

INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA OFF-GRID SKALA RUMAH TINGGAL DI DESA TEMAHAR, DUSUN BERINANG, KECAMATAN JELIMPO, KABUPATEN LANDAK

Yohanes Jefri¹, M. Ismail Yusuf², Ayong Hiendro³
yohanesjefri13@gmail.com¹
Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan instalasi sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid skala rumah tinggal sebagai solusi kelistrikan di Dusun Berinang, Desa Temahar, Kecamatan Jelimpo, Kabupaten Landak, yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Perancangan sistem mempertimbangkan data beban listrik harian sebesar 326 Wh dan potensi energi surya harian sebesar 3,79 kWh/kWp. Komponen utama yang digunakan meliputi dua unit panel surya 100 WP, satu unit solar charge controller MPPT 20 A, satu unit baterai VRLA 12 V 100 Ah, dan inverter 100 W. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan energi sebesar 701,12 Wh per hari, dengan efisiensi yang cukup baik tanpa kekurangan maupun kelebihan energi selama 24 jam operasional. Sistem juga diuji menggunakan berbagai kombinasi beban dan menunjukkan daya keluaran rata-rata yang stabil. Dengan demikian, sistem PLTS off-grid ini dinyatakan layak untuk diterapkan sebagai solusi energi terbarukan rumah tinggal di daerah terpencil.

Kata Kunci: Plts Off-Grid, Panel Surya, Baterai, Rumah Tinggal, Dusun Berinang.

Abstract

This research aims to design and install an off-grid solar photovoltaic (PV) system for residential use as a power solution in Berinang Hamlet, Temahar Village, Jelimpo District, Landak Regency, which is not yet connected to the PLN electricity grid. The system design is based on a daily load demand of 326 Wh and a solar energy potential of 3.79 kWh/kWp per day. The main components used include two 100 WP solar panels, one 20 A MPPT solar charge controller, one 12 V 100 Ah VRLA battery, and a 100 W inverter. Calculation results show that the system is capable of generating 701.12 Wh of energy per day, with good efficiency and without energy shortage or excess over 24-hour operation. The system was tested under various load conditions and demonstrated stable output performance. Therefore, this off-grid PV system is feasible and effective as a renewable energy solution for residential electricity in remote areas.

Keywords: Off-Grid Pv, Solar Panel, Battery, Residential System, Berinang Hamlet.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar, menurut International Renewable Energy Agency (Irena) [1] estimasi kapasitas teknis mencapai 207,8 gigawatt (GW). Sebagai negara berkembang, Indonesia terus mengalami peningkatan kebutuhan energi listrik seiring dengan pertumbuhan ekonomi, perpindahan penduduk berbondong-bondong, dan perkembangan teknologi. Kementerian ESDM menyatakan bahwa Elektrifikasi di Indonesia telah mencapai 99,78% pada akhir 2023, dan pemerintah menargetkan angka tersebut menjadi 100% pada 2024.

Meskipun angka ini mencerminkan kemajuan signifikan, namun terdapat tantangan besar dalam mencapai elektrifikasi penuh, terutama di wilayah terpencil yang sulit dijangkau oleh infrastruktur listrik konvensional. Terdapat kesenjangan signifikan dalam akses listrik, terutama di daerah pedesaan, terpencil, dan wilayah sulit dijangkau seperti pulau-pulau kecil atau pegunungan. Banyak masyarakat di pedesaan masih bergantung pada sumber energi tidak berkelanjutan seperti genset berbahan bakar minyak atau lampu minyak tanah, yang tidak hanya mahal tetapi juga berdampak buruk pada lingkungan. Oleh karena

itu, solusi energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid dapat menjadi alternatif yang potensial untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat pedesaan secara mandiri dan berkelanjutan [2].

Pembangkit listrik tenaga surya off-grid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya mandiri yang tidak terhubung ke jaringan listrik utama [3]. Sistem ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik lokal yang berdiri sendiri, menjadikannya solusi yang tepat bagi daerah-daerah yang tidak memiliki akses listrik dari perusahaan listrik negara (PLN).

Dusun berinang, yang berada di desa temahar, kecamatan jelimpo, kabupaten landak, merupakan salah satu wilayah di kalimantan barat yang sampai saat ini masih belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Kondisi ini disebabkan oleh tantangan geografis dan infrastruktur, yang umum dihadapi oleh desa-desa terpencil di Indonesia, terutama di wilayah dengan medan yang sulit dijangkau. Sementara beberapa desa di kecamatan jelimpo telah mendapatkan akses listrik dari PLN, tetapi dusun berinang masih bergantung pada sumber energi tradisional seperti genset berbahan bakar minyak, yang tidak efisien dan mahal untuk jangka panjang.

