 20 tahun, sistem 46,6 kWp dapat menghasilkan NPV sebesar Rp 464.716.834, LCOE sebesar Rp 817/kWh dengan PP selama 10,04 tahun sehingga investasi tersebut dapat menguntungkan dan layak untuk dilanjutkan.

Kata kunci : kinerja, pembangkit listrik tenaga surya, analisis keekonomian.

ABSTRACT

Renewable energy is an alternative energy to replace fossil energy. The increasing use of solar power plants in Indonesia every year causes the importance of analyzing the performance of a solar power plant. Performance analysis is carried out on a 46.6kWp on-grid PLTS system located in Serpong Tangerang. Performance analysis is carried out in the period 27 August 2021 to 30 June 2022. Several performance analysis parameters are based on IEC61724, namely: final yield (yf), capacity factor (CuF), and performance ratio (PR). Furthermore, the 46.6 kWp system is simulated using a Helioscope and the results will be compared with the system performance. The economic value of the system is also calculated based on annual energy, investment value, net present value, payback period, and levelized cost of electricity. The result of the energy obtained during the observation period was 45766.04 kWh. The results of performance analysis show that final yield, reference yield, capacity factor, and performance ratio parameters are 3.19h, 4.60h, 13.33%, and 70.34% respectively. Helioscope simulation results produce a higher energy of about 5.59%. The cost to build a 46.6 kWp system is Rp 704.808.435. It is estimated that within 20 years, the 46.6 kWp system can generate an NPV of Rp 464.716.834, LCOE of Rp 817/kWh with PP for 10.04 years so that the investment can be profitable and feasible to continue.

Keywords : performance analisys, photovoltaic system, economics analisys.

PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan listrik di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Menurut data yang didapatkan dari Rancangan Umum Pembangkit Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2021 pertumbuhan kebutuhan energi listrik akan meningkat 4,9% per tahun. Usaha pemerintah untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik energi terbarukan memiliki porsi yang lebih besar dibandingkan dengan energi fosil. Sumber energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar di Indonesia adalah energi matahari. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 207,8 GW. Walaupun didukung dengan Peraturan Menteri ESDM No 26 Tahun 2021 Tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap namun potensi yang besar tidak diimbangi dengan pemanfaatan yang baik, data tahun 2021 menunjukkan bahwa pemanfaatan energi matahari hanya sebesar 295,4 MW atau sekitar 0,09%.

Walaupun pemanfaatan potensi energi matahari belum maksimal, namun data dari kinerja kementerian ESDM pada tahun 2021 menunjukkan bahwa dari tahun 2020 hingga tahun 2021 terjadi peningkatan yang signifikan. Menurut data tahun 2020 kapasitas pengguna PLTS 168,3 MW dan meningkat menjadi 195,4 MW. Peningkatan pengguna PLTS menyebabkan diperlukannya evaluasi kinerja pembangkit listrik tenaga surya dilokasi yang spesifik. Banyak faktor teknis dan iklim yang berpengaruh terhadap kinerja suatu PLTS, seperti irradiasi, teknologi modul surya, temperatur, debu, bayangan, degradasi, dll [1]. Penelitian kinerja dibutuhkan untuk mendapatkan nilai performa PLTS dari jangka waktu tertentu, penurunan emisi CO₂, dan nilai investasi dari sistem yang telah ada.

Penelitian terdahulu telah dilakukan baik melalui simulasi maupun kondisi nyata dibawah kondisi iklim dan geografi yang berbeda. Penelitian di India Timur dan didapatkan bahwa hasil performa dari PLTS berkapasitas 11,2 kWp dapat menghasilkan energi, *final yield*, *reference yield*, *performance ratio*, dan *capacity factor* masing-masing sebesar 14.960MWh, 3.67h, 4.73h, 78%, dan 15,27%[2] Analisis performa juga dilakukan di Oman dengan standar IEC61724 dengan hasil total energi

