

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA ATAP GEDUNG PARKIR BANDAR UDARA INTERNASIONAL I GUSTI NGURAH RAI

Gede Agus Wira Dharma¹, Dwi Giriantari², I Wayan Sukerayasa², I Nyoman Setiawan²,
Wayan Gede Ariastina², I Nyoman Satya Kumara²

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

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

Jl. Raya Kampus Unud No.88, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali 80361
aguswira007dharma@gmail.com¹, dayu.giriantari@unud.ac.id², sukrerayasa@unud.ac.id²,
setiawan@unud.ac.id², w.ariastina@unud.ac.id² satya.kumara@unud.ac.id²

ABSTRAK

Penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi listrik merupakan cara yang aman untuk meningkatkan energi ekosistem. Salah satunya adalah pemanfaatan energi terarah fotovoltaik dengan meningkatkan PLTS di atas atap sebagai mekanisme pengenalan modul fotovoltaik. Kajian tersebut memantapkan rencana pemasangan PLTS di atap parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai sebagai sumber energi listrik untuk menekan tagihan listrik PLN. PLTS Atap Parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai menggunakan sistem on-grid bebas baterai dengan 600 unit modul berbasis surya monokristalin 555Wp dan empat unit inverter 100kW. Pembangkit listrik tenaga surya yang akan dibangun di atas tempat parkir mobil Bandara I Gusti Ngurah Rai ini akan berkapasitas 333kWp dan akan menghasilkan energi sebesar 604,929kWh setiap tahunnya. Biaya spekulasi yang dibutuhkan sebesar Rp 3.004.620.000 dan payback period selama 6 tahun.

Kata kunci : Bandar Udara, PLTS atap, On-grid, PVSyst, Analisa Ekonomi.

ABSTRACT

Using sustainable energy as a source of electrical energy is a safe way to increase ecosystem energy. One of them is the utilization of photovoltaic directed energy by upgrading the PLTS on top of the structure as a mechanism for introducing photovoltaic modules. The study finalized the plan to install PLTS on the roof of the I Gusti Ngurah Rai Airport parking lot as a source of electrical energy to reduce PLN electricity bills. The I Gusti Ngurah Rai Airport Parking Roof Solar Power Plant uses a battery-free on gridsystem with 600 units of 555Wp monocrystalline solar-based modules and four 100kW inverter units. The solar power plant to be built on the car park of Terminal I Gusti Ngurah Rai will have a capacity of 333kWp and will produce 604.929kWh of energy annually. The required speculation cost is Rp 3.004.620.000 and payback period for 6 years.

Key Words : Airport, Solar PV, On-Grid, PVSyst, Economic Analsi

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting saat ini. Penggunaan tenaga ramah lingkungan sebagai sumber energi listrik adalah salah satu cara yang layak untuk memenuhi kebutuhan listrik. Mengingat sumber daya yang terbarukan sangat melimpah dan tidak berbahaya bagi ekosistem. Berdasarkan informasi dari Kementerian ESDM, potensi energi listrik dari sumber energi terbarukan

sebesar 432 GW. Dari kemungkinann ini, sebagian besar pembangkit listrik bergantung pada tenaga air dan panas bumi, meskipun upaya untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) masih cukup rendah, namun potensinya sudah hampir separuh dari kemampuan energi listrik terbarukan yang ada di Indonesia yang sudah dicapai.[1]. Bandar udara merupakan prasarana umum yang bisa memanfaatkan sistem PLTS sebagai

salah satu sumber energi listrik. Bandar udara yang umumnya memiliki areal yang luas, sangat cocok untuk pemanfaatan PLTS. Bandar udara merupakan salah satu konsumen PT. PLN yang mengkonsumsi energi listrik yang sangat besar, sehingga dengan memanfaatkan areal yang luas untuk kebutuhan PLTS nantinya dapat menghemat biaya energi listrik setiap bulannya. Seperti pada Bandar Udara Internasional Cochin di India yang seluruh kebutuhan energi listriknya sudah memanfaatkan energi surya melalui pemasangan PLTS.

Berikut merupakan beberapa hasil penelitian tentang topik perancangan sistem PLTS. Penelitian pada tahun 2019 dari Kristiawan yang membahas tentang potensi energi sistem PLTS atap sebesar 3214,6 kWh dengan sudut kemiringan $30,96^\circ$ yang terletak di SD Negeri 5 Pedungan. [2].

Kajian pada tahun 2019 yang dilakukan oleh Merta menjelaskan mengenai potensi pembangkit PLTS atap dengan kapasitas sebesar 142.560Wp pada gedung 1 RSPTN Universitas Udayana dengan memproduksi energi sebesar 166.407kWh dalam waktu satu tahun. Total energi yang dibangkitkan sistem PLTS termasuk pembangkitan listrik di atap parkir sejumlah 226.710Wp dan memproduksi energi listrik sejumlah 249.610kWh dalam waktu satu tahun [3].

