

ANALISIS UNJUK KERJA PLTS CARPORT 37,8 KWP DI AREA PERKANTORAN KEMENTERIAN ESDM REPUBLIK INDONESIA JAKARTA PUSAT

Kavlin Raffhel Panjaitan¹, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Nyoman Setiawan²

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

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

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

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

ABSTRAK

Pemanfaatan PLTS di Indonesia sudah meningkat signifikan. Berdasarkan data yang disampaikan oleh Direktur Jendral EBTKE, nilai kapasitas PLTS hingga semester satu tahun 2021 sebesar 217MW. Tantangan baru muncul yaitu menjaga unjuk kerja sistem PLTS tetap dalam keadaan baik. Unjuk kerja sistem PLTS *Carport* ini dianalisis dengan mensimulasikan PLTS menggunakan *software PVSyst* untuk melihat nilai potensi produksi listrik, kemudian menghitung parameter unjuk kerja sistem PLTS seperti Faktor Hasil (Yf), Referensi Hasil (Yr), Rasio Performa (PR) dan Faktor Kapasitas (CUF) yang kemudian dibandingkan dengan hasil produksi listrik dan parameter unjuk kerja sistem PLTS selama beroperasi selama satu tahun. Objek penelitian unjuk kerja sistem PLTS ini yaitu PLTS *Carport* 37,8 kWp milik Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Berdasarkan hasil simulasi *PVSyst* potensi energi listrik pertahun dari sistem PLTS *Carport* sebesar 53.910 kWh dengan parameter unjuk kerja (Yf, Yr, PR, dan CUF) secara berurutan sebesar 1.426,19 kWh/kWp, 1.751,9 kWh/kW, 81,4% dan 16%. Untuk nilai produksi riil sistem PLTS *Carport* selama setahun ditahun 2021 sebesar 21.694,67 kWh dengan parameter unjuk kerja (Yf, Yr, PR, dan CUF) secara berurutan sebesar 573 kWh/kWp, 1.679,9 kWh/kW, 34% dan 6,6%.

Kata kunci : PLTS *Carport*, Produksi Listrik, Unjuk Kerja, *PVSyst*

ABSTRACT

The utilization of PV in Indonesia increased significantly. Based on data submitted by the Director General of EBTKE, the PV capacity value until first semester of 2021 is 217 MW. New challenge has emerged, namely maintaining performance of the PV system in good condition. Performance of the PV Carport system is analyzed by simulating PV using PVSyst software to see the potential value of electricity production, then calculating the performance parameters of the PV system such as Yield Factor (Yf), Yield Reference (Yr), Performance Ratio (PR) and Capacity Factor (CUF). Then compared with the results of electricity production and performance parameters of the PV system during operation for one year. The object of research on performance of the 37.8 kWp Carport PV system belonging to Ministry of Energy and Mineral Resources. Based on the PVSyst simulation results, the potential annual electrical energy from the Carport PV system is 53,910 kWh with performance parameters (Yf, Yr, PR, and CUF) respectively 1,426.19 kWh/kWp, 1,751.9 kWh/kW, 81.4% and 16%. The production value of the Carport PV system for a year in 2021 is 21,694.67 kWh with performance parameters (Yf, Yr, PR, and CUF) respectively of 573 kWh /kWp, 1,679.9 kWh/kW, 34% and 6.6%.

Key Words : *Carport PV, Electricity Production, Performance, PVSyst*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok bagi semua manusia di seluruh dunia. Indonesia yang merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar ke 4 di dunia. Berdasarkan hasil sensus penduduk yang dilakukan oleh badan pusat statistik di tahun 2020 (SP20) total populasi di Indonesia telah lebih dari 270 juta jiwa [1].

Hal ini sejalan dengan peningkatan kebutuhan energi listrik. Berdasarkan *outlook* energi Indonesia 2019 kapasitas pembangkit listrik di tahun 2018 meningkat sebesar 3% dari tahun 2017 dengan total kapasitas 64,5GW yang dimana porsi terbesar berasal dari pembangkit energi fosil batubara sebesar 50% dan porsi terendah berasal dari pembangkit energi terbarukan sebesar 14% [2].