Berdasarkan data dari Global Solar Atlas [4] koordinat lokasi dusun berinang adalah 00.553613° LU, 110.189456°BT dengan potensi radiasi matahari harian mencapai 3.790 kWh/kWp per hari, yang termasuk tinggi dan sangat ideal untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sehingga memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi utama.

Oleh karena itu, perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid menjadi solusi efektif untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah-daerah tersebut. Sistem ini menggunakan energi matahari sebagai sumber daya utama, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan perangkat seperti panel surya, inverter, baterai, dan kontroler pengisian daya. Perancangan PLTS off-grid melibatkan berbagai faktor teknis, termasuk efisiensi inverter, desain beban energi, penentuan sudut kemiringan panel, dan nominal tegangan bus DC yang sesuai untuk kebutuhan rumah tangga kecil.

Melihat potensi energi surya yang tersedia dan tantangan keterbatasan akses listrik di wilayah tersebut, penelitian ini akan berfokus pada "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Skala Rumah Tinggal di Desa Temahar, Dusun Berinang, Kecamatan Jelimpo, Kabupaten Landak." Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem energi berkelanjutan yang dapat mendukung pemerataan akses listrik, meningkatkan kualitas hidup masyarakat, dan mengoptimalkan potensi energi surya di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

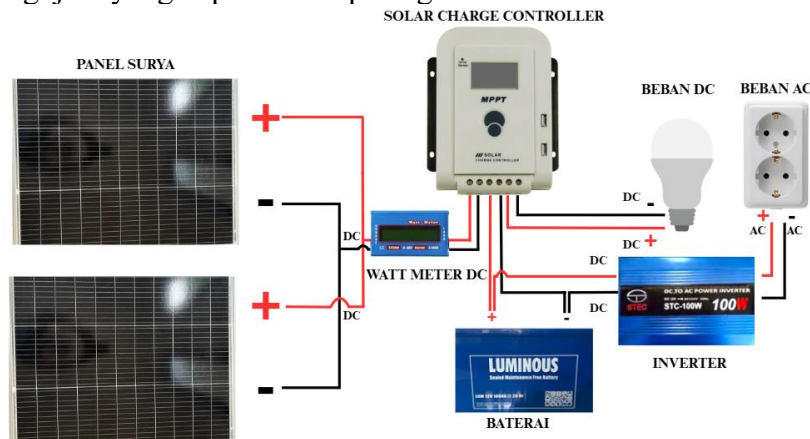
Metode yang digunakan pada penelitian adalah melakukan penelitian dan instalasi perangkat pembangkit listrik tenaga surya off-grid untuk memenuhi kebutuhan listrik pada skala rumah tinggal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Sistem PLTS

Pada tahap perancangan sistem, arah dan sudut peletakan panel surya merupakan faktor penting untuk memaksimalkan penyerapan energi matahari. Berdasarkan titik koordinat lokasi penelitian, yaitu lintang utara: 0.553613°, dan bujur timur: 110.189456° (Dusun Berinang, Desa Temahar), posisi geografis berada di wilayah tropis yang dekat dengan garis khatulistiwa. Oleh karena itu, arah pemasangan panel surya yang ideal adalah menghadap ke selatan dengan sudut kemiringan sekitar 10°–15° dari horizontal. Namun, berdasarkan kondisi di lapangan, arah atap rumah yang akan digunakan untuk pemasangan panel surya tidak sejajar dengan arah matahari yang optimal. Arah atap menghadap barat

laut (sekitar 310°), sehingga tidak memungkinkan pemasangan panel secara langsung ke arah selatan tanpa merubah struktur atap. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penyesuaian sudut kemiringan panel agar tetap menangkap radiasi matahari secara maksimal sepanjang hari. Panel surya tetap dipasang mengikuti arah atap, tetapi dipasang dengan kemiringan 15° untuk meningkatkan penyerapan sinar matahari, terutama saat siang hari ketika posisi matahari berada hampir tegak lurus. Meskipun arah pemasangan tidak optimal, dengan sudut miring yang sesuai dan tidak adanya bayangan yang menghalangi sepanjang hari, sistem masih mampu bekerja secara efektif dan menghasilkan energi yang cukup untuk kebutuhan beban rumah tinggal. Perancangan sistem juga dilakukan sesuai dengan kebutuhan daya yang akan digunakan pada rumah tangga yakni panel surya berjumlah 2 buah, *solar charge controller*, inverter, baterai, dan watt meter dc sebagai alat ukur untuk pengujian yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah.



