

ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP ON-GRID 11,2 KWP DI RESIDENSIAL BUKIT GADING MEDITERANIA, JAKARTA UTARA

Laili Asdiyan Salsabila Ayu, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Nyoman Setiawan²

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

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

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali 80361

lailiasdiyansalsabilaayu@gmail.com¹, dayu.giriantari@unud.ac.id², setiawan@unud.ac.id³

ABSTRAK

Implementasi PLTS sebagai pemanfaatan EBT di Indonesia masih terus dikembangkan. Kebijakan Pemerintah melalui KEN dan RUEN menargetkan kapasitas PLTS nasional sebesar 6,5 GW tahun 2025 dan 45 GW tahun 2050. Sistem PLTS diimplementasikan dari skala terkecil yaitu residensial, dengan tantangan baru yaitu menjaga agar unjuk kerja sistem PLTS tetap dalam keadaan baik. Objek penelitian ini dilakukan pada sistem PLTS atap *on-grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Unjuk kerja sistem PLTS atap ini dianalisis menggunakan *software PVsyst* untuk mengetahui potensi produksi listrik, kemudian menghitung parameter unjuk kerja sistem PLTS seperti Faktor Hasil (Yf), Referensi Hasil (Yr), Rasio Performa (PR) dan Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CUF) PLTS dalam waktu operasi selama satu tahun mulai bulan Juni 2021 – Mei 2022, yang kemudian dibandingkan dengan hasil produksi listrik dan parameter unjuk kerja sistem PLTS selama beroperasi satu tahun dari Juni 2021 – Mei 2022. Nilai produksi riil sistem PLTS atap *on-Grid* 11,2 kWp selama setahun adalah sebesar 13.809,6 kWh dengan parameter unjuk kerja (Faktor Hasil (Yf), Referensi Hasil (Yr), Rasio Performa (PR) dan Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CUF)) secara berurutan adalah sebesar 1233,0 kWh/kWp, 1699,7 kWh/kW, 72,4% dan 14,1%. Untuk hasil simulasi *PVsyst* potensi energi listrik pertahun dari sistem PLTS atap *on-Grid* 11,2 kWp adalah sebesar 15.649 kWh dengan parameter unjuk kerja (Faktor Hasil (Yf), Referensi Hasil (Yr), Rasio Performa (PR) dan Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CUF)) secara berurutan adalah sebesar 1.397,23 kWh/kWp, 1.691,3 kWh/kW, 82,6% dan 16%. **Kata kunci:** PLTS Atap, On-grid, Unjuk Kerja, Produksi Listrik, *PVsyst*.

ABSTRACT

The implementation of PLTS as the utilization of EBT in Indonesia is still being developed. Government policy through KEN and RUEN targets a national PLTS capacity of 6.5 GW in 2025 and 45 GW in 2050. The PLTS system is implemented from the smallest scale, namely residential, with a new challenge, namely to maintain the performance of the PLTS system in good condition. The object of this research was carried out on an 11.2 kWp on-grid rooftop PV mini-grid system at the Bukit Gading Mediterania Residential. The performance of this rooftop PV system was analyzed using the PVsyst software to determine the potential for electricity production, then calculated the PV system performance parameters such as Yield Factor (Yf), Yield Reference (Yr), Performance Ratio (PR) and Capacity Utilization Factor (CUF) of PLTS within one year of operation starting June 2021 – May 2022, which is then compared with the results of electricity production and the performance parameters of the PLTS system during operation one year from June 2021 – May 2022. The real production value of the 11.2 kWp on-Grid rooftop PV system for a year is 13,809.6 kWh with performance parameters (Yf Factor), Yield Reference (Yr), Performance Ratio (PR) and Capacity Utilization Factor (CUF) respectively are 1233.0 kWh/kWp, 1699.7 kWh/kW, 72.4% and 14.1%. For the PVsyst simulation results, the annual potential of electrical energy from the 11.2 kWp on-grid rooftop PLTS system is 15,649 kWh with performance parameters (Yf), Yield Reference (Yr), Performance Ratio (PR) and Capacity Utilization Factor (Yf). CUF) respectively were 1,397.23 kWh/kWp, 1,691.3 kWh/kW, 82.6% and 16%.

Key Words : Rooftop Solar PV, Grid-Connected, Performance, Electricity production, *PVsyst*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara yang terus berkembang memiliki perkiraan rata-rata pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik sebesar 4,9%. Pemerintah menargetkan perkembangan pembangkit listrik dengan kapasitas daya hingga 40.575 MW, dengan pembangkit listrik energi baru terbarukan (EBT) sebesar 20.923 MW atau setara dengan 51,6% dan pembangkit tenaga listrik energi fosil (non EBT) sebesar 19.652 MW atau setara dengan 48,4% [1].

Penggunaan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia masih rendah. Padahal, Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) hingga 300 gigawatt (GW) [2]. Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pemerintah menargetkan penggunaan EBT sebanyak 23% dalam bauran energi nasional di tahun 2025. Sayangnya, hingga tahun 2019 lalu realisasi EBT di Indonesia baru mencapai 9,2%. Sementara, bauran energi baru terbarukan (EBT) pada tahun 2020 baru mencapai sebesar 11,51% atau baru setengah capaian dari target 23% di tahun 2025. [3] Hingga saat ini, jumlah pembangkit listrik EBT di Indonesia hanya mencapai kisaran 10.400 megawatt (MW). Untuk memenuhi target bauran EBT di tahun 2025 nanti, total kapasitas pembangkit listrik EBT di Indonesia ditargetkan lebih dari 19.000 MW.