Transisi energi ke arah energi baru terbarukan dapat dilihat pada komposisi energi nasional yang direncanakan oleh Indonesia melalui Peraturan Presiden nomor 22 tahun 2017 tentang RUEN. Pada RUEN komposisi EBT dalam bauran energi nasional paling sedikit 23% di tahun 2025 dan di tahun 2050 paling sedikit sebesar 31%. [3] Dari berbagai jenis EBT, Energi surya merupakan energi dengan potensi paling tinggi. Berdasarkan *outlook* energi Indonesia 2019 potensi energi surya sebesar 207GWp disusul oleh potensi energi air sebesar 94,3GW dan energi angin sebesar 60,6GW. Berdasarkan RUEN Indonesia merencanakan komposisi energi surya sebesar 6,5 GW di tahun 2025 dan 45GW di tahun 2050. [4]. Berdasarkan data yang disampaikan oleh Direktur Jendral EBTKE Dadan Kusdiana, nilai kapasitas PLTS hingga semester 1 tahun 2021 sebesar 217MW [5]. Pada DKI Jakarta sendiri per tahun 2021 telah terinstal PLTS sebesar 11,08MW atau 73% dari target PLTS terinstal dalam RUEN sebesar 13,8 MW pada tahun 2025 salah satunya ialah PLTS *Carport* yang terinstal di area perkantoran Kementerian ESDM. [6]

Tantangan baru muncul dalam meningkatnya pemanfaatan PLTS yaitu menjaga unjuk kerja sistem PLTS tersebut, hal ini dikarenakan sama seperti sistem pada umumnya PLTS juga memiliki *lifetime* dalam beroperasi dan pasti mengalami degradasi setiap tahunnya [7]. Oleh karena itu perawatan sistem PLTS merupakan sebuah hal yang penting untuk diperhatikan [8]. Pada Penelitian ini dilakukan Analisis

terhadap unjuk kerja PLTS *Carport* 37,8kWp yang berada di area perkantoran Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia di Jakarta Pusat. Tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui nilai produksi listrik, tingkat faktor hasil produksi, faktor kapasitas dan rasio performa dari sistem eksisting dan hasil simulasi *PVSyst* PLTS *Carport* di area perkantoran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia di Jakarta Pusat serta faktor penyebab perbedaan nilai kedua performansi sistem tersebut.

2. Kajian Puskata

2.1 Energi Surya dan PLTS

Energi surya adalah energi yang berasal dari matahari berupa pancaran radiasi dan panas matahari, energi ini bisa dipakai untuk memproduksi listrik dengan cara mengonversi cahaya menjadi energi listrik menggunakan sel surya (PLTS) [9].

Dalam pemanfaatan sumber energi surya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya digunakan sebagai media konversi energi dari radiasi matahari menjadi energi listrik. PLTS ini menggunakan prinsip kerja photoelektrik dimana energi foton yang berasal dari radiasi matahari menabrak ikatan antar atom pada semikonduktor sehingga ikatan proton-elektron terlepas. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS dapat menghasilkan listrik [10].



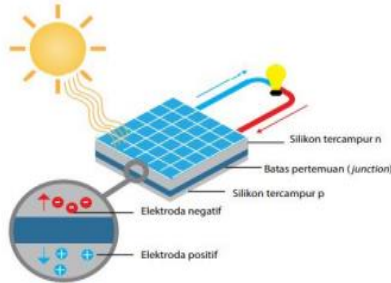
Gambar 1. PLTS

2.2 Komponen PLTS

Sebagai sebuah sistem, PLTS sendiri terdiri dari berbagai piranti dengan fungsinya masing masing. Adapun Komponen utama PLTS antara lain modul surya, Inverter dan Net Metering.

1. Modul Surya

Modul PV merupakan komponen utama dalam sistem PLTS, Pada modul PV inilah terjadinya transformasi energi dari radiasi matahari menjadi energi listrik melalui fenomena *Photovoltaic*.



Gambar 2. Efek *Photovoltaic* pada Modul Surya [11]

2. Inverter

Inverter adalah piranti yang bertugas untuk mengonversi arus dan tegangan listrik searah menjadi bentuk bolak-balik yang taraf tegangan dan frekuensinya dapat diatur sesuai dengan grid utilitas [12].

3. Net Metering

Net Metering adalah sebuah teknologi dimana kelebihan energi listrik yang diproduksi oleh PLTS dapat di ekspor ke jaringan listrik PLN. [13]

2.3 Analisis Performansi PLTS

Merujuk pada IEC 61724 tentang *Photovoltaic System Performance Monitoring-Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis*, Beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisis unjuk kerja suatu sistem PLTS antara lain: *Yeild Factor* (Y_f), *Reference Yeild* (Y_r) *Capacity Utilization Factor* (CUF) dan *Performance Ratio* (PR). [14] [15].

