

STUDI PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA UMKM COFFEE SHOP DI KOTA SEMARANG DITINJAU DARI ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY

Khilmi Nafadinanto Irfani^{*)}, Jaka Windarta dan Susatyo Handoko

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: khilminafadinanto@gmail.com

Abstrak

Penyediaan tenaga listrik semakin bergeser menuju sumber energi bersih dan hijau. Kebijakan mengenai pentingnya penggunaan energi hijau pun mulai digalakkan. Dari banyaknya jenis energi terbarukan, salah satu yang paling banyak digunakan dan dapat diaplikasikan pada skala kecil seperti rumah tangga adalah PLTS. Lokasi geografis merupakan salah satu keunggulan yang dimiliki oleh Indonesia karena berada di garis khatulistiwa. Rata-rata radiasi matahari termasuk kategori relatif tinggi sepanjang tahun yaitu sebesar 4,80 kWp/m²/hari. Fleksibilitas PLTS yang dapat digunakan hingga skala kecil ini diharapkan mampu dimanfaatkan untuk mensuplai kebutuhan listrik untuk kebutuhan usaha UMKM. Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang dan menganalisis potensi PLTS sistem offgrid dengan menempatkan PLTS pada atap Caravan/Foodtruck dengan studi kasus UMKM "Angka Coffee". PLTS ini menggunakan sistem offgrid dan membutuhkan spesifikasi minimum kapasitas baterai 158Ah, Panel surya 683,5 Wp, inverter 805 Watt, dan Solar charge controller 28,5A. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi menggunakan PVSyst 7.1 dan membandingkan 4 jenis variasi sistem yang terdiri dari 2 merk panel surya dan 2 merk baterai. Didapatkan hasil variasi 4 memiliki nilai produksi energi listrik paling tinggi 694 kWh dengan PR ratio 0,572 dan tingkat pemenuhan energi listrik (solfrac) sebesar 0,99.

Kata kunci: EBT, PLTS, Offgrid, PVsyst

Abstract

Clean energy sources are increasingly being used to generate electricity. Solar Power Plant(SPP) is one of the various types of renewable energy that is commonly utilized and can be employed on a small scale. Indonesia have benefits from its geographic location. Throughout the year, the average solar radiation is 4.80 kWp/m²/day, which is in the relatively high. The flexibility of SPP, is predicted to be able to meet the needs of MSME businesses in terms of electricity. The goal of this research is to build and analyze the potential of SPP systems by mounting them on the roof of a foodtruck, using MSME's "Angka Coffee" as a case study. This SPP is an off-grid system that requires a minimum of 158Ah battery capacity, 683,5Wp solar panels, an 805W inverter, and a 25A solar charge controller. A simulation using PVSyst 7.1 was performed to compare four different types of system variants using two different brands of solar panels and two different brands of batteries. With a 0.565 of PR ratio and fulfillment level of electrical energy is 0.99, variation 4 have the maximum electrical energy production value 694 kWh.

Keywords: Renewable Energy, Solar Power Plant, Off Grid, PVSyst

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan ketersediaan energi dalam mendukung kegiatan manusia semakin hari semakin meningkat. Di negara Indonesia sendiri, total konsumsi energi final (tanpa biomassa) pada tahun 2018 meencapat 114 MTOE, yang terbagi dalam beberapa sektor, yaitu sektor komersial, sektor rumah tangga, sektor transportasi, sektor industri, dan sektor-sektor lainnya[1]. Guna memenuhi kebutuhan akan energi jangka panjang diversifikasi sumber energi pada bauran energi nasional sudah sepatutnya

dipertimbangkan. Tren penurunan jumlah produksi bahan bakar fosil terutama minyak bumi sudah terlihat dalam beberapa tahun terakhir. Dengan memanfaatkan fleksibilitas pembangkit listrik tenaga surya potensi penggunaan EBT akan dapat dioptimalkan. Pembangkit listrik tenaga surya dapat diaplikasikan baik dalam skala besar hingga skala kecil[2]. Penggunaan PLTS ini, diharapkan dapat menyediakan listrik pada sektor usaha mikro kecil menengah terutama bagi mereka yang memiliki model berdagang secara no maden atau tidak tetap pada suatu lokasi. Penggunaan PLTS ini dapat

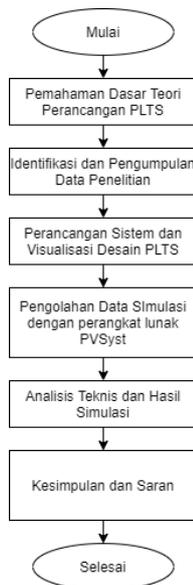
diaplikasikan pada atap baik gerobak, mobil, caravan, bahkan foodtruck. Dengan menggunakan sistem offgrid dan memanfaatkan baterai sebagai sumber penyimpanan energi listrik, penggunaan PLTS ini dapat menyuplai kebutuhan listrik dari UMKM.

Penelitian sebelumnya oleh Krismadinata[3], membahas tentang pemanfaatan sistem PLTS untuk gerobak pedagang keliling dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak yang berbahaya dan banyak menimbulkan kebakaran. Penelitian lain juga dilakukan oleh Alfara[4] yang membahas rancang bangun PLTS pada bagian atap dari *foodtruck*. Penelitian sejenis lain juga dilakukan oleh Otto[5] yang membahas potensi pemanfaatan PLTS pada atas truk trailer sebagai pendingin kontainer.

2. Metode

2.1. Perencanaan

Diagram alir Metode penelitian dari Tugas Akhir dengan judul “Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada UMKM *Coffeeshop* di Kota Semarang ditinjau dari Analisis Kelayakan Teknis Menggunakan Software PVsyst” dapat dilihat pada Gambar 1:



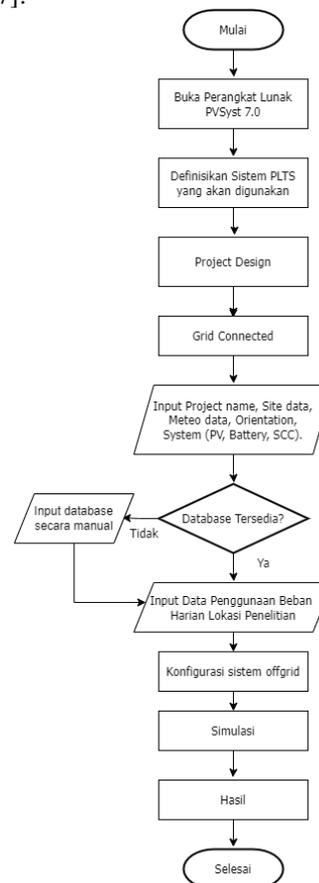
Gambar 1. Diagram alir keseluruhan

Berdasarkan diagram pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada awal mula, perlu adanya pemahaman mengenai kajian teori tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Setelah memahami kajian-kajian, kemudian dilakukan identifikasi pada lokasi penelitian serta pengumpulan data yang digunakan untuk penelitian melalui survey lapangan. Pengambilan data pengguna dilakukan pada lokasi *Coffeeshop* Angka yang berada di Kramas, Tembalang, Kota Semarang. Kemudian, data intensitas penyinaran diambil pada situs web PVGIS

untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan efektivitas penyinaran matahari meliputi radiasi, suhu, insolasi matahari. Setelah memperoleh data-data tersebut, lalu perancangan kondisi fisik bangunan dilakukan untuk memperoleh gambaran visualisasi desain dan gambaran bentuk Sistem PLTS, dilakukan pengolahan data dengan simulasi menggunakan piranti lunak PVsyst 7.1 untuk mendapatkan potensi energi matahari yang bisa dikonversikan menjadi energi listrik yang dihasilkan dari Panel Surya. Setelah proses pengolahan dan simulasi data dilakukan, kemudian dapat ditarik beberapa kesimpulan serta saran yang berguna untuk menunjang dan mengembangkan Penelitian Tugas Akhir ini pada masa yang akan datang.

2.2. Diagram Alir Perancangan Sistem

Diagram alir dari perancangan sistem penulis buat sesuai dengan kebutuhan sistem pemakaian energi listrik pada PLTS. Diagram alir yang penulis maksud adalah sebagai berikut [6], [7]:



Gambar 2. Diagram alir perancangan sistem

Pada Gambar 2 ditunjukkan diagram alir pengoperasian PVsyst, dimulai dari membuka perangkat lunak, membuat database menggunakan data dari PVGIS[8], lalu membuat *project design*, memilih sistem yang digunakan, hingga menginputkan *datasheet* dari komponen utama berupa panel surya, baterai, solar charge controller, dan inverter.

2.3. Lokasi Penelitian

Lokasi yang akan dijadikan objek penelitian adalah Coffeeshop Angka yang berlokasi di Kramas, Tembalang, Kota Semarang dengan titik koordinat - 7.068564888359462, 110.44029635468642. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 sebagai berikut :



Gambar 3. Koordinat lokasi penelitian



Gambar 4. Coffeeshop Angka saat beroperasi

2.4. Jenis Sistem

Jenis sistem pemakaian energi listrik pada PLTS yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem berbasis *off-grid*. Sistem berbasis *off-grid* yang dimaksud penulis adalah sistem kelistrikan PLTS yang tidak membutuhkan sinkronisasi dengan jaringan jala-jala PLN. Detail dari sistem *off-grid* yang digunakan penulis untuk penelitian adalah dimulai dari baterai – inverter – beban.

2.5. Komponen

2.5.1. Beban Harian Lokasi Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini didapat data beban harian di lokasi objek penelitian dari survey lapangan dengan cara observasi manual dan perodik guna mengetahui Penggunaan beban harian pengguna. Lokasi penelitian memiliki pembebanan konstan setiap hari nya. Data pemakaian beban harian dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Profil beban Angka Coffee

No	Beban	Jml	Daya (Watt)	Total Daya (Watt)	Jam Menyala	Total (Wh)
1	Coffee Grinder Latina T60	1	75	75,0	1,5	113
2	Water Heater Idealife	1	373	373,0	2,5	933
3	LED kuning	9	4	36,0	7,0	252
4	LED putih	1	15	15,0	7,0	105
5	Lampu Logo "Angka"	1	5	5,0	7,0	35
6	Mifi Router	1	11	11,0	7,0	77
7	TV LED 32 Inch	1	25	30,0	5,0	150
8	Speaker	1	10	10,0	3,5	35
9	Stopkontak (Charger)	5	14	70,0	4,0	280
Total				625		1979

Berdasarkan Tabel 1, beban pada lokasi penelitian kemudiann dibuat menjadi profil beban perjam dengan pembagian beban sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik beban harian pengguna

Berdasarkan Gambar 5 profil beban harian pada hari kerja dan hari libur bersifat konstan, beban puncak terjadi pada malam hari. Total Penggunaan listrik harian konstan sebesar 2 kWh/hari pada hari kerja dan hari libur di bulan Februari hingga November. Kemudian total penggunaan listrik harian pada bulan Januari dan Desember sebesar 1,72 kWh. Pengurangan beban sebanyak 0,28 kWh pada bulan Januari dan Desember dilakukan karena pertimbangan penyinaran matahari yang rendah agar baterai tetap dapat terisi dan menyuplai beban. Pengurangan beban dilakukan pada peralatan yang tidak terlalu penting seperti lampu hias LED 4w dan pengurangan jumlah stopkontak dari semula 5 buah menjadi 3 buah.

2.5.2. Baterai

Penggunaan baterai pada sistem PLTS offgrid untuk UMKM Coffeeshop ini akan dihitung berdasarkan detail beban harian UMKM yang digunakan sebagai lokasi penelitian. Beban harian UMKM dalam sehari tertera pada

Tabel 1. Data profil beban harian pada lokasi penelitian. Total beban dalam 1 hari adalah 1979 Watthour[9]. Sehingga dalam perhitungan baterai minimal baterai yang digunakan adalah sesuai dengan total daya harian, akan tetapi penggunaan baterai tidak semerta-merta sama dengan yang tertulis pada spesifikasi, pada penelitian ini akan digunakan hari otonom selama 1 hari dan Deep of Discharge sebesar 55% karena mempertimbangkan umur baterai yang akan digunakan. Dalam menghitung kebutuhan baterai digunakan formula sebagai berikut[10][11][12] :

- Kebutuhan daya = 1979 Wh
- DoD baterai = 55 %

$$\begin{aligned} \text{Daya bat. (Ah)} &= \frac{\text{Beban harian (Wh)}}{\text{Eff. Inv. (\%)} \times \text{Teg. Bat. (V)}} \quad (1) \\ &= \frac{1979}{0,94 \times 24} \\ &= 87 \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keb. bat.} &= \text{Hari otonom} \times \text{Beban bat.} \times \frac{1}{\text{DoD}} \quad (2) \\ &= 1 \times 87 \times 1/0,55 \\ &= 158 \text{ Ah} \\ &= \sim 150 - 160\text{Ah} \end{aligned}$$

Sehingga spesifikasi baterai yang dibutuhkan adalah 1 buah Baterai 24 V / 150 - 160 Ah atau 4 buah baterai 12 V / 75 - 80 Ah dengan konfigurasi secara seri paralel. Mengacu pada spesifikasi minimum yang dibutuhkan, baterai yang akan dipilih untuk proses simulasi dan perancangan adalah baterai dengan tegangan 12V kapasitas 150Ah (2 buah) atau baterai dengan tegangan 12V kapasitas 80Ah (4 buah).