yang didapatkan 2217,6 kWh dimana rata-rata *reference yield*, *array yield*, dan *final yield* sebesar 6,36 kWh/kWp-day, 4,56 kWh/kWp-day, dan 4,10 kWh/kWp-day dengan *performance ratio* 0,65 [3]. Penelitian di Nuakchott menghasilkan Rasio performa bulanan beragam dimulai dari 0,61 di bulan Agustus dan 0,71 di bulan November, dengan rata rata bulanan sebesar 0,66. Rata rata bulanan *capacity factor* yang didapat maksimum dan minimum di Oktober (20,54%) dan Januari (11,66%) [4]. Penelitian yang dilakukan di perancis menunjukkan bahwa parameter IEC61724 yang digunakan adalah *yield factor* (yf), dan *capacity utilization factor* (CUF). Dalam penelitian kinernya sistem PLTS 2,4 kWp di Perancis, dilakukan pengambilan data yang dimulai dari Agustus 2018 hingga Mei 2020. Hasil analisis performa didapatkan *final yield* sebesar 3.75h, dan *capacity factor* sebesar 15,65% .

Penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah dari penelitian yang telah ada, dan merepresentasikan kinerja pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap *on-grid* berkapasitas 46,6 kWp. Sistem yang ada sudah cukup lama terpasang di lokasi penelitian. Peningkatan pengguna PLTS menyebabkan diperlukannya evaluasi kinerja pembangkit listrik tenaga surya dilokasi yang spesifik. Beberapa parameter kinerja menurut IEC61724 seperti *yield factor* (yf), *reference yield* (yf), *performance ratio* (PR) dan *capacity utilization factor* (CuF) akan digunakan untuk menganalisis hasil energi sistem. Selain itu dalam penelitian ini dilakukan juga simulasi menggunakan Helioscope untuk membandingkan hasil prediksi energi dan energi nyata yang dihasilkan sistem pada tahun 2021. Setelah itu akan dilakukan analisa investasi menggunakan beberapa parameter seperti *payback period* (PP), *net present value* (NPV), dan *levelized cost of electricity* (LCOE) untuk mengetahui nilai investasi dari sistem dan potensi efisiensi sistem.

LANDASAN TEORI

Sebuah penelitian terdapat landasan teori yang harus dikuasai dalam mendukung jalannya penelitian. Landasan teori yang digunakan dalam penelitian kinerja

pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sebagai berikut:

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sistem pembangkit yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi yang dihasilkan oleh matahari menjadi energi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (irradiasi) matahari yang mengenai sel fotovoltaik maka semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan dari panel surya [5]. PLTS memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah sistem *on-grid*.

Panel surya bekerja dengan menambahkan bahan semikonduktor seperti boron atau fosfor ke struktur silikon kristalin akan terbentuk masing-masing kutub bertipe p dan n. Dengan demikian terdapat jumlah elektron dan lubang berlebih didalam bahan yang akan meningkatkan konduktivitasnya. Semikonduktor dengan tambahan tipe p memiliki lebih banyak lubang (positif) sementara tipe n memiliki lebih banyak elektron. Dengan menyatukan bahan bermuatan negatif dan positif timbulah suatu *p-n junction*. Medan listrik ini berfungsi untuk memisahkan elektron dan lubang secara paksa yang memungkinkan untuk penyaluran arus listrik yang dihasilkan sel surya. Setelah didapatn arus DC dari panel surya dilanjutkan ke *inverter* untuk diubah menjadi AC dan dihubungkan ke jaringan PLN [6].

B. Parameter Analisis Kinerja

Berdasarkan IEC61724 yang berbicara tentang *Photovoltaic System Performance Monitoring-Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis*, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisis unjuk kerja suatu sistem PLTS, antara lain : *Yeild Factor* (Yf), *Reference Yeild* (Yr) *Capacity Utilization Factor* (CUF) dan *Performance Ratio* (PR) .

1. Yield Factor

Yeild Factor atau faktor hasil sebuah sistem PLTS merupakan sebuah parameter untuk menentukan nilai kWh/kWp atau biasa disebut *effective sun hours* energi dalam bentuk AC dibagi dengan kapasitas daya puncak *array* PLTS yang terpasang dengan standar uji STC yaitu irradiansi 1000W/m2 dan temperatur 25°C.