1. *Yield Factor* (Y_f)

Yeild factor 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 temperature 25°C. nilai ini dapat ditentukan berdasarkan periode tahunan, bulanan dan harian. Dalam menentkan nilai faktor hasil digunakan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2.1 [16].

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{pv}} (kWh_{AC}/kWp_{DC}) \quad (2.1)$$

Keterangan:

Y_f = *Yield Factor* (Kwh/kWp)
 E_{AC} = Produksi Energi Listrik (kWh_{AC})

P_{pv} = Kapasitas PLTS (kWp_{DC})

2. *Reference Yield* (Y_r)

Reference yeild merupakan total penyerapan radiasi matahari pada suatu bidang (H_T) dalam satuan kWh/m² dibagi dengan irradiansi *array* STC yaitu 1000W/m². *Reference yeild* juga dikenal dengan *peak sun-hours*. Dalam menentukan nilai *reference yeild* digunakan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2.2 [17].

$$Y_r = \frac{H_T}{G_{STC}} \left(\frac{kWh/m^2}{kW/m^2} \right) \quad (2.2)$$

Keterangan:

Y_r = *Yield Reference* (kWh/kW)
 H_T = Irradiansi Matahari suatu bidang (kWh/m²)
 G_{STC} = Irradiansi *Standard Test Condition* (1000W/m²)

3. *Performance Ratio* (PR)

Performance Ratio adalah 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. Dalam menghitung tingkat rasio performa sistem PLTS digunakan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2.3 [18].

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

Keterangan:

PR = *Performance Ratio* (%)
 Y_f = *Final Yield* (kWh/kWp)
 Y_r = *Reference Yield* (kWh/kW)

4. *Capacity Utilization Factor* (CUF)

Capacity Utilization Factor merupakan rasio kinerja sistem PLTS berupa keluaran energi listrik yang dapat dibangkitkan setiap jam dalam periode satu tahun. Rasio ini biasanya dinyatakan dalam bentuk presentase. Dalam menghitung rasio *capacity utilization factor* sistem PLTS ini menggunakan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2.4. [19]

$$CUF = \frac{Y_f}{24h \times 365} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

CUF = *Capacity Utilization Factor* (%)
 Y_f = *Yield Factor* (kWh/kWp)

2.4 PVSyst

PVSyst merupakan salah satu perangkat lunak berfungsi untuk menyimulasikan rancangan PLTS agar dapat mengetahui potensi PLTS di lokasi rancangan PLTS tersebut. *PVSyst* dirancang dan dikembangkan oleh Andre Mermaid & Co seorang ilmuwan asal swiss.

Dapat dilihat gambar 5 menunjukkan *single line diagram* dari PLTS *Carport* di area perkantoran KESDM. PLTS ini tersusun dalam 1 *array* dengan total 8 *string* dimana tiap *string* tersusun atas rangkaian seri 15 panel surya. PLTS ini terpasang secara *pole mounted* dimana PLTS ini ditopang diatas tiang berbentuk “T” setinggi 4 meter. PLTS ini terpasang menghadap utara dengan sudut azimuth 0° dan *tilt angle* 9° . Setiap *string* panel surya kemudian dihubungkan ke DC *combiner* untuk diproteksi. Kemudian untuk mengubah daya listrik DC yang diproduksi panel surya ke daya listrik AC digunakan 4 buah *string* inverter dengan tipe *grid connected* sistem 3 fasa merek SMA *sunny tripower* 10000TL-20 dengan kapasitas 10kVA dimana tiap inverter memiliki 2 inputan *string PV* dan didapatkan nilai DC/AC ratio sebesar 0,94.

Keluaran daya listrik dari setiap inverter ini kemudian dialirkan ke jaringan instalasi gedung *Heritage* melalui panel distribusi dimana pada panel tersebut terdapat kWh eksim yang berfungsi sebagai pengukur penggunaan energi listrik baik ekspor energi listrik dari PLTS maupun impor energi dari PLN. Gambar 6 menunjukkan *single line diagram* dari PLTS *Carport* di area perkantoran KESDM.