Mengingat pentingnya keberadaan Bandara Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai dan sebagai contoh penerapan *green energy* maka direncanakan sistem PLTS di wilayah tersebut menggunakan atap gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai sebagai media pemasangan panel surya. Rencana PLTS ini diharapkan dapat menekan biaya listrik di Bandar Udara Ngurah Rai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sebuah sistem pembangkit listrik ramah lingkungan dengan sumber energi yang berasal dari

matahari melalui sistem fotovoltaik.[4] Pemilihan jenis modul surya yang tepat akan mempengaruhi daya output yang dihasilkan dari sistem PLTS. Pemilihan jenis modul surya dengan kapasitas serta efisiensi modul yang tinggi akan menghasilkan daya output yang besar.

2.2 Jenis-Jenis Sistem PLTS

Jika dilihat dari perbedaan karakteristik pengelolaan energi listrik yang dihasilkan PLTS dibagi menjadi tiga jenis sistem yaitu *PLTS on-Grid*, *PLTS Off-Grid* dan *PLTS Hybrid*. PLTS on-grid atau biasa disebut sistem PV grid-connected adalah sistem PLTS yang terhubung langsung dengan jaringan AC jaringan lokal, dengan tujuan utama untuk menghemat konsumsi energi listrik dari jaringan. PLTS off-grid memiliki komponen tambahan untuk meningkatkan keandalan seperti baterai dan pengontrol muatan. Sistem PLTS ini merupakan solusi ramah lingkungan untuk energi terbarukan di daerah terpencil. Perbedaan sistem PLTS hybrid dengan sistem lainnya terletak pada kombinasi beberapa sumber energi yang digunakan. Kerja sama sistem hybrid antara PLTS dan generator membawa keuntungan tersendiri bagi sisi PLTS. Dengan menggunakan sistem hybrid, PLTS terhindar dari biaya modal awal yang tinggi karena hanya sebagai pemasok baseload.

2.3 PLTS Bandara

PLTS dapat meningkatkan keandalan listrik di bandara, terutama pada saat jaringan listrik padam. Dalam pemasangan PLTS di kawasan bandara, harus diperhatikan bahwa rancangan sistem PLTS telah memenuhi standar keselamatan dan lingkungan yang berlaku. Untuk membatasi potensi gangguan pada peralatan komunikasi, navigasi, dan pemantauan, sistem energi surya harus dipasang di luar area kritis di sekitar fasilitas CNS. Meskipun risikonya rendah, radius 500 kaki harus dipertahankan antara sistem CNS dan modul PV.

Modul fotovoltaik surya memantulkan deklinasi matahari, yang besarnya bergantung pada posisi matahari dan jenis modul fotovoltaik. Hal ini menyebabkan flash (kilat cahaya terang secara singkat) dan silau (cahaya terang secara terus-menerus dari modul PV). Silau ini dapat mempengaruhi visibilitas operator pesawat dan pilot saat melakukan pendaratan dan lepas landas, sehingga dapat mengancam keselamatan sistem pesawat. Oleh karena itu, lokasi dan orientasi panel surya harus dipilih untuk menghilangkan silau yang berbahaya bagi pilot atau fasilitas pengatur lalu lintas udara [14].

2.4 Perancangan PLTS

2.4.1 Kemiringan Modul Surya

Ketika panel surya terpapar iradiasi pada sudut yang optimal maka akan memperoleh efisiensi optimal dari pembangkitan PLTS. Titik sudut kemiringan ideal dari modul berbasis sinar matahari dapat ditentukan dengan memanfaatkan persamaan berikut ini [5].

$$\alpha = 90^\circ + lat - \sigma (S \text{ hemisphere}) \quad (1)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (2)$$

2.4.2 Jumlah Modul Surya

Banyak panel surya yang akan dipasang tergantung pada berapa kapasitas daya (watt peak) yang dihasilkan PLTS. Berikut merupakan cara menghitung jumlah panel surya. [6].

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{Luas Atap}}{\text{Luas Permukaan Modul}} \quad (3)$$

2.4.3 Konfigurasi Inverter

Konfigurasi inverter digunakan untuk menentukan jumlah panel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel dengan tujuan agar panel surya tersebut dapat dimanfaatkan oleh inverter. Rumus berikut dapat digunakan untuk mencari konfigurasi inverter [7].

$$R. \text{seri minimal} = \frac{V_{\min} \text{ inverter (V)}}{V_{oc} \text{ modul surya (V)}} \quad (4)$$

$$R. \text{seri maksimal} = \frac{V_{\max} \text{ inverter (V)}}{V_{mp} \text{ modul surya (V)}} \quad (5)$$

$$R. \text{paralel maksimal} = \frac{I_{\max} \text{ input inverter}}{I_{mp} \text{ modul surya}} \quad (6)$$

