

DESAIN PLTS OFF-GRID BERDASARKAN ANALISIS OTONOMI BATERAI LEAD ACID OPZV DI ADIDAYA WORKSHOP, JAKARTA BARAT

Jonathan Oliver Ken¹, I Nyoman Setiawan², I Wayan Sukerayasa²

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

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Bukit Jimbaran, Bali

Email: jonathanoliverk@gmail.com¹

ABSTRAK

Perancangan PLTS *Off-Grid* pada Adidaya Workshop sebagai pemasok energi listrik tambahan ini didasari dengan kebutuhan beban yang digunakan untuk peralatan dan operasional pada workshop tersebut. Selain permintaan dari perusahaan sendiri, perancangan PLTS *Off-Grid* ini dilakukan untuk memasok energi listrik pada essential load dan tujuan edukasi lainnya. Perancangan PLTS *Off-Grid* dilakukan dengan langkah awal observasi lapangan di Adidaya Workshop, mengukur luasan atap, profil beban kelistrikan harian dengan alat ukur *Power Quality Analyzer*, dan menghitung kebutuhan kapasitas sistem PLTS *Off-Grid* sesuai beban Adidaya Workshop. Perancangan PLTS *Off-Grid* ini dilakukan dengan 4 skenario berdasarkan variasi panel surya dan baterai. Peneliti menghitung kapasitas sistem PLTS dan menggunakan software PVSyst sebagai simulasi perancangan sehingga didapatkan laporan berdasarkan data lapangan. Pada hasil simulasi dengan PVSyst, diperoleh *performance ratio* terbaik yaitu senilai 68,3% diperoleh dari skenario 3 dengan variasi panel surya 600 Wp dan baterai 540 Ah dan keluaran energi *yield* terbesar diperoleh dari skenario 4.

Kata kunci: PLTS, *Off-Grid*, PVSyst, *Performance ratio*, *Energy Yield*

ABSTRACT

The design of *Off-Grid* PV at Adidaya Workshop as an additional electrical energy supplier is based on the load requirements used for equipment and operations at the workshop. In addition to requests from the company itself, the design of *Off-Grid* PV is carried out to supply electrical energy to essential loads and other educational purposes. The *Off-Grid* PV design was carried out with the first step of field observations at Adidaya Workshop, measuring the roof area, daily electricity load profile with a *Power Quality Analyzer* measuring instrument, and calculating the capacity requirements of the *Off-Grid* PV system according to the Adidaya Workshop load. The *Off-Grid* PV design was carried out with 4 scenarios based on variations in solar panels and batteries. Researchers calculated the capacity of the PV system and used PVSyst software as a design simulation so that a report was obtained based on field data. In the simulation results with PVSyst, the best performance ratio is obtained which is worth 68.3% obtained from scenario 3 with a variation of 600 Wp solar panels and 540 Ah batteries and the largest yield energy output is obtained from scenario 4.

Key Words: *PV*, *Off-Grid*, *PVSyst*, *Performance ratio*, *Energy Yield*

1. PENDAHULUAN

Sebuah industri memiliki beberapa peralatan yang mengkonsumsi energi listrik secara kontinyu. *Storage server* yang terdapat di Perusahaan Adidaya Workshop, Jakarta Barat adalah salah satu peralatan yang harus menyala selama 24 jam penuh tanpa henti. *Storage server* tersebut merupakan kategori *essential load* atau beban prioritas yang akan mengganggu

aktivitas di Adidaya Workshop apabila terjadi pemutusan atau gangguan aliran listrik.

Pembangkitan tenaga listrik di Indonesias masih didominasi oleh pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil hingga saat ini. Ketersediaan bahan bakar fosil kini kian menipis dan dunia memulai transisi energi. Energi listrik yang bersumber dari bahan bakar fosil juga mulai

ditinggalkan akibat emisi berdampak buruk yang dihasilkannya.

Berdasarkan letak geografisnya Indonesia berada tepat pada garis khatulistiwa yang memungkinkan negara ini disinari iradiasi matahari sepanjang tahun tanpa henti. Pembangkit listrik dengan sumber EBT yang paling potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [1].