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{pv}} (kWh_{AC}/kW_{pDC}) \dots \dots (1)$$

keterangan:

E_{AC} : keluaran energi AC ke jaringan (kWh AC);

P_{pv} : kapasitas daya puncak *array* PLTS (kWp DC).

2. Yield Refrence

Reference Yeild merupakan total penyerapan radiasi matahari pada suatu bidang (HT) dalam satuan kWh/m2 dibagi dengan irradiansi *array* STC yaitu 1000W/m2. Nilai refrensi bisa didapatkan dari NASA.

$$Y_r = \frac{H_T}{G_{STC}} (kWh/kW) \dots \dots (2)$$

keterangan:

HT : irradiansi pada bidang *array*(kWh/m2);

GSTC : irradiansi referensi STC (1kW/m2).

3. Performance Ratio

Tingkat performa sebuah sistem PLTS dalam mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Nilai ini biasanya dinyatakan dalam presentase yang merujuk pada kualitas sebuah sistem PLTS dalam bekerja.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

keterangan:

Yf : *final yield* (kWh/kWp);

YR : *reference yield* (kWh/kW).

4. Capacity utilization Factor

Capacity utilization factor merupakan ratio kinerja sistem PLTS berupa keluaran energi listrik yang dapat dibangkitkan setiap jam dalam periode tertentu. Rasio ini biasanya dinyatakan dalam bentuk presentase.

$$CUF = \frac{Y_f}{24h \times T} \times 100\% \dots \dots (4)$$

keterangan:

Yf : *final yeild* (kWh/kWp) (h);

T : periode waktu sistem (day).

C. Analisis Keekonomian

Sistem PLTS tidak lepas dari analisa keekonomian PLTS dapat dicari menggunakan total hasil energi yang didapatkan sistem. Kemudian dilanjutkan

dengan perhitungan NPV yang apabila bernilai positif maka investasi pembangkit listrik dapat dilanjutkan. *Payback period* juga merepresentasikan berapa lama investasi melalui pembangkit dapat balik modal. Selain 2 parameter diatas terdapat juga nilai *levelized cost of electricity* (LCOE) yang merepresentasikan harga panel surya dibandingkan dengan dengan harga PLN [7].

1. *Payback Period*

Payback period merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan total investasi yang telah dikeluarkan dari keuntungan yang diperoleh dari proyek. *Payback period* pada umumnya memperhatikan faktor *operational expenditure*, *operational expenditure* biasanya termasuk perawatan PLTS dan penggantian komponen PLTS apabila terdapat kerusakan.

Operation expenditure dapat dihitung dengan biaya perawatan biaya replacement. Rumus perhitungan pendapatan dapat dihitung dengan energi yang dihasilkan dikurangi dengan *operation expenditure* [8]. *Payback period* dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$Pp = \frac{\text{initial investment}}{\text{cash inflows}} \dots \dots (6)$$

2. *Net Present Value*

Net present value merupakan nilai dari proyek yang diperoleh berdasarkan selisih antara nilai *cashflow* yang dihasilkan terhadap investasi yang di keluarkan. Jika nilai NPV lebih dari 0 maka dinyatakan feasible, jika sebaliknya maka dinyatakan tidak feasible [8].

$$NPV = \sum \frac{Ci}{(1+r)^i} - Capex \dots \dots (7)$$

Keterangan :

- Ci : alur kas periode ke-n;
- r : *interest rate*;
- i : tahun.

3. *Levelized Cost of Electricity*

LCOE menghitung total harga yang digunakan selama umur dari pembangkit listrik tenaga surya dan dibagi dengan total pendapatan energi yang dihasilkan selama masa hidup dari pembangkit listrik [9].

$$LCOE = \frac{\text{Annual (Cost)}}{\text{Average (Output)}} \dots \dots (8)$$

METODE

A. *Objek Penelitian*

Objek penelitian yang digunakan adalah bangunan yang memiliki PLTS atap bersistem *on-grid* yang sudah berjalan cukup lama. Penelitian dilakukan di daerah perumahan, lokasi pembangkit listrik tenaga surya berada di Serpong, Tangerang. Penelitian dilakukan di koordinat - 6.265570471029175, 106.64980608291368 pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berkapasitas 46,6 kWp.