Gambar 1 Rangkaian PLTS Off-Grid

Pada tahap ini juga akan dilakukan perhitungan teknis untuk merancang sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off-grid* skala rumah tinggal di desa temahar, dusun berinang. Data yang digunakan dalam perhitungan bersumber dari data *sheet* bahan yang digunakan, data beban harian, data radiasi matahari rata-rata dan data temperatur pada lokasi penelitian. Hasil dari perhitungan ini akan menjadi dasar dalam menentukan spesifikasi sistem PLTS yang dirancang agar dapat beroperasi secara optimal. Untuk melakukan perancangan sistem pada PLTS, dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut :

Menghitung Faktor Susut Daya Panel

Kinerja panel surya dipengaruhi oleh suhu saat beroperasi, semakin tinggi suhu maka semakin besar penurunan daya. Oleh karena itu, perlu dihitung faktor susut daya akibat temperatur dengan persamaan (2.1) Pada jam 00:00.

$$F_{temp} = \left[\frac{1 + \alpha_p \left[T_a + I_T \left(\frac{T_{C,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) - T_{C,STC} \right]}{1 + \alpha_p \cdot I_T \left(\frac{T_{C,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right)} \right] \frac{\eta_{MP,STC}}{0.9}$$

$$F_{temp} = \left[\frac{1 + (-0.003) \left[23.67 + 0 \left(\frac{47 - 20}{0.8} \right) - 25 \right]}{1 + (-0.003)(0) \left(\frac{47 - 20}{0.8} \right)} \right] \frac{0.149}{0.9}$$

$$F_{temp} = 1.0039$$

Hasil dari perhitungan selanjutnya dengan cara yang sama dapat dilihat pada tabel .1

Tabel . 1 Hasil Perhitungan Ftemp

Jam	Ftemp
00:00	1.0039
01:00	1.0046
02:00	1.0046
03:00	1.0050
04:00	1.0054
05:00	1.0057
06:00	0.9980
07:00	0.9797
08:00	0.9581
09:00	0.9391
10:00	0.9250
11:00	0.9187
12:00	0.9214
13:00	0.9290
14:00	0.9447
15:00	0.9649
16:00	0.9830
17:00	0.9951
18:00	0.9979
19:00	0.9993
20:00	0.9993
21:00	1.0015
22:00	1.0024
23:00	1.0032
Rata-Rata	0.9765

Tabel .1 menunjukkan nilai Ftemp (faktor susut daya akibat temperatur) yang dihitung setiap jam selama 24 jam dalam satu hari. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Ftemp tertinggi terjadi pada pukul 05:00 sebesar 1.0057, sedangkan nilai terendah terjadi pada pukul 11:00 sebesar 0.9187. Pada pukul 21:00 hingga 05:00, nilai Ftemp berada di atas 1, hal ini menandakan bahwa pada waktu tersebut suhu panel masih rendah, sehingga efisiensi modul berada dalam kondisi optimal. Mulai pukul 06:00 hingga 11:00, nilai Ftemp cenderung menurun dan mencapai titik terendah pada siang hari, yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu menyebabkan penurunan efisiensi panel surya. Setelah pukul 12:00, nilai Ftemp mulai meningkat kembali seiring dengan menurunnya intensitas radiasi matahari dan pendinginan suhu lingkungan. Pola ini menunjukkan hubungan langsung antara suhu panel dengan penurunan kinerja panel surya, di mana semakin tinggi suhu, maka nilai Ftemp semakin rendah. Secara keseluruhan, rata-rata nilai Ftemp adalah 0.9765. Hal ini penting untuk diperhatikan dalam perancangan sistem PLTS, karena suhu lingkungan dapat mempengaruhi daya hasil dari panel surya.

Menghitung Daya Output Yang Dibangkitkan Panel

Untuk mendapatkan daya output yang dibangkitkan oleh sistem PLTS, dapat dihitung sesuai dengan data panel surya yang digunakan, data dapat dilihat pada tabel 3.1, dan perhitungan pada penelitian ini menggunakan 2 buah panel surya dengan total kapasitas 200Wp, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (2.2) Pada jam 00:00.

$$P_{PV} = P_{PV,STC} \cdot F_{pv} \cdot F_{temp} \cdot \left(\frac{I_T}{I_{T,STC}} \right)$$

$$PPV = 0.2 \cdot 0.85 \cdot 1.0039 \cdot \frac{0}{1}$$

$$PPV = 0$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2 Hasil Perhitungan Ppv

