

Kajian Lingkungan dari Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di *Energy Park* Universitas Proklamasi 45

⁽¹⁾Daniel Kurniawan, ⁽²⁾Andri Prasetyo Nugroho, ⁽³⁾M. Noviansyah Aridito, ⁽⁴⁾*Trisno Fallo

^(1,2,3,4)Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Proklamasi 45

Jl. Proklamasi No.1, Babarsari, Yogyakarta, Indonesia

*Email: trisnofallo@up45.ac.id

Diterima: 06.01.2023, Disetujui: 22.06.2023, Diterbitkan: 27.06.2023

ABSTRACT

Indonesia is a country that is located right on the equator. This is certainly very supportive of one of the accelerations of Solar Power Plants. Proklamasi 45 University as a university in Yogyakarta that focuses on renewable energy plans to build an energy-themed location within the campus environment which is then named "Energy Park" with grid-connected Solar Power Plants as a source of electrical energy. The purpose of this research is to calculate the potential for electrical energy, its contribution to reducing CO₂ emissions, and the feasibility of the Energy Park project from an economic point of view. The method used in this research is the comparison of data in the field and the system simulation method with PVsyst software as well as cash-flow analysis calculations. According to the results of the system simulation, the potential for electrical energy generated by rooftop grid-connected PV mini-grid each year is calculated at 8,310 kWh or 8.31 MWh, with details per kWp of 1528 kWh/kWp/year. Then for the contribution of reducing CO₂ emissions from the implementation of Energy Park's Solar Power Plants with electricity production of 8.31 MWh/year for 30 years is 148,2 tCO₂. Through cash-flow analyst calculations, it is known that the Energy Park's Solar Power Plants project is not economically feasible when referring to the current selling price of electrical energy and the performance of existing Energy Park's Solar Power Plants.

Keyword: Solar Power Plant, Energy Park, PVsyst, Potential Energy, grid-connected

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak tepat di garis khatulistiwa. Hal tersebut tentu sangat mendukung salah satu percepatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Universitas Proklamasi 45 adalah perguruan tinggi di Yogyakarta dan berfokus kepada EBT berencana membangun sebuah lokasi di lingkungan kampus bertemakan energi yang diberi nama "Energy Park" dengan PLTS *rooftop grid-connected* sebagai sumber energi listriknya. Tujuan dalam penelitian adalah menghitung potensi energi listrik, kontribusi didalam penurunan emisi CO₂, serta kelayakan proyek *Energy Park* ditinjau dari sudut pandang ekonomi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perbandingan data di lapangan dan menggunakan metode simulasi sistem *software* PVsyst serta perhitungan analisis *cash-flow*. Hasil data simulasi sistem menjelaskan bahwa potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS *rooftop grid-connected* setiap tahunnya, terhitung sebesar 8.310 kWh atau 8,31 MWh, dengan rincian per kWp-nya adalah 1528 kWh/kWp/tahun. Selain itu, kontribusi dalam menurunkan emisi CO₂ pada implementasi PLTS *Energy Park* dimana produksi energi listrik sebesar 8,31 MWh/tahun selama 30 tahun adalah 148,2 tCO₂. Melalui perhitungan *cash-flow analyst* diketahui bahwa proyek PLTS *Energy Park* ini tidak layak secara ekonomi jika mengacu pada harga jual energi listrik saat ini dan performa PLTS yang ada.

Kata Kunci: PLTS, Energy Park, PVsyst, Potensi Energi, grid-connected

I. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara yang terletak tepat di garis khatulistiwa. Hal ini membuat sinar matahari selalu berlimpah setiap tahunnya di negara kita. Menurut Kementerian ESDM, Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m² (Kementerian ESDM, 2012), hal tersebut tentu

sangat mendukung salah satu percepatan energi terbarukan di Indonesia, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Akan tetapi, data yang ada menunjukkan bahwa Indonesia masih terlalu bergantung kepada energi fosil.

Indonesia merupakan negara yang masih memiliki ketergantungan yang besar terhadap energi fosil, yaitu minyak bumi, batu bara, dan gas. Porsi penggunaan energi fosil mencapai

80% lebih dalam bauran energi primer nasional. Sedangkan pemanfaatan energi terbarukan baru mencapai sekitar 11% (Ramdan, 2021). Tentunya hal tersebut terbilang miris karena potensi energi terbarukan di Indonesia begitu besar. Hal di atas dipengaruhi oleh beberapa faktor penyebab, salah satunya adalah belum ekonomisnya harga instalasi PLTS. Hal tersebut dikarenakan komponen PLTS seperti *solar cell* masih di pasok dari luar negeri. Selain itu, kurangnya pengetahuan masyarakat juga menjadi kendala utama yang menyebabkan pemanfaatan energi surya belum dapat dioptimalkan. (Rizkiana, 2022).

Teknologi sel surya adalah sebuah teknologi energi baru terbarukan yang memanfaatkan radiasi sinar matahari. Panel surya terbuat dari dua bahan silikon yang bersifat semikonduktor. Bahan pertama yaitu fosfor yang bertipe N (elektron), dan bahan kedua yaitu boron yang bertipe P (*hole*). Kemudian disatukan menjadi P-N *junction*, prinsip kerjanya adalah saat cahaya mengenai panel surya maka elektron pada tipe-N akan berlebihan muatan sehingga elektron akan berpindah ke tipe-P. Banyak elektron yang dihasilkan tergantung pada sinar cahaya matahari yang diterima panel surya (Pratama Pagan, Sara, & Hasan, 2018). Berdasarkan penerapan PLTS, sistem pembangkit listrik tenaga surya dapat dibedakan berdasarkan tempat meletakkan panel surya. *Solar park* adalah sistem PLTS yang panel surya diletakkan di atas permukaan tanah, sedangkan *rooftop photovoltaic system* adalah PLTS dengan panel surya diletakkan di atas atap Gedung (Kristiawan, Kumara, & Giriantari, 2019). Berdasarkan instalasi PLTS dibedakan menjadi sistem yaitu *Off grid* dan *On grid connected*. PLTS *off grid* dikenal juga dengan sistem *stand alone* dengan *On grid* adalah PLTS yang terhubung ke *grid utility* (Shaahid, 2011).