Untuk mengakselerasi transisi Indonesia menuju *Net Zero Emission* pada tahun 2060, maka dengan penelitian ini dirancang PLTS *Off-Grid* yang mampu dijadikan pemasok energi baru pada Adidaya *Workshop* dan dijadikan acuan untuk pengembangan PLTS di Adidaya *Workshop*. Dalam menerapkan rencana ini, pemerintah DKI Jakarta memiliki target kapasitas PLTS sebesar 13,8 MW, meskipun saat ini sudah memenuhi sebanyak 73% dari target kapasitas RUEN [2].

Penelitian ini akan dilakukan dengan 4 (empat) skenario berdasarkan variasi kapasitas panel surya dan baterai. Parameter yang digunakan adalah *performance ratio*, *energy used*, dan produksi energi tahunan

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Fundamental Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya mengubah iradiasi matahari melalui foton sinar matahari menjadi energi listrik. Sistem PLTS merupakan pembangkit listrik yang energinya bersumber dari iradiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem PLTS menggunakan prinsip kerja photoelektrik, yaitu energi foton yang berasal dari iradiasi matahari menyinggung ikatan antar atom pada semikonduktor sehingga ikatan proton-elektron terlepas.

Pada sistem PLTS *Off-grid*, inverter baterai akan bertindak sebagai pemberi referensi tegangan (*voltage source*). Energi yang dihasilkan oleh solar panel akan disimpan di dalam baterai ketika energi yang dibangkitkan solar panel lebih tinggi dari pada beban selama *State of Charge* (SoC) baterai belum mencapai maksimum. SoC menunjukkan tingkat energi yang tersimpan di dalam baterai. SoC maksimum menunjukkan bahwa baterai sudah terisi penuh, dan SoC minimum menunjukkan bahwa baterai sudah tidak bisa lagi

menyuplai energi atau butuh pengisian daya kembali [3].

Namun jika baterai sudah terisi penuh, baterai akan berada pada mode floating sehingga baterai bisa tetap menjadi referensi tegangan dan daya keluaran PLTS harus dikurangi hingga mencapai nilai yang dibutuhkan beban (*curtailing*). Ketika daya PLTS lebih kecil dibandingkan permintaan beban (waktu sore, malam, atau kondisi berawan), baterai akan menyuplai daya ke beban selama SoC baterai masih lebih tinggi dibanding SoC minimum yang ditentukan.

Parameter kinerja PLTS yang umum adalah *Performance ratio* (PR), yaitu rasio energi yang diproduksi secara efektif, sehubungan dengan energi yang akan dihasilkan jika sistem terus bekerja pada efisiensi STC nominalnya. Parameter lainnya adalah *solar fraction* yang merupakan perbandingan dari jumlah energi yang diproduksi panel surya dengan total energi yang dibutuhkan (E_{User}/E_{Load}).

2.2 Konfigurasi Komponen PLTS Off-Grid

2.2.1 Konfigurasi Panel Surya

Produksi daya yang dihasilkan oleh sebuah modul PV sangat dipengaruhi oleh kondisi sekitarnya. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi produksi daya sebuah modul PV yaitu luasan lahan, temperatur, dan efisiensi modul.

1) Menghitung *Temperature Correction Factor*

Sebuah modul PV membutuhkan temperatur sebesar 25°C saat STC (*Standar Test Condition*). Kenaikan suhu dari STC akan memengaruhi keluaran daya dari PV itu sendiri, untuk menghitung daya keluaran yang dihasilkan oleh sebuah modul PV akibat kenaikan temperatur, dapat diperoleh dari persamaan berikut [4]:

$$P_{MPP \text{ saat naik } T^{\circ}C} = P_{MPP} - (T_{coeff \text{ of } P_{max}} \times P_{MPP} \times \Delta T) [watt] \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

$P_{MPP \text{ saat naik } T^{\circ}C}$ = Daya maksimum yang mampu dihasilkan PV saat mengalami kenaikan temperatur sejumlah T°C (*Watt peak*)

P_{MPP} = Daya maksimum keluaran PV (*Watt peak*)

$T_{\text{coeff of } P_{\text{max}}}$ = Koefisien Temperatur terhadap daya maksimum PV (%/°C)
 ΔT = Perubahan temperatur (°C)

Setelah nilai P_{MPP} saat naik $T^{\circ}\text{C}$ diperoleh dari persamaan di atas, untuk mengetahui faktor koreksi temperatur atau *Temperature Correction Factor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$TCF = \frac{P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{MPP}}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