2.5.3. Panel Surya

Penggunaan panel minimum disesuaikan dengan kebutuhan penyimpanan sistem dengan mempertimbangkan kondisi penyinaran yang paling rendah yaitu pada bulan Desember dan Januari. Berdasarkan data peyinaran, nilai penyinaran terendah terdapat pada bulan desember yaitu 3,08 kWh/m²[8]. Untuk menghitung kebutuhan daya panel surya, digunakan acuan nilai penyinaran terendah untuk memastikan sistem dapat beroperasi walaupun tingkat penyinaran sedang rendah, digunakan formula sebagai berikut[10][13] :

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas penyinaran} &= 3,08 \text{ jam} \\ \text{Daya panel} &= \frac{\text{Total Beban Harian}}{\text{Jam efektif} \times \text{Eff. inv.}} \quad (3) \\ &= \frac{1979}{3,08 \times 0,95} \\ &= 683,5 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Sehingga minimum spesifikasi panel yang dibutuhkan dalam perancangan ini adalah 683,5 Wp. Daya panel surya minimum yang dibutuhkan adalah 683,5 Wp, sedangkan daya panel surya yang tersedia di laboratorium penelitian dan di pasaran adalah kapasitas 720 Wp (120Wp @6 modul) dan 700 Wp (300Wp @2 modul). Sehingga daya panel surya yang akan digunakan dalam proses simulasi

nanti adalah 700Wp dan 720Wp dengan pertimbangan ketersediaan produk

2.5.4. Solar Charge Controller

Solar charge controller digunakan sebagai charger baterai dengan menggunakan teknologi MPPT (maximum power point tracking). Dengan spesifikasi panel minimum yang disyaratkan, maka estimasi arus yang akan digunakan dengan sistem baterai 24 V adalah sebagai berikut[10] :

$$\begin{aligned} \text{Arus nominal SCC (A)} &= \frac{\text{Total daya panel (W)}}{\text{Tegangan sistem bat (V)}} \quad (4) \\ &= \frac{683,5}{24} \\ &= 28,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga minimum spesifikasi arus yang dibutuhkan solar charge controller dalam perancangan ini adalah 28,5 A. Nilai nominal arus solar charge controller yang akan digunakan pada proses simulasi adalah 30A dengan pertimbangan ketersediaan produk

2.5.5. Inverters

Inverter digunakan sebagai pengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, spesifikasi inverter yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut[10], [14] :

$$\begin{aligned} \text{Daya beban puncak} &= 646 \text{ Watt} \\ \text{Daya inverter setelah loss} &= 1,25 \times 646 \quad (5) \\ &= 807,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Oleh karena itu, spesifikasi minimum inverter yang dibutuhkan adalah 24 V, 807 W. Mengacu spesifikasi minimum yang dibutuhkan, inverter yang akan digunakan pada proses simulasi dan perancangan sistem adalah 24V dengan daya 1000W mempertimbangkan ketersediaan produk pada laboratorium.

2.5.6. Variasi Konfigurasi Komponen Utama sistem PLTS Offgrid pada lokasi penelitian

Komponen utama dalam perancangan PLTS adalah panel surya dan inverter. Berdasarkan subbab sebelumnya, panel surya dan inverter masing-masing memiliki 2 alternatif tipe yang akan digunakan dalam perancangan sehingga terdapat 4 variasi konfigurasi komponen sistem PLTS UMKM offgrid yang akan di simulasikan, 4 variasi konfigurasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2. sistem PLTS yang akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.1 memiliki beberapa variasi komponen utama yaitu Baterai dan Panel Surya. Panel surya dan baterai variasi 1, 2 dan variasi 3,4 memiliki perbedaan daya sebesar 20W dan kapasitas 10Ah, hal ini disebabkan karena ketersediaan

komponen di laboratorium dan marketplace di Kota Semarang atau di Tokopedia. Keputusan ini diambil dengan mempertimbangkan perbedaan daya dan kapasitas yang tidak terlalu signifikan. Pengaruh perbedaan daya dan kapasitas baterai ini akan dibahas pada bagian 5..

Tabel 2. Variasi komponen sistem PLTS

Variasi	Panel Surya	Baterai	Konfigurasi Array	Konfigurasi Baterai
1	Maysun Solar Mono 120 Wp	Shoto 12V 150Ah	6 modul 3 seri 2 paralel	2 buah 2 Seri 24 V 150 Ah
	Maysun Solar Mono 120 Wp	Huafu 12V 150 Ah	6 modul 3 seri 2 paralel	4 buah 2 seri - 2 paralel 24 V 160 Ah
3	Longi Solar Mono 350 Wp	Shoto 12V 150Ah	2 modul 2 paralel	2 buah 2 Seri 24 V 150 Ah
	Longi Solar Mono 350 Wp	Huafu 12V 150 Ah	2 modul 2 paralel	4 buah 2 seri - 2 paralel 24 V 160 Ah

2.6. Analisis Teknis

Analisis teknis yang dilakukan mengacu pada sebesar apakah kapasitas PLTS yang akan dirancang, menentukan spesifikasi komponen yang digunakan, orientasi panel surya, dan daya yang dapat dihasilkan PLTS tersebut[15][16]. Daya yang dihasilkan PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya radiasi matahari yang terdapat di lokasi PLTS, kemiringan dan arah dari panel surya, ada tidaknya sinar matahari, temperatur wilayah di lokasi PLTS, dan performa teknis dari komponen yang digunakan pada PLTS[10][12].