Komponen sistem PLTS *rooftop grid connected* terdiri dari sejumlah panel surya dan tersusun kombinasi seri, paralel, atau seri paralel yang diletakkan di atas atap gedung yang mengubah sinar matahari menjadi listrik arus searah. Arus searah akan diubah oleh *inverter* menjadi arus bolak balik yang akan disambungkan ke jaringan listrik pengguna (Kristiawan, Kumara, & Giriantari, 2019).

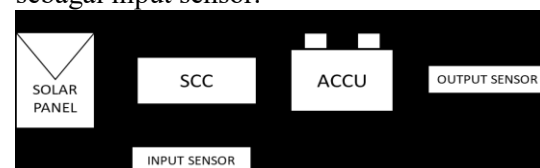
Universitas Proklamasi 45 sebagai perguruan tinggi di Yogyakarta yang berfokus

kepada energi baru terbarukan berencana membangun sebuah lokasi di dalam lingkungan kampus bertepatan energi yang kemudian diberi nama "*Energy Park*". Sesuai dengan namanya, *Energy Park* akan mengandalkan energi terbarukan sebagai suplai energi listriknya. Upaya yang dilakukan adalah memanfaatkan atap salah satu bangunan untuk PLTS yang terinterkoneksi atau disebut juga PLTS *rooftop on-grid* atau *grid-connected*. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS *rooftop*) yang ada dapat dihitung dan dianalisis melalui beberapa macam pendekatan, salah satunya menggunakan bantuan *software*. Adapun *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah PVsyst dengan versi 7.2.6. Tujuan Penelitian ini adalah menganalisis berapa potensi PLTS *rooftop* dari *Energy Park* Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta, melalui analisis tersebut, dapat diperkirakan potensi energi listrik yang dihasilkan, kontribusi penurunan gas karbon dioksida, dan perhitungan ekonomi dengan penggunaan *solar cell*.

II. Bahan dan Metode

A. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set PLTS sederhana berupa modul surya, baterai, dan *log record* untuk pengambilan data primer. Sedangkan untuk data sekunder digunakan *Software* PVsyst. *Software* ini digunakan untuk menganalisa potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari PLTS. Selain itu, dengan *software* ini, perhitungan ekonomi juga dapat dilakukan. Dokumen yang digunakan sebagai bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dokumen rancangan bangunan dari *Energy Park* Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta. Skema pengambilan data di lapangan ditunjukkan pada gambar 1. Panel Surya menyalurkan energi yang dihasilkan ke *Solar Charger Controller* untuk kemudian dialirkan ke dalam aki/*accumulator*. Kemudian kedua sensor sekaligus *data logger* diletakkan di aki sebagai output sensor dan di panel surya sebagai input sensor.

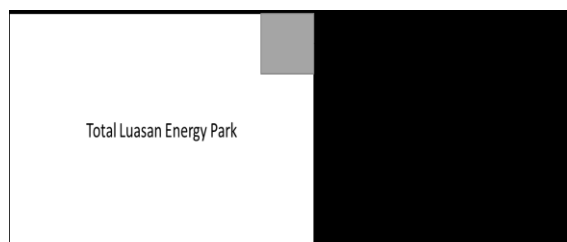


Gambar 1. Skema sederhana pengambilan data primer

B. Metode Penelitian

Tahapan metodologi penelitian dilakukan dengan Tahap identifikasi awal dilakukan dengan study literatur dan survey kondisi atau pengamatan lapangan untuk menentukan batasan masalah. Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah dilakukan pengolahan data berupa analisis potensi energi PLTS yang dilakukan dengan dua data pembandingan yaitu pengambilan data primer dan sekunder, analisis penurunan emisi karbon, dan analisis ekonomi. Tahapan metodologi penelitian dilakukan dengan tahap identifikasi awal, pengolahan data, dan pembahasan serta interpretasi kesimpulan.

Data lapangan atau data primer diperoleh dari pengujian modul surya di lokasi yang akan dibangun *Energy Park* nantinya. Pengujian akan dilakukan dalam jangka waktu 14 hari dan direkam dengan *log record*. Selain itu, dokumen rancangan bangunan *Energy Park* yang telah dibuat oleh pihak kontraktor akan digunakan sebagai perkiraan luasan panel surya yang dapat digunakan. Pengolahan data sekunder dilakukan menggunakan perangkat lunak *PVSyst* berdasarkan batasan masalah yang telah ditetapkan, yaitu analisis potensi energi PLTS, analisis penurunan emisi karbon, dan analisis ekonomi. Data primer dari pengujian lapangan ini akan digunakan sebagai pembandingan data sekunder untuk kemudian dilakukan analisa statistik. Hasil analisis dari pembandingan kedua data tersebut kemudian diinterpretasikan sebagai kesimpulan dari penelitian.



Gambar 2. Gambaran Luasan Area dan Pengambilan Data *Energy Park* dengan koordinat 7°46'26.6"S 110°25'01.5"E

C. Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi Penelitian ini akan dilakukan di Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta, tepatnya di sisi barat Gedung Mohammad Hatta.

