

STUDI TEKNIS PLTS ROOFTOP 3KWP FRAMELESS WITH ON-GRID SYSTEM DI LINGKUNGAN KORI NUANSA JIMBARAN

I G.N.A.B Rama Wahyu Dewangga¹, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Wayan Sukerayasa³

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

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

³Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: ramawahyu272@gmail.com¹, dayu.giriantari@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Cahaya surya adalah energi terbarukan yang ramah lingkungan. Menurut RUEN, Provinsi Bali memiliki potensi pemanfaatan cahaya surya yang cukup besar yaitu 1.254 MW dengan target pengembangan PLTS pada tahun 2025 sebesar 8,62% atau 108,2 MW dari total potensinya. Maka dari itu penelitian ini berfokus pada pemanfaatan PLTS *Rooftop on-grid* sebagai suplai energi pada rumah tinggal Kori Nuansa Jimbaran yang menjelaskan tentang spesifikasi bahan dan komponen PLTS yang terpasang, serta desain dari pemasangan PLTS *Rooftop* ditinjau dari segi teknis sesuai persyaratan dari PT. PLN (Persero). Metode pada penelitian meliputi penelaahan kepustakaan, observasi, pengumpulan data, analisa data serta kesimpulan. Hasil penelitian didapatkan perhitungan total beban harian sebesar 26.151 W/day dan total energi harian yang dapat dibangkitkan dari perhitungan sebesar 14,58 kWh/day dengan data pengukuran pada tempat penelitian sebesar 13,4 kWh/day dimana adanya selisih 1,18 kWh yang disebabkan karena adanya *losses* pada sistem. Jika dilihat dari total beban harian sistem PLTS belum memenuhi kebutuhan, namun secara fungsional sistem PLTS diperuntukkan untuk beban siang hari sehingga kebutuhan sudah sesuai. Sudut kemiringan optimal dari hasil perhitungan yaitu 14,66° namun pada pengukuran menggunakan *protractor tool* didapatkan 18° hal ini dikarenakan sudut kemiringan panel surya mengikuti arah kemiringan atap. Desain PLTS yang terpasang sudah memenuhi standar Permen ESDM No.49 tahun 2018 dan sudah mendapat Sertifikat Laik Operasi (SLO) dari PT. PLN (Persero).

Kata kunci : PLTS, Energi Terbarukan, Protractor Tool

ABSTRACT

Solar light is an environmentally friendly renewable energy. According to RUEN, Bali Province has a fairly large potential for solar light utilization, namely 1,254 MW with a target for PLTS development in 2025 of 8.62% or 108.2 MW of its total potential. Therefore, this research focuses on the utilization of PLTS Rooftop on-grid as an energy supply at Kori Nuansa Jimbaran's residence which explains the specifications of the installed PLTS materials and components, as well as the design of the PLTS installation in Rooftop terms of technical terms according to the requirements of PT. PLN (Persero). The method used is literature review, observation, data collection, data analysis and conclusions. The results showed that the total daily load calculation was 26,151 W/day and the total daily energy that could be generated from the calculation was 14.58 kWh/day with the measurement results at the research location of 13.4 kWh/day where there was a difference of 1.18 kWh caused by due to losses in the system. When viewed from the total daily load the PLTS system has not met the needs, but functionally the PLTS system is intended for daytime loads so that the needs are appropriate. Optimal inclination angle of 14.66 calculation results are° however on measurements using a protractor tool obtained 18° this because the angle of inclination of the solar panels follows the direction of the slope of the roof. The installed PLTS design has met the standards of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 49 of 2018 and has received an Operational Worthiness Certificate (SLO) from PT. PLN (Persero).

Keywords : PLTS, Renewable Energy, Protractor Tool

1. PENDAHULUAN

Cahaya surya adalah salah satu energi terbarukan yang mempunyai potensi pengembangan yang besar di Indonesia, mengingat Indonesia terletak di wilayah khatulistiwa. Cahaya surya mempunyai keunggulan dibandingkan energi fosil dikarenakan cahaya surya mudah didapatkan serta ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah metode pembangkitan dengan memanfaatkan cahaya surya lalu dikonversi menjadi energi listrik menggunakan satu atau beberapa modul surya sesuai kebutuhan. Metode penerapan PLTS dapat terpasang di atas atap (*Roof-Mounted*), di tanah (*Ground-Mounted*), dan di atas air (*Water-Mounted*). Dalam pemanfaatannya sistem PLTS terdiri dari beberapa komponen utama yaitu panel surya, kabel, inverter, dan sistem pengamanan.