TCF = *Temperature Correction Factor*

2) Menghitung Area Panel Surya

Konfigurasi modul panel surya dalam suatu sistem PLTS membutuhkan lahan yang memadai yang cukup untuk diinstalasi PV. Semakin luas area yang tersedia maka daya yang mampu dibangkitkan oleh PLTS juga akan semakin besar [4].

$$PV_{\text{area}} = \frac{E_L}{G_{\text{av}} \times TCF \times \eta_{\text{PV}} \times \eta_{\text{Out}}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

PV_{area} = Luas permukaan Panel Surya (m^2)

E_L = Pemakaian energi harian (kWh/hari)

G_{av} = Radiasi matahari rata-rata harian (kWh/ m^2 /hari)

η_{PV} = Efisiensi modul PV (%)

η_{out} = Efisiensi sistem PLTS (%)

3) Menghitung Kapasitas Panel Surya

Besarnya daya yang mampu dibangkitkan oleh PLTS dapat dihitung dengan persamaan [4]:

$$P_{\text{peak}} = PV_{\text{area}} \times PSI \times \eta_{\text{PV}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

P_{peak} = Daya puncak keseluruhan PV (*Wattpeak*)

PSI = *Peak Sun Insulation* (1000 W/ m^2)

4) Menghitung Jumlah Panel Surya

Jumlah kebutuhan panel surya dapat dihitung sebagai berikut [4]:

$$\text{Jumlah PV Module} = \frac{P_{\text{peak}}}{P_{\text{MPP}}} \dots\dots\dots(5)$$

2.2.2 Menghitung Kapasitas Solar Charge Controller

Perhitungan *Solar Charge Controller* (SCC) dapat ditentukan dengan rumus berikut [4]:

$$\text{Capacity}_{\text{SCC}} = \frac{(P_{\text{PV}} \times \text{Safety Factor})}{V_{\text{string PV}}} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

$\text{Capacity}_{\text{SCC}}$ = Kapasitas SCC (Watt)

P_{demand} = Daya yang dibutuhkan pada pembebanan (Watt)

Safety factor = Toleransi faktor keamanan (1,25)

$V_{\text{string PV}}$ = Maximum Power Voltage PV (Volt)

2.2.3 Menghitung Kapasitas Baterai

Baterai digunakan untuk memenuhi beban kelistrikan harian pada Adidaya Workshop. Umumnya, kapasitas baterai pada sistem PLTS harus sebesar dua kali lipat dari kebutuhan energi yang dibutuhkan. Perhitungan hari otonomi ini dilakukan agar kebutuhan energi listrik dapat dipenuhi walaupun energi yang dibangkitkan dari PLTS tidak mencukupi kebutuhan listrik dalam satu hari. Nilai kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk konsumsi energi harian dapat diperhitungkan dengan rumus berikut [4]:

$$C = \frac{N \times E_d}{V_s \times \text{DoD} \times \eta} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

C = Kapasitas baterai (Amperehour)

N = Jumlah otonomi hari (hari)

E_d = Konsumsi energi harian (kWh)

V_s = Tegangan baterai (Volt)

DoD = Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (%)

η = Efisiensi inverter (%)

2.2.4 Menghitung Kapasitas Inverter

Inverter yang berfungsi untuk mengubah arus searah menjadi bolak balik harus ditentukan kapasitas sesuai dengan kebutuhan listrik. Kapasitas inverter ditentukan dengan rumus berikut [5]:

$$P_{\text{inverter}} = P_{\text{demand}} \times \text{Safety Factor} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

P_{inverter} = Kapasitas inverter (Watt)

P_{demand} = Daya yang dibutuhkan pada pembebanan (Watt)

Safety factor = Toleransi faktor keamanan (1,25)

2.3 Simulasi PVSyst

Perancangan dilakukan dengan melakukan perhitungan manual untuk menentukan kapasitas komponen PLTS Off-Grid, melakukan simulasi pada hasil output sistem dengan software PVSyst 7.1. Software PVSyst juga digunakan untuk mendapatkan data proyeksi iradiasi matahari secara tipikal setiap bulannya yang akan mempengaruhi hasil produksi energi PLTS.