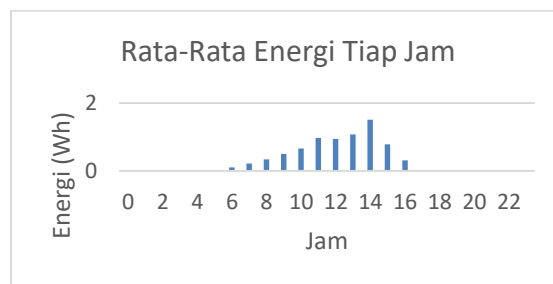
III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pengujian dan Simulasi

Simulasi Lapangan (Data Primer)

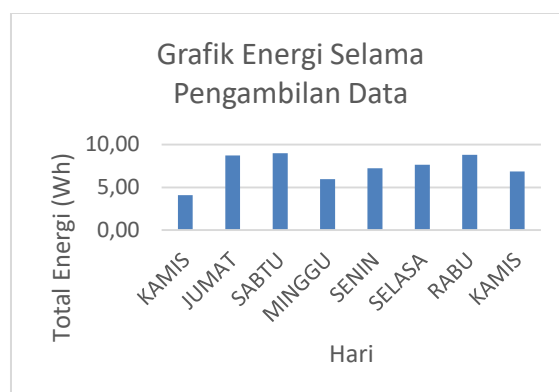
Pengambilan data dilakukan selama 7 hari di lokasi yang akan dibangun *Energy Park* nantinya, tepatnya berada di sebelah barat Gedung Moh. Hatta dengan koordinat 7°46'26.6"S 110°25'01.5"E. Pengambilan data dilakukan Panel Surya *Monocrystalline* 50 Watt dan direkam dengan sensor arus dan sensor tegangan. Pengambilan data hanya dilakukan di satu titik karena keterbatasan panel surya yang ada dan keterbatasan waktu penelitian. Berikut merupakan rangkuman pengambilan data primer:

- Total energi yang dihasilkan (selama 7 hari): 56,8 Wh
- Rata-rata energi yang dihasilkan tiap jam (dalam Wh)



Gambar 3. Grafik rata-rata energi yang dihasilkan tiap jam

- Total energi yang dihasilkan tiap harinya (dalam Watt hour)



Gambar 4. Grafik Total Energi yang Dihasilkan Setiap Harinya Selama 7 hari Pengambilan Data

Catatan: Total energi pada hari kamis sangat rendah karena pengambilan data di hari tersebut baru mulai dilakukan pukul 14.00 WIB.

B. Simulasi 1 PVSyst (Data Sekunder)

Selain simulasi lapangan, dilakukan juga pengambilan data sekunder dengan menggunakan *Software* PVSyst untuk mengetahui potensi optimal dari penggunaan panel surya di lokasi pembangunan *Energy Park* nantinya. Hasil simulasi ini telah melalui beberapa penyesuaian supaya dapat dibandingkan langsung dengan simulasi di lapangan, karena dimensi panel surya dan *output* data (durasi) dari PVSyst berbeda dengan yang di lapangan (data primer). Dari analisis PVSyst, diketahui bahwa dengan kondisi optimal di Bulan Juni, panel surya (dengan spesifikasi yang sama dengan pengambilan data primer) di lokasi pembangunan *Energy Park*, dapat menghasilkan energi sebesar 3237,5 watt hour (3,2 kWh).

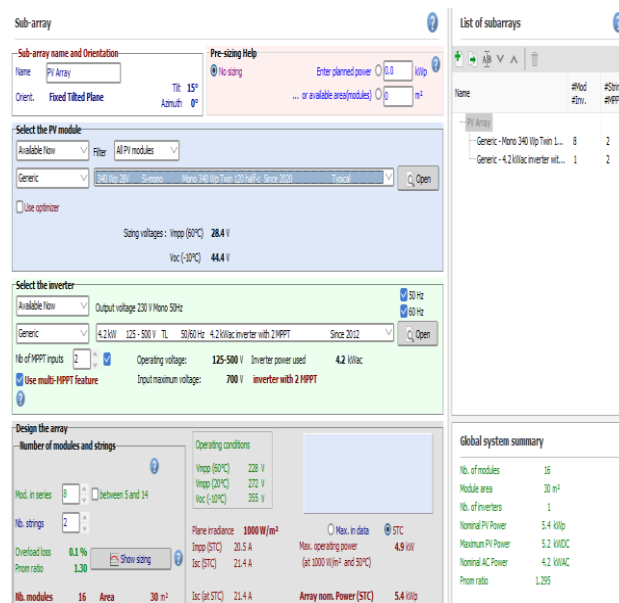
Tabel 1. Hasil Pengambilan Data Sekunder

| Bulan | Potensi Energi | Penyesuaian (Dimensi dan durasi) |
|-------|----------------|----------------------------------|
| Juni | 12,95 kWh | 3,2 kWh |

Catatan: Penyesuaian dilakukan karena dimensi panel surya pada pengambilan data primer 4x lebih kecil. Selain itu, pada PVSyst tidak dapat menampilkan data dalam mingguan, sehingga perlu dibagi 4 (4 minggu dalam 1 bulan).

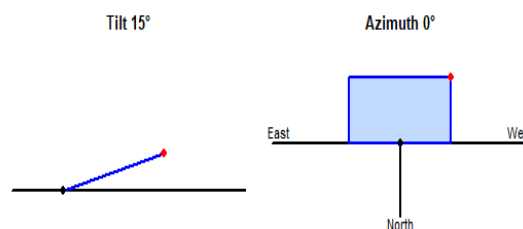
C. Simulasi 2 PVSyst (Data Sekunder)

Simulasi PVSyst yang kedua dilakukan untuk menganalisis potensi yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan PLTS di *Energy Park* nantinya. Langkah dalam parameter system ini dimulai dengan memilih modul surya fotovoltaik dan inverter. Modul yang digunakan dalam penelitian ini adalah modul yang sesuai dengan rekomendasi software yaitu jenis Si-monocrystalline dengan spesifikasi 340 Wp dan 28 V.