Melihat potensi yang besar tersebut, maka pemerintah menetapkan dan mengesahkan RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) pada tahun 2017 yang merupakan rencana pemerintah mengenai pengelolaan energi tingkat nasional dan rencana pelaksanaan KEN (Kebijakan Energi Nasional) yang bersifat lintas sektor untuk mencapai target KEN dalam peningkatan Energi Baru Terbarukan (EBT) pada tahun 2025 sebesar 23% atau 92,2 MTOE. Namun, pada tahun 2020 secara nasional tingkat pemanfaatan PLTS masih sebesar 137 MW dengan target pemanfaatan energi surya sebesar 6,5 GW [1].

Menurut RUEN untuk di Bali sendiri memiliki potensi pemanfaatan PLTS sebesar 1.254 MW dengan target pengembangan sebesar 8,62% atau sekitar 108,2 MW dari total potensinya [2]. Pemanfaatan PLTS *Rooftop* di daerah Bali Selatan sendiri memiliki potensi sebesar 129,78 MWp [3]. Pada tahun 2020 di Bali memiliki kapasitas PLTS yang terpasang baru sebesar 3,71 MWp atau 3,44% dari target RUEN. Dimana, total kapasitas yang terpasang masih sangat jauh dari target sehingga perlu adanya percepatan dalam peningkatan pengoperasian PLTS. Penerapan sistem PLTS yang terpasang di Bali didominasi oleh sistem *on-grid* dengan total kapasitas terpasang sebesar 3,30 MWp atau 87% dari total kapasitas yang terpasang [4].

Berdasarkan kajian dan referensi diatas, penelitian ini membahas secara

teknis tentang penerapan PLTS *Rooftop on-grid* sesuai Permen ESDM Nomor 16 tahun 2019 yang bertujuan memberikan informasi apakah kapasitas PLTS secara fungsional dapat memenuhi kebutuhan dengan menghitung kapasitas PLTS berdasarkan beban kelistrikan, jumlah panel yang dapat terpasang secara seri-paralel, radius perlindungan sistem proteksi petir serta membandingkan komponen sistem PLTS apakah memenuhi standar pemasangan atau tidak, dan mengukur arah hadapan PLTS menggunakan *Protractor Tool*. Penelitian ini nantinya diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi oleh masyarakat untuk meningkatkan penggunaan PLTS *Rooftop*.

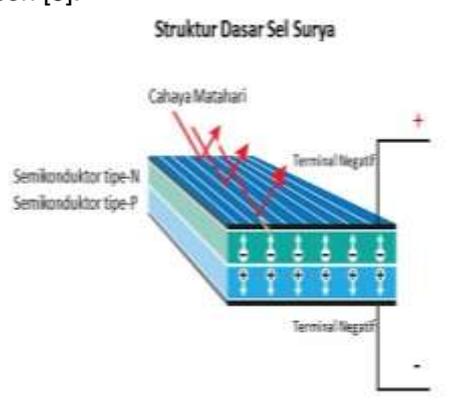
2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Komponen PLTS

Dalam sistem PLTS terdapat beberapa komponen utama yaitu panel surya dan inverter yang saling terhubung sehingga dapat beroperasi. Berikut penjelasan dari komponen utama PLTS, yaitu:

2.1.1 Sel Surya beserta Prinsip Kerjanya

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor seperti terlihat pada Gambar 1 yang memiliki perbedaan muatan. Lapisan atas bermuatan negatif sedangkan lapisan bawah bermuatan positif dengan lapisan bahan yang digunakan adalah silikon [5].



Gambar 1. Struktur Sel Surya

2.1.2 Panel Surya

Panel Surya merupakan komponen utama dari sistem PLTS yang berfungsi mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Gambar 2 menunjukkan contoh panel surya.



Gambar 2. Panel Surya

Adapun panel surya yang beredar saat ini, yaitu [6]:

1. *Monocrystalline*

Monocrystalline merupakan tipe panel surya memiliki efisiensi tertinggi yang menggunakan bahan silikon murni yang dihasilkan dengan proses *crystal-growth* yang cukup rumit dengan ketebalan sekitar 0.2 – 0.4 mm. Efisiensinya cukup tinggi berkisar 13 – 19 %.

2. *Polycrystalline*

Polycrystalline merupakan panel surya yang memiliki efisiensi lebih rendah yaitu berkisar 11 – 15 % dan lebih ekonomis dibanding *monocrystalline* serta susunan kristal acak.

3. *Amorphous silicon*

Silikon amorf (a-Si) merupakan tipe panel surya yang menggunakan jenis bahan tipis silikon dan memiliki efisiensi paling rendah serta efisiensi yang lebih kecil yaitu 5 – 8 % dengan harga yang lebih murah.