4.3 Produksi Listrik PLTS Carport Gedung Heritage Tahun 2021

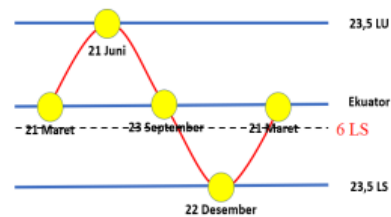
Berdasarkan data produksi listrik yang didapatkan dari *database ethernet inverter* yang diekspor melalui *website Sunny Explorer*. Didapatkan nilai produksi listrik tahun 2021 yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Produksi Listrik PLTS *Carport* Tahun 2021

Bulan	Energi (kWh)
Januari	1.465,80
Februari	1.729,72
Maret	2.313,78
April	2.075,47
Mei	1.476,30
Juni	1.074,41
Juli	1.344,73
Agustus	1.848,59
September	2.544,86
Oktober	2.136,47
November	1.866,75
Desember	1.817,73

Total	21.694,67
Rata-rata	1.807,88

Selama tahun 2021, PLTS *Carport* 37,8 kWp ini memproduksi listrik sebesar 21.694,67 kWh dengan rata-rata produksi listrik perbulannya sebesar 1.807,88 kWh dan produksi listrik tertinggi terjadi pada bulan September.



Gambar 6. Deklinasi Matahari

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 $6^{\circ}10'53.73''$ LS dengan kemiringan modul 9° menghadap utara, sehingga mendapatkan radiasi maksimal. Sedangkan produksi listrik paling rendah terjadi pada bulan juni. Hal ini dikarenakan sudut deklinasi matahari yang berada di $23,5^{\circ}$ lintang utara sehingga radiasi yang terpancar ke permukaan PLTS tidak maksimal.

4.4 Analisis Performa Riil Sistem PLTS Carport 37,8 kWp di Area Perkantoran KESDM Tahun 2021

Berdasarkan hasil data produksi sistem PLTS tahun 2021, 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 *Carport* Tahun 2021

Bulan	Yf (kWh/kWp)
Januari	38,77
Februari	45,75
Maret	61,21
April	54,90
Mei	39,05

Juni	28,42
Juli	35,57
Agustus	48,90
September	67,32
Oktober	56,52
November	49,38
Desember	48,08
Total	573,93
Rata-rata	47,82

Dapat dilihat pada tabel 2 nilai total *yield factor* tahun 2021 adalah 573 kWh/kWp atau 573 h/year dengan rata-rata *yield factor* adalah 47,82 kWh/kWp atau 47,82h/month dengan nilai *yield factor* terbesar terjadi pada bulan september sebesar 67,32 kWh/kWp atau 67,32 h/month dan *yield factor* terkecil terjadi pada bulan juni sebesar 28,42 kWh/kWp atau 28,42 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. [22]

Tabel 3. Reference Yield PLTS PLTS Carport Tahun 2021

Reference Yield PLTS Carport Tahun 2021	
Bulan	Yr (kWh/kW)
Januari	121
Februari	121,74
Maret	152,71
April	151,87
Mei	142,34
Juni	121,21
Juli	148,73
Agustus	151,09
September	151,72
Oktober	152,38
November	125,18
Desember	139,93
Total	1.679,9
Rata-rata	139,99

Dapat dilihat pada tabel 3 total *reference yield* tahun 2021 adalah 1.679,9 kWh/kWp atau 1.679,9 h/year dengan rata-rata *reference yield* adalah 139,99 kWh/kWp atau 139,99h/month dengan nilai *reference yield* terbesar terjadi pada bulan maret sebesar 152,71 kWh/kW atau 152,71 h/month dan *reference yield* terkecil terjadi pada bulan januari sebesar 121 kWh/kW atau 121 h/month.

3. Performance Ratio (PR)

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

Tabel 4. Performance Ratio PLTS PLTS Carport Tahun 2021

Bulan	PR (%)
Januari	32,05
Februari	37,59
Maret	40,08
April	36,15
Mei	27,44
Juni	23,45
Juli	23,92
Agustus	32,37
September	44,37
Oktober	37,09
November	39,45
Desember	34,37
Rata-rata	34,03

Dapat dilihat pada tabel 4 nilai rata-rata *performance ratio* sistem PLTS selama tahun 2021 adalah 34,03% dengan rasio performa tertinggi terjadi di bulan September dengan nilai 44% dan terendah terjadi di bulan juni dengan rasio performa sebesar 23%.