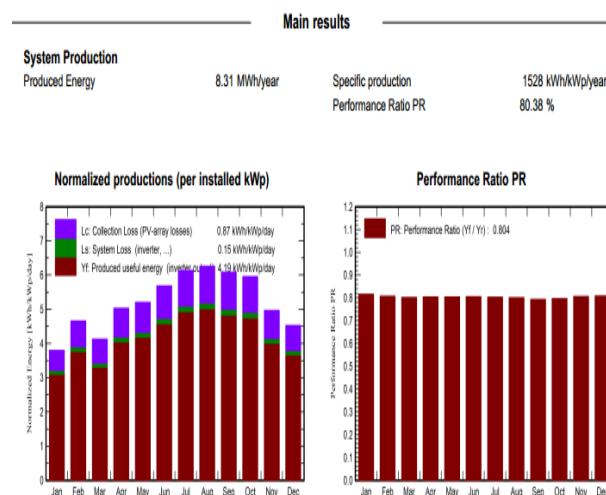


Gambar 5. Parameter Sistem

Berikut merupakan hasil analisis dari *Software* PVSyst dan orientasi panel surya yang perlu dibuat supaya mendapatkan hasil yang optimal:



Gambar 6. Parameter Orientasi



Gambar 7. Hasil yang diperoleh dari Simulasi Potensi Energi Listrik Sistem PLTS rooftop grid-connected Kapasitas 5,44 kWp Energy Park

Tabel 2. Detail Hasil yang diperoleh dari Simulasi Potensi Energi Listrik Sistem PLTSrooftop grid-connected Kapasitas 5,44 kWp Energy Park.

| Balances and main results | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------|-------|
| | GlobHor | DiffHor | T_Amb | GlobInc | GlobEff | EArray | E_Grid | PR |
| | kWh/m ² | kWh/m ² | °C | kWh/m ² | kWh/m ² | MWh | MWh | ratio |
| January | 126.2 | 88.92 | 27.15 | 117.8 | 114.0 | 0.542 | 0.523 | 0.816 |
| February | 137.3 | 77.87 | 27.11 | 130.6 | 127.1 | 0.595 | 0.574 | 0.808 |
| March | 128.7 | 71.76 | 27.48 | 128.0 | 124.9 | 0.579 | 0.558 | 0.802 |
| April | 144.2 | 74.68 | 27.59 | 151.0 | 147.6 | 0.685 | 0.661 | 0.805 |
| May | 147.3 | 70.35 | 28.18 | 161.4 | 158.0 | 0.731 | 0.706 | 0.804 |
| June | 150.4 | 57.62 | 27.45 | 170.7 | 167.4 | 0.774 | 0.748 | 0.806 |
| July | 168.2 | 59.58 | 27.38 | 190.3 | 186.8 | 0.860 | 0.832 | 0.804 |
| August | 179.1 | 68.85 | 27.34 | 194.1 | 190.6 | 0.876 | 0.846 | 0.802 |
| September | 178.5 | 68.69 | 27.47 | 182.6 | 178.9 | 0.816 | 0.789 | 0.794 |
| October | 190.9 | 89.29 | 28.26 | 184.8 | 180.7 | 0.830 | 0.801 | 0.797 |
| November | 160.3 | 89.10 | 27.68 | 149.1 | 144.9 | 0.678 | 0.654 | 0.806 |
| December | 154.0 | 86.22 | 27.44 | 140.5 | 136.2 | 0.641 | 0.619 | 0.809 |
| Year | 1864.9 | 902.93 | 27.55 | 1900.9 | 1857.2 | 8.607 | 8.312 | 0.804 |

Legends
 GlobHor Global horizontal irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T_Amb Ambient Temperature
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 EArray Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

D. Potensi Energi Listrik

Simulasi PVSyst

Seperti yang ditunjukkan pada tabel sebelumnya, besaran potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS rooftop grid-connected adalah 5,44 kWp Energy Park di atas 500 kWh tiap bulannya. Potensi besaran energi listrik terbesar yang dihasilkan adalah pada bulan Agustus yang mencapai 876 kWh. Hal ini karena nilai Global Effective (GlobEff) yang terjadi di Bulan Agustus paling tinggi diantara lainnya. Global Effective (GlobEff) adalah nilai efektif iradiasi setelah dikurangi rugi-rugi, seperti gangguan bayangan, modifikasi sudut, dan lain-lain (PVSyst, 2020). Performance Ratio (PR) atau Rasio Kinerja adalah rasio energi yang dihasilkan secara efektif (PVSyst, 2020).

Tabel 3. Hasil yang diperoleh dari Simulasi Potensi Energi Listrik Sistem PLTS rooftop grid-connected Kapasitas 5,44 kWp di Energy Park

| Balances and main results | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------|-------|
| | GlobHor | DiffHor | T_Amb | GlobInc | GlobEff | EArray | E_Grid | PR |
| | kWh/m ² | kWh/m ² | °C | kWh/m ² | kWh/m ² | MWh | MWh | ratio |
| January | 126.2 | 88.92 | 27.15 | 117.8 | 114.0 | 0.542 | 0.523 | 0.816 |
| February | 137.3 | 77.87 | 27.11 | 130.6 | 127.1 | 0.595 | 0.574 | 0.808 |
| March | 128.7 | 71.76 | 27.48 | 128.0 | 124.9 | 0.579 | 0.558 | 0.802 |
| April | 144.2 | 74.68 | 27.59 | 151.0 | 147.6 | 0.685 | 0.661 | 0.805 |
| May | 147.3 | 70.35 | 28.18 | 161.4 | 158.0 | 0.731 | 0.706 | 0.804 |
| June | 150.4 | 57.62 | 27.45 | 170.7 | 167.4 | 0.774 | 0.748 | 0.806 |
| July | 168.2 | 59.58 | 27.38 | 190.3 | 186.8 | 0.860 | 0.832 | 0.804 |
| August | 179.1 | 68.85 | 27.34 | 194.1 | 190.6 | 0.876 | 0.846 | 0.802 |
| September | 178.5 | 68.69 | 27.47 | 182.6 | 178.9 | 0.816 | 0.789 | 0.794 |
| October | 190.9 | 89.29 | 28.26 | 184.8 | 180.7 | 0.830 | 0.801 | 0.797 |
| November | 160.3 | 89.10 | 27.68 | 149.1 | 144.9 | 0.678 | 0.654 | 0.806 |
| December | 154.0 | 86.22 | 27.44 | 140.5 | 136.2 | 0.641 | 0.619 | 0.809 |
| Year | 1864.9 | 902.93 | 27.55 | 1900.9 | 1857.2 | 8.607 | 8.312 | 0.804 |