2.4.4 Daya Output Sistem PLTS

Losses merupakan salah satu faktor yang cukup berpengaruh untuk suatu sistem, semakin kecil losses maka sistem tersebut semakin bagus. Rumus yang digunakan untuk mencari daya output PLTS adalah sebagai berikut. [6].

$$P. \text{Output} = P_{\max} - (P_{\max} \times \text{Losses}) \quad (7)$$

2.5 Software Simulasi

Dalam perancangan PLTS, dapat memakai aplikasi PVSyst yang dibuat oleh Webgeneve. Aplikasi PVSyst dimanfaatkan untuk merancang sistem fotovoltaik dengan tambahan fitur desain sehingga satu software dapat melaksanakan dua pekerjaan sekaligus. Terdapat beberapa input data yang diperlukan pada pengoperasian aplikasi PVSyst seperti lokasi, modul PV dan jenis inverter yang digunakan. Aplikasi ini menampilkan beberapa hasil simulasi berupa produksi energi tahunan, kumpulan data cuaca, rasio kinerja dan parameter sistem [13].

2.6 Kajian Investasi

2.6.1 Benefit-Cost Ratio (B-CR)

Merupakan istilah yang digunakan dalam dunia bisnis yang berkaitan dengan perhitungan keuntungan. B-CR juga dapat digunakan sebagai metode untuk menentukan apakah proyek tersebut layak dilakukan atau tidak. Perhitungan ini dapat mengetahui apakah suatu perusahaan menguntungkan atau sebaliknya merugi. Berikut merupakan cara untuk mencari nilai B-CR [8].

$$B - CR = \frac{B}{c} = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} \quad (8)$$

Keterangan :

$B - CR$: Benefit-Cost Ratio

B : Benefit (keuntungan)

c : Cost (pengeluaran)

2.6.2 Net Present Value (NVP)

Sebuah proyek dikatakan layak ketika nilai dari Net Present Value (NVP) lebih besar dari nol (NVP > 0). Rumus yang digunakan untuk mencari nilai Net Present Value adalah sebagai berikut [8].

$$NPV = \sum_t^n = 1 \frac{NCFt}{(1+i)^t} - (II) \quad (9)$$

Keterangan :

NCFt : Aliran kas berhis

II : Investasi awal PLTS

i : Tingkat diskonto

n : Periode dalam tahun

2.6.3 Discounted Payback Period (DPP)

Metode penelitian ini digunakan untuk menilai suatu proyek dengan cara mengukur waktu yang diperlukan untuk menutupi investasi awal proyek dengan mempertimbangkan nilai arus kas yang dihasilkan sehingga nilai DPP dapat dijadikan salah satu kriteria dalam menentukan kelayakan investasi suatu proyek. Jika nilai *discounted payback period* kurang dari umur proyek maka investasi tersebut layak dilakukan.

2.6.4 Life Cycle Cost (LCC)

LCC merupakan metode penelitian untuk mencari nilai secara menyeluruh biaya yang diperlukan pada suatu sistem PLTS meliputi biaya investasi awal, biaya pengoprasian, biaya pemeliharaan, dan biaya pergantian komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai LCC adalah sebagai berikut.

$$LCC = C + MPW + RPW$$

Keterangan :

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*)

C = Biaya Investasi Awal

MPW = Total nilai biaya pemeliharaan dan operasional sepanjang umur proyek.

RPW = Biaya pergantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Gedung Parkir Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai, yang bertempat di Kelurahan Tuban, Kecamatan Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Pelaksanaan dilakukan dari bulan Januari sampai bulan Maret 2023. *Flowchart* pada Gambar 1

menggambarkan alur penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 1. *Flowchart* Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai

Bandara I Gusti Ngurah Rai merupakan Bandara satu – satunya yang ada di Pulau Bali. Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai terletak di wilayah Bali Selatan, bertepatan dikelurahan Tuban, kecamatan Kuta, Kabupaten Badung, Bali.



Gambar 2. Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai

4.2 Konsumsi Energi Listrik Gedung Bandara I Gusti Ngurah Rai

Perseroan terbatas PLN menyalurkan listrik kepada Bandara I Gusti Ngurah Rai dengan daya sebesar diatas 200kVa. Konsumsi energi di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai didapat dari DPP Airport tahun 2022 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Konsumsi Energi Listrik Bandara I Gusti Ngurah Rai

Bulan	Konsumsi Energi (kWh)	Pembayaran (Rp)
Januari	1.571.840	1.780.381.527
Februari	1.545.120	1.739.944.675
Maret	1.342.400	1.505.526.946
April	1.624.480	1.840.373.904
Mei	1.720.960	1.955.138.328
Juni	2.100.800	2.391.740.314
Juli	1.988.960	2.265.458.016
Agustus	2.104.960	2.397.954.993
September	2.174.400	2.474.022.676
Oktober	2.179.040	2.481.480.293
November	2.295.200	2.617.540.354
Desemeber	2.415.680	2.755.091.938
Total	23.063.840	26.204.653.964

Sumber : DPP Airport

4.3 Iradiasi Matahari

Nilai penyinaran matahari digunakan untuk menghitung jumlah radiasi matahari yang diterima oleh area tertentu.. Tabel 2 berikut merupakan data nilai iradiasi yang diakses melalui aplikasi PVSyst .