2.1.3 Inverter

Inverter juga merupakan komponen utama pada sistem PLTS yang memiliki fungsi sebagai perangkat yang dapat mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak balik (AC). Untuk memilih inverter tergantung pada keadaan beban dan sistem yang digunakan sistem terhubung dengan jaringan atau sistem berdiri sendiri. Adapun efisiensi inverter sebesar 90% [7]. Gambar 3 menunjukkan salah satu contoh inverter.

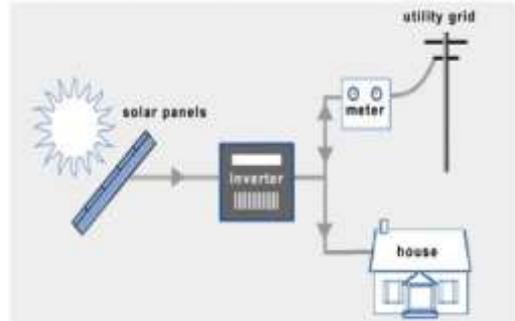


Gambar 3. Inverter

2.2 Sistem Instalasi PLTS On-Grid

Dalam pengoperasian sistem PLTS *on-grid* memanfaatkan grid yang berfungsi sebagai media penyimpanan energinya

serta adanya meteran *export-import* (EXIM) berfungsi sebagai perangkat yang mengkalkulasikan besar energi tersimpan ke jaringan listrik PLN yang nanti jumlah tagihannya akan dikalkulasikan pada akhir bulan untuk mengurangi biaya listrik pelanggan sesuai kebijakan penyedia listrik setempat. Pada PLTS *on-grid* memiliki fitur anti islanding terpasang pada inverter agar PLTS tidak menghasilkan listrik bila terjadi pemadaman listrik. Gambar 4 menunjukkan rangkaian plts *on-grid*.



Gambar 4. Rangkaian PLTS On-Grid

2.3 Pengoperasian maksimum panel surya

Pengoperasian maksimum panel surya dipengaruhi oleh faktor berikut [8]:

1. Temperatur

Kenaikan temperatur °C dari temperatur standarnya yang menyebabkan daya panel surya berkurang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}} = 0.5\%/^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times \text{temperatur } (^\circ\text{C})$$

Dimana :

$P_{\text{saat t naik } ^\circ\text{C}}$ = pengaruh temperatur terhadap daya.

P_{MPP} = daya keluaran maksimum panel surya.

Output daya maksimum modul surya sewaktu temperatur naik dari temperatur standarnya dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_{MPP \text{ saat t naik } ^\circ\text{C}} = P_{MPP} - P_{MPP \text{ saat t naik } ^\circ\text{C}} \quad (2)$$

Temperature Correction Factor (TCF) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat t naik } ^\circ\text{C}}}{P_{MPP}} \quad (3)$$

2. Menghitung Area Array (PV Area)
Luas area array dihitung menggunakan rumus berikut [8]:

$$PV_{Area} = \frac{W}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (4)$$

Dimana:

- PV_{Area} = Luas area array (m^2)
- W = Besar pemakaian energi listrik (kWh)
- G_{av} = Nilai isolasi harian Matahari (kWh/m^2)
- η_{pv} = Efisiensi modul surya (%)
- TCF = *Temperature Correction Factor*
- η_{out} = Efisiensi output (%)

3. Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS

Besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Watt Peak*) menggunakan indikator area array dapat dihitung dengan rumus berikut [8]:

$$P_{Wattpeak} = area\ array \times PSI \times \eta_{pv}$$

Dimana:

- P_{MPP} = *Peak Sun Insolation* ($1000\ W/m^2$)
- $P_{Wattpeak}$ = Besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Wattpeak*)

4. Menghitung Jumlah Panel Surya

Total panel surya dibutuhkan dihitung menggunakan rumus dibawah [8]:

$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{P_{Watt\ peak}}{P_{MPP}}$$

Dimana:

- P_{MPP} = Daya maksimum panel surya yang digunakan (W)
- $P_{Wattpeak}$ = Daya yang dibangkitkan (Wp)

2.4 Konfigurasi Seri-Paralel Panel Surya

Dalam menentukan rangkaian seri-paralel panel surya dapat dihitung dengan rumus berikut [9]:

1. Secara seri minimal

$$Min\ modul\ seri\ per\ string = \frac{V_{min\ inverter}}{V_{oc\ modul}} \quad (7)$$

2. Secara seri maksimal

$$Min\ modul\ seri\ per\ string = \frac{V_{min\ inverter}}{V_{mp\ modul}} \quad (8)$$