4. Capacity Utilization Factor (CUF)

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

Tabel 5. Capacity Utilization Factor PLTS PLTS Carport Tahun 2021

Bulan	CUF (%)
Januari	5,2
Februari	6,8
Maret	8,2
April	7,6
Mei	5,2
Juni	3,9
Juli	4,8
Agustus	6,6
September	9,4
Oktober	7,6
November	6,9
Desember	6,5
Rata-rata	6,6

Dapat dilihat nilai CUF riil tahun 2021 berkisar antara 3% hingga 9% dimana nilai CUF tertinggi terjadi pada bulan September sebesar 9,4% dan terendah pada bulan Juni sebesar 3,9% dengan rata-rata nilai CUF sebesar 6,6%.

4.5 Potensi Produksi Listrik Sistem PLTS Carport 37,8 kWp di Area Perkantoran KESDM Jakarta Pusat Menggunakan Simulasi PVSyst

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software PVSyst* tanpa memperhatikan faktor *shading* didapatkan potensi produksi energi listrik PLTS Carport di area perkantoran KESDM Jakarta pusat sebesar 53.910 kWh pertahun dengan rincian yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Potensi Produksi Listrik PLTS Carport Menggunakan *Software PVSyst*

	Radiasi Matahari Horizontal-Bulanan (kWh/m²/month)	Listrik Ke Jaringan (kWh)
Januari	102,6	3.121
Februari	108,2	3.335
Maret	140,5	4.330
April	151,5	4.663
Mei	158,1	4.868
Juni	152,5	4.720
Juli	157,5	4.859
Agustus	173,8	5.347
September	162,2	4.980
Oktober	152,8	4.698
November	165,8	5.098
Desember	126,4	3.891
Total	1.751,9	53.910

4.6 Analisis Performa Sistem PLTS Carport 37,8 kWp di Area Perkantoran KESDM Jakarta Pusat 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 Carport Hasil Simulasi *PVSyst*

Bulan	Yf (kWh/kWp)
-------	--------------

Januari	82,57
Februari	88,23
Maret	114,55
April	123,36
Mei	128,78
Juni	124,87
Juli	128,54
Agustus	141,46
September	131,75
Oktober	124,29
November	134,87
Desember	102,94
Total	1.426,19
Rata-rata	118,85

Dapat dilihat pada tabel 7 nilai total *yield factor* hasil simulasi *PVSyst* adalah adalah 1.426,19 kWh/kWp atau 1.426,82 h/year dengan rata-rata *yield factor* adalah 118,85 kWh/kWp atau 118,85h/month dengan nilai *yield factor* terbesar terjadi pada bulan agustus sebesar 141,46 kWh/kWp atau 141,46 h/month dan *yield factor* terkecil terjadi pada bulan januari sebesar 82,57 kWh/kWp atau 82,57 h/month.

2. Reference Yield (Yr)

Berdasarkan data iradiansi simulasi *PVSyst* yang berasal dari *Meteonorm 7.3* [23] dan perhitungan menggunakan persamaan 2.2, maka didapatkan hasil *reference yield* yang dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. *Reference Yield* PLTS Carport Hasil Simulasi *PVSyst*

Bulan	Yr (kWh/kW)
Januari	102,6
Februari	108,2
Maret	140,5
April	151,5
Mei	158,1
Juni	152,5
Juli	157,5
Agustus	173,8
September	162,2
Oktober	152,8
November	165,8
Desember	126,4
Total	1.751,9
Rata-rata	145,9

Dapat dilihat pada tabel 8 total *reference yield* hasil simulasi *PVSyst* adalah 1.751,9 kWh/kWp atau 1.751,9 h/year dengan rata-rata *reference yield* adalah 145,9 kWh/kWp atau 145,9h/month dengan nilai *reference yeild* terbesar terjadi pada bulan agustus sebesar 173,8 kWh/kW atau 173,8 h/month dan *reference yield* terkecil terjadi pada

bulan januari sebesar 102,6 kWh/kW atau 102,6 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 *Carport* Hasil Simulasi *PVSyst*

Bulan	PR (%)
Januari	80,5
Februari	81,5
Maret	81,5
April	81,4
Mei	81,5
Juni	81,9
Juli	81,6
Agustus	81,4
September	81,2
Oktober	81,3
November	81,3
Desember	81,4
Rata-rata	81,4

Dapat dilihat pada tabel 9 nilai rata-rata *performance ratio* sistem PLTS hasil simulasi *PVSyst* adalah 81,4% dengan rasio performa tertinggi terjadi di bulan Juni dengan nilai 81,9% dan terendah terjadi di bulan Januari dengan rasio performa sebesar 80,5%. 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 *Carport* 37,8 kWp adalah sebesar 81,4% sehingga rasio performa sistem PLTS dapat dikatakan bagus. [24]