a. Efisiensi panel surya

Pada panel surya, faktor utama yang memengaruhi perubahan efisiensi dari datasheet adalah temperatur. Kenaikan temperatur pada panel akan berbanding terbalik pada nilai efisiensi panel, hal ini disebabkan karena pita valensui akan memanjang pada molekul penyusunnya. Efisiensi dari panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [12], [17], [18] :

$$\eta_{Array}(\%) = \frac{E_A}{A_a * H_T} \tag{6}$$

- η_{Array} = Efisiensi panel surya (%)
- E_{Asolar} = Energi DC dihasilkan (kWh)
- A_a = Luas panel surya (m²)
- H_T = Irradiansi pada panel (kWh/m²)

b. Efisiensi baterai

Nilai efisiensi baterai dihitung dari jumlah energi yang masuk dan keluar dari baterai dengan acuan SoC yang sama. Efisiensi dapat dihitung menggunakan formula berikut[19][17] :

$$\eta_{baterai}(\%) = \frac{E_{charging}}{E_{discharging}} \tag{7}$$

- $\eta_{baterai}$ = Efisiensi baterai (%)
- $E_{charging}$ = Energi charging (kWh)

$$E_{discharge} = \text{Daya discharging (kWh)}$$

c. Efisiensi Inverter

Rugi-rugi daya dari komponen inverter akan memengaruhi nilai efisiensi. Perhitungan nilai efisiensi inverter didapatkan dari jumlah energi yang keluar dari baterai atau solar charge controller dibandingkan dengan energi yang mampu dikonversi inverter menjadi listrik AC [17][18].

$$\eta_{inverter}(\%) = \frac{P_{inverter}}{E_{baterai}} \tag{8}$$

- $\eta_{Inverter}$ = Efisiensi Inverter (%)
- $P_{Inverter}$ = Energi dihasilkan inverter (kWh)
- $E_{baterai}$ = Daya keluaran baterai (kWh)

d. Efisiensi sistem

Nilai efisiensi sistem merupakan perkalian dari seluruh efisiensi parameter termasuk panel surya, baterai, solar charge controller dan inverter. Dapat dihitung menggunakan formula berikut[17][18] :

$$\eta_{sistem} = \eta_{array} * \eta_{baterai} * \eta_{inverter} \tag{9}$$

e. Rasio performa

Salah satu parameter utama yang penting dalam pembangkit listrik tenaga surya adalah performance ratio (PR) atau rasio kinerja. Performance ratio ialah rasio atau tingkat perbandingan energi listrik yang diproduksi secara efektif oleh sistem dengan energi listrik yang akan dihasilkan jika sistem terus bekerja dalam kondisi standar (STC). Nilai PR ratio sistem offgrid bervariasi antara 0,3 hingga 0,6[6][7].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil simulasi

3.1.1. PLTS UMKM variasi 1

Bulan	Balances and main results									
	GlobHor kWh/m ² /month	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ² /month	GlobEff kWh/m ² /month	EArray kWh/m ² /month	EUnused kWh/m ² /month	E_Solar kWh/m ² /month	E_Uber kWh/m ² /month	PR ratio	E_Min kWh/m ² /month
January	124,06	25,32	102,63	96,76	60,16	1,72	52,70	52,70	0,71	0,00
February	137,41	26,01	117,29	111,20	66,41	8,59	53,20	53,20	0,62	0,97
March	134,15	25,90	125,25	119,31	73,31	5,11	60,76	60,80	0,67	0,70
April	155,37	25,94	165,96	155,43	94,29	27,18	58,80	58,80	0,50	0,50
May	141,13	26,43	157,90	151,88	92,07	21,99	60,76	60,80	0,53	0,00
June	157,83	27,16	189,74	182,82	109,15	41,00	58,80	58,80	0,43	0,00
July	173,12	27,51	204,03	196,59	116,20	45,71	60,76	60,80	0,41	0,00
August	180,71	27,91	197,98	190,38	113,10	42,61	60,76	60,80	0,43	0,00
September	190,46	28,82	186,81	178,81	103,39	37,21	58,80	58,80	0,44	0,00
October	199,85	27,85	174,47	165,80	95,57	29,26	60,76	60,80	0,48	0,00
November	145,03	26,97	119,45	112,87	66,17	6,03	57,00	57,00	0,65	1,51
December	126,73	25,59	101,52	95,42	59,28	3,69	52,70	52,70	0,69	2,56
Tahunan	1.865,80	26,78	1.820,00	1.757,20	1.060,20	276,19	695,80	696,00	0,546	6,23

Gambar 6. Hasil simulasi sistem variasi 1

Berdasarkan Gambar 6, detail energi listrik yang dihasilkan dari perancangan sistem PLTS adalah sebagai berikut :

1. GlobHor, energi irradiansi memiliki nilai setahun sebesar 1865,8 kWh/m²
2. T_Amb, memiliki nilai suhu sekitar rata-rata sebesar 26,78 °C,
3. GlobInc, memiliki nilai setahun sebesar 1839 kWh/m²,
4. GlobEff, memiliki nilai setahun sebesar 1757,3 kWh/m²,
5. EArray, sebesar 1060 kWh,

6. EUnused, sebesar 270,1 kWh,
7. E_Solar, memiliki jumlah energi tersuplai sebesar 689,5 kWh
8. E_User, sebesar 696 kWh.
9. PR ratio, rata-rata tahunan sebesar 0,52
10. EMiss, sebesar 6,25 kWh

Sehingga, berdasarkan uraian detail energi pada deskripsi diatas dapat diketahui bahwa energi keluaran array surya yang dapat dimanfaatkan adalah :

$$E_{Array_final} = E_{Array} - E_{unused} \text{ (kWh)} \quad (10)$$

$$= 1060 - 268,89 \text{ (kWh)}$$

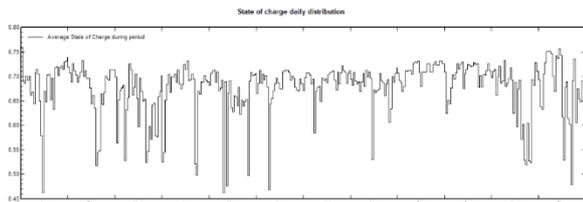
$$= 791,61 \text{ kWh}$$

Energi array final yang dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai sebesar 791,61 kWh dan kemudian dapat digunakan untuk menyuplai listrik pengguna sebesar 689 kWh, Sedangkan energi yang dibutuhkan oleh beban adalah 696 kWh. Hal ini berarti sistem memiliki kekurangan energi sebesar 6,3 kWh dalam setahun. Dengan jumlah energi yang dapat tersuplai ke beban sebesar 689 kWh maka tingkat pemenuhan PLTS terhadap kebutuhan pengguna dapat dihitung sebagai berikut :