Meskipun produksi energi listrik tertinggi yang dihasilkan pada bulan Agustus, tetapi rasio kinerja tertinggi terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 0,816 atau 8,16%. Selain faktor internal sistem, faktor eksternal, seperti

Horizontal Diffuse Irradiation, Ambient Temperature, dan Global Incident, turut mempengaruhi nilai dari Performance Ratio (PR) (Soualmia & Chenni, 2018).

Tabel 4. Nilai Efektif Global dalam satu tahun

| | GlobEff |
|-----------|--------------------|
| | kWh/m ² |
| January | 114.0 |
| February | 127.1 |
| March | 124.9 |
| April | 147.6 |
| May | 158.0 |
| June | 167.4 |
| July | 186.8 |
| August | 190.6 |
| September | 178.9 |
| October | 180.7 |
| November | 144.9 |
| December | 136.2 |
| Year | 1857.2 |

Secara ringkas, besaran potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS rooftop gridconnected di Energy Park yang dianalisis menggunakan software PVSyst Universitas Proklamasi 45 disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5. Results Summary

| Results Summary | |
|---------------------|-------------------|
| Produced Energy | 8,31 MWh/year |
| Specific Production | 1528 kWh/kWp/year |
| Perf. Ratio PR | 80,38% |

Potensi jumlah energi listrik yang dihasilkan setiap tahun adalah sebesar 8,3 MWh. Potensi energi listrik secara spesifik atau rincian per kWp adalah 1528 kWh/kWp/tahun, dan rasio performanya sebesar 80,38 persen.

E. Perbandingan Data Primer dan Sekunder

Selain menggunakan software PVSyst, dalam menganalisis potensi PLTS Energy Park, dilakukan juga dengan pengambilan data langsung di lapangan. Kedua data tersebut kemudian dibandingkan menggunakan metode statistika yaitu Uji Banding. Perbandingan ini dilakukan menggunakan software SPSS, bertujuan untuk mengetahui apakah potensi dari pengukuran data lapangan sama dengan potensi yang terdapat di software PVSyst.

Berikut ini merupakan hasil analisis statistic uji banding menggunakan software SPSS:

Tabel 6. Rata-rata energi yang dihasilkan tiap jam

| Group Statistics | | | | | |
|------------------------|---------------|--------|-----------|----------------|-----------------|
| jenisData | | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| Hasil Pengambilan Data | Data Primer | 195487 | 104.5983 | 171.08109 | .38694 |
| | Data Sekunder | 195487 | 5962.2775 | 6272.44896 | 14.18660 |

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa *Mean* (rata-rata) dari Data Primer lebih rendah dari *Mean* Data Sekunder. Hal ini menunjukkan bahwa nilai atau data dari Data Primer (data yang diambil langsung di lapangan) lebih rendah dari Data Sekunder (Hidayat A. , 2014). Ada banyak hal yang mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan dari PLTS, seperti faktor bayangan (masih banyak pepohonan di sekitar lokasi pengambilan data), letak panel surya yang kurang tinggi, dsb (PVSyst, 2020). Besaran energi listrik dari output simulasi data sekunder 1 PVSyst tersebut dianggap sebagai nilai optimistik dari potensi energi yang dihasilkan PLTS Energy Park ini yaitu sebesar 3,2 kWh/minggu atau sebesar 155,4 kWh/tahun, sementara nilai pesimistik diambil dari simulasi langsung di lapangan sebesar 56,8 Wh/minggu atau sebesar 2,96 kWh/tahun.

Tabel 7. Ringkasan Potensi Energi dari Hasil Analisis

| No. | Luasan Area | Potensi Energi | Keterangan |
|-----|--------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,28 meter persegi | 2,96 kWh/tahun | Data Primer |
| 2 | 1 meter persegi | 155,4 kWh/tahun | Data Sekunder 1 |
| 3 | 30 meter persegi | 8,31 MWh/tahun | Data Sekunder 2 |

F. Kontribusi Penurunan Emisi

Seperti yang telah dibahas pada Metodologi Penelitian, bahwa PLTS memiliki kontribusi terhadap penurunan emisi CO. Pada bagian akhir analisis, PVSyst memiliki fitur *CO2 Emission Balance* yang berfungsi memperkirakan penghematan emisi CO2 atau kontribusi penurunan CO2 yang diharapkan berasal dari energi yang dihasilkan PLTS. Dasar perhitungan ini atau istilah lainnya disebut *Life Cycle Emissions* (LCE), yang mewakili emisi CO2 yang terkait dengan komponen atau jumlah energi tertentu (PVSyst, 2020). Nilai-nilai ini mencakup

siklus hidup total komponen atau jumlah energi, termasuk produksi, operasi, pemeliharaan, pembuangan, dan lain-lain (Nugroho & Kurniawan, 2021).