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 *Carport* Hasil Simulasi *PVSyst*

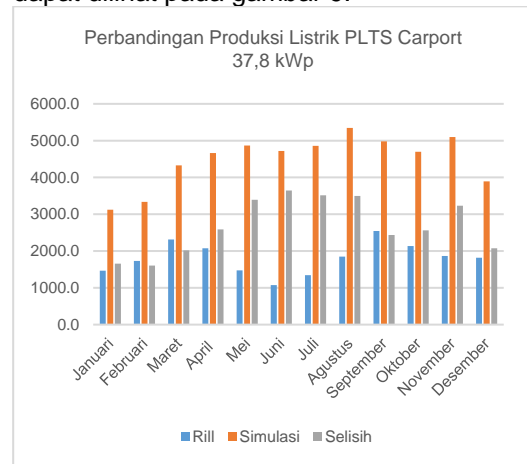
Bulan	CUF (%)
Januari	11,1
Februari	13,1
Maret	15,4
April	17,1
Mei	17,3
Juni	17,3
Juli	17,3
Agustus	19,0
September	18,3
Oktober	16,7
November	18,7
Desember	13,8

Rata-rata	16
-----------	----

Dapat dilihat nilai CUF hasil simulasi *PVSyst* berkisar antara 11% hingga 19% dimana nilai CUF tertinggi terjadi pada bulan September sebesar 19,0% dan terendah pada bulan Januari sebesar 11,1% dengan rata-rata nilai CUF sebesar 16%.

4.7 Perbandingan Produksi Listrik PLTS eksisting dan Hasil Simulasi *PVSyst* Sistem PLTS *Carport* 37,8 kWp

Setelah melakukan pengumpulan data produksi listrik tahun 2021 dan dilakukannya simulasi, Kemudian kedua data produksi listrik ini disandingkan dalam bentuk grafik untuk melihat perbedaan tingkat produksi listrik. Perbandingan data produksi listrik dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 7. Perbandingan Produksi Listrik PLTS *Carport* 37,8 kWp

Pada Grafik diatas dapat dilihat perbandingan nilai produksi listrik riil dengan produksi listrik hasil simulasi *PVSyst*. Total produksi listrik riil sistem PLTS tahun 2021 adalah sebesar 21.694,7 kWh dan total produksi PLTS hasil simulasi adalah sebesar 53.910 kWh dengan selisih energi listrik sebesar 32.215,3 kWh atau sebesar 60%.

4.8 Perbandingan Performa PLTS eksisting dan Hasil Simulasi *PVSyst* Sistem PLTS *Carport* 37,8 kWp

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 *Carport* ini. Gambar 10 merupakan rincian perbandingan dari

parameter unjuk kerja sistem PLTS riil dan hasil simulasi *PVSyst*.

Perbandingan Parameter Unjuk Kerja Sistem PLTS Carport 37,8kWp									
Bulan	Yf			PR			CUF		
	Riil	Simulasi	Selish	Riil	Simulasi	Selish	Riil	Simulasi	Selish
	kWh/kWp	kWh/kWp	kWh/kWp	%	%	%	%	%	%
Januari	38.78	82.57	43.79	32.05%	80.5%	48.4%	5.2%	11.1%	5.9%
Februari	45.76	88.23	42.47	37.59%	81.5%	44.0%	6.8%	13.1%	6.3%
Maret	61.21	114.55	53.34	40.08%	81.5%	41.4%	8.2%	15.4%	7.2%
April	54.91	123.36	68.45	36.15%	81.4%	45.3%	7.6%	17.1%	9.5%
Mei	39.06	128.78	89.73	27.44%	81.5%	54.0%	5.2%	17.3%	12.1%
Juni	28.42	124.87	96.44	23.45%	81.9%	58.4%	3.9%	17.3%	13.4%
Juli	35.58	128.54	92.97	23.92%	81.6%	57.7%	4.8%	17.3%	12.5%
Agustus	48.90	141.46	92.55	32.37%	81.4%	49.0%	6.6%	19.0%	12.4%
September	67.32	131.75	64.42	44.37%	81.2%	36.9%	9.4%	18.3%	8.9%
Oktober	56.52	124.29	67.77	37.09%	81.3%	44.2%	7.6%	16.7%	9.1%
November	49.39	134.87	85.48	39.45%	81.3%	41.9%	6.9%	18.7%	11.9%
Desember	48.09	102.94	54.85	34.37%	81.4%	47.1%	6.5%	13.8%	7.4%
Rata-rata	47.83	118.85	71.02	34.0%	81.4%	47.4%	6.6%	16.3%	9.7%