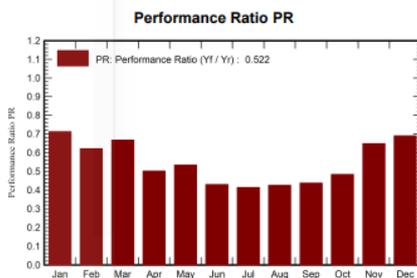
$$SolFrac = \frac{E_{Supplied\ to\ user} \text{ (Energi\ tersuplai)}}{E_{User} \text{ (Energi\ dibutuhkan)}} \quad (11)$$

$$= \frac{689 \text{ kWh}}{696 \text{ kWh}}$$

$$= 0,992$$



Gambar 7. Kondisi state of charge harian baterai PLTS variasi 1



Gambar 8. Rasio performa sistem variasi 1

Sehingga didapatkan nilai tingkat keterisian energi sistem dalam kurun waktu setahun sebesar 0,992, yang berarti sistem PLTS variasi 1 dapat menyuplai kebutuhan energi listrik pengguna sebesar 99,2 %

Gambar 7 menunjukkan tingkat pengisian awal baterai (SoC) harian, pada grafik dapat dilihat bahwa rata-rata SoC sistem hanya turun maksimal hingga 45% sesuai dengan DoD yang didefinisikan pada awal sistem yaitu 55%.

Gambar 8 menunjukkan tingkat performance ratio yang dihasilkan dari sistem PLTS UMKM ini, rata-rata performance ratio tahunan sebesar 54,8%, hal ini disebabkan karena penggunaan deep of discharge baterai sebesar 55% perhari dari total kapasitas baterai yang ada, sehingga sistem juga memiliki performance ratio rata-rata yang tidak lebih dari 55%.

3.1.2. PLTS UMKM variasi 2

Balances and main results										
Bulan	GlobHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	EUnused	E_Solar	E_User	PR ratio	E_Miss
	kWh/m ² /mth	°C	kWh/m ² /mth	kWh/m ² /mth	kWh/mth	kWh/mth	kWh/mth	kWh/mth		kWh/mth
January	134,00	25,32	302,63	97,88	62,36	3,90	52,70	52,70	0,73	0,00
February	137,41	26,0	117,29	112,39	70,46	11,13	52,73	53,20	0,64	0,47
March	134,15	25,90	125,25	120,37	75,45	7,30	46,73	46,80	0,69	0,03
April	155,37	25,94	161,06	156,54	96,19	30,39	58,42	58,80	0,52	0,38
May	141,13	26,43	157,00	152,88	93,96	25,18	60,76	60,80	0,55	0,00
June	157,83	27,16	189,74	183,95	111,18	44,56	58,80	58,80	0,44	0,00
July	173,12	27,51	204,03	197,80	118,53	49,63	60,76	60,80	0,43	0,00
August	180,71	27,91	197,98	191,67	115,50	46,66	60,76	60,80	0,44	0,00
September	190,46	28,82	186,81	180,24	107,99	41,43	58,80	58,80	0,45	0,00
October	199,85	27,65	174,47	167,51	102,34	33,49	60,76	60,80	0,50	0,00
November	145,03	26,97	119,45	114,18	71,60	8,42	58,08	57,90	0,87	0,92
December	126,73	25,55	101,52	96,53	61,49	5,42	51,13	52,70	0,72	1,37
Tahunan	1.865,80	26,78	1.839,00	1.772,00	1.087,04	307,52	691,43	696,00	0,503	3,37

Gambar 9. Hasil simulasi sistem variasi 2

Berdasarkan Gambar 9, detail energi listrik yang dihasilkan dari perancangan sistem PLTS adalah sebagai berikut :

1. GlobHor, memiliki nilai setahun sebesar 1865,8 kWh/m²
2. T_Amb, nilai suhu sekitar rata-rata sebesar 26,78 °C,
3. GlobInc, memiliki nilai setahun sebesar 1839 kWh/m²,
4. GlobEff, memiliki nilai setahun sebesar 1757,3 kWh/m²,
5. EArray sebesar 1060 kWh,
6. EUnused, sebesar 269,86 kWh,
7. E_Solar, memiliki jumlah energi tersuplai sebesar 691 kWh
8. E_User, sebesar 696 kWh.
9. PR ratio, rata-rata tahunan sebesar 0,548
10. EMiss, sebesar 3,37 kWh

Sehingga, berdasarkan uraian detail energi pada deskripsi diatas dapat diketahui bahwa energi keluaran array surya yang dapat dimanfaatkan adalah :

$$E_{Array_final} = E_{Array} - E_{unused} \text{ (kWh)} \quad (12)$$

$$= 1060,30 - 269,86 \text{ (kWh)}$$

$$= 790,44 \text{ kWh}$$

Energi array final yang dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai sebesar 779,52 kWh dan kemudian dapat digunakan untuk menyuplai listrik pengguna sebesar 691 kWh, Sedangkan energi yang dibutuhkan oleh beban adalah 696 kWh. Hal ini berarti sistem memiliki kekurangan energi sebesar 4,81 kWh dalam setahun. Dengan jumlah energi yang dapat tersuplai ke beban

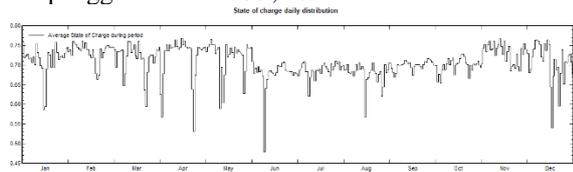
sebesar 691 kWh maka tingkat pemenuhan PLTS terhadap kebutuhan pengguna dapat dihitung sebagai berikut :

$$SolFrac = \frac{E_{Supplied\ to\ user}\ (Energi\ tersuplai)}{E_{User}\ (Energi\ dibutuhkan)} \quad (13)$$

$$= \frac{691\ kWh}{696\ kWh}$$

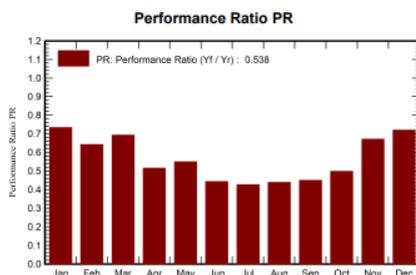
$$= 0,993$$

Sehingga didapatkan nilai tingkat keterisian energi sistem dalam kurun waktu setahun sebesar 0,994, yang berarti sistem PLTS variasi 2 dapat menyuplai kebutuhan energi listrik pengguna sebesar 99,4 %



Gambar 10. Kondisi state of charge harian baterai PLTS variasi 1

Gambar 10 menunjukkan tingkat pengisian awal baterai (SoC) harian, pada grafik dapat dilihat bahwa rata-rata SoC sistem hanya turun maksimal hingga 45% sesuai dengan DoD yang didefinisikan pada awal sistem yaitu 55%.