3. Secara paralel

$$Max\ Paralel = \frac{I_{max\ inverter}}{I_{mp\ modul}}$$

Dimana :

- V_{oc} = Tegangan sirkuit terbuka panel surya (Volt)

$V_{mp\ inverter}$ = Tegangan kerja minimal inverter (Volt)

$V_{max\ inverter}$ = Tegangan maksimal dari inverter (Volt)

$I_{mp\ modul}$ = Arus dari modul surya (Amp)

$I_{max\ inverter}$ = *Input* arus pada inverter (Amp)

2.5 Arah Hadapan dan Sudut Kemiringan

Berikut pembahasan dua hal yang harus diperhatikan dalam analisa bayangan agar penyerapan sinar matahari menjadi optimal.

a. Sudut Kemiringan.

Mengacu pada ufuk arah cahaya surya, maka sudut sisi horizontal serta ketinggian cahaya surya disebut sebagai sudut puncak ketinggian cahaya surya. Sudut ini menjelaskan bahwa saat matahari naik dan turun dalam sehari (dalam derajat). Desain PLTS atap dikenal sebagai sudut kemiringan, atau sudut inklinasi yang merupakan sudut susunan panel surya diukur dari sisi horizontal, untuk mendapatkan penyerapan optimal dari sinar matahari.

b. Sudut Azimut.

Sudut azimut merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan PLTS yang berarti sudut arah panel surya terhadap arah utara atau arah selatan. Optimalnya jika lokasi PLTS terletak di selatan garis khatulistiwa, maka panel surya diarahkan menghadap ke utara (azimuth 0°) agar tidak terhalang bayangan. Sebaliknya, jika lokasi PLTS terletak di utara garis khatulistiwa, maka panel surya menghadap ke arah selatan yang diarahkan pada azimuth 180° . Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kerugian inklinasi.

2.6 Sistem Proteksi

Pada sistem instalasi listrik rumah tinggal terdapat beberapa proteksi antara lain:

1. Sistem Proteksi Pada Panel Box
Sistem panel box dilengkapi dengan saklar utama/pemisah, pembatas arus *Mini Circuit Breaker* (MCB) atau *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB), saklar, terminal serta busbar.

2. Penangkal Petir
Penangkal petir merupakan sistem proteksi petir yang membawa arus listrik

petir menuju ke pembumian. Ada 2 jenis penangkal petir yang beredar yaitu:

- a. Penangkal Petir Konvensional
- b. Penangkal Petir Elektrostatik

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Jl. Nuansa Udayana Utara IV No.31, tipe bangunan 64 m² dengan luas tanah 1,5 are, bangunan menghadap selatan dan tinggi 4 lantai. Penelitian dilaksanakan bulan Maret 2021 hingga September 2021. Analisis data dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Bagan Alur Penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 5 :

Langkah 1. Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data, diantaranya data kapasitas PLTS serta beban kelistrikan rumah, data jenis panel surya, data spesifikasi inverter, data spesifikasi kabel PLTS, dan hasil pengukuran sudut kemiringan panel surya.

Langkah 2. Analisa Teknis

Analisa dilakukan untuk membandingkan apakah pemasangan PLTS di rumah tinggal Kori Nuansa sudah sesuai standar dan memenuhi kebutuhan konsumsi energi.

Langkah 3. Perhitungan Manual

Menghitung beberapa faktor teknis, yaitu temperatur, luas array, jumlah panel surya, daya maksimum panel surya, dan rangkaian seri-paralel berdasarkan beban kelistrikan dan spesifikasi komponen yang terpasang.

Langkah 4. Kesimpulan

Menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Rumah Tinggal yang Berlokasi di Lingkungan Kori Nuansa Jimbaran

Rumah ini berdiri di tanah seluas 150 m² dengan tinggi bangunan sekitar 12 m dan luasan bangunan 8 x 8 m² dengan bangunan menghadap ke selatan dan memiliki 4 lantai. Gambar 6 menunjukkan desain rumah tinggal Kori Nuansa.