Tabel 2. Iradiasi Matahari di Gedung Parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai

Bulan	Iradiasi Matahari (kWh/m ² /bulan)
Januari	174,8
Februari	160,9
Maret	183,9
April	181,2
Mei	162,4
Juni	147,2
Juli	158
Agustus	175
Semtember	186
Oktober	216,5
November	202,3
Desember	201,5

Sumber : PVSyst

4.4 Analisa Pemasangan Modul Surya

4.4.1 Sudut Kemiringan Pnael Surya

Untuk menentukan sudut kemiringan optimum pada panel surya (β), maka harus menentukan nilai ketinggian maksimal matahari (α) dulu dengan memakai rumus 1 berikut.

$$\begin{aligned} \alpha &= 90^\circ + lat - \sigma \\ &= 90^\circ + 8,40^\circ - 23,45^\circ \\ &= 74,94^\circ \end{aligned}$$

Jika sudah mendapatkan nilai α , maka selanjutnya akan mencari besar nilai dari sudut optimum kemiringan suatu panel surya (β) dengan memakai rumus 2.

$$\begin{aligned} \beta &= 90^\circ - \alpha \\ &= 90^\circ - 74,94^\circ \\ &= 15,06^\circ \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa sudut optimal kemiringan modul surya yaitu sebesar 15,06° menghadap keutara [9].

4.4.2 Luas Atap

Jenis atap gedung parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai yaitu rooftop dengan ukuran panjang dan lebar atap masing – masing 65m dan 26m. Atap Gedung Parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai didapat dengan melakukan pengukuran melalui aplikasi Google Earth dengan gambar tahun 2023 yang disajikan pada Gambar 3



Gambar 3. Tampak Atas Gedung Parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai

Luas pada atap gedung parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai dapat dicari dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} L &= P \times L \quad (10) \\ &= 65m \times 26m \\ &= 1.690m^2 \end{aligned}$$

Untuk hasil dari perhitungan diatas, didapatkan luas gedung parkir Bandar

Udara I Gusti Ngurah Rai yaitu sebesar 1.690m².

4.4.3 Kapasitas PLTS

Perancangan PLTS atap gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai memakai sistem PLTS *On-Grid* tanpa baterai. Dikarenakan konsumsi energi listrik pada Bandara I Gusti Ngurah Rai sangat besar, maka perancangan PLTS akan memaksimalkan luas area gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai yang tersedia dengan luas yang terukur sebesar 1.690m².

4.4.3 Pemilihan Komponen PLTS

Penelitian pada Bandara I Gusti Ngurah Rai memakai modul surya monocrystalline merk LONGI LR5-72HPH-555M dengan kapasitas 555Wp karena memiliki nilai efisiensi tinggi, harga terjangkau dan tersedia di toko-toko area pulau Bali. Untuk inverter menggunakan jenis HUAWEI SUN2000-100KTL-M1 dengan kapasitas 100kW yang diimpor dari China.

4.4.4 Konfigurasi Inverter

Untuk mencari konfigurasi inverter dapat dilakukan dengan memakai rumus berikut.

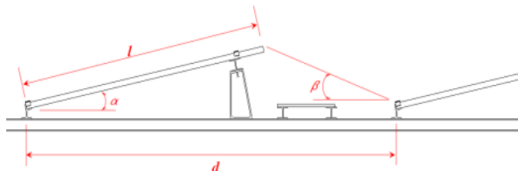
$$R. \text{ seri minimal} = \frac{200 \text{ V}}{49,95 \text{ V}} = 4,004 \sim 4$$

$$R. \text{ seri maksimal} = \frac{1100 \text{ V}}{42,1 \text{ V}} = 26,12 \sim 26$$

$$R. \text{ paralel maksimal} = \frac{260 \text{ V}}{13,19 \text{ A}} = 19,71 \sim 19$$

Dari persamaan diatas diketahui bahwa satu unit inverter HUAWEI SUN 2000-100KTL-M1 melayani sebanyak 4-26 unit yang dirangkai secara seri, dan paralel berjumlah 19 rangkaian.