PVSyst merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk melakukan operasi simulasi perencanaan sistem PLTS baik On-grid, Off-grid, maupun sistem pompa (*pumping*). Perangkat lunak ini umumnya digunakan sebagai proses pembelajaran, pengukuran, analisis, dan perencanaan data PLTS.

Perangkat lunak PVSyst dilengkapi dengan database dari beragam sumber data meteorologi dan komponen PLTS yang luas seperti modul panel surya, inverter, dan baterai. Beberapa contoh sumber database meteorologi yang tersedia untuk digunakan pada PVSyst yaitu MeteoNorm V8.0, NASA-SSE (1983-2005), PVGIS, Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan SolarAnywhere, EPW, RetScreen, Helioclim dan Solar GIS.

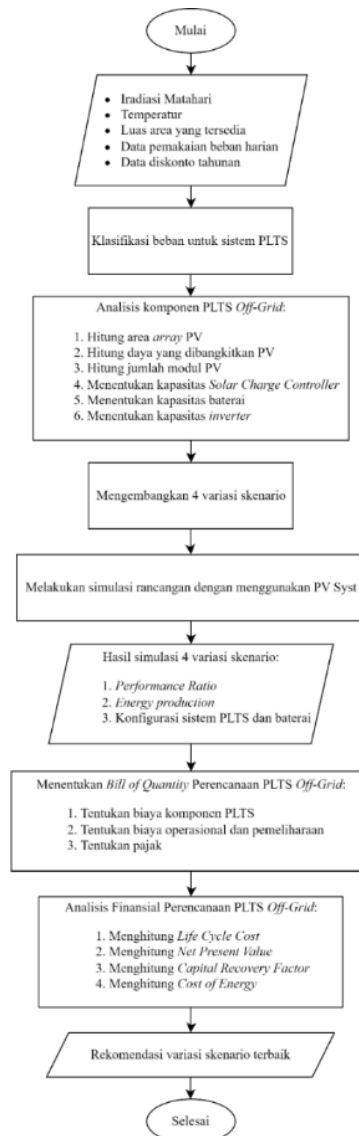
Untuk dapat melakukan perencanaan sistem PLTS, digunakan fitur desain proyek (*project design*) pada PVSyst. Pada fitur ini akan menjalankan simulasi dengan cara membuat desain dari sistem PLTS terlebih dahulu sesuai konfigurasi yang diinginkan. Langkah dalam membuat project design adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan proyek dengan cara menentukan jenis sistem PLTS yang akan direncanakan. Selanjutnya digunakan dengan mendefinisikan data proyek seperti nama proyek, lokasi, dan data meteorologi.
2. Menetapkan variasi sistem seperti data orientasi modul panel surya, jenis penyangga panel surya, kemiringan, dan menentukan parameter lainnya yang mempengaruhi proyek.

3. Menjalankan simulasi untuk mendapatkan hasil simulasi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis secara teknis penting dilakukan untuk memperoleh kajian dari hasil perancangan PLTS. Berikut adalah diagram alir penelitian PLTS Off-Grid di Adidaya Workshop:



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan PLTS Off-Grid di Adidaya Workshop

Berdasarkan Gambar 1, penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa tahapan penelitian sebagai berikut:

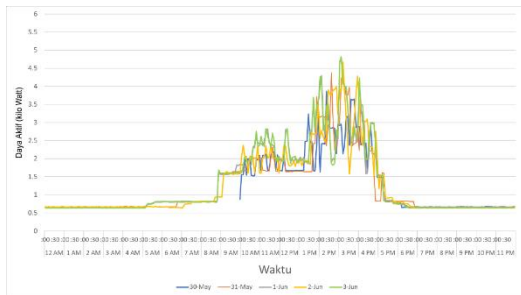
1. Melakukan observasi lapangan di Adidaya Workshop, Jakarta Barat.