Gambar 6. Rumah Tinggal di Lingkungan Kori Nuansa, Jimbaran

Hasil pengumpulan data beban kelistrikan pada rumah tinggal Kori Nuansa Jimbaran dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jumlah Pemakaian Daya terhadap Beban

Jenis Beban	Jumlah (Unit)	Total Watt (W)	Lama Pemakaian (H)	Konsumsi Energi (Wh/day)
Lampu LED (3 watt)	5	15	12	180
Lampu LED (6 watt)	15	90	12	1.080
Lampu LED (8 watt)	6	48	12	576
AC kamar ¾ pk (500 watt)	1	500	5	2.500
AC kamar 1 pk (819 watt)	3	2.457	5	12.285
Mesin cuci (2000 watt)	1	2.000	1	2.000
Kulkas (135 watt)	1	135	12	1.620
Cctv (24 watt)	3	72	24	1.728
TV 30 inch (48 watt)	1	48	3	144
Wifi biznet (12 watt)	1	12	24	288
Water heater (750 watt)	1	750	5	3.750
Total	38	6.127	115	26.151

Berikut adalah Tabel 2 yang menggambarkan grafik beban dimana terlihat bahwa peningkatan daya mulai terjadi pada jam 4.00 PM dari 84 W ke 927 W.

Beban puncak didominasi oleh mesin cuci pada jam 8.00 AM hingga jam 9.00.

Tabel 2. Profil Beban Kelistrikan pada Lokasi Penelitian

Jam	AC	Lampu	Mesin Cuci	Kulkas	CCTV	Wifi	TV	Water Heater	total
1:00 AM		93		135	72	12			312
2:00 AM		93			72	12			177
3:00 AM		93		135	72	12			312
4:00 AM		93			72	12			177
5:00 AM		93		135	72	12			312
6:00 AM		93			72	12			177
7:00 AM				135	72	12			219
8:00 AM	2957		2000		72	12			5041
9:00 AM	2957		2000	135	72	12	48		5224
10:00 AM					72	12	48		132
11:00 AM	2957			135	72	12			3176
12:00 PM	2957				72	12			3041
1:00 PM				135	72	12			219
2:00 PM	2957				72	12	48		3089
3:00 PM	2957			135	72	12	48		3224
4:00 PM					72	12			84
5:00 PM	2957			135	72	12			3176
6:00 PM	2957	93			72	12			3134
7:00 PM		93		135	72	12	48	750	1110
8:00 PM	2957	93			72	12	48	750	3932
9:00 PM	2957	93		135	72	12		750	4019
10:00 PM		93			72	12		750	927
11:00 PM		93		135	72	12		750	1062
12:00 AM		93			72	12		750	927

4.2 Perhitungan Kapasitas PLTS Berdasarkan Beban

4.2.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Daya Output

Pada dasarnya jika temperatur panel surya mengalami peningkatan temperatur sebesar 1°C dari temperatur standarnya yaitu 25°C, maka mengakibatkan daya output modul surya berkurang 0,5%. Data temperatur

maksimum untuk Kuta Selatan pada dalam rentang waktu bulan maret 2021 adalah suhu tertinggi sebesar 36°C yang bersumber dari data AccuWeather. Menurut data, bahwa adanya peningkatan suhu 11°C dari suhu standar (25°C) yang diperlukan oleh panel surya, maka dapat dihitung menggunakan rumus (1) berikut:

$$P_{\text{saat naik } 11^{\circ}\text{c}} = 0,5\% / ^{\circ}\text{C} \times 255 \times 11^{\circ}\text{C} = 1,402 \text{ W}$$

Output daya saat temperatur mengalami peningkatan menjadi 36°C dapat dihitung menggunakan rumus (2) dan (3) berikut.

$$36^{\circ}\text{C} = 255 \text{ W} - 1,402 \text{ W} \\ = 253,35 \text{ W}$$

Berdasarkan indikator daya keluaran maksimum panel surya (P_{mpp}) yaitu 255 W dan keluaran daya saat temperatur naik (P_{mpp} saat temperatur °C naik) adalah 253,35 W, maka *Temperature Correction Factor* (TCF) dihitung pada persamaan (3).

$$TCF = \frac{253.35}{255} = 0,99$$

4.2.2 Perhitungan Kapasitas PV Array

Total pemakaian energi listrik pada rumah tinggal Kori Nuansa yang akan disuplai PLTS adalah 26.151 W/day. Isolasi rata-rata harian matahari (G_{av}) yang bersumber dari data *Solar Global Horizontal Irradiance* (GHI) tahun 2021, yaitu sebesar 5,33 kWh/m². Efisiensi (η_{PV}) panel surya adalah 19,17%. Jika telah diketahui beban, insolasi rata-rata harian matahari, efisiensi modul, *Temperature Correction Factor* (TCF), efisiensi output, maka dapat dihitung kapasitas PV area keseluruhan dengan rumus (4) berikut:

$$PV_{\text{Area}} = \frac{26,15 \text{ kWh}}{5,33 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 0,19 \times 0,99 \times 0,97} \\ = 26,90 \text{ m}^2$$