4.4.5 Jarak Pembatas antar Modul Surya



Gambar 4. Jarak Pembatas Antar Modul Surya

Untuk mendesain struktur PLTS *rooftop* agar terhindar dari bayangan yang

bisa mengenai panel surya lainnya, maka harus memperhatikan jarak antara panel surya, berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mencari jarak optimal antar panel surya.[12].

$$d = l \times \frac{\sin(180^\circ - \alpha - \beta)}{\sin(\beta)} \quad (11)$$

$$d = 2.278 \times \frac{\sin(180^\circ - 15,05^\circ - 67^\circ)}{\sin(67^\circ)}$$

$$d = 2.278 \times \frac{\sin(97,95^\circ)}{\sin(67^\circ)}$$

$$d = 2.278 \times \frac{0,99}{0,92}$$

$$d = 2.477 \text{ mm}$$

Dimana l : panjang modul PLTS 2.278 (mm), α : sudut kemiringan panel surya 15.05^o, β : besar sudut datang matahari (*shadow of angle*) di kota disekitar Denpasar yaitu 67^o pada bulan juli 2023, dengan ini didapat jarak antar panel 2.477 mm. Maka luas permukaan modul surya adalah jarak antar panel 2.477 mm dikali dengan lebar modul 1.134 mm adalah 2.8 m²

4.4.6 Jumlah Panel Surya

Pada penelitian ini, panel surya memiliki permukaan seluas 2,8m². Maka Jumlah panel surya yang dapat dipasang pada atap gedung parkir Bandar Udara Ngurah Rai dapat di hitung dengan persamaan berikut[1].

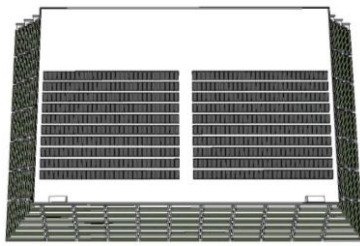
$$\begin{aligned} \text{Jml. modul} &= \frac{\text{Luas Atap}}{\text{Luas Permukaan Modul}} \quad (12) \\ &= \frac{1690 \text{ m}^2}{2,8 \text{ m}^2} \\ &= 600 \text{ unit} \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas jumlah panel yang bisa dipasang pada atap gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai yaitu sebanyak 600 unit dengan kapasitas sebesar 333 kWp. Inverter yang digunakan adalah HUAWEI SUN2000-100KTL-M1 dengan kapasitas sebesar 100kW sebanyak 4 unit dengan alasan untuk menghasilkan output yang optimal.

4.4.7 Tampilan Pemasangan PLTS

Tampilan untuk pemasangan panel surya merupakan hal yang cukup penting, dimana nantinya memudahkan pemasangan sistem PLTS. Pada penelitian ini, *Achicad* merupakan salah satu aplikasi

yang digunakan untuk membuat desain pemasangan PLTS yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Tapak Atas Pemasangan Panel Surya

4.5. Simulasi PVSyst

Seluruh data yang diperoleh dari pengukuran dan perhitungan akan disimulasikan dengan aplikasi PVSyst 7.3 sehingga memperoleh hasil produksi energi pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Produksi Energi

Bulan	Produksi (kWh)
Januari	44.540
Februari	43.251
Maret	51.170
April	53.202
Mei	50.248
Juni	46.670
Juli	50.030
Agustus	53.429
September	53.410
Oktober	58.048
November	51.464
Desember	50.366
Total	604.929

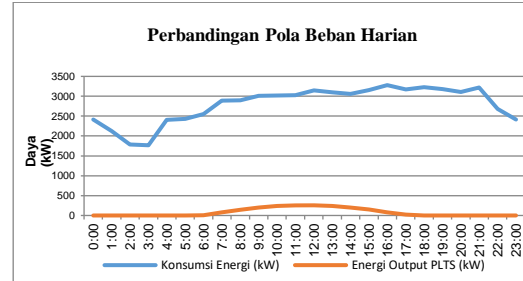
Tabel diatas merupakan produksi energi listrik yang dihasilkan dari 600 panel surya dalam waktu satu tahun.

4.6 Analisa Energi

4.6.1 Analisa Produksi Energi Dengan Konsumsi Energi Satu Hari

Analisa produksi dan konsumsi energi dilakukan di Bandara Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai untuk mengetahui seberapa besar pengaruh produksi sistem PLTS atap terhadap konsumsi energi secara keseluruhan. Data pemanfaatan energi yang digunakan dalam satu hari diperoleh melalui estimasi dari DPP Bandara I Gusti Ngurah Rai dan data radiasi matahari yang digunakan dalam desain pembangkit listrik tenaga surya adalah data radiasi matahari per jam dalam

satu hari yang diperoleh melalui aplikasi PVSyst. Jika dibandingkan antar beban harian Bandara I Gusti Ngurah Rai dengan keluaran energi dari sistem PLTS dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