2. Pengumpulan data berupa luasan atap dan profil beban harian.
3. Pengukuran profil beban harian menggunakan Power Quality Analyzer.
4. Melakukan kajian teknis dengan menganalisis profil beban, menentukan komponen yang akan digunakan dalam sistem PLTS dan merancang sistem PLTS.
5. Menghitung area PV yang diperlukan sesuai dengan kapasitas dan total unit PV yang digunakan.
6. Menghitung kapasitas Solar Charge Controller berdasarkan kebutuhan listrik.
7. Menghitung kapasitas baterai berdasarkan otonomi dan *Depth of Discharge* sistem baterai.
8. Menghitung kapasitas inverter yang dibutuhkan oleh sistem PLTS.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Profil Beban Kelistrikan Adidaya Workshop

Peneliti melakukan pengukuran jumlah beban dilakukan selama 5 hari menggunakan Power Quality Analyzer yang



ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Akumulasi Beban Kelistrikan pada Adidaya Workshop Selama 5 Hari

Gambar 2 di atas merupakan tampilan data yang telah direkam dengan Power Quality Analyzer Lutron DW-6092 dan divisualisasikan dengan grafik waktu interval setiap 5 menit.

Setelah peneliti mendapatkan data beban kelistrikan dari hasil pengukuran, langkah selanjutnya adalah menghitung daya seluruh beban sesuai *nameplate* berdasarkan jam operasional maksimum dan membagi beban untuk disupply dari

PLN atau PLTS Off-grid seperti pada Tabel 1. Perhitungan beban ini dilakukan agar dihasilkan perancangan dengan tingkat kapasitas beban yang maksimal.

Tabel 1. Perhitungan Profil Beban pada Adidaya Workshop

| Beban | Daya (Watt) | Jumlah (Unit) | Lama Penggunaan (Jam) | Total Energi (Wh) |
|---------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| Lampu Dalam | 40 | 6 | 12 | 2.880 |
| Lampu Luar Depan | 15 | 5 | 12 | 900 |
| Storage Server | 500 | 1 | 24 | 12.000 |
| CCTV | 10 | 4 | 24 | 960 |
| DVR CCTV | 24 | 1 | 24 | 576 |
| Personal Computer | 120 | 2 | 8 | 1.920 |
| Kulkas | 70 | 1 | 24 | 1.680 |
| Air Conditioner | 680 | 1 | 8 | 5.440 |
| Alat Kompresor | 750 | 1 | 2 | 1.500 |
| Mesin Las | 900 | 1 | 4 | 3.600 |
| Alat Potong | 580 | 2 | 2 | 2.320 |
| Hydraulic Tools | 550 | 1 | 3 | 1.650 |
| Lain-lain* | 150 | 1 | 8 | 1.200 |
| Total Energi | | | | 36.626 |

4.2 Data Iradiasi Matahari dan Temperatur di Jakarta Barat

Data iradiasi matahari dan temperatur di Kecamatan Jakarta Barat diperoleh dari *Meteonorm 8.0 (Software PVSyst)* berdasarkan akumulasi tahun 2010-2014 diperoleh bahwa iradiasi matahari dan temperatur rata-rata di Kecamatan Jakarta Barat adalah 4,83 kWh/m²/hari dan 26,6 °C dengan rincian iradiasi dan temperatur setiap bulan tercantum pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Iradiasi Matahari dan Temperatur di Kecamatan Jakarta Barat

| Bulan | Iradiasi (kWh/m ² /hari) | Temperatur (°C) |
|-----------|-------------------------------------|-----------------|
| Januari | 4,14 | 26,2 |
| Februari | 4,99 | 26,2 |
| Maret | 4,73 | 26,7 |
| April | 4,90 | 26,6 |
| Mei | 4,60 | 27,1 |
| Juni | 4,67 | 26,3 |
| Juli | 4,87 | 26,3 |
| Agustus | 5,09 | 26,6 |
| September | 5,31 | 26,5 |
| Oktober | 5,50 | 27,2 |

| | | |
|-----------|------|------|
| November | 4,75 | 26,5 |
| Desember | 4,32 | 26,6 |
| Maksimum | 5,50 | 27,2 |
| Minimum | 4,14 | 26,2 |
| Rata-rata | 4,83 | 26,6 |

4.3 Perhitungan Komponen PLTS Off-Grid

4.3.1 Variasi 1: Kapasitas Panel Surya 300 Wp

1) Menghitung *Temperature Correction Factor*

Berdasarkan *datasheet* panel surya Trina Solar 300 Wp, setiap kenaikan temperatur 1°C dari temperatur STC (25°C) pada panel surya, maka akan mengurangi daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 0,39%. Data temperatur maksimum untuk wilayah Kecamatan Jakarta Barat pada tabel 4.3 mencapai 27,2°C. Hal ini memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan 2,2°C dari suhu standar (25°C) yang diperlukan oleh panel surya.