Berdasarkan perhitungan area array, maka total pembangkitan energi PLTS dihitung menggunakan rumus (5) dengan indikator hasil perhitungan area array adalah 26,90 m², *Peak Sun Insolation* (PSI) yaitu 1000 W/m² maka:

$$P_{\text{Wattpeak}} = 26,90 \text{ m}^2 \times 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,19 = 5.111 \text{ Wp}$$

Panel surya yang terpasang di lokasi penelitian memiliki kapasitas P_{mpp} 255 Wp per panel. Berdasarkan hasil perhitungan besar energi yang dibangkitkan PLTS sebesar 5.111 Wp, maka total panel surya yang dibutuhkan pada sistem ini dihitung menggunakan rumus (6) berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{5.111 \text{ Wp}}{255 \text{ W}} = 20 \text{ panel}$$

Berdasarkan perhitungan jumlah panel diatas menunjukkan bahwa energi yang dapat dibangkitkan dengan luas area yang dibutuhkan 26,90 m² sebesar 5.111 Wp. Hasil perhitungan didapatkan bahwa

jumlah kebutuhan panel surya di rumah tinggal Kori Nuansa Jimbaran sebanyak 20 panel jika disesuaikan dengan beban total 26.151 Wh/day, namun panel yang terpasang hanya sebanyak 13 panel dan luasan area atap yang dapat dipasang PV modul mampu menampung sebanyak 28 panel dengan menghadap ke arah selatan maupun utara sesuai dengan desain atap rumah.

4.3 Konfigurasi Seri-Pararel Modul Surya

Konfigurasi modul surya baik yang terhubung secara seri atau paralel bergantung pada besarnya tegangan *input* inverter yang digunakan. Pada lokasi penelitian didapatkan tegangan kerja minimal dari inverter (V_{min}) adalah 80 V, tegangan *open circuit* modul (V_{oc}) adalah 31,68 V, tegangan kerja maksimal modul (V_{mp}) adalah 27,22, arus masuk inverter (I_{max}) adalah 13 V, dan arus masuk maksimum dari modul (I_{mp}) adalah 9,39 V, Maka dapat dihitung konfigurasi seri-paralel modul surya pada rumus (7), (8), dan (9) berikut:

1. Secara seri minimal

$$\text{Min modul seri per string} = \frac{80}{31.68} = 2,5 = 3 \text{ unit}$$

2. Secara seri maksimal

$$\text{Max modul seri per string} = \frac{550}{27,22} = 20,2 = 20 \text{ unit}$$

3. Secara paralel

$$\text{Max Paralel} = \frac{13}{9,39} = 1,3 = 1 \text{ rangkaian}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui untuk 1 unit inverter minimal jumlah modul yang dirangkai secara seri sebanyak 3 unit dan maksimal rangkaian seri sebanyak 20 unit sedangkan maksimal rangkaian paralel yang terhubung ke inverter adalah sebanyak 1 rangkaian. Namun pada kenyataannya rumah tinggal di Kori Nuansa Jimbaran menggunakan 13 unit panel surya dengan sistem rangkaian seri. Hal ini mungkin dikarenakan rangkaian seri lebih sederhana dibanding paralel, hemat biaya karena jumlah kabel yang dipakai lebih sedikit, dan *voltage drop* yang lebih kecil.

4.4 Arah Hadapan dan Sudut Kemiringan Panel Surya

Arah hadapan optimal PLTS adalah menghadap ke Utara dengan sudut kemiringan optimal sebesar 14,66°, namun pada pengukuran *protractor tool* didapatkan

18° hal ini dikarenakan sudut kemiringan PLTS mengikuti desain atap seperti yang terlihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Sudut Kemiringan Atap Rumah Tinggal Kori Nuansa Jimbaran

4.5 Jumlah Modul Surya yang Terpasang di Rumah Tinggal Kori Nuansa, Jimbaran

Jumlah panel surya yang terpasang di rumah tinggal Kori Nuansa sebanyak 13 panel dengan total energi yang dapat dibangkitkan sebesar 3.315 Wp.



Gambar 8. Hasil Pembangkitan Energi Bulan Juni 2021

Dari hasil perhitungan menggunakan indikator *Peak Sun Hour* (PSH) yaitu 4,39 *hour* total energi yang dapat dibangkitkan sebesar 14,58 kWh/day tetapi data riil pembangkitan energi pada 10 juni 2021 seperti yang terlihat pada Gambar 8 hanya didapatkan sebesar 13,4 kWh/day dimana terdapat selisih sebesar 1,18 kWh hal ini disebabkan oleh *losses* pada sistem.