Gambar 11. Rasio performa sistem variasi 2

Gambar 11 menunjukkan tingkat performance ratio yang dihasilkan dari sistem PLTS UMKM ini, rata-rata performance ratio tahunan sebesar 54,8%, hal ini disebabkan karena penggunaan deep of discharge baterai sebesar 55% perhari dari total kapasitas baterai yang ada, sehingga sistem juga memiliki performance ratio rata-rata berkisar pada nilai 55%.

3.1.3. PLTS UMKM variasi 3

Balances and main results										
Bulan	GlobHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	EUnused	E_Solar	E_User	PR ratio	E_Miss
	kWh/m ² /mth	°C	kWh/m ² /mth	kWh/m ² /mth	kWh/mth	kWh/mth	kWh/mth	kWh/mth		kWh/mth
January	124,96	25,32	302,83	97,68	82,38	3,90	32,70	32,70	0,73	0,00
February	137,41	26,0	317,39	112,39	79,46	11,13	32,73	33,20	0,64	0,47
March	134,15	25,90	325,25	120,37	75,45	7,30	40,73	40,80	0,69	0,03
April	155,37	25,94	361,96	156,54	96,19	30,39	58,42	58,80	0,52	0,38
May	141,13	26,43	357,00	152,88	93,96	25,18	60,76	60,80	0,55	0,00
June	157,83	27,16	389,74	183,95	111,18	44,56	58,80	58,80	0,44	0,00
July	173,12	27,51	204,03	197,80	118,53	49,63	60,76	60,80	0,43	0,00
August	180,71	27,91	197,98	191,67	115,50	46,66	60,76	60,80	0,44	0,00
September	190,46	28,82	188,91	180,24	107,99	41,43	58,80	58,80	0,45	0,00
October	199,89	27,65	174,47	167,51	102,24	22,49	60,76	60,80	0,50	0,00
November	145,03	26,97	319,45	116,18	71,00	8,42	56,98	57,00	0,67	0,02
December	126,73	25,55	301,52	96,52	61,40	5,42	51,13	52,70	0,72	1,57
Tahunan	1.865,80	26,78	1.839,00	1.772,00	1.087,04	307,52	692,43	696,00	0,993	3,37

Gambar 12. Hasil simulasi sistem variasi 3

Berdasarkan Gambar 12, detail energi listrik yang dihasilkan dari perancangan sistem PLTS adalah sebagai berikut :

1. GlobHor, memiliki nilai setahun sebesar 1865,8 kWh/m²
2. T_Amb, memiliki nilai suhu sekitar rata-rata sebesar 26,78 °C,
3. GlobInc, memiliki nilai setahun sebesar 1839 kWh/m²,
4. GlobEff, memiliki nilai setahun sebesar 1772 kWh/m²,
5. EArray, sebesar 1087,04 kWh,
6. EUnused, sebesar 307,52 kWh,
7. E_Solar, memiliki jumlah energi tersuplai sebesar 692,43 kWh
8. E_User, sebesar 696 kWh.
9. PR ratio rata-rata tahunan sebesar 0,565
10. EMiss, sebesar 3,37 kWh

Sehingga, berdasarkan uraian detail energi pada deskripsi diatas dapat diketahui bahwa energi keluaran array surya yang dapat dimanfaatkan adalah :

$$EArray_final = EArray - Eunused\ (kWh) \quad (14)$$

$$= 1087,04 - 307,52\ (kWh)$$

$$= 779,52\ kWh$$

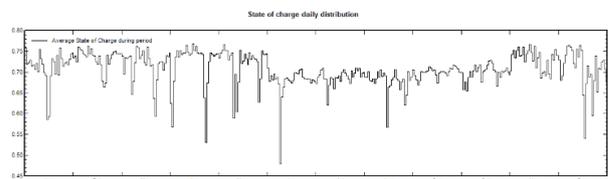
Energi array final yang dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai sebesar 779,52 kWh dan kemudian dapat digunakan untuk menyuplai listrik pengguna sebesar 692,43 kWh, Sedangkan energi yang dibutuhkan oleh beban adalah 696 kWh. Hal ini berarti sistem memiliki kekurangan energi sebesar 3,37 kWh dalam setahun. Dengan jumlah energi yang dapat tersuplai ke beban sebesar 689 kWh maka tingkat pemenuhan PLTS terhadap kebutuhan pengguna dapat dihitung sebagai berikut :

$$SolFrac = \frac{E_{Supplied\ to\ user}\ (Energi\ tersuplai)}{E_{User}\ (Energi\ dibutuhkan)} \quad (15)$$

$$= \frac{692,43\ kWh}{696\ kWh}$$

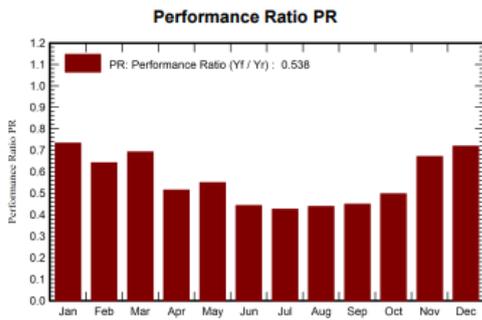
$$= 0,994$$

Sehingga didapatkan nilai tingkat keterisian energi sistem dalam kurun waktu setahun sebesar 0,994, yang berarti sistem PLTS variasi 1 dapat menyuplai kebutuhan energi listrik pengguna sebesar 99,4 %



Gambar 13. Kondisi state of charge harian baterai PLTS variasi 1

Gambar 13 menunjukkan tingkat pengisian awal baterai (SoC) harian, pada grafik dapat dilihat bahwa rata-rata SoC sistem hanya turun maksimal hingga 45% sesuai dengan DoD yang didefinisikan pada awal sistem yaitu 55%.



Gambar 14. Rasio performa sistem variasi 3

Gambar 14 menunjukkan tingkat performance ratio yang dihasilkan dari sistem PLTS UMKM ini, rata-rata performance ratio tahunan sebesar 56,5%, hal ini disebabkan karena penggunaan deep of discharge baterai sebesar 55% perhari dari total kapasitas baterai yang ada, sehingga sistem juga memiliki performance ratio rata-rata berkisar pada nilai 55% [17].