Gambar 8. Perbandingan Parameter Unjuk Kerja Sistem PLTS Carport 37,8 kWp

4.9 Faktor yang Mempengaruhi Penurunan Performance Ratio PLTS Carport

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada sistem PLTS ini didapatkan penyebab terbesar dari menurunnya produksi listrik yaitu faktor *shading* yang sangat besar pada PLTS *carport*.



Gambar 9. Objek Sekitar Sistem PLTS yang Menyebabkan *Shading*

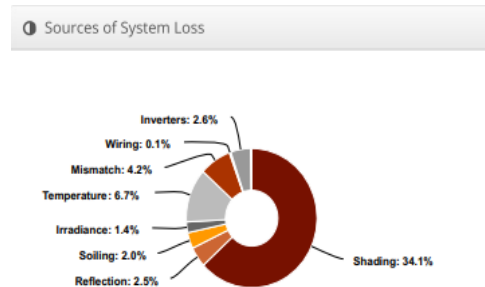
Dapat dilihat pada Gambar 9 jika diamati secara visual sistem PLTS ini

mengalami *shading* yang berasal dari bangunan dan pepohonan di sekitar PLTS.

Setelah dilakukan pengamatan secara visual, kemudian *shading analysis* dilakukan menggunakan *software Helioscope*.



Gambar 10. *Shading Analysis*



Gambar 11. *Losses Report*

Setelah dilakukan *shading analysis* didapatkan presentase dampak *shading* pada sistem PLTS *carport* adalah sebesar 34,1%.

5. KESIMPULAN

PLTS *Carport* 37,8 kWp di area perkantoran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Jakarta Pusat merupakan salah satu jenis PLTS *ongrid* aplikatif dimana PLTS ini selain digunakan sebagai pembangkit listrik, PLTS ini juga difungsikan sebagai *Carport*. Sistem PLTS ini menggunakan 120 buah panel surya merek Jinko Solar JKM 315PP-72 dengan kapasitas 315 Wp tersusun menjadi 8 string dimana tiap string tersusun dari 15 panel surya yang tersusun seri dimana panel surya ini dipasang secara *pole mounted* pada tiang penyangga berbentuk "T" setinggi 4 meter dan dipasang dengan sudut *azimuth* 0° dan *tilt angle* 9°, Yang kemudian tiap string dihubungkan ke 4 buah inverter dengan total kapasitas 40 kVA merek SMA *sunny tripower* 10000TL-20 dengan kapasitas 10kVA dengan konfigurasi 2 string panel

surya terhubung ke 1 buah inverter dengan DC/AC ratio sebesar 0,94.

Produksi listrik dan hasil parameter unjuk kerja (*yield factor*, *yield reference*, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) PLTS Carport 37,8 kWp di area perkantoran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Jakarta Pusat secara berurutan dengan kondisi riil tahun 2021 sebesar 21.694,67 kWh, 573 kWh/kWp, 1.679,9 kWh/kW, 34% dan 6,6% dan hasil simulasi PVSyst sebesar 53.910 kWh, 1.426,19 kWh/kWp, 1.751,9 kWh/kW, 81,4% dan 16%. Dengan selisih antara nilai produksi listrik dan hasil parameter unjuk kerja (*yield factor*, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) secara berurutan adalah 32.215,3 kWh, 853,19 kWh/kWp, 47,4% dan 9,7%.