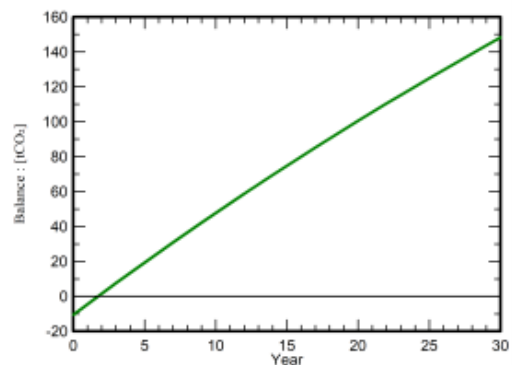
Hasil yang diperoleh dari simulasi PVSyst terkait *CO2 Emission Balance*, *System Lifecycle Emissions Details*, dan *Saved CO2 Emission vs Time* disajikan pada gambar dan table di bawah ini. Walaupun pada saat beroperasi PLTS dapat dikatakan mendekati *zero emission*, tetapi pembuatan panel surya, inverter, dan bagian-bagian lainnya tetap akan menghasilkan emisi, seperti yang tertera pada gambar di bawah ini, yaitu *total generated emission* sebesar 10,59 tCO2.

| | |
|----------------------------------|---|
| Total: | 148.2 tCO₂ |
| Generated emissions | |
| Total: | 10.59 tCO₂ |
| Source: | Detailed calculation from table below: |
| Replaced Emissions | |
| Total: | 183.0 tCO₂ |
| System production: | 8312.07 kWh/yr |
| Grid Lifecycle Emissions: | 734 gCO₂/kWh |
| Source: | IEA List |
| Country: | Indonesia |
| Lifetime: | 30 years |
| Annual degradation: | 1.0 % |

Gambar 8. CO2 Emission Balance

Tabel 8. System Lifecycle Emissions Details

| Item | LCE | Quantity | Subtotal (kgCO2) |
|--------------|----------------|----------|------------------|
| Modules | 1713 kgCO2/kWp | 5,44 kWp | 9317 |
| Supports | 4,9 kgCO2/kWp | 160 kg | 783 |
| Inverters | 485 kgCO2/kWp | 1 | 485 |
| TOTAL | | | 10585 |



Gambar 9. Saved CO2 Emission vs. Time

Hasil nilai *Total Replaced Emissions* adalah 183,0 tCO2, seperti disajikan Gambar 9 di

atas, atau dapat dikatakan nilai ini merupakan nilai emisi CO₂ jika energi listrik sebesar 8,3 MWh/tahun selama 30 tahun dihasilkan dari Pembangkit Listrik

Tenaga Batubara (Setya Budi & Suparman, 2013), bukan dari PLTS (rata-rata 6,1 tCO₂ tiap tahunnya). Perbandingan dengan total *Saved CO₂ Emission* sebesar 148,2 tCO₂ (rata-rata 4,94 tCO₂ tiap tahunnya), adalah emisi CO₂ yang dapat dihemat atau diturunkan karena adanya PLTS dengan produksi energi listrik sebesar 8,3 MWh/tahun selama 30 tahun. Tabel GWP (*Global Warming Potential*) menunjukkan bahwa semua materi disamakan/ekuivalen dengan CO₂, simulasi PLTS yang telah dilakukan mampu mengurangi potensi pemanasan global sebesar 148,2 tCO₂e (ton karbondioksida ekuivalen) selama 30 tahun. GWP merupakan ukuran seberapa banyak energi yang akan diserap oleh emisi 1 ton gas selama periode waktu tertentu (umumnya 100 tahun), relatif terhadap emisi 1 ton karbon dioksida (CO₂) (US-EPA, 2022). Emisi Gas Rumah Kaca yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan migas untuk menghasilkan energi listrik akan menghasilkan emisi global dalam jumlah yang sangat besar. Emisi global tersebut menjadi penyebab utama pemanasan global dan perubahan iklim (*Climate Change*) sehingga dari tahun ke tahun bumi semakin menghangat. (Perserikatan Bangsa-Bangsa, 2022). Konsekuensi dari perubahan iklim sekarang antara lain: kekeringan hebat, kelangkaan air, kebakaran hebat, naiknya permukaan laut, banjir, pencairan es kutub, badai dahsyat dan penurunan keanekaragaman hayati (United Nations, 2021).

G. Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi bertujuan menilai kelayakan ekonomi dari suatu rencana investasi teknis dengan melakukan pendalaman berbagai alternatif yang dianggap paling menguntungkan (Avinda, Karnoto, & Darjat, 2021). Dalam melakukan perhitungan analisis kelayakan ekonomi PLTS *Energy Park* ini, diperlukan beberapa variabel yaitu biaya investasi awal, biaya operasi dan maintenance, harga jual listrik PLTS per kWh, total produksi energi tiap tahun, serta *discount rate* dan *inflation rate*.

Metode analisis kelayakan ekonomi PLTS *Energy Park* ini menggunakan NPV, *Payback Period*, serta *Benefit Cost-Ratio*. Selain itu, digunakan juga analisis sensitifitas guna menunjukkan beberapa variasi analisis kelayakan ekonomi. biaya investasi awal diambil berdasarkan paket PLTS termurah yang ditawarkan di *Marketplace* (dengan spesifikasi yang sama di simulasi PVSyst), yaitu sebesar Rp. 70.780.000,-. Sementara itu, biaya maintenance sebesar 1% dari biaya investasi awal yaitu Rp. 707.800,- (Rafli, Ilham, & Salim, 2021).