Besarnya daya yang berkurang ketika temperatur pada panel surya mengalami kenaikan sebesar 2,2°C dari temperatur STC dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{saat naik } T^{\circ}\text{C}} &= T_{\text{coeff of } P_{\text{max}}} \times P_{\text{MPP}} \times \Delta T \\
 &= 0,39\% \times 300 \text{ Wp} \times 2,2^{\circ}\text{C} \\
 &= P_{\text{saat naik } T^{\circ}\text{C}} = 2,57 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga, daya keluaran maksimum ketika temperatur panel surya berada dalam kondisi tertinggi menjadi 27,2°C, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}} &= P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat naik } T^{\circ}\text{C}} \\
 &= 300 \text{ W} - 2,57 \text{ W} \\
 &= 297,43 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Maka nilai TCF (*Temperature Correction Factor*) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 TCF &= \frac{P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{MPP}}} \\
 &= \frac{297,4 \text{ W}}{300 \text{ W}} \\
 &= 0,99
 \end{aligned}$$

2) Menghitung Area Panel Surya

Langkah berikutnya adalah menentukan luas area panel surya variasi 1 yang akan digunakan dalam perancangan ini, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_L &= 27,556 \text{ kWh/hari} \\
 G_{\text{av}} &= 4,14 \text{ kWh/m}^2 / \text{hari}
 \end{aligned}$$

$$TCF = 0,99$$

$$\eta_{PV} = 18,2\% = 0,182$$

$$\eta_{\text{Out}} = 0,95$$

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{\text{av}} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{\text{Out}}}$$

$$PV \text{ Area} = \frac{27,556 \text{ kWh/hari}}{4,14 \frac{\text{m}^2}{\text{hari}} \times 0,99 \times 0,182 \times 0,95}$$

$$PV \text{ Area} = 38,89 \text{ m}^2$$

3) Menghitung Kapasitas Panel Surya

Daya puncak yang dapat dibangkitkan oleh sistem PLTS variasi 1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Peak}} &= PV \text{ Area} \times PSI \times \eta_{PV} \\
 &= 38,89 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,182 \\
 &= 7.077,98 \text{ Wattpeak}
 \end{aligned}$$

4) Menghitung Jumlah Panel Surya

Jumlah kebutuhan panel surya variasi 1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah PV Module} &= \frac{P_{\text{peak}}}{P_{\text{MPP}}} \\
 &= \frac{7.077,98 \text{ W}}{300} \\
 &= 23,6 = 24 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

Sehingga, variasi 1 membutuhkan 24 panel surya berkapasitas 300 Wp untuk merancang PLTS berkapasitas 7.200 Wp.

5) Menghitung Kapasitas Solar Charge Controller

Jumlah panel surya yang digunakan sebanyak 24 buah dengan konfigurasi dua seri dan 12 paralel. Tegangan total pada rangkaian panel surya diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{string PV}} &= V_{\text{MP}} \times \text{Unit PV} \\
 &= 32,6 \text{ V} \times 2 \\
 &= 65,2 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Kapasitas SCC ditentukan berdasarkan string yang dirancang pada interkoneksi rangkaian panel surya. Perhitungan kapasitas SCC dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Capacity}_{\text{SCC}} &= \frac{P_{PV} \times \text{Safety Factor}}{V_{\text{string PV}}} \\
 &= \frac{7.200 \text{ W} \times 1,25}{65,2 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$= 138 A$$

Peneliti memilih *Solar Charge Controller* Σ -Ahr PWM Charge Controller yang memiliki arus input maksimum sebesar 3x50 Ampere.

$$= \frac{27,556 \text{ kWh/hari}}{4,14 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 0,99 \times 0,212 \times 0,95}$$

$$= 33,39 \text{ m}^2$$

4.3.2 Variasi 2: Kapasitas Panel Surya 600 Wp

1) Menghitung *Temperature Correction Factor*

Berdasarkan *datasheet* Panel Surya Trina Solar 600 Wp, setiap kenaikan temperatur 1°C dari temperatur STC (25°C) pada panel surya, maka akan mengurangi daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 0,34%.