Faktor penyebab perbedaan nilai produksi listrik dan hasil parameter unjuk kerja (*yield factor*, *performance ratio* dan *capacity utilization factor*) PLTS Carport 37,8 kWp di area perkantoran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Jakarta Pusat riil dan hasil simulasi PVSyst adalah faktor *shading* yang sangat besar pada PLTS carport yang berasal dari bangunan dan pepohonan di sekitar PLTS dengan presentase penurunan performa sebesar 34,1%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Statistik. B. P, "Hasil Sensus Penduduk 2020," 21 01 2021. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/pressrelease/2021/01/21/1854/hasil-sensus-penduduk-2020.html>.
- [2] ESDM, "content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia," September 2019. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>.
- [3] Riawan. I. P. G, Kumara. I. N. S, Ariastina. W. G, "Analisis Performansi dan Ekonomi PLTS Atap 10 kWp pada Bangunan Rumah Tangga di Desa Batuan Gianyar," *Majalah Ilmiah. Teknologi, Elektro*, pp. 63-70, 2022.
- [4] KESDM, "Rencana Umum Energi Nasional RUEN," 22 06 2016. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-umum-energi-nasional-ruen.pdf>. [Accessed 20 12 2022].
- [5] Jatmiko. B. P, "Semester I 2021, Pembangkit Energi Baru Terbarukan Bertambah 217 Megawatt," 20 08 2021. [Online]. Available: <https://money.kompas.com/read/2021/08/20/150722426/semester-i-2021-pembangkit-energi-baru-terbarukan-bertambah-217-megawatt>.
- [6] Junior. S, Kumara. I. N. S, Giriantari. I. A. D, "Perkembangan Pemanfaatan PLTS di DKI Jakarta Menuju Target 13,8 MW Tahun 2025," *Jurnal Spektrum*, vol. 9, no. 1, pp. 62-71, 2022.
- [7] Bansal. N, Pany. P, Singh. G, "Visual degradation and performance evaluation of utility scale solar photovoltaic power plant in hot and dry climate in western india," *Case Studies in Thermal Engineering*, pp. 1-18, 2021.
- [8] Gonzalo. A. P, dkk, "Survey of maintenance management for photovoltaic power systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-16, 2020.
- [9] Indonesia. C. E, Buku Panduan ENERGI yang Terbarukan, Jakarta: Fasilitas Dukungan PNPM, 2016.
- [10] Choi. A, "Prinsip Kerja PLTS," Maret 2019. [Online]. Available: https://www.academia.edu/27933445/Prinsip_Kerja_PLTS.
- [11] Academy. R, Haning. D, Askolani. I, BUKU PEGANGAN Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya,

- Jakarta Pusat: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Electrification through Renewable Energy (ELREN), 2020.
- [12] Putra. I. W. S, Kumara. I. N. S, Hartati. R. S, "Analisis Tekno Ekonomi Implementasi Sistem PLTS Atap Pada Gedung Kantor Walikota Denpasar," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 2, pp. 185-194, 2022.
- [13] Pramayasa. I. P. Y, Kumara. I. N. S, Setiawan. I. N, "SURVEI BIAYA INVESTASI AWAL PLTS ATAP DI INDONESIA TAHUN 2022," *Jurnal Spektrum*, vol. 9, no. 3, pp. 94-104, 2022.
- [14] Standard. B, "BS EN 61724:1998 IEC61724:1998. Photovoltaic system performance monitoring-Guidelines for measurement, data exchange and analysis," BSI, 1998.
- [15] Haffaf. A, dkk, "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*, pp. 44-55, 2021.
- [16] Setiawan. I. K. A, Kumara. I. N. S, Sukerayasa. I. N, "ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)SATU MWp TERINTERKONEKSI JARINGAN DI KAYUBIHI, BANGLI," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 27-33, 2014.
- [17] Sidi. C. E. B E, dkk, "Performance analysis of the first large-scale (15 MWp) grid-connected photovoltaic plant in Mauritania," *Energy Conversion and Management*, no. 119, pp. 411-421, 2016.
- [18] Dahmoun. M. E. H, "Performance evaluation and analysis of grid-tied large scale PV plant in Algeria," *Energy for Sustainable Development*, no. 61, pp. 181-195, 2021.
- [19] Anang. N, "Performance analysis of a grid-connected rooftop solar PV system in Kuala Terengganu, Malaysia," *Energy & Buildings*, no. 248, pp. 1-13, 2021.
- [20] Shrivastava. A, dkk, "Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST," *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-8, 2021.
- [21] KESDM, "Lokasi dan Kontak," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/profil/loka-si-kontak>. [Accessed 20 12 2022].
- [22] NASA, "Power | Data Access Viewer," 20 12 2022. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed 20 12 2022].
- [23] Remund. J, "MN-broschüre-2018.indd," 2018. [Online]. Available: https://meteonorm.com/assets/downloads/meteonorm_73.pdf.
- [24] Reich. N. H, dkk, "Performance ratio revisited: is PR > 90% realistic?," September 2012. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/256374705_Performance_ratio_revisited_is_PR_90_realistic.