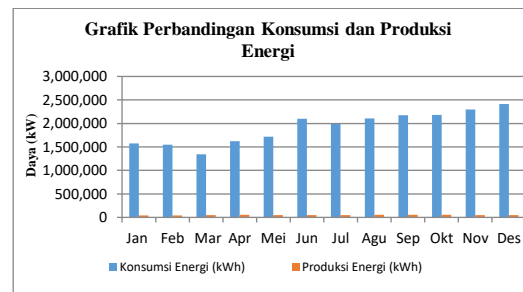


Gambar 6. Perbandingan Pola Beban Harian Dengan Daya PLTS

Dengan pola produksi harian PLTS atap Gedung Parkir Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai yang dilihat pada Gambar 6 maka sangat terlihat jelas bahwa nilai energi yang diproduksi oleh sistem PLTS masih sangat kecil jika dibandingkan dengan beban keseluruhan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai.

4.6.2 Analisa Produksi Energi Dengan Konsumsi Energi Satu Bulan

Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai didapat dari data DPP Bandara dan nilai produksi energi pada sistem PLTS atap diperoleh melalui simulasi yang dilakukan pada aplikasi PVSyst. Sama seperti pola beban sebelumnya, perbandingan antar produksi energi dengan konsumsi energi masih sangat jauh yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 4.



Gambar 7. Perbandingan Konsumsi Energi dengan Produksi Energi

Tabel 4. Perbandingan Konsumsi Energi dengan Produksi Energi Per-Bulan

Bulan	Konsumsi	Produksi	Presentase
-------	----------	----------	------------

(2022)	Energi (kWh)	Energi (kWh)	Produksi (%)
Januari	1.571.840	44.540	3.01
Februari	1.545.120	43.251	2.91
Maret	1.342.400	51.170	4.06
April	1.624.480	53.202	3.41
Mei	1.720.960	50.248	3.11
Juni	2.100.800	46.670	2.36
Juli	1.988.960	50.030	2.67
Agustus	2.104.960	53.429	2.7
September	2.174.400	53.410	2.61
Oktober	2.179.040	58.048	2.83
November	2.295.200	51.464	2.38
Desember	2.415.680	50.366	2.21
Total	23.063.840	604.929	2.79

Berdasarkan grafik dan tabel dapat diketahui bahwa produksi energi listrik PLTS atap pada gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai masih sangat kecil jika dibandingkan dengan energi listrik Bandara I Gusti Ngurah Rai. Hal ini disebabkan karena nilai produksi energi listrik yang dihitung PLTS atap pada satu gedung saja yakni gedung parkir Bandara Ngurah Rai.

4.7 Analisis Ekonomi PLTS Atap

4.7.1 Biaya Investasi Awal PLTS

Biaya Investasi merupakan jumlah total uang yang dianggarkan untuk mendirikan, atau membeli asset atau proyek dengan tujuan agar dapat memperoleh suatu manfaat atau hasil ekonomi di masa depan.

Pada perancangan sistem PLTS atap ini, informasi harga yang diperoleh dengan cara mencari informasi pada e-commerce yang tersedia. Modul surya LONGI LR5-72HPH-555M berjumlah 600 unit dengan total harga Rp.1.669.800.000. 4 unit inverter Huawei Sun2000-100KTL-ZHM3 dengan harga Rp. 181.200.000 berkapasitas 100 kW persatu inverter. Biaya sistem penyangga Rp.430.380.000, biaya pengkabelan Rp. 72.800.000, serta biaya proteksi, pemasangan dan pengiriman Rp.622.660.000, maka biaya investasi awal PLTS atap Gedung Parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai sebesar Rp. 3.004.620.000.

4.7.2 Biaya Operasional Pemeliharaan

Pada penelitian ini biaya pengoperasian dan pemeliharaan mencakup

biaya untuk pengerjaan pembersihan modul surya, biaya pemeriksaan serta pemeliharaan peralatan dan instalasi dari sistem PLTS. Biaya operasional dan pemeliharaan per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total investasi awal sistem PLTS [11]. Jika diasumsikan dengan umur PLTS selama 25 tahun dengan suku bunga Bank di Indonesia pertanggal 19 November 2023 sebesar 6 %, maka dapat dihitung biaya operasional dan pemeliharaan PLTS dengan menggunakan persamaan berikut.

$$O\&M_p = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (13)$$

$$O\&M_p = Rp. 30.046.200 \left[\frac{(1+0,06)^{25} - 1}{0,06(1+0,06)^{25}} \right]$$

$$= Rp 395.407.992$$

Dari perhitungan diatas, jumlah biaya yang dibutuhkan untuk operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 395.407.992