Berikut ini merupakan beberapa variasi analisis kelayakan ekonomi menggunakan metode NPV, *Payback Period*, dan *Benefit-Cost Ratio*:

Tabel 9. Analisis kelayakan investasi PLTS dengan harga jual energi PLN Rp 1.440/kWh dan Biaya Operasional Rp. 707.800/tahun

| Analisis Kelayakan | Kriteria Kelayakan | Hasil Analisis Investasi | Kesimpulan |
|--------------------|---|--------------------------|---|
| NPV | Layak (NPV > 0) Tidak Layak (NPV < 0) | - Rp. 347.593 | Investasi dianggap tidak layak karena nilai NPV selama umur proyek lebih kecil dari 0. |
| B-CR | Layak (B-CR > 1) Tidak Layak (B-CR < 1) | 4 | Investasi dianggap layak karena B-CR bernilai > 1. |
| PP | Layak (PP lebih pendek dari umur proyek) Tidak Layak (PP lebih panjang dari umur proyek) | 5 tahun | Investasi dianggap layak karena PP di bawah umur Proyek (30 tahun) |

Tabel 10. Analisis kelayakan investasi PLTS dengan harga jual energi PLN Rp 1.448/kWh dan Biaya Operasional Rp. 707.800/tahun

| Analisis Kelayakan | Kriteria Kelayakan | Hasil Analisis Investasi | Kesimpulan |
|--------------------|---|--------------------------|--|
| NPV | Layak (NPV > 0) Tidak Layak (NPV < 0) | Rp. 888 | Investasi dianggap layak karena nilai NPV selama umur proyek lebih besar-dari 0. |
| B-CR | Layak (B-CR > 1) Tidak Layak (B-CR < 1) | 3,98 | Investasi dianggap layak karena B-CR bernilai > 1. |
| PP | Layak (PP lebih pendek dari umur proyek) Tidak Layak (PP lebih panjang dari umur proyek) | 5 tahun | Investasi dianggap layak karena PP di bawah umur Proyek (30 tahun) |

Tabel 11. Analisis kelayakan investasi PLTS dengan harga jual energi PLN Rp 1.440/kWh, Biaya Operasional Rp. 707.800/tahun, serta peningkatan performa PLTS sebesar 0,42 persen (8.353/kWh/tahun)

| Analisis Kelayakan | Kriteria Kelayakan | Hasil Analisis Investasi | Kesimpulan |
|--------------------|--|--------------------------|--|
| NPV | Layak (NPV > 0) Tidak Layak (NPV < 0) | Rp. 26.551 | Investasi dianggap layak karena nilai NPV selama umur proyek lebih besar-dari 0. |

| | | | |
|------|---|---------|---|
| B-CR | Layak (B-CR > 1) Tidak Layak (B-CR < 1) | 3,98 | Investasi dianggap layak karena B-CR bernilai > 1. |
| PP | Layak (PP lebih pendek dari umur proyek) Tidak Layak (PP lebih panjang dari umur proyek) | 5 tahun | Investasi dianggap layak karena PP di bawah umur Proyek (30 tahun) |

Ketiga varian analisis tersebut dibedakan masing-masing dengan variabel harga jual energi PLN. Dilihat dari ketiga analisis tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa pembangunan PLTS Energy Park tidak layak secara ekonomi jika menggunakan harga jual ekonomi PLN saat ini, yaitu sebesar Rp. 1.440,00. Pembangunan PLTS Energy Park dapat dikatakan layak jika harga jual energi PLN dapat ditingkatkan lagi. Akan tetapi jika meningkatkan harga jual energi PLN akan membebani negara dengan subsidi minimal sebesar Rp. 8/kWh. Selain itu, Pembangunan PLTS Energy Park juga dapat dikatakan layak jika performa PLTS mampu ditingkatkan minimal sebesar 0,42 persen (8.353/kWh/tahun). Dapat diambil kesimpulan bahwa pembangunan PLTS Energy Park ini tidak dapat difokuskan sebagai *profit center*, akan tetapi pembangunan PLTS ini dapat menjadi pendorong kampanye Panel Surya di Indonesia terutama di lingkungan perguruan tinggi.

IV. Kesimpulan

1. Sistem PLTS *rooftop gridconnected* di area *Energy Park*, Universitas Proklamasi 45 setiap tahunnya adalah sebesar 8.310 kWh atau 8,31 MWh, secara spesifik atau rincian per kWp-nya adalah 1528 kWh/kWp/tahun dengan rasio performa sebesar 80,38 persen. *Potensi energi listrik terbesar dihasilkan pada bulan Agustus yang mencapai 876 kWh. Hal ini disebabkan oleh nilai Global Effective (GlobEff) yang terjadi di Bulan Agustus paling tinggi diantara lainnya. Dibandingkan dengan pengambilan data di lapangan (56,8 Wh), hasil simulasi PVSyst menunjukkan produksi energi yang lebih besar (3,2 kWh) karena faktor bayangan dan ketinggian PV Module yang kurang optimal pada saat pengambilan data.* Besaran energi listrik dari output simulasi PVSyst tersebut dianggap sebagai nilai optimistik dari potensi energi yang dihasilkan PLTS *Energy Park* ini yaitu sebesar 3,2 kWh/Minggu, sementara nilai pesimistik diambil dari simulasi langsung di lapangan sebesar 56,8 Wh/Minggu.
2. Berdasarkan hasil simulasi PVSyst, selama 30 tahun beroperasi, PLTS *rooftop* di *Energy Park* Universitas Proklamasi 45 dapat berkontribusi menurunkan emisi CO₂ dengan rincian *Total Replaced Emissions* sebesar 183,0 tCO₂ dan total *Saved CO₂ Emission* sebesar 148,2 tCO₂ jika dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Batubara.
3. Menggunakan analisis NPV, *Benefit-Cost Ratio*, serta *Payback Period*, dapat dikatakan bahwa pembangunan PLTS *Energy Park* tidak layak secara ekonomi jika menggunakan harga jual ekonomi PLN saat ini, yaitu sebesar Rp. 1.440/kWh. Proyek PLTS *Energy Park* ini dapat dikatakan layak secara ekonomi jika harga jual ekonomi PLN dapat menyentuh Rp. 1.448/kWh atau dengan cara meningkatkan performa PLTS minimal sebesar 0,42 persen (8.353/kWh/tahun). Pembangunan PLTS *Energy Park* ini tidak dapat difokuskan sebagai *profit center*, akan tetapi pembangunan PLTS ini dapat menjadi pendorong kampanye Panel Surya