Untuk saat ini, pemerintah telah menyusun rancangan Grand Strategi Energi Nasional yang menggabungkan antara lain pengembangan peningkatan kapasitas produksi dan penyerapan Energi Baru Terbarukan (EBT) [4]. Tenaga surya, sebagai salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) memiliki potensi yang tinggi untuk dikembangkan. Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional (DEN), di Indonesia potensi energi matahari mencapai rata-rata 4,8 kWh/m²/hari, setara dengan 112.000 GWp jika dibandingkan dengan potensi luasan lahan di Indonesia atau sepuluh kali lipat dari potensi Jerman dan Eropa [5]. Dalam RUEN juga disebutkan bahwa Indonesia menargetkan kapasitas PLTS nasional sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 45 GW pada tahun 2050. Target nasional kapasitas PLTS tersebut didistribusikan ke 34 wilayah provinsi di Indonesia, dengan pemerataan pemanfaatan energi terbarukan [6]. Dengan besarnya potensi tersebut, sudah selangkahnya pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai Energi Baru

Terbarukan (EBT) menjadi prioritas dibandingkan EBT lainnya.

Selaras dengan hal tersebut, terdapat tantangan baru yaitu menjaga agar unjuk kerja sistem PLTS tetap dalam keadaan baik. Pengembangan PLTS ditengah masyarakat sudah mulai diimplementasikan dari skala terkecil yaitu hunian residensial. Salah satu hunian pada Residensial Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara berkontribusi langsung dalam isu energi bersih pemasangan PLTS atap 11,2 kWp yang terhubung secara *on-Grid* ke sistem kelistrikan rumah.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap unjuk kerja PLTS atap *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil produksi listrik dan beberapa parameter unjuk kerja dari sistem PLTS seperti Faktor Hasil (Y_f), Referensi Hasil (Y_r), Rasio Performa (PR) dan Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CUF) sistem PLTS, dan potensi hasil simulasi PVsyst PLTS atap *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania di Jakarta Utara serta mengetahui faktor penyebab perbedaan nilai kedua performansi tersebut. Data tersebut akan dikelola dan dianalisis sehingga menghasilkan data perkembangan yang nantinya bisa dijadikan acuan untuk menentukan kebijakan pengembangan PLTS selanjutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Energi Surya merupakan sumber energi yang tidak terbatas ketersediaannya, Pemanfaatan energi surya sebagai energi alternatif yang dapat di ubah menjadi energi listrik, dengan menggunakan panel surya. Peran energi surya sebagai sumber energi listrik alternatif, dapat dimanfaatkan oleh masyarakat yang memerlukan energi listrik, dan terbatas dalam ketersediaannya [7].

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS merupakan sistem pembangkit listrik dengan sumber energi radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik akan mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari (iradiasi) yang mengenai sel fotovoltaik, maka semakin daya listrik yang dihasilkan semakin tinggi. [8] Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk

menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*). PLTS pada dasarnya merupakan rancangan pencatu daya untuk mencatu kebutuhan listrik mulai dari skala kecil hingga skala besar, baik secara mandiri ataupun hibrida [9].



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.3 Analisis Performansi PLTS

Beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisis unjuk kerja suatu sistem PLTS mengikuti acuan yang ditetapkan oleh IEC Standard 61724, antara lain: *Yield Factor* (Y_f), *Reference Yield* (Y_r) *Capacity Utilization Factor* (CUF), dan *Performance Ratio* (PR) [10].

1. Yield Factor (Y_f)

Yield factor atau faktor hasil merupakan faktor untuk menentukan nilai kWh/kWp atau biasa disebut *effective sun hours* energi dalam bentuk hasil keluaran energi AC bersih (net) dibagi dengan daya puncak pada PV array dengan kondisi standar pengujian STC yaitu irradiansi 1000W/m² dan *temperature* 25°C yang ditetapkan dalam satuan waktu. Dalam menentukan nilai *yield Factor* digunakan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2.1 [11].

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{pv}} \text{ (kWh}_{AC}/\text{kWp}_{DC}) \quad (2.1)$$

Dengan:

- Y_f = Yield Factor (Kwh/kWp)
- E_{AC} = Produksi Energi Listrik (kWh_{AC})
- P_{pv} = Kapasitas daya PLTS (kWp_{DC})

2. Reference Yield (Y_r)

Reference yield merupakan total penyerapan radiasi matahari pada suatu bidang (H_T) dalam satuan kWh/m² dibagi dengan irradiansi array STC yaitu 1kW/m². Parameter ini juga dikenal dengan *peak sun-hours*. Dalam menentukan nilai *reference yield* digunakan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2.2 [12]

$$Y_r = \frac{H_T}{G_{STC}} \text{ (kWh/kW)} \quad (2.2)$$

Dengan:

- Y_r = Yield Reference (kWh/kW)
- H_T = Irradiansi pada bidang array (kWh/m²)
- G_{STC} = Irradiansi Referensi STC (1kW/m²)

3. Performance Ratio (PR)

Performance Ratio atau rasio unjuk kerja merupakan tingkat performa dan kualitas suatu sistem PLTS, biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase, secara matematis rasio unjuk kerja ini dirumuskan sebagai berikut 2.3 [13].