B. *Tahapan Penelitian*

Tahapan penelitian dimulai dari pengambilan data seperti data teknis dan data hasil energi melalui sistem monitoring, kemudian dilanjutkan dengan simulasi berdasarkan data teknis dan faktor lingkungan yang ada, setelah itu dilanjutkan dengan analisis kinerja dari PLTS. Setelah itu dengan hasil energi yang didapatkan dilanjutkan dengan analisis keekonomian dari sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang terkumpul merupakan data yang diambil melalui sistem *monitoring* dan keterangan mentor yang ada di ATW Solar. Penelitian dilakukan di kawasan residensial didaerah Serpong, Tangerang Selatan pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berkapasitas 46,6 kWp yang telah terpasang di akhir Bulan Agustus tahun 2021.

Kondisi geografis dan kondisi lingkungan sekitar pembangkit listrik tenaga surya sangat berpengaruh terhadap hasil energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya. Data yang didapatkan dari NASA, temperatur pada ketinggian 2m dan kecepatan angin pada ketinggian 10m di lokasi PLTS selama jangka waktu *monitoring* yaitu 24,83°C dan 2,15 m/s.

Atap dilokasi instalasi PLTS terdiri dari 3 zona dengan tingkat kemiringan yang berbeda-beda. Gambar 1 menunjukkan pembagian zona. Zona 1 memiliki kemiringan 23,3° dengan potensi shading tembok yang memiliki tinggi kurang lebih 120cm. Zona 2 memiliki kemiringan 29,9° dengan potensi shading pohon yang hampir menutupi sebelah selatan atap dengan tinggi

sama dengan atap. Zona 3 memiliki kemiringan $6,3^\circ$ tanpa ada gangguan shading. Namun menurut data dan keterangan dari ATW Solar, sistem yang ada belum dibersihkan (*mainatanence*) semenjak sistem berjalan.



Gambar 1 Pembagian zona.

Rumah yang terinstalasi PLTS cenderung menghadap ke Selatan dengan *azimuth* kurang lebih 140° dari arah utara.. Dengan *azimuth* sebesar 140° maka masing-masing zona atap memiliki keuntungan pada bulan tertentu. Atap yang menghadap cenderung ke selatan akan lebih terkena sinar matahari pada Bulan November hingga Februari. Sementara atap bagian utara akan cenderung mendapatkan matahari lebih besar pada rentang waktu Bulan Mei sampai dengan Agustus. Berdasarkan arah datang matahari maka masing-masing bulan akan memiliki potensi *shading* yang menghalangi dari pepohonan yang berada di sekitar lokasi.

Panel surya yang digunakan dilokasi yaitu REC 395 Wp berjenis monokristalin dengan jumlah panel sebanyak 118 buah. *Inverter* yang digunakan berjenis *microinverter* dengan tipe Hoymiles MI-1500 dan Hoymiles MI-700. Jenis kabel yang digunakan untuk kabel DC memiliki ukuran diameter 4mm, dan kabel AC yang digunakan adalah kabel NYY 3x4mm. Gambar 2 menunjukkan *layout* dari panel surya.



Gambar 2 Ilustrasi layout.

A. Hasil Energi

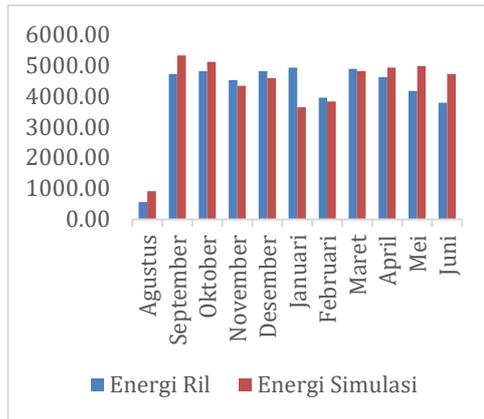
Hasil energi didapatkan menggunakan sistem *monitoring* dari *inverter* Hoymiles yaitu S-miles cloud. Hasil energi didapatkan mulai dari 27 Agustus 2021 sampai dengan 30 Juni 2022. Dengan total energi yang didapatkan dalam jangka waktu 307 hari didapatkan sebesar 45766,04 kWh. Hasil energi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil energi.