di Indonesia terutama di lingkungan perguruan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M. C. (2022, July 17). *Money*. (M. C. Anwar, Editor), from Kompas.com: <https://money.kompas.com/read/2022/01/25/092706226/daftar-tarif-listrik-2022-beda-harga-listrik-subsidi-dan-non-subsidi?page=all> [Accessed 28 07 2022]
- Avinda, A. I., Karnoto, & Darjat. (2021). Analisis kelayakan ekonomi pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem on grid pada pondok pesantren tanbihul ghofiliin kabupaten banjarnegara. *Transient*, 686-692.
- Chikate, V. B., & Sadawarte, Y. (2015). The Factors Affecting the Performance of Solar Cell. *ICQUEST*.
- Dewan Energi Nasional. (2016). *FAQ DEWAN ENERGI NASIONAL*, from Dewan Energi Nasional Republik Indonesia: <https://den.go.id/index.php/statispage/index/8-faq-dewan-energi-nasional.html#:~:text=Rencana%20Ummum%20Energi%20Nasional%20adalah,mencapai%20sasaran%20Kebijakan%20Energi%20Nasional.> [Accessed 21 05 2022]
- Gunawan, L. A., Agung, A. I., Widyartono, M., & Haryudo, S. I. (2021). RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PORTABLE. *Jurnal Teknik Elektro*, 65-71.
- Hidayat, A. (2014, April). *Independen T Test dengan SPSS*, from Statistikian: <https://www.statistikian.com/2014/04/independen-t-test-dengan-spss.html>. [Accessed 15 06 2022]

- Hidayat, F. (2018). ANALISIS EKONOMI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO. *Transient*, 875-882.
- Hidayat, F., Winardi, B., & Nugroho, A. (2018). ANALISIS EKONOMI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO. *Jurnal Transient*, 875-882.
- ICED. (2018). *Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat*. Jakarta: Direktorat Aneka Energi Baru dan Terbarukan, Ditjen EBTKE, KESDM.
- Kementerian ESDM. (2012, June 19). *Matahari Untuk PLTS di Indonesia*, from Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia#:~:text=Potensi%20energi%20surya%20di%20Indonesia,adalah%20sebesar%200.87%20GW%20atau> [Accessed 12 02 2022]
- Kristiawan, H., Kumara, I., & Giriantari, I. (2019). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah di Kota Denpasar. *SPEKTRUM*, 66-70.
- Mustafa, P. S. (2017). Statistika Inferensial meliputi Uji Beda dalam Pendidikan Jasmani.
- Napitupulu, R. (2017). PENGARUH MATERIAL MONOKRISTAL DAN POLIKRISTAL TERHADAP KARAKTERISTIK SEL SURYA 20 WP DENGAN TRACKINGSISTEM DUA SUMBU. *Laporan Penelitian*.
- Nugroho, A. P., & Kurniawan, D. (2021). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Gedung Mohammad Hatta, Universitas Proklamasi 45. *Jurnal Offshore*, 12-19.
- Perserikatan Bangsa-Bangsa. (2022, Maret 18). *Penyebab Dan Dampak Perubahan Iklim*. from Perserikatan Bangsa - Bangsa Indonesia: <https://indonesia.un.org/id/175273-penyebab-dan-dampak-perubahan-iklim#penyebab> [Accessed 08 08 2022]
- Pratama Pagan, S. E., Sara, I. D., & Hasan, H. (2018). Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal dan Polykristal Studi Kasus Cuaca Banda Aceh. *Jurnal Online Teknik Elektro*, 19-23.
- PT. JASA TIRTA ENERGI. (2022). *Penawaran Harga PLTS On-Grid Rooftop 5 kW*. Yogyakarta: PT. JASA TIRTA ENERGI.
- Putra, T. V. (2015). ANALISA UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 15 KW DI DUSUN ASAH TEBEN DESA DATAH KARANGASEM. *Tugas Akhir*.
- PVSyst. (2020). Tutorial PVsyst 7 Grid-connected.
- Rafli, Ilham, J., & Salim, S. (2021). Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop Pada Gedung Fakultas Teknik UNG. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 8-15.
- Ramadhani, I. (2018). *Instalasi Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. Jakarta: Energising Development.
- Ramdan, D. M. (2021, Agustus 17). *Nasional*. from [kontan.co.id](https://www.kontan.co.id):

- <https://nasional.kontan.co.id/news/indonesia-harus-merdeka-dari-ketergantungan-energi-fosil> [Accessed 17 05 2022]
- Ridho, M. A., Winardi, B., & Nugroho Agung. (2018). ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYST 6.43. *TRANSIENT*, 883-890.
- Rizkiana, A. F. (2022, February 20). *Tekno & Sains*. from kumparan.com: <https://kumparan.com/aldila-fajar-r-r/urgensi-plts-melihat-potensi-dan-inovasi-di-bidang-energi-terbarukan-1xXmbIf01h8/full> [Accessed 17 05 2022]
- Setya Budi, R. F., & Suparman. (2013). PERHITUNGAN FAKTOR EMISI CO₂ PLTU BATUBARA DAN PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*.
- Shaahid, S. (2011). Review of research on autonomous wind farms and a solar parks and their feasibility for commercial loads in hot regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3877-3887.
- Soualmia, A., & Chenni, R. (2018). Performance Analyses of Grid-Connected Photovoltaic Power System. *The Journal of Renewable Energies*, 623-634.
- Tira, H. S., Natsir, A., & Iqbal, M. R. (2018). Pengaruh Sudut Surya Terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Tipe Polycrystalline. *Jurnal Teknik Mesin*, 69-74.
- United Nations. (2021, April). *What is Climate Change?* from United Nations: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change> [Accessed 08 08 2022]
- US-EPA. (2022, May 05). *Understanding Global Warming Potential*. from United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> [Accessed 08 08 2022]