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

- PR = Performance Ratio (%)
- Y_f = Yield Factor (Kwh/kWp)
- Y_r = Reference Yield (kWh/kW)

4. Capacity Utilization Factor (CUF)

Faktor kapasitas atau *capacity utilization factor* merupakan ratio kinerja sistem PLTS berupa keluaran rasio energi aktual yang diperoleh dalam periode satu tahun, jika beroperasi selama setahun dengan kondisi optimal. Secara matematis *capacity utilization factor* dirumuskan sebagai berikut 2.4 [14].

$$CUF = \frac{Y_f}{24h \times 365} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

- CUF = Capacity Utilization Factor (%)
- Y_f = Yield Factor (Kwh/kWp)

2.4 PVSysts

PVSyst merupakan perangkat lunak (*software*) yang dikembangkan oleh Universitas Genewa dan digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari system PLTS secara lengkap. *PVSyst* terbagi kedalam beberapa system, antara lain : terkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*standalone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi *public* (DC-grid). Fitur *PVSyst* juga dilengkapi data komponen-komponen PLTS dan database dari sumber data *meteorology* yang luas dan beragam [15]

3. METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data pada penelitian analisis unjuk kerja sistem PLTS ini sebagai berikut:

1. Melakukan observasi lapangan secara langsung ke Residensial Hunian Bukit

Gading Mediterania, Jakarta Utara untuk mengamati sistem PLTS.

2. Mengumpulkan data-data penunjang penelitian, sebagai berikut:
 - a. Data konfigurasi sistem PLTS seperti tilt, azimuth, spesifikasi komponen sistem PLTS.
 - b. Kondisi sekitar PLTS *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Hunian Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara.
 - c. Data produksi listrik riil sistem eksisting PLTS 11,2 kWp dari *database ethernet* inverter PLTS Residensial Hunian Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara.
3. Melakukan penghitungan potensi PLTS melalui simulasi menggunakan *software PVSyst*.
4. Melakukan analisis perbandingan unjuk kerja PLTS berdasarkan data hasil produksi pada simulasi PVSyst dengan produksi listrik sistem eksisting PLTS.
5. Melakukan identifikasi faktor yang mempengaruhi perbedaan produksi energi hasil simulasi dengan sistem eksisting.
6. Melakukan penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berlokasi pada Perumahan Bukit Gading Mediterania Jalan Casablanca VII, Kelapa Gading, Jakarta Utara. Dengan sudut latitude dan longitude -6.181657499102713, 106.82342492716133 secara berurutan, dan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi PLTS Atap

4.2 Konfigurasi Sistem PLTS

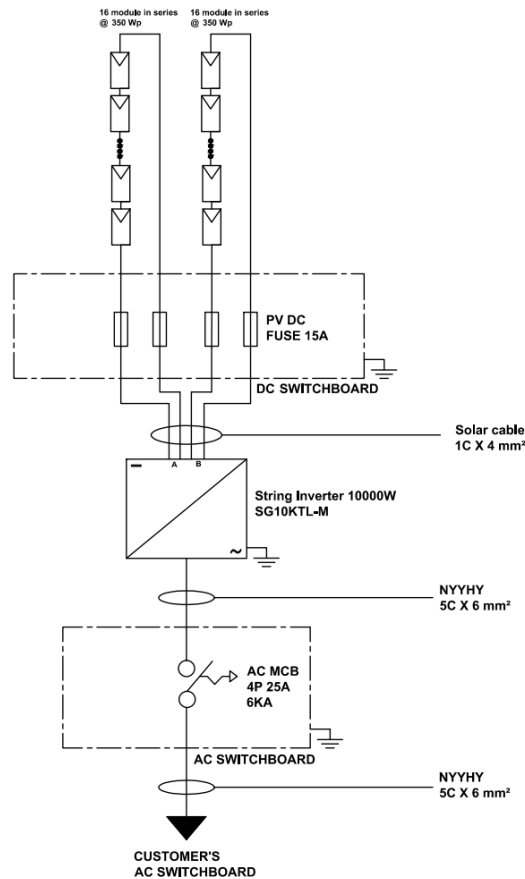
Sistem PLTS *on-Grid* berlokasi pada Residensial Bukit Gading Mediterania berkapasitas 11,2 kWp ini terdiri dari 32 buah modul merk Canadian Solar CS3U-350P berkapasitas 350Wp dengan jenis *polycrystalline* yang dikonfigurasi secara *flush mount* di atap bagian depan residensial dengan sudut tilt angle 90° dan sudut azimuth -120° pada sisi barat dan 120° pada sisi timur. Modul ini dipasang menjadi 2 string yang 1 stringnya terdiri dari 16 modul yang disusun secara seri. Dengan konfigurasi 2 string panel surya terhubung ke 1 buah inverter merk SUNGROW 10KTL-MT dengan maksimal *output power* sebesar 10 kW. Selanjutnya inverter terhubung ke 4 PV DC Fuse, dan 1 unit panel distribusi AC. Dengan DC/AC *ratio* sistem PLTS sebesar 1,12. Inverter diletakkan pada dinding seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Inverter SUNGROW 10KTL-MT

Sebelum dialirkan ke beban listrik residensial, *output* dari inverter terdapat proteksi arus lebih oleh MCB AC dengan taraf maksimal arus 25A yang kapasitasnya sesuai dengan perbandingan daya serta tegangan, dengan tujuan proteksi hubung singkat. Setelah proses tersebut selesai, maka daya listrik didistribusikan menuju beban-beban.