Besarnya daya yang berkurang ketika temperatur pada panel surya mengalami kenaikan sebesar 2,2°C dari temperatur STC dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{\text{saat naik } T^{\circ}\text{C}} = T_{\text{coeff of } P_{\text{max}}} \times P_{\text{MPP}} \times \Delta T$$

$$= 0,34\% \times 600 \text{ Wp} \times 2,2^{\circ}\text{C}$$

$$= 4,49 \text{ W}$$

Sehingga, untuk daya keluaran maksimum ketika temperatur panel surya berada dalam nilai tertinggi menjadi 27,2°C, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat naik } T^{\circ}\text{C}}$$

$$= 600 \text{ W} - 4,49 \text{ W}$$

$$= 595,51 \text{ W}$$

Maka nilai TCF (*Temperature Correction Factor*) dihitung sebagai berikut:

$$TCF = \frac{P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{MPP}}}$$

$$= \frac{595,51 \text{ W}}{600 \text{ W}}$$

$$= 0,99$$

2) Menghitung Area Panel Surya

Langkah berikutnya adalah menentukan luas area panel surya variasi 2 yang akan digunakan dalam perancangan ini, sebagai berikut:

$$E_L = 27,556 \text{ kWh/hari}$$

$$G_{\text{av}} = 4,14 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2/\text{hari}}$$

$$TCF = 0,99$$

$$\eta_{\text{PV}} = 21,2\% = 0,212$$

$$\eta_{\text{Out}} = 0,95$$

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{\text{av}} \times TCF \times \eta_{\text{PV}} \times \eta_{\text{Out}}}$$

3) Menghitung Kapasitas Panel Surya

Daya puncak yang dapat dibangkitkan oleh sistem PLTS variasi 2 adalah sebagai berikut:

$$P_{\text{Peak}} = PV \text{ Area} \times PSI \times \eta_{\text{PV}}$$

$$= 33,39 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,212$$

$$= 7.078,68 \text{ Wattpeak}$$

4) Menghitung Jumlah Panel Surya

Jumlah kebutuhan panel surya variasi 2 dapat dihitung sebagai berikut:

$$Jumlah \text{ PV Module} = \frac{P_{\text{Total}}}{P_{\text{MPP}}}$$

$$= \frac{7.078,68 \text{ W}}{600 \text{ W}}$$

$$= 11,79 = 12 \text{ unit}$$

Sehingga, variasi 2 membutuhkan 12 panel surya berkapasitas 600 Wp untuk merancang PLTS berkapasitas 7.200 Wp.

5) Menghitung Kapasitas Solar Charge Controller

Jumlah panel surya yang digunakan sebanyak 12 buah dengan konfigurasi dua seri dan 6 paralel. Tegangan total pada rangkaian panel surya diperoleh sebagai berikut:

$$V_{\text{string PV}} = V_{\text{MP}} \times \text{Unit PV}$$

$$= 34,6 \text{ V} \times 2$$

$$= 69,2 \text{ V}$$

Perhitungan kapasitas SCC dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Capacity_{\text{SCC}} = \frac{P_{\text{PV}} \times \text{Safety Factor}}{V_{\text{string PV}}}$$

$$= \frac{7.200 \text{ W} \times 1,25}{69,2 \text{ V}}$$

$$= 130 \text{ A}$$

Peneliti memilih *Solar Charge Controller* Σ -Ahr PWM Charge Controller yang memiliki arus input maksimum sebesar 3x50 Ampere.

4.3.3 Variasi 3: Kapasitas Baterai 540 Ah

Kapasitas baterai PLTS Off-grid di Adidaya Workshop dapat dihitung sebagai berikut:

$$C = \frac{N \times Ed}{V_s \times DoD \times \eta}$$

$$= \frac{2 \times 27.556 Wh}{48 V \times 80\% \times 95\%}$$

$$= \frac{55.112 Wh}{36,48 V}$$

$$= 1.510,7 Ah$$

Pada variasi 3, peneliti menggunakan baterai Enersys OPzV berkapasitas 2V-540 Ah dengan perhitungan jumlah baterai sebagai berikut:

1. Jumlah baterai yang dihubungkan secara seri:

$$Jumlah\ baterai\ seri = \frac{V_s}{V_{batt}}$$

$$= \frac{48 V}{2 V}$$

$$= 24\ unit$$

2. Jumlah baterai yang dihubungkan secara paralel:

$$Jumlah\ baterai\ paralel = \frac{C_{demand}}{C_{batt}}$$

$$= 1.510,7/540$$

$$= 2,79\ unit \cong 3\ unit$$

Sehingga total jumlah baterai untuk variasi 3 adalah $24 \times 3 = 72$ unit.