Bulan	Hari	Energi (kWh)
Agustus	5	568.65
September	30	4720.67
Oktober	31	4810.08
November	30	4525.29
Desember	31	4809.02
Januari	31	4923.85
Februari	28	3950.32
Maret	31	4881.36
April	30	4619.85
Mei	31	4173.52
Juni	30	3783.43
Total	307	45766.04

B. Hasil Energi Simulasi

Energi yang didapatkan setelah dilakukan simulasi sesuai dengan kondisi riil didapatkan lebih besar 5,59%. Perbandingan disebabkan oleh hasil simulasi Helioscope menggunakan waktu di tahun 2021 sehingga terdapat beberapa perbedaan *yield* referensi. Perbedaan energi ditunjukkan pada Gambar 3. Biru menunjukkan energi riil sedangkan oranye menunjukkan hasil simulasi.



Gambar 3 Grafik perbedaan energi.

C. Analisis Kinerja

Hasil analisis kinerja yang dianalisis menggunakan IEC61724 menghasilkan *final yield*, *refrence yield*, *capacity utilization factor*, dan *performance ratio* rata-rata secara berurutan yaitu 3.19, 4.60, 0.13, dan 70%. Kinerja bulanan PLTS ditunjukkan pada Tabel 2.

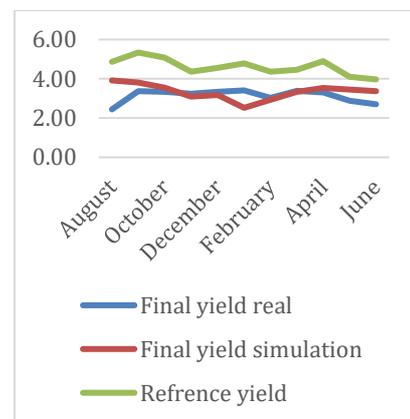
Apabila memperhatikan tabel 2 maka akan terlihat bahwa rata-rata bulanan sinar matahari efektif (Yf) di lokasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terdapat diantara 3 – 4 jam. Namun berbeda dengan nilai referensi yang berbeda hampir 2x lipat. Perbedaan ini disebabkan nilai referensi yang didapatkan dari NASA belum memperhitungkan efisiensi dari sistem dan kondisi lingkungan sekitar sistem. Dalam Tabel 4.7 juga dapat dibuktikan bahwa pergerakan matahari sangat berpengaruh terhadap hasil energi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Dapat dilihat pada Bulan Mei dan Juni, nilai *final yield* terendah dibandingkan dengan Bulan lainnya (kecuali Agustus). Pada bulan ini matahari berada di titik terjauh dari bumi, sehingga nilai sinar matahari efektif juga tidak sebaik ketika berada di zona terdekat dengan bumi.

Tabel 2 Kinerja bulanan PLTS.

Rata-rata Parameter Bulanan				
Bulan	Yf	Yr	PR	CuF
Aug	3,92	4,87	84%	16%
Sep	3,81	5,34	72%	16%
Okt	3,54	5,07	75%	15%
Nov	3,10	4,36	74%	13%
Des	3,17	4,55	74%	13%
Jan	2,52	4,78	54%	11%
Feb	2,93	4,36	72%	12%
Mar	3,33	4,47	81%	14%
Apr	3,53	4,90	79%	15%
Mei	3,45	4,10	90%	14%
Jun	3,37	3,97	86%	14%

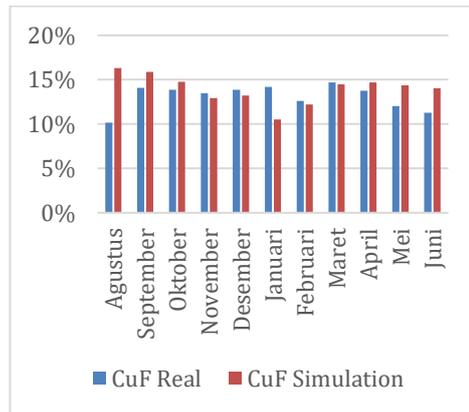
D. Perbandingan Kinerja Nyata dan Simulasi