Single line diagram dari PLTS Atap On-grid 11,2 kWp ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Single Line Diagram Sistem PLTS Atap On-Grid 11,2 kWp di Bukit Gading Mediterania

4.3 Produksi Listrik Sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022

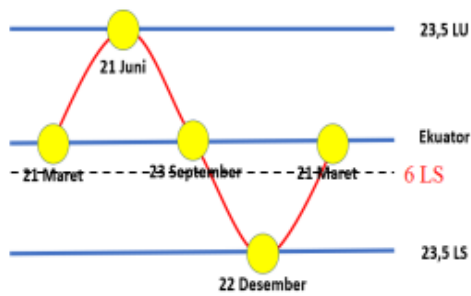
Berdasarkan data produksi listrik yang didapatkan dari *database ethernet inverter* yang diekspor melalui *website iSolarCloud*. Didapatkan nilai produksi listrik sistem PLTS on-grid 11,2 kWp bulan Juni 2021 - Mei 2022 sebesar 13.809,6 kWh, dengan rincian yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Produksi Listrik PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022

Bulan	Energi (kWh)
Juni 2021	996,8
Juli 2021	1254,4
Agustus 2021	1243,2
September 2021	1355,2
Oktober 2021	1332,8
November 2021	985,6
Desember 2021	1008
Januari 2022	1086,4
Februari 2022	1008
Maret 2022	1164,8

April 2022	1254,4
Mei 2022	1120
Total	13809,6
Rata-rata	1150,8

Selama satu tahun dari bulan Juni 2021 – Mei 2022, PLTS *on-grid* 11,2 kWp ini memproduksi listrik sebesar 13.809,6 kWh dengan rata-rata produksi listrik perbulannya sebesar 1.150,8 kWh dan produksi listrik tertinggi terjadi pada bulan September. Hal berikut disebabkan oleh pengaruh sudut deklinasi matahari dimana pada bulan Maret dan September posisi matahari berada tegak lurus terhadap posisi PLTS yang memiliki titik koordinat 6°10'53.73"LS, sehingga mendapatkan radiasi maksimal. Sedangkan produksi listrik paling rendah terjadi pada bulan juni. Hal ini dikarenakan sudut deklinasi matahari yang berada di 23,5° lintang utara sehingga menyebabkan tidak maksimalnya radiasi yang terpancar ke permukaan PLTS. Pengaruh sudut deklinasi ini dapat dilihat pada gambar 5 [16].



Gambar 5. Deklanasi Matahari

4.4 Analisis Performa Riil Sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara Juni 2021- Mei 2022

Berdasarkan hasil data produksi sistem PLTS bulan Juni 2021- Mei 2022, dilakukan analisis performa riil sistem PLTS, Adapun parameter analisis antara lain *yield factor* (Yf), *reference yield* (Yr), *performance ratio* (PR) dan *capacity utilisation factor* (CUF).

1. *Yield Factor* (Yf)

Berdasarkan hasil perhitungan *yield factor* menggunakan persamaan 2.1, Didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. *Yield Factor* PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022

Bulan	Yf (kWh/kWp)
Juni 2021	89,0
Juli 2021	112,0
Agustus 2021	111,0
September 2021	121,0
Oktober 2021	119,0
November 2021	88,0
Desember 2021	90,0
Januari 2022	97,0
Februari 2022	90,0
Maret 2022	104,0
April 2022	112,0
Mei 2022	100,0
Total	1233,0
Rata-rata	102,8

Berdasarkan tabel 2 nilai total *yield factor* bulan Juni 2021 – Mei 2022 adalah 1233 kWh/kWp atau 1233 h/year dengan rata-rata *yield factor* adalah 102,8 kWh/kWp atau 102,8 h/month dengan nilai *yield factor* terbesar terjadi pada bulan september sebesar 121 kWh/kWp atau 121 h/month dan *yield factor* terkecil terjadi pada bulan juni sebesar 89 kWh/kWp atau 89 h/month.

2. *Reference Yield* (Yr)

Berdasarkan data iradiansi tahunan yang didapatkan dari website NASA-SSE dan perhitungan menggunakan persamaan 2.2, maka didapatkan hasil *reference yield* yang dapat dilihat pada tabel 3. [17]

Tabel 3. *Reference Yield* PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022

Bulan	Yr (kWh/kW)
Juni 2021	121,2
Juli 2021	150,4
Agustus 2021	152,9
September 2021	160,1
Oktober 2021	157,3
November 2021	130,8
Desember 2021	141,1
Januari 2022	148,3
Februari 2022	122,0
Maret 2022	138,4
April 2022	148,8
Mei 2022	128,4
Total	1699,7
Rata-rata	141,6

Dapat dilihat pada tabel 3 total *reference yield* Juni 2021- Mei 2022 adalah 1.699,7 kWh/kWp atau 1.699,7 h/year dengan rata-rata *reference yield* adalah 141,6 kWh/kWp atau 141,6 h/month, dengan nilai *reference yeild* terbesar terjadi pada bulan September sebesar 160,1 kWh/kW atau 160,1 h/month dan *yield factor* terkecil terjadi pada bulan januari sebesar 121,2 kWh/kW atau 121,2 h/month.