4.7.3 Life Cycle Cost (LCC)

Penetapan biaya siklus hidup (LCC) adalah metode yang efektif untuk menentukan total biaya kepemilikan peralatan konstruksi. LCC pada sistem PLTS mencakup dari investasi awal, biaya pengoperasian, dan biaya pemeliharaan serta biaya pergantian komponen. Jika jumlah biaya pengoperasian dan pemeliharaan pada sistem PLTS atap sebesar 1%, maka dalam satu tahun nilainya sebesar Rp. 30.046.200, dan biaya selama 5 tahun sebesar Rp 751.155.000, dan total pergantian inverter selama 25 tahun Rp. 37.188.713. sehingga diperoleh hasil perhitungan life cycle cost selama 25 tahun sebesar Rp.3.823.009.913

4.7.4 Penghematan Tagihan Listrik

Diketahui bahwa produksi listrik PLTS atap jauh lebih kecil dari konsumsi energi listrik yang diperlukan, sehingga masih memerlukan suplai listrik dari PLN maka tidak dapat melakukan penjualan listrik produksi PLTS. Kurangnya produksi listrik PLTS atap maka penghematan tagihan listrik sebesar jumlah produksi PLTS dikalikan dengan harga jual listrik PLN. Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah

Rai merupakan Golongan B-3/ Tegangan Menengah (TM) daya di atas 200 kVA, dengan harga listrik Rp 1.114,74 per kWh. Sehingga penghematan energi listrik seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Penghematan Tagihan Listrik

Bulan (2022)	Harga /kWh (Rp)	Produksi Energi (kWh)	Penghematan (Rp)
Januari	1.114,74	44.540	49.650.520
Februari	1.114,74	43.251	48.213.620
Maret	1.114,74	51.170	57.041.246
April	1.114,74	53.202	59.306.397
Mei	1.114,74	50.248	56.013.456
Juni	1.114,74	46.670	52.024.916
Juli	1.114,74	50.030	55.770.442
Agustus	1.114,74	53.429	59.559.443
September	1.114,74	53.410	59.538.263
Oktober	1.114,74	58.048	64.708.428
November	1.114,74	51.464	57.368.979
Desember	1.114,74	50.366	56.144.995
Total		604.929	675.340.705

Penghematan tagihan listrik dari PLTS atap gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai yang didapat dari tabel diatas sebesar Rp. 675.340.705 per-tahun.

4.8 Analisa Kelayakan Investasi

Unutuk merealisasikan investasi PLTS atap Badara I Gusti Ngurah Rai menggunakan beberapa metode penelitian yaitu metode perhitungan B-CR, NVP dan DPP. Dalam menghitung dengan metode diatas, memerlukan nilai NCF, faktor diskonto, dan PVNCF yang bisa dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perhitungan PVNCF PLTS atap Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai

Tahun	Arus Kas Bersih (NCF) (Rp)	Inverter	DF	PVNCF (Rp)	Kumulatif PVNCF (Rp)
1.	606.576.835		0,94	606.576.835	606.576.835
2.	606.576.835		0,88	567.859.164	1.174.435.999
3.	606.576.835		0,83	535.594.439	1.710.030.438
4.	606.576.835		0,79	509.782.659	2.219.813.097
5.	606.576.835		0,74	477.517.934	2.697.331.031
6.	606.576.835		0,7	451.706.154	3.149.037.184
7.	606.576.835		0,66	425.894.373	3.574.931.558
8.	606.576.835		0,62	400.082.593	3.975.014.151
9.	606.576.835		0,59	380.723.758	4.355.737.909
10.	606.576.835		0,55	354.911.978	4.710.649.887
11.	606.576.835	23.863.474	0,52	311.689.669	5.022.339.555
12.	606.576.835		0,49	316.194.307	5.338.533.863
13.	606.576.835		0,46	296.835.472	5.635.369.335
14.	606.576.835		0,44	283.929.582	5.919.298.917
15.	606.576.835		0,41	264.570.747	6.183.869.664
16.	606.576.835		0,39	251.664.857	6.435.534.521
17.	606.576.835		0,37	238.758.967	6.674.293.488
18.	606.576.835		0,35	225.853.077	6.900.146.565
19.	606.576.835		0,33	212.947.187	7.113.093.751
20.	606.576.835		0,31	200.041.297	7.313.135.048
21.	606.576.835	13.325.239	0,29	173.810.167	7.486.945.215
22.	606.576.835		0,27	174.229.516	7.661.174.732
23.	606.576.835		0,26	167.776.571	7.828.951.303
24.	606.576.835		0,24	154.870.681	7.983.821.984
25.	606.576.835		0,23	148.417.736	8.132.239.720

Berdasarkan Tabel 6 hasil perhitungan nilai Present Value Net Cash Flow (PVNCF) dapat dilihat bahwa nilai PVNCF setiap tahun semakin menurun dengan nilai Rp.148,417736 pada tahun ke-25, sedangkan untuk nilai kumulatif PVNCF

selama 25 tahun Rp. 8.132.239.720. B-CR adalah nilai perbandingan antara aspek keuntungan yang bisa diperoleh dengan investasi (investment). Pada penelitian ini aspek keuntungan (benefit) didapat dari nilai PVNCF selama 25 tahun. Perhitungan benefit-cost ratio dapat dihitung dengan persamaan 8 sebagai berikut.