Hasil kinerja dari kondisi nyata maupun estimasi energi yang ditunjukkan pada Gambar 4. Perbedaan paling besar terjadi di Bulan Agustus dan Januari, perbedaan ini disebabkan oleh sistem pada Bulan Agustus baru saja selesai di instalasi sehingga membutuhkan waktu untuk menyambungkan antara *inverter* dan sistem *monitoring*. Sementara *refrence yield* yang didapatkan langsung dari NASA mengalami perbedaan yang cukup besar dengan rata-rata perbedaan yang terjadi antara *final yield* riil yaitu 1,49.



Gambar 4 Perbandingan yield.

Capacity utilization factor digunakan untuk mengukur seberapa efektif energi yang dihasilkan dalam periode waktu tertentu. Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai CuF memiliki perbedaan paling tinggi di bulan agustus yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Perbedaan yang terjadi antara hasil energi riil dengan simulasi memiliki nilai perbedaan rata-rata 7%.



Gambar 5 Perbandingan CuF.

E. Nilai Keekonomian Sistem

Dengan mengasumsikan perbedaan energi bulanan antara energi riil dan estimasi energi sebesar 5,59% maka dapat diasumsikan energi riil sistem dihitung dengan energi yang didapatkan simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi dari persebaran energi yang telah didapatkan dari Bulan September 2021 hingga Juni 2022. Nilai standar deviasi yang didapatkan adalah 408 kWh. Total energi yang didapatkan yaitu 55177,26 kWh.

BoQ dihitung berdasarkan data teknis yang didapatkan ketika melakukan survei lokasi. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat pembangkit tenaga surya bersistem *on grid* yaitu Rp. 708,808,435 dengan asumsi pajak 11%, *overhead* 10%, *delivery* 10%, dan *net metering* 2% dari total CAPEX.

Berdasarkan nilai modal yang telah didapatkan, maka dapat dianalisis berdasarkan hasil energi tahunan yang didapatkan oleh sistem. Dengan hasil energi 54.697,89 kWh, maka dapat dianalisis nilai *net present value*, *payback period*, dan LCOE. Dalam menganalisis keekonomian sistem diperlukan beberapa asumsi yang digunakan yaitu biaya OPEX (*operation expenditure*) dianggap 1% pertahun,

degradasi panel surya berdasarkan *datasheet* di tahun pertama 2,5% dan di tahun selanjutnya 0,5%. Selain itu diasumsikan tidak ada penggantian komponen selama 20 tahun.

Net present value dihitung berdasarkan *cashflows* tahunan yang dihitung bersamaan dengan nilai suku bunga Bank Indonesia (BI). Suku bunga bank yang didapatkan adalah 3,5% sehingga seluruh alur kas akan dikalikan dengan faktor 3,5%. *Net present value* yang didapatkan dari 20 tahun sistem berjalan adalah Rp 464.716.834. dengan nilai *net present value* yang didapatkan maka dinyatakan bahwa $NPV > 0$ sehingga investasi ini dinyatakan layak untuk dilanjutkan.

Payback period yang didapatkan sistem berdasarkan energi riil didapatkan selama 10,04 Tahun dengan asumsi tidak ada kerusakan alat dan opex sebesar 1% dari capex dan peningkatan opex 1% pertahun. Nilai LCOE yang didapatkan sistem juga berada dibawah tarif PLN yaitu Rp 817/kWh dibandingkan dengan golongan R3 Rp 1.699,53.

F. Potensi Peningkatan Energi Sistem

Berdasarkan dari data dan keterangan yang ada, diketahui bahwa sistem belum dilakukan perawatan pembersihan (*maintenance*) sejak awal sistem berjalan. Simulasi Helioscope dilakukan dengan menghilangkan asumsi faktor lingkungan yang ada sehingga didapatkan sistem yang bekerja dengan efisien.