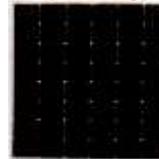
4.6 Komponen PLTS yang Terpasang pada Lokasi Penelitian

Mengacu pada Permen ESDM No.49 Tahun 2018 dijelaskan bahwa komponen yang diperlukan untuk

membangun PLTS adalah panel surya, inverter, sambungan listrik pelanggan, sistem pengaman, serta meter kWh Ekspor-Impor. Berikut penjelasan komponen PLTS terpasang pada lokasi penelitian.

1. Panel Surya

Pada lokasi penelitian menggunakan jenis *Monocrystalline* seperti yang terlihat pada Gambar 9 dengan *maximum power* 255 Wp dan memiliki efisiensi 19,17% serta arus *maximum power current* sebesar 9,39 A yang bersumber dari Sky Energy Indonesia.



Gambar 9. *Monocrystalline* type ST48M255TGP

2. Inverter

Inverter yang digunakan yaitu merk Growatt MIC-3000TL-X seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dengan AC *nominal power* sebesar 3000W dengan *maximum input current* sebesar 13 A serta *nominal output voltage* yaitu 220 V yang bersumber dari Growatt New Energy Technology.



Gambar 10. Inverter Growatt Tipe MIC 3000TL-X

3. Sistem Pengaman PLTS

Pada lokasi penelitian menggunakan sistem pengaman MCB AC merk *Schneider* 1 *phase* 20 A seperti yang terlihat pada Gambar 11. Didapatkan bahwa besar daya listrik (P) sebesar 3.000 W dan besar tegangan listrik (V) sebesar 220 V karena yang dicari arusnya, maka kapasitas MCB dihitung menggunakan rumus berikut.

$$I = P/V$$

$$I = 3.000 \text{ W}/220 \text{ V}$$

$$I = 13,63 \text{ A}$$

Dimana:

- P = besar daya listrik dalam satuan W
- V = besar tegangan listrik dalam satuan Volt
- I = arus listrik dalam satuan ampere

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan hasil 13,63 A, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengaman yang terpasang sudah sesuai yang dibutuhkan.



Gambar 11. MCB AC Schneider 1 phase 20A

4.7 Sistem Proteksi Petir yang Terpasang pada Lokasi Penelitian

Sistem proteksi petir yang digunakan pada lokasi adalah jenis penangkal petir konvensional yang bekerja dengan prinsip yang sederhana dan hanya menggunakan satu kabel konduktor yang memiliki desain berbentuk runcing.

Besarnya arus puncak petir untuk Provinsi Bali menurut SNI 03-7015-2004 sebesar 61 kA, maka jarak sambaran (r_s) dapat dihitung menggunakan rumus berikut [10]:

$$r_s = 10 \times I^{(0,65)}$$

$$r_s = 10 \times 61^{(0,65)}$$

$$r_s = 144,7 \text{ m}$$

Dimana:

r_s = jarak sambaran (m)
 I = arus puncak petir (kA)

Sehingga diperoleh jarak sambaran adalah 144,7 meter.

Dalam menentukan sudut perlindungan penangkal petir menggunakan indikator tinggi rumah yaitu 12 meter dengan ketinggian finial 2 meter, maka ketinggian penangkal petir dari tanah (h_{tot}) adalah 14 meter dan jarak sambaran (r_s) adalah 144,7 meter, sehingga sudut perlindungan (a) dapat dihitung pada rumus berikut [10].

$$a = \sin^{-1} \left(1 - \frac{h_{tot}}{r_s} \right)$$

$$a = \sin^{-1} \left(1 - \frac{14}{144,7} \right)$$

$$a = 64,58^\circ$$

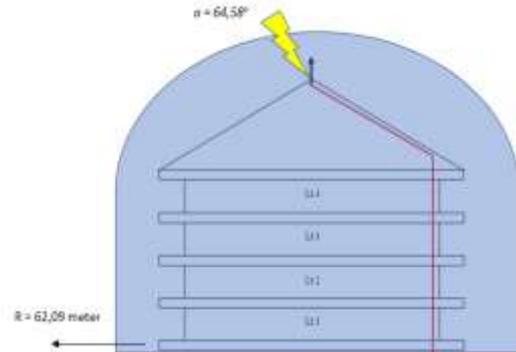
Radius perlindungan penangkal petir menggunakan indikator jarak sambaran (r_s) adalah 144,7 meter dan tinggi penangkal petir dari permukaan tanah (h_{tot}) adalah 14 meter, maka

didapatkan Radius perlindungan penangkal petir dihitung dengan rumus berikut [10].