4.3.4 Variasi 4: Kapasitas Baterai 1.600 Ah

Pada variasi 4, peneliti menggunakan baterai Enersys OPzV berkapasitas 2V-1600 Ah dengan perhitungan jumlah baterai sebagai berikut:

1. Jumlah baterai yang dihubungkan secara seri:

$$Jumlah\ baterai\ seri = \frac{V_s}{V_{batt}}$$

$$= \frac{48 V}{2 V}$$

$$= 24\ unit$$

2. Jumlah baterai yang dihubungkan secara paralel:

$$Jumlah\ baterai\ paralel = \frac{C_{demand}}{C_{batt}}$$

$$= 1.510,7/1.600$$

$$= 0,95\ unit \cong 1\ unit$$

Sehingga total jumlah baterai untuk variasi 3 adalah $24 \times 1 = 24$ unit.

4.4 Perhitungan Kapasitas Inverter

Pada Adidaya Workshop, daya puncak yang diukur adalah 2.019 Watt. Maka, kapasitas inverter dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{inverter} = P_{demand} \times Safety\ Factor$$

$$= 2.019 W \times 1.25$$

$$= 2.523 W$$

Kapasitas inverter yang tersedia di pasaran dan mendekati perhitungan kapasitas inverter di Adidaya Workshop adalah Inverter Victron Multiplus II 48/3000 dengan kapasitas 3.000 Watt.

4.5 Simulasi PVSyst

Berdasarkan variasi di atas, diperoleh beberapa skenario yang akan disimulasikan pada aplikasi PVSyst 7.1 adalah sebagai berikut:

1. Skenario 1: Panel Surya 300 Wp dengan Baterai 540 Ah
2. Skenario 2: Panel Surya 300 Wp dengan Baterai 1600 Ah
3. Skenario 3: Panel Surya 600 Wp dengan Baterai 540 Ah
4. Skenario 4: Panel Surya 600 Wp dengan Baterai 1600 Ah

Ringkasan hasil simulasi pada software PVSyst adalah sebagai berikut pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil Simulasi Perancangan PLTS Off-Grid pada PVSyst

| | Skenario 1 | Skenario 2 | Skenario 3 | Skenario 4 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Performance ratio | 68,0% | 68,0% | 68,3% | 68,2% |
| Produksi Tahunan | 9.664,6 kWh | 9.663,8 kWh | 9.921,5 kWh | 9.921,6 kWh |
| Energy Used | 8.438,1 kWh | 8.443,2 kWh | 8.480,9 kWh | 8.470,9 kWh |

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan perancangan PLTS Off-Grid, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan variasi yang telah ditentukan, peneliti merancang dan melakukan simulasi untuk menghasilkan 4 skenario secara teknis. Selanjutnya peneliti melakukan simulasi keempat skenario pada software PVSyst dengan hasil skenario 3 berdasarkan konfigurasi panel surya 600 Wp dan baterai 540 Ah menghasilkan

performance ratio tertinggi yaitu sebesar 68,3%. Sedangkan untuk hasil *performance ratio* terendah dihasilkan oleh skenario 1 dan skenario 2 sebesar 68,0%.

2. Hasil simulasi PVSyst menyatakan bahwa nilai produksi tahunan tertinggi diperoleh dari skenario 4 dengan nilai 9.921,6 kWh. Sedangkan untuk nilai *energy used* tertinggi diperoleh dari skenario 3 dengan nilai 8.480,9 kWh.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] IESR (2019). Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019.
- [2] Junior, S., Kumara, I. N. S., & Giriantari, I. A. D. (2022). Perkembangan Pemanfaatan PLTS di DKI Jakarta Menuju Target 13,8 MW Tahun 2025. Jurnal SPEKTRUM Vol, 9(1).
- [3] Naim, M., 2020. Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti. Vertex Elektro, 12(1), pp.17-25.
- [4] Kossi, V. R., 2018. Perencanaan PLTS Terpusat (Off-grid) di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 2(1).
- [5] Ramadhani, B., 2018. Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don'ts. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (Endev) Indonesia Jakarta, pp.23-28.