3.1.3. PLTS UMKM variasi 4

Balances and main results										
Bulan	GlobHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	EUnused	E_Solar	E_User	PR ratio	E_Miss
	kWh/m ² /mth	°C	kWh/m ² /mth	kWh/m ² /mth	kWh/mth	kWh/mth	kWh/mth	kWh/mth		kWh/mth
January	124,06	25,32	102,43	97,88	62,51	4,04	52,70	52,70	0,73	0,00
February	137,41	26,0	117,29	112,39	70,60	11,05	52,98	53,20	0,65	0,23
March	134,15	25,90	125,25	120,37	75,60	7,48	60,76	60,80	0,69	0,00
April	155,37	25,94	161,96	156,54	96,33	30,00	58,79	58,80	0,52	0,01
May	141,13	26,43	157,90	152,88	94,10	25,42	60,76	60,80	0,55	0,00
June	157,83	27,16	189,74	183,95	111,32	44,79	58,80	58,80	0,44	0,00
July	173,12	27,51	204,03	197,80	118,67	49,89	60,76	60,80	0,43	0,00
August	180,71	27,91	197,98	191,67	115,65	46,96	60,76	60,80	0,44	0,00
September	190,46	28,82	186,81	180,24	108,13	41,71	58,80	58,80	0,45	0,00
October	199,85	27,85	174,47	167,51	102,50	33,72	60,76	60,80	0,50	0,00
November	145,03	26,97	119,45	114,18	71,75	8,42	56,47	57,00	0,68	0,53
December	126,73	25,55	101,52	96,53	61,64	5,39	51,44	52,70	0,72	1,26
Tahunan	1.865,80	26,78	1.839,00	1.772,00	1.088,80	308,87	693,78	696,00	0,57	2,03

Gambar 15. Hasil simulasi sistem variasi 4

Berdasarkan Gambar 15, detail energi listrik yang dihasilkan dari perancangan sistem PLTS adalah sebagai berikut :

1. GlobHor, memiliki nilai setahun sebesar 1865,8 kWh/m²
2. T_Amb, memiliki nilai suhu sekitar rata-rata sebesar 26,78 °C,
3. GlobInc, memiliki nilai setahun sebesar 1839 kWh/m²,
4. GlobEff, memiliki nilai setahun sebesar 1772 kWh/m²,
5. EArray, sebesar 1088,0 kWh,
6. EUnused, sebesar 308,87 kWh,
7. E_Solar, sebesar 693,78 kWh
8. E_User, sebesar 696 kWh.
9. PR ratio, sebesar 0,572
10. EMiss, sebesar 2,03 kWh

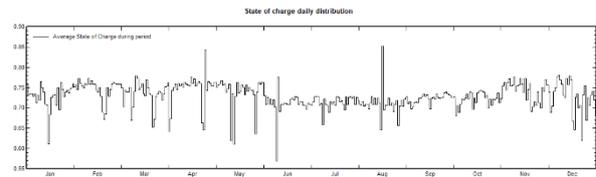
Sehingga, berdasarkan uraian detail energi pada deskripsi diatas dapat diketahui bahwa energi keluaran array surya yang dapat dimanfaatkan adalah :

$$\begin{aligned}
 EArray_final &= EArray - Eunused \text{ (kWh)} & (16) \\
 &= 1088 - 308,87 \text{ (kWh)} \\
 &= 779,13 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Energi array final yang dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai sebesar 779,13 kWh dan kemudian dapat digunakan untuk menyuplai listrik pengguna sebesar 693,78 kWh, Sedangkan energi yang dibutuhkan oleh beban adalah 696 kWh. Hal ini berarti sistem memiliki kekurangan energi sebesar 2,03 kWh dalam setahun. Dengan jumlah energi yang dapat tersuplai ke beban sebesar 693,78 kWh maka tingkat pemenuhan PLTS terhadap kebutuhan pengguna dapat dihitung sebagai berikut :

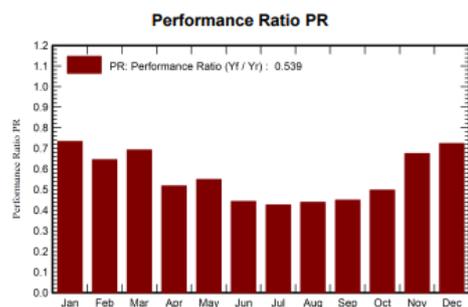
$$\begin{aligned}
 SolFrac &= \frac{E_{Supplied\ to\ user} \text{ (Energi\ tersuplai)}}{E_{User} \text{ (Energi\ dibutuhkan)}} & (17) \\
 &= \frac{693,78 \text{ kWh}}{696 \text{ kWh}} \\
 &= 0,996
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai tingkat keterisian energi sistem dalam kurun waktu setahun sebesar 0,996, yang berarti sistem PLTS variasi 4 dapat menyuplai kebutuhan energi listrik pengguna sebesar 99,6 %



Gambar 16. Kondisi state of charge harian baterai PLTS variasi 4

Gambar 16 menunjukkan tingkat pengisian awal baterai (SoC) harian, pada grafik dapat dilihat bahwa rata-rata SoC sistem hanya turun hingga 55% (tidak kurang dari 45%) sesuai dengan DoD yang didefinisikan pada awal sistem yaitu 55%.



Gambar 17. Rasio performa sistem variasi 4

Gambar 17 menunjukkan tingkat performance ratio yang dihasilkan dari sistem PLTS UMKM ini, rata-rata performance ratio tahunan sebesar 52%, hal ini disebabkan karena penggunaan deep of discharge baterai sebesar 55% perhari dari total kapasitas baterai yang ada, sehingga sistem juga memiliki performance ratio rata-rata yang tidak lebih dari 55% [17].

3.1.3. Perbandingan teknis variasi sistem PLTS

Tabel 3. Perbandingan hasil simulasi sistem

Variasi	EArray kWh/tahun	Eff. array	Eff. baterai	Eff. sistem	Rasio Kinerja	Missing Energy
			%			kWh/tahun
1	1060,3	16,11	94,35	14,28	0,546	6,245
2	1060,3	16,11	94,51	14,30	0,548	4,813
3	1087,0	19,48	94,20	17,24	0,565	3,373
4	1087,0	19,51	94,12	17,34	0,572	2,025

Berdasarkan Tabel 3, energi listrik yang dihasilkan oleh array surya Variasi 1 dan 2 sebesar 1060,3 kWh/tahun. Sedangkan Variasi 3 dan 4 dapat menghasilkan energi listrik 1087 kWh/tahun. Nilai energi listrik keluaran array variasi 3 dan 4 memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan Variasi 1 dan 2. Jika dilihat berdasarkan datasheet panel surya, efisiensi panel surya Maysun dengan nilai efisiensi sebesar 16,5%. lebih kecil jika dibandingkan dengan panel surya Longi Solar memiliki nilai sebesar 19,5%, Ini sebanding dengan hasil simulasi, panel Maysun Solar memiliki nilai efisiensi simulasi 16,1%, sedangkan panel Longi Solar memiliki nilai efisiensi simulasi 19,5% Kemudian Luas array panel Longi Solar adalah 3,15 m2, lebih kecil jika dibandingkan panel Maysun Solar dengan luas 3,75 m2.