$$r = \sqrt{(2xr_s x h - h^2)}$$

$$r = \sqrt{((2x(144,7)x(14) - 14^2) = 62,09 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan didapat sudut perlindungan (a) yaitu $64,58^\circ$ dan radius perlindungan (R) yaitu 62,09 meter seperti yang terlihat pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Radius Perlindungan Penangkal Petir pada Lokasi Penelitian

5. KESIMPULAN

5.1 Simpulan

1. Daya yang dapat dibangkitkan PLTS dengan luas area yang dibutuhkan $26,90 \text{ m}^2$ sebesar 5.111 Wp. Hasil perhitungan didapatkan bahwa jumlah kebutuhan panel surya pada lokasi penelitian sebanyak 20 panel jika disesuaikan dengan beban total 26.151 W/day , perhitungan energi keluaran harian PV module sebesar $14,58 \text{ kWh/day}$ dengan hasil pengukuran data riil didapatkan sebesar $13,4 \text{ kWh/day}$ dengan selisih $1,18 \text{ kWh}$ yang disebabkan adanya losses pada sistem. Jika dilihat dari total beban sehari penuh maka sistem PLTS belum memenuhi kebutuhan, namun secara fungsional sistem PLTS diperuntukkan untuk beban siang hari sehingga kebutuhan sudah sesuai.
2. Mengacu Permen ESDM No.49 tahun 2018 pasal 5, kapasitas PLTS dapat dimaksimalkan hingga 100% dari daya tersambung pelanggan. Daya tersambung pelanggan sebesar 4.400 VA dan kapasitas inverter sebesar 3.000 W , maka dapat disimpulkan bahwa

- kapasitas PLTS sudah sesuai standar serta jumlah PLTS dapat dimaksimalkan dikemudian hari dengan kapasitas inverter yang lebih besar.
3. Mengacu pada Permen ESDM No.49 Tahun 2018 Spesifikasi komponen sudah memenuhi standar operasi PLTS secara *on-grid* dan sistem di lokasi penelitian ini sudah memiliki SLO (Sertifikat Laik Operasi).
 4. Arah hadapan panel surya sudah memenuhi kriteria yang ada yaitu menghadap ke utara. Sudut kemiringan dari hasil perhitungan yaitu $14,66^\circ$ sedangkan sudut kemiringan panel pada lokasi penelitian mengikuti sudut kemiringan atap yaitu 18° belum memenuhi kriteria kemiringan optimal panel surya. Desain dan pemasangan PLTS *Rooftop* ini sudah memenuhi persyaratan yang ada karena dipasangkan oleh tenaga ahli melalui kontraktor PT. Fuji Home Japan.

5.2 Saran

Pengembangan terhadap penelitian ini dapat dilakukan penambahan baterai sebagai pengganti ekspor ke PLN, sehingga sistem tersebut tentunya akan berubah menjadi *off-grid* dan penggunaan PLTS dapat digunakan pada malam hari.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Penelitian dan Pengembangan ESDM 2017, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*, Kementrian ESDM 2017, Jakarta.
- [2] Peraturan Presiden Republik Indonesia 2017, *Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)*, Peraturan Presiden Republik Indonesia 2017 No. 22 Tahun 2017, Jakarta.
- [3] I.N.S Kumara, I.A.D. Giriantari, W. Ariastina, dkk 2019, *Peta Jalan Pengembangan PLTS Atap: Menuju Bali Mandiri Energi*, Center for Community Based Renewable Energy (CORE) & Greenpeace Indonesia, Bali.
- [4] Pawitra, A.A.G.A, Kumara, I.N.S & Ariastina, W.G 2020, *Review Perkembangan PLTS di Provinsi Bali Menuju Target Kapasitas 108 MW Tahun 2025*, *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 2.
- [5] Pangaribuan, P, Susanto, E, Pratama, R.A 2019, *Perancangan Sistem Panel Surya Terkendali dalam Dua Sumbu untuk 68-74 Peningkatan Efisiensi Pembangkitan Energi Listrik*, *Jurnal Rekayasa Elektrika*. vol. 15, no 1.
- [6] Sukmajati, S & Hafidz, M 2015, *Perancangan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 MW On Grid di Yogyakarta*, *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol. 7, no. 1.
- [7] Santiari 2011, *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan di Nusa Lembongan Bali*, tesis MT, Universitas Udayana Denpasar, Bali.
- [8] Roza, E & Mujirudin, M 2019, *Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik Uhamka*. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol.4 no.1.
- [9] Hutajulu, A.G, Siregar, M.RT & Pambudi, M.P 2019, *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid Di Ecopark Ancol*, *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1.
- [10] Anderson, R.V 2012, *Lightning Discharge and Fundamental of Lightning Protection*, University of Florida, Gainesville, FL, USA.