3. *Performance Ratio* (PR)

Berdasarkan perhitungan *performance ratio* menggunakan persamaan 2.3, Didapatkan hasil pada tabel 4.

Tabel 4. *Performance Ratio* PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022

Bulan	PR (%)
Juni 2021	73,42
Juli 2021	74,45
Agustus 2021	72,59
September 2021	75,57
Oktober 2021	75,65
November 2021	67,3
Desember 2021	63,78
Januari 2022	65,42
Februari 2022	73,77
Maret 2022	75,12
April 2022	74,37
Mei 2022	77,27

Total	868,7
Rata-rata	72,4

Dapat dilihat pada tabel 4 nilai rata-rata *performance ratio* sistem PLTS bulan Juni 2021- Mei 2022 adalah 72,4% dengan rasio performa tertinggi terjadi di bulan Mei dengan nilai 77,27% dan terendah terjadi di bulan Desember dengan rasio performa sebesar 63,78%.

4. Capacity Utilization Factor (CUF)

Berdasarkan perhitungan *capacity utilization factor* menggunakan persamaan 2.4, didapatkan hasil pada tabel 5.

Tabel 5. Capacity Utilization Factor PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022

Bulan	CUF (%)
Juni 2021	12,36
Juli 2021	15,05
Agustus 2021	14,92
September 2021	16,80
Oktober 2021	15,99
November 2021	12,22
Desember 2021	12,09
Januari 2022	13,03
Februari 2022	13,39
Maret 2022	13,97
April 2022	15,55
Mei 2022	13,44
Total	168,8
Rata-rata	14,1

Pada gambar 5, dapat dilihat nilai CUF sistem PLTS bulan Juni 2021- Mei 2022 berkisar antara 12% hingga 16% dimana nilai CUF tertinggi terjadi pada bulan September sebesar 16,80% dan terendah pada bulan Juni sebesar 12,36% dengan rata-rata nilai CUF sebesar 14,1%.

4.5 Potensi Produksi Listrik Sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022 Menggunakan Simulasi PVSyst

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software PVSyst* tanpa memperhatikan faktor shading didapatkan potensi produksi listrik sistem PLTS on-grid 11,2 kWp residensial bulan Juni 2021 - Mei 2022 sebesar 14.516 kWh pertahun dengan rincian yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Potensi Produksi Listrik On-Grid 11,2 kWp Residensial Menggunakan *Software PVSyst*

Bulan	Radiasi Matahari Horizontal-Bulanan (kWh/m ² /month)	Listrik Ke Jaringan (MWh)
Juni 2021	112,6	1049
Juli 2021	121,9	1132
Agustus 2021	134,4	1245
September 2021	142,7	1322
Oktober 2021	158,4	1459
November 2021	135,6	1256
Desember 2021	131,4	1212
Januari 2022	120,5	1118
Februari 2022	131,7	1225
Maret 2022	131,7	1218
April 2022	126,5	1175
Mei 2022	119,1	1105
Total	1566,5	14516

4.6 Analisis Performa Sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022 Hasil Simulasi PVSyst

Berdasarkan data produksi listrik sistem PLTS hasil simulasi menggunakan *software PVSyst*, dilakukan analisis performa sistem PLTS, Adapun parameter analisis antara lain *yield factor* (Yf), *reference yield* (Yr), *performance ratio* (PR) dan *capacity utilization factor* (CUF).

1. Yield Factor (Yf)

Berdasarkan hasil perhitungan *yield factor* menggunakan persamaan 2.1, Didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Yield Factor PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022 Hasil Simulasi PVSyst

Bulan	Yf (kWh/kWp)
Juni 2021	93,66
Juli 2021	101,07
Agustus 2021	111,16
September 2021	118,04
Oktober 2021	130,27
November 2021	112,14
Desember 2021	108,21
Januari 2022	99,82
Februari 2022	109,38
Maret 2022	108,75

April 2022	104,91
Mei 2022	98,66
Total	1296,07
Rata-rata	108,01

Berdasarkan tabel 7 nilai total *yield factor* hasil simulasi PVSyst adalah 296,07 kWh/kWp atau 1.296,07 h/year dengan rata-rata *yield factor* adalah 108,01 kWh/kWp atau 108,01 h/month dengan nilai *yield factor* terbesar terjadi pada bulan Oktober 2021 sebesar 130,27 kWh/kWp atau 130,27 h/month dan *yield factor* terkecil terjadi pada bulan Juni 2021 sebesar 93,66 kWh/kWp atau 93,66 h/month.

2. *Reference Yield (Yr)*

Merujuk pada data iradiansi simulasi PVSyst yang berasal dari Meteororm 7.2 dan perhitungan menggunakan persamaan 2.2, maka didapatkan hasil *reference yield* yang dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. *Reference Yield* PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022 Hasil Simulasi PVSyst

Bulan	Yr (kWh/kW)
Juni 2021	112,6
Juli 2021	121,9
Agustus 2021	134,4
September 2021	142,7
Oktober 2021	158,4
November 2021	135,6
Desember 2021	131,4
Januari 2022	120,5
Februari 2022	131,7
Maret 2022	131,7
April 2022	126,5
Mei 2022	119,1
Total	1566,5
Rata-rata	130,5

Dapat dilihat pada tabel 8 total *reference yield* hasil simulasi PVSyst adalah 1.566,5 kWh/kWp atau 1.566,5 h/year dengan rata-rata *reference factor* adalah 130,5 kWh/kWp atau 130,5 h/month dengan nilai *reference yeild* terbesar terjadi pada bulan Oktober 2021 sebesar 158,4 kWh/kW atau 158,4 h/month dan *yield factor* terkecil terjadi pada bulan Juni 2021 sebesar 112,6 kWh/kW atau 112,6 h/month.