$$B - CR = \frac{Rp8.132.239.720}{Rp3.004.620.000} = 2,7$$

Dari hasil perhitungan diatas, nilai B-CR pada perancangan sistem PLTS atap pada Gedung Parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai sebesar 2,7 (B-CR>1), sehingga perancangan PLTS gedung parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai layak untuk dilaksanakan. Ketika nilai NPV lebih besar dari nol (NPV>0) maka sebuah perancangan sistem PLTS dikatakan layak untuk dilakukan. Rumus 9 digunakan untuk menghitung nilai NVP sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - (II) = Rp. 8.132.239.720 - 3.004.620.000 = Rp. 5.127.761.720$$

Nilai NVP pada perancangan sistem PLTS atap gedung parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai yang diperoleh dari perhitungan diatas yaitu sebesar Rp 5.127.761.720 (NVP lebih besar dari 0), sehingga perancangan PLTS layak untuk dikerjakan. Berdasarkan nilai kumulatif PVNCF pada tabel kumulatif PVNCF tahun ke-6 sebesar Rp. 3.149.037.184 yang mana sudah melewati dari nilai DPP.

5. KESIMPULAN

Terdapat dua kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini.

1. Dengan jumlah panel surya sebanyak 600 unit, besar kapasistas yang mampu dibangkitkan sistem PLTS pada Atap Gedung Parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai sebesar 333 kWp dan energi output sistem PLTS sebesar 604.292 kWh/tahun
2. Biaya investasi awal pada sistem PLTS atap Gedung Parkir Bandara I Gusti Ngurah Rai sejumlah Rp. 3.004.620.000, penghematan biaya

listrik yang diperoleh dalam waktu satu tahun sebesar 675.340.705. Analisa kelayakan Investasi berdasarkan metode B-CR diperoleh nilai sebesar 2,7. Hasil dari Analisa *net present value* yaitu sebesar Rp. 5.127.761.720 dengan membutuhkan waktu balik modal selama 6 tahun dengan metode *discounted payback period*. Maka dapat disimpulkan bahwa perencanaan PLTS atap Gedung parkir Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai layak untuk dikerjakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tampubolon, A.P., Adiatma, J.C. 2019. Laporan Status Energi Bersih Indonesia (Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019). Jakarta : Institute for Essential Services Reform.
- [2] Merta, K.H., Kumara, I.N.S., Ariastina, W.G. 2019. Rancangan Penempatan Modul Surya dan Simulasi PLTS Fotovoltaik Atap Gedung RSPTN Rumah Sakit Universitas Udayana. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro. Vol. 18 : 329-336
- [3] Kristiawan, H., Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D. 2019. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah Di Kota Denpasar. Jurnal SPEKTRUM. Vol 06 : 66-70.
- [4] Kencana, B., Prasetyo, B., Berchmans, H., Agustina, I., Myrasandri, P., Bona, R., Panjaitan, R.R., Winne. 2018. Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat. Jakarta Selatan : United States Agency For International Development (USAID).
- [5] Sihotang, S.R. 2020. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Sistem On Grid Pada Gedung Kantor Kecamatan Tapian Dolok Sinaksak" (Skripsi). Jakarta, Institut Teknologi – PLN.
- [6] Hariyati, R., Qosim, M.N., Hasanah, A.W., 2019. Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN. Jurnal Ilmiah. Vol. 11 : 17-26.
- [7] Roza, E., Mujirudin, M. 2019. Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA. Ejournal Kajian Teknik Elektro. Vol. 04 : 16-20.
- [8] Pangaribuan, B.M., Giriantari, I.A.D., Sukerayasa, I.W. 2020. Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana : Gedung Rektorat. Jurnal SPEKTRUM. Vol. 7 : 90-100.
- [9] George, A., R. Anto. 2012. Analytical and experimental analysis of optimal tilt angle of solar photovoltaic systems. International Conference on Green Technologies (ICGT). pp. 234-239.
- [10] Pradika, G. 2020. "Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar Sebagai PTS Rooftop " (Skripsi). Bali, Universitas Udayana
- [11] Giriantari, I.A.D., Kumara, I.N.S., Santiari D.A. 2014. mEconomic Cost Study of Photovoltaic Solar System for Hotel in Nusa Lembongan. International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS).
- [12] Sun-Hee kim, Seung-Cheol Baek et.al 2020 Design and Installation of 500-kW Floating,(akses 20 April 2023) https://www.researchgate.net/publication/345412932_Design_and_Installation_of_500kW_Floating_Photovoltaic_Structures_Usig_High_Durability_Steel
- [13] Pvsyst.<https://www.pvsyst.com/>
- [14] Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. 2020.