Kemudian energi listrik mengalami rugi – rugi dari baterai. Pada keempat variasi, Variasi 2 memiliki efisiensi baterai paling tinggi yaitu 94,51%, dan variasi 4 yaitu 94,12%.

Efisiensi sistem, variasi 4 memiliki nilai efisiensi paling tinggi yaitu 17,34%. Sedangkan variasi 1 memiliki nilai efisiensi paling rendah yaitu 14,28%.

Rasio kinerja, variasi 4 memiliki nilai paling tinggi yaitu 0,572 dengan nilai kekurangan energi paling sedikit yaitu 2,02 kWh/tahun. Sedangkan variasi 1 memiliki rasio performa paling rendah yaitu 0,545 dengan nilai kekurangan energi 6,24 kWh/tahun..

Berdasarkan hasil skoring, variasi sistem PLTS terbaik ditinjau dari hasil analisis kelayakan teknis didapati ada Variasi 4. Sedangkan variasi sistem dengan skoring paling rendah adalah variasi 1.

4. Kesimpulan

Perancangan PLTS UMKM offgrid ini membutuhkan spesifikasi sistem minimum panel surya dengan daya 683,5 Wp, baterai dengan kapasitas 158 Ah, Solar charge controller 28,5 A, dan inverter daya 807,5 W.

Perancangan PLTS UMKM offgrid menggunakan spesifikasi baterai merk Shoto 150Ah atau Huafu 160Ah, panel surya Maysun Solar 720Wp atau Longi Solar 700Wp, Solar charge controller merk Epever 30A, dan inverter merk Suoer 24V 1000W

Berdasarkan hasil analisis teknis dari masing-masing variasi, Variasi 4 memiliki kinerja terbaik diikuti dengan Variasi 3, Variasi 2, Variasi 1

Referensi

- [1]. DEN, "Outlook Energi Indonesia 2019," Jun. 2019 [Online]. Tersedia pada: <https://www.den.go.id/index.php/publikasi/index/Energy> Diakses: Agust 17, 2021.
- [2]. IESR, "Beyond 207 Gigawatts : Unleashing Indonesia’s Solar Potential," Inst. Essent. Serv. Reform, hal. 38, 2021.
- [3]. Krismadinata, "Design and Manufacture of Solar Cart for Cadger," Pros. Semin. Nasional, Balai Ris. dan Stand. Ind. Samarinda, hal. 359–367, 2017.
- [4]. A. Alfaraaj, F. Alhamdan, A. Alfaraaj, N. Alaydh, dan M. Akbar, "Design and Fabrication of Solar Powered Food Truck," Dep. Mech. Eng. Mohammadd bin Fahd Univ., 2019.
- [5]. K. Otto, J. Lund, M. Roeth, D. Rondini, dan I. Toussie, "Confidence Report: Solar for Trucks and Trailers," NACFE, 2018, [Daring]. Tersedia pada: <https://nacfe.org/technology/solar-panels-2/>. Diakses: 21 Agustus 2021.
- [6]. T. Belgore, P. R. Rajak, dan P. P. Patel, "Performance Evaluation of Stand-alone and On Grid Photovoltaic System using PVSYST Software .," Int. J. Eng. Technol., vol. 5, no. 12, hal. 542–547, 2018. [Online]. Tersedia: <https://www.semanticscholar.org/paper/Performance-Evaluation-of-Stand-alone-and-On-Grid-Belgore-Rajak/>.
- [7]. PVGIS, Typical Meteorological Year Generator, (2021) [Online]. Tersedia : <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/tools/tmy>, Diakses : Agu 21, 2021
- [8]. A. Shrivastava, R. Sharma, M. Kumar Saxena, V. Shanmugasundaram, M. Lal Rinawa, dan Ankit, "Solar Energy Capacity Assessment And Performance Evaluation Of A Standalone PV System Using Pvsyst," Mater. Today Proc., vol. 12, no. 13, Sandia National Laboratories, 2021, hal. 2384–2390
- [9]. H. Louie, Energy Poverty : Off-Grid Electrical Systems in Developing Countries. Seattle, USA:Springer, 2018.
- [10]. R. Perez, "Lead-Acid Battery State of Charge vs. Voltage," Home Power, no.36, hal. 66–70, Agu/Sept 1993.
- [11]. V. Sharma dan S. S. Chandel, "Performance analysis of a 190kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India," Energy Elsevier, vol. 55, hal. 476–485, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.03.075.
- [12]. D. L. King, W. E. Boyson, dan J. A. Kratochvil, "Analysis of factors influencing the annual energy production of photovoltaic systems," Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf. 2002, hal. 1356–1361.
- [13]. S. R. Spea dan H. A. Khattab, "Design Sizing and Performance Analysis of Stand-Alone PV System using PVSyst Software for a Location in Egypt," dalam Pros. 21st MEPCON 2019 Tanta Univ, 2019, hal. 927–932.
- [14]. B. Bagaskoro, J. Windarta, dan Denis, "Perancangan Dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Offgrid Menggunakan Perangkat Lunak Homer Di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara," TRANSIENT, vol. 8, no. 2, hal. 152–157, Jun. 2019.

- [15]. P. McNutt, "Procedures for determining the performance of stand-alone photovoltaic systems," Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf., vol. 2000-Janua, Sep. 2000, hal. 1556–1559
- [16]. T. Ma, H. Yang, dan L. Lu, "Long term performance analysis of a standalone photovoltaic system under real conditions," Appl. Energy Elsevier, vol. 201, hal. 320–331, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.126.
- [17]. S. K. Yadav dan U. Bajpai, "Performance evaluation of a rooftop solar photovoltaic power plant in Northern India," Energy Sustain. Dev., vol. 43, hal. 130–138, 2018, doi: 10.1016/j.esd.2018.01.006.
- [18]. D. Spiers, "Batteries in PV Systems." McEvoy's Handbook of Photovoltaics, Third Edition. no.II-B, hal. 789-845, London, United Kingdom : Elsevier, 2018.