3. *Performance Ratio (PR)*

Berdasarkan hasil perhitungan *performance ratio* menggunakan persamaan

2.3, Didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. *Performance Ratio* PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022 Hasil Simulasi PVSyst

Bulan	PR (%)
Juni 2021	83,2
Juli 2021	82,9
Agustus 2021	82,7
September 2021	82,7
Oktober 2021	82,2
November 2021	82,7
Desember 2021	82,4
Januari 2022	82,8
Februari 2022	83,0
Maret 2022	82,6
April 2022	82,9
Mei 2022	82,8
Total	993,0
Rata-rata	82,8

Dapat dilihat pada tabel 9 nilai rata-rata *performance ratio* sistem PLTS on-grid 11,2 kWp hasil simulasi PVSyst adalah 82,8% dengan rasio performa tertinggi terjadi di bulan Juni 2021 dengan nilai 83,2% dan terendah terjadi di bulan Oktober 2021 dengan rasio performa sebesar 82,2%. diketahui nilai rasio performa dapat dikatakan baik jika nilai rasio performa sistem PLTS adalah >80%. Dari hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software PVSyst* didapatkan nilai rata-rata rasio performa sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp adalah sebesar 82,8% sehingga rasio performa sistem PLTS dapat dikatakan bagus [18].

4. *Capacity Utilization Factor (CUF)*

Berdasarkan perhitungan *capacity utilization factor* menggunakan persamaan 2.4, didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. *Capacity Utilization Factor* PLTS On-Grid 11,2 kWp Juni 2021- Mei 2022 Hasil Simulasi PVSyst

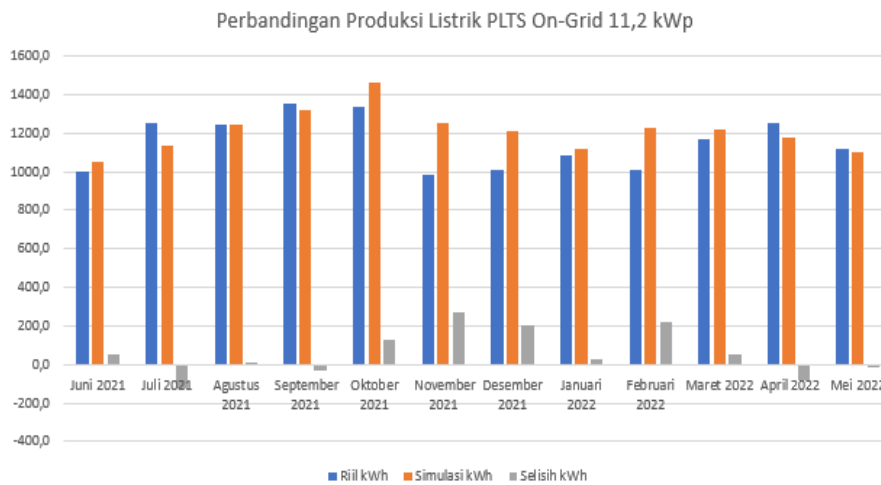
Bulan	CUF (%)
Juni 2021	13,0
Juli 2021	13,6
Agustus 2021	14,9
September 2021	16,4
Oktober 2021	17,5
November 2021	15,6
Desember 2021	14,5
Januari 2022	13,4
Februari 2022	16,3
Maret 2022	14,6

April 2022	14,6
Mei 2022	13,3
Total	177,7
Rata-rata	14,8

Dapat dilihat nilai CUF hasil simulasi PVSyst berkisar antara 13% hingga 17% dimana nilai CUF tertinggi terjadi pada bulan Oktober 2021 sebesar 17,5% dan terendah pada bulan Juni 2021 sebesar 13,0%. Dengan rata-rata nilai CUF sebesar 14,8%.

4.7 Perbandingan Produksi Listrik Sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp Eksisting dan Hasil Simulasi PVSyst

Setelah melakukan pengumpulan data produksi listrik bulan Juni 2021 – Mei 2022 dan dilakukannya simulasi menggunakan software PVSyst, kemudian kedua data produksi listrik ini disandingkan dalam bentuk grafik untuk melihat perbedaan tingkat produksi listrik. Perbandingan data produksi listrik dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Produksi Listrik PLTS On-Grid 11,2 kWp

Dapat dilihat pada grafik diatas gambar 7. terdapat perbandingan nilai produksi listrik riil dengan produksi listrik hasil simulasi PVSyst. Total produksi listrik riil sistem PLTS on-grid 11,2 kWp Juni 2021 – Mei 2022 adalah sebesar 13.809,6 kWh dan total produksi PLTS hasil simulasi PVSyst adalah sebesar 14.516 kWh dengan selisih energi listrik sebesar 706,4 kWh atau sebesar 5%.