Potensi peningkatan energi sistem yang dapat dilakukan adalah dengan cara melakukan perawatan pencucian panel surya minimal 6 bulan sekali dan memotong pepohonan yang menutupi panel surya. Dengan itu akan terjadi tambahan NPV sebesar Rp 56.731.937 menjadi Rp 521.731.937, mengurangi LCOE sebesar Rp 33/kWh menjadi Rp 784/kWh, dan mendapatkan *payback period* yang lebih cepat dari sebelumnya 10,04 tahun menjadi 9,51 tahun.

KESIMPULAN

Analisis kinerja pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berkapasitas 46,6 kWp Serpong, Tangerang mendapatkan hasil

secara berurutan *final yield*, *refrence yield*, *capacity utilization factor*, dan *performance ratio* rata-rata secara berurutan yaitu 3.19, 4.60, 0.13, dan 70%. Perbedaan dengan hasil simulasi menggunakan Helioscope rata-rata didapatkan di angka 6% yang kemungkinan disebabkan oleh *shading* akibat bangunan dan pepohonan disekitar lokasi, *soiling* (kotoran) yang menutupi panel surya akibat belum dibersihkan sejak selesai dibangun, dan *losses* lainnya.

Nilai keekonomian yang didapatkan selama 20 tahun nilai NPV, LCOE, dan *payback period* secara berurutan sebesar. NPV sebesar Rp 464.716.834 yang menjelaskan bahwa sistem ini sangat layak untuk di investasikan, nilai LCOE sebesar Rp 817/kWh yang jauh dibawah harga PLN Rp 1.699,53/kWh, dan *payback period* selama 10,04 tahun. Potensi peningkatan energi sistem dapat dengan mengurangi faktor lingkungan seperti *shading* dan *soiling* akan terjadi tambahan NPV sebesar Rp 56.731.937 menjadi Rp 521.448.771, mengurangi LCOE sebesar Rp 33/kWh menjadi Rp 784/kWh, dan mendapatkan *payback period* yang lebih cepat dari sebelumnya 10,04 menjadi 9,51 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Haffaf, F. Lakdja, D. Ould Abdeslam, and R. Meziane, "Monitoring, measured and simulated performance analysis of a 2.4 kWp grid-connected PV system installed on the Mulhouse campus, France," *Energy for Sustainable Development*, vol. 62, pp. 44–55, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.esd.2021.03.006.
- [2] R. Sharma and S. Goel, "Performance analysis of a 11.2 kWp roof top grid-connected PV system in Eastern India," *Energy Reports*, vol. 3, pp. 76–84, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.egy.2017.05.001.
- [3] A. H. Al-Badi, "Measured performance evaluation of a 1.4 kW grid connected desert type PV in Oman," *Energy for Sustainable Development*, vol. 47, pp. 107–113, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.esd.2018.09.007.
- [4] M. el Hacen Jed, R. Ihaddadene, N. Ihaddadene, C. Elb. Elhadji Sidi, and M. el Bah, "Performance analysis of 954,809 kWp PV array of Sheikh Zayed solar power plant (Nouakchott, Mauritania)," *Renewable Energy Focus*, vol. 32, pp. 45–54, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.ref.2019.11.002.
- [5] A. Rachmi, B. Prakoso, H. Berchmans, I. Agustina, I. D. Sara, and Winne, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia : Indonesia Clean Energy Development*, vol. 1. Jakarta: USAID, 2020.
- [6] D. Haning and I. Askolani, "Buku Pegangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya," Jakarta, 2020.
- [7] P. W. Gautama, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sistem Off Grid Dengan Kapasitas 2 Kwp Pada Instalasi Menara Suar Bulukumba," Jakarta, 2021. Accessed: Jun. 13, 2022. [Online]. Available: <http://156.67.221.169/3153/1/SKRIPSI%20201611116%20PANJI%20WIJAS A%20GAUTAMA.pdf>
- [8] O. Rewu, "Proyek PLTA : Risalah Studi Kelayakan Investasi," 1st ed., vol. 1, Yogyakarta: Teknosian, 2016, pp. 123–126.
- [9] M. Pujantoro, "Levelized Cost of Electricity in Indonesia : Understanding the levelized cost of electricity generation," Jakarta, 2019. [Online]. Available: www.iesr.or.id