4.8 Perbandingan Performa Sistem PLTS On-Grid 11,2 kWp Eksisting dan Hasil Simulasi PVSyst

Berdasarkan nilai produksi listrik riil dan hasil simulasi PVSyst kemudian dilakukan analisis parameter unjuk kerja sistem PLTS seperti *yield factor*, *performance ratio*, dan *capacity utilization factor*. Nilai dari beberapa parameter tersebut nantinya akan disandingkan untuk melihat hasil unjuk kerja dari sistem PLTS On-grid 11,2 kWp ini. Tabel 10 merupakan rincian perbandingan dari parameter unjuk kerja sistem PLTS riil dan hasil simulasi PVSyst.

Tabel 10. Perbandingan Unjuk Kerja Sistem PLTS *On-Grid* 11,2 kWp Residensial

Perbandingan Unjuk Kerja Sistem PLTS <i>On-Grid</i> 11,2 kWp Residensial Bukit Gading Mediterania									
Bulan	Yf			PR			CUF		
	Riil	Simulasi	Selisih	Riil	Simulasi	Selisih	Riil	Simulasi	Selisih
	kWh/kWp	kWh/kWp	kWh/kWp	%	%	%	%	%	%
Juni 2021	89,0	93,7	4,7	73,4%	83,2%	9,8%	12,4%	13,0%	0,6%
Juli 2021	112,0	101,1	-10,9	74,5%	82,9%	8,5%	15,1%	13,6%	-1,5%
Agustus 2021	111,0	111,2	0,2	72,6%	82,7%	10,1%	14,9%	14,9%	0,0%
September 2021	121,0	118,0	-3,0	75,6%	82,7%	7,1%	16,8%	16,4%	-0,4%
Oktober 2021	119,0	130,3	11,3	75,7%	82,2%	6,6%	16,0%	17,5%	1,5%
November 2021	88,0	112,1	24,1	67,3%	82,7%	15,4%	12,2%	15,6%	3,4%
Desember 2021	90,0	108,2	18,2	63,8%	82,4%	18,6%	12,1%	14,5%	2,4%
Januari 2022	97,0	99,8	2,8	65,4%	82,8%	17,4%	13,0%	13,4%	0,4%
Februari 2022	90,0	109,4	19,4	73,8%	83,0%	9,3%	13,4%	16,3%	2,9%
Maret 2022	104,0	108,8	4,8	75,1%	82,6%	7,4%	14,0%	14,6%	0,6%
April 2022	112,0	104,9	-7,1	74,4%	82,9%	8,6%	15,6%	14,6%	-1,0%
Mei 2022	100,0	98,7	-1,3	77,3%	82,8%	5,6%	13,4%	13,3%	-0,2%
Rata-rata	102,8	108,0	5,3	72%	82,8%	10,4%	14,1%	14,8%	0,7%

4.9 Faktor yang Mempengaruhi Penurunan Performance Ratio PLTS *On-Grid* 11,2 kWp Residensial

Berdasarkan hasil analisis produksi listrik dan performa sistem PLTS *on-grid* 11,2 kWp didapatkan faktor *shading* cukup besar yang menyebabkan rendahnya hasil produksi dan performa sistem PLTS *on-Grid* 11,2 kWp eksisting terhadap hasil simulasi *PVSyst*.

Dengan pengamatan secara visual sistem PLTS *on-grid* 11,2 kWp ini mengalami *shading* yang berasal dari bangunan dinding tinggi dan *dome* di sekitar area PLTS, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.



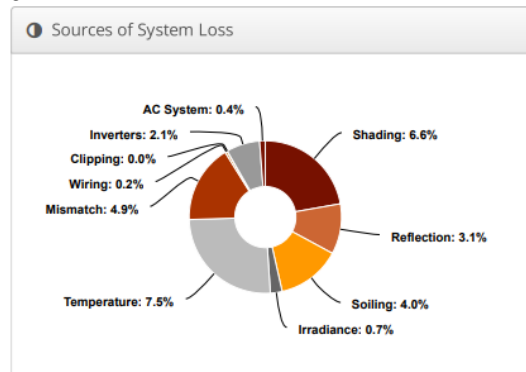
Gambar 7. Objek Penyebab *Shading* Area Sistem PLTS

Maka setelah dilakukan pengamatan secara visual, dirasa perlu melakukan *shading analysis* menggunakan software *Helioscope* yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. *Shading Analysis Helioscope*

Lalu didapatkan presentase *shading* sebesar 6,6% akibat bayangan yang ditimbulkan oleh bangunan disekitar sistem PLTS seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. *Sources of System Loss*

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. PLTS *on-Grid* 11,2 kWp berlokasi pada Residensial Bukit Gading Mediterania, Kelapa Gading, Jakarta Utara dengan kapasitas 11,2 kWp yang aktif beroperasi pada Mei 2021. PLTS ini digunakan untuk bangunan residensial guna membantu dalam penghematan penggunaan energi listrik PLN pada gedung dengan sambungan daya PLN sebesar 10 kVA. Sistem PLTS *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Kelapa Gading, Jakarta Utara ini menggunakan 32 buah panel surya merk Canadian Solar CS3U-350P berkapasitas 350Wp permodul, tersusun menjadi 2 string dimana tiap string terdiri dari 16 panel surya yang tersusun secara seri dengan racking system pemasangan secara *rooftop mounted* pada atap bangunan rumah. Panel surya pada sisi timur terpasang dengan sudut *azimuth* 120° dan *tilt angle* 30° dan pada sisi barat terpasang dengan sudut *azimuth* -120° dan *tilt angle* 30°, dengan konfigurasi 2 string panel surya terhubung ke 1 buah inverter merk SUNGROW 10KTL-MT dengan maksimal *output power* sebesar 10 kW. Selanjutnya inverter terhubung ke 4 PV DC Fuse, dan 1 unit panel distribusi AC. Dengan DC/AC *ratio* sistem PLTS sebesar 1,12.
2. Produksi listrik riil dan hasil parameter unjuk kerja (*yield factor*, *yield reference*, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) PLTS *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Kelapa Gading, Jakarta Utara selama satu tahun (bulan Juni 2021 – Mei 2022) secara berurutan adalah 13.809,6 kWh, 1233,0 kWh/kWp, 1699,7 kWh/kW, 72,4% dan 14,1%.
3. Potensi produksi listrik dan hasil parameter unjuk kerja (*yield factor*, *yield reference*, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) PLTS *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Kelapa Gading, Jakarta Utara hasil simulasi PVsyst secara berurutan adalah 14.516 kWh, 1.296,07 kWh/kWp, 1.566,5 kWh/kW, 82,8% dan 14,8%.
4. Selisih antara nilai produksi listrik dan hasil parameter unjuk kerja (*yield*

factor, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) PLTS *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Kelapa Gading, Jakarta Utara riil dan hasil simulasi PVsyst secara berurutan adalah 706,4 kWh, 63,1 kWh/kWp, 10,4% dan 0,7%.

5. Faktor penyebab perbedaan nilai produksi listrik dan hasil parameter unjuk kerja (*yield factor*, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) PLTS *on-Grid* 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Kelapa Gading, Jakarta Utara riil dan hasil simulasi PVsyst adalah faktor *shading* yang cukup besar pada sistem PLTS yang berasal dari bangunan dinding tinggi dan *dome* di sekitar area PLTS dengan presentasi penurunan performa sebesar 6,6%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN Persero. (2021-2030). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL).
- [2] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konversi Energi (EBTKE). 2022. Energi Baru Terbarukan Berperan Besar Dalam Upaya Penurunan Emisi Di Sektor Energi. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/09/14/3260/energi.baru.terbarukan.berperan.besar.dalam.upaya.penurunan.emisi.di.sektor.energi>.
- [3] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konversi Energi (EBTKE). 2021. Capaian Kinerja 2020 Dan Rencana Kerja 2021 Subsektor EBTKE. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/01/15/2767/capaian.kinerja.2020.dan.rencana.kerja.2021.subsektor.ebtke>
- [4] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konversi Energi (EBTKE). 2021. Forum Kehumasan Dewan Energi Nasional: Menuju Bauran Energi Nasional Tahun 2025. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/04/09/2838/forum.kehumasan.dewan.energi.nasional.menuju.bauran.energi.nasional.tahun.2025> .
- [5] Kementrian Energi Sumber Daya dan Mineral (ESDM). (2015). Dewan Energi Nasional, "Rencana Strategis Dewan Energi Nasional," Jakarta, Indonesia:

- [6] Pemerintah Pusat. 2017. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Ditetapkan Dewan Energi Nasional.
- [7] Purwoto, B. H., Jatmiko, Alimul, M. F., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10.
- [8] Standar Nasional Indonesia (SNI) 8395. (2017). Panduan studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) fotovoltaik
- [9] Sihotang, G. H. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1).
- [10] Formasakti, B., Setiawan, I. N., & Giriantari, I. A. G. (2021). Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Kantor Desa Padangsambian Kaja. *Jurnal Spektrum* 8(4), 20-28.
- [11] Juniarta, I. K., Setiawan, I. N., & Giriantari, I. A. G. (2022). Analisis Sistem Kelistrikan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-grid Kapasitas 25 kWp Di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Provinsi Bali. *Jurnal Spektrum* 9(1), 111-120.
- [12] Apribowo, C. H. B., Nizam, M., Pramono, S., Maghfiroh, H., Hakim, K. (2021). Design and Analysis Performance Solar Power Plant 15 kW By Maximizing Final Yield and Performance Ratio In Small-Medium Office. *Journal of IOP Conf. Series* 1096.
- [13] Mansur, A. (2021). Analisa Kinerja PLTS On-Grid 50 kWp Akibat Efek Bayangan Menggunakan Software PVSyst. *Jurnal Transmisi UNDIP* 23(1), 28-33.
- [14] ABB, 2010. Technical Application Paper No. 10 Photovoltaic Plants.
- [15] Wiranata, I. P. A., Kumara, I. N. S., & Sukerayasa, I. W. (2019). Simulasi Unjuk Kerja PLTS 1 MW Kayubih Jika Menggunakan Sun Tracking System. *Jurnal Spektrum* 6(4), 7-14.
- [16] Bowden, C. H. (2012). *Sudut Deklinasi*. pveducation.org
- [17] NASA. (2022). Power | Data Access. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- [18] Reich, N. H., Mueller, B., Armbruster A. (2012). "Performance ratio revisited: is PR > 90% realistic?" Available: https://www.researchgate.net/publication/256374705_Performance_ratio_revisited_is_PR_90_realistic