Jam	Ppv (Wh)
00:00	0
01:00	0
02:00	0
03:00	0
04:00	0
05:00	0
06:00	13.10
07:00	37.98
08:00	63.54
09:00	83.58
10:00	96.72
11:00	100.72
12:00	95.48
13:00	85.58
14:00	65.14
15:00	39.98
16:00	17.32
17:00	1.98
18:00	0
19:00	0
20:00	0
21:00	0
22:00	0
23:00	0
Total	701.12

Tabel diatas menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan oleh panel surya (Ppv) pada setiap jam selama 24 jam. Berdasarkan data, terlihat bahwa tidak ada energi yang dihasilkan pada pukul 18:00 hingga 05:00, hal ini menandakan bahwa pada waktu tersebut tidak terdapat radiasi matahari, sehingga panel surya tidak dapat menghasilkan energi listrik. Produksi energi mulai terjadi pada pukul 06:00 dengan nilai 13,10 Wh, kemudian terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada pukul 11:00 dengan nilai 100,72 Wh, yang merupakan produksi energi tertinggi dalam satu hari. Setelah itu, produksi energi mulai menurun secara bertahap seiring dengan menurunnya intensitas sinar matahari, hingga hanya menghasilkan 1,98 Wh pada pukul 17:00, dan kembali nol setelah matahari terbenam. Pola ini menunjukkan bahwa produksi energi panel surya mengikuti kurva harian radiasi matahari, dengan kinerja tertinggi terjadi antara pukul 09:00 hingga 13:00. Total energi yang dihasilkan selama 24 jam adalah sebesar 701,12 Wh. Dengan hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa sistem PV memiliki potensi yang cukup baik untuk memenuhi kebutuhan energi harian rumah tangga.

Menentukan Kebutuhan Panel

Untuk menentukan kebutuhan panel dilakukan perhitungan dengan data yang sudah didapatkan dari hasil perhitungan (Tabel 4.2) mencari nilai Ppv yang dihasilkan 2 panel dengan pilihan waktu per jam. Data hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3 Kebutuhan Panel dan Kebutuhan Baterai

Waktu (Jam)	EB (Wh)	Ta (°C)	IT (Wh/M ²)	Ppv (Wh)
00:00-01:00	10	23.67	0	0
01:00-02:00	10	23.45	0	0
02:00-03:00	10	23.46	0	0
03:00-04:00	10	23.32	0	0
04:00-05:00	10	23.18	0	0
05:00-06:00	10	23.07	0	0
06:00-07:00	0	23.05	77.25	13.10
07:00-08:00	0	23.92	228.12	37.98
08:00-09:00	0	25.25	390.21	63.54
09:00-10:00	0	26.55	523.61	83.58
10:00-11:00	0	27.68	615.17	96.72
11:00-12:00	10	28.54	645.02	100.72
12:00-13:00	78	28.99	609.59	95.48
13:00-14:00	78	29.05	542.01	85.58
14:00-15:00	0	28.96	405.67	65.14
15:00-16:00	0	28.16	243.77	39.98
16:00-17:00	0	27.1	103.65	17.32
17:00-18:00	0	26.23	11.78	1.98
18:00-19:00	20	25.7	0	0
19:00-20:00	20	25.22	0	0
20:00-21:00	20	24.81	0	0
21:00-22:00	20	24.48	0	0
22:00-23:00	10	24.18	0	0
23:00-00:00	10	23.91	0	0
TOTAL	326 Wh	TOTAL	701.12	

Jumlah panel surya ditentukan menggunakan persamaan (2.3), yaitu dengan membagi kebutuhan energi harian (EB) sebesar 326 Wh dengan energi yang dihasilkan satu panel, yaitu 350,56 Wh. Secara teoritis hanya diperlukan satu panel ($326 / 350,56 = 0,93$), namun sistem ini menggunakan dua panel 100 WP yang menghasilkan total 701,12 Wh per hari. Penggunaan dua panel dipilih untuk mengantisipasi fluktuasi iradiasi, susut daya akibat suhu, dan efisiensi sistem, serta menjamin baterai dapat terisi penuh.

Menentukan Jumlah Baterai

Penentuan kapasitas baterai yang akan digunakan berdasarkan pada jumlah total kekurangan energi pada sistem pembebanan terutama ketika malam hari, maka untuk menentukan kapasitas yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan (2.4), kebutuhan energi 326 Wh dibagi dengan tegangan baterai yang digunakan yaitu 12 V, maka didapat hasilnya 27.16 Ah. Kemudian untuk menentukan berapa jumlah baterai yang optimum dapat dihitung dengan persamaan (2.5) dengan kapasitas yang dibutuhkan yaitu 27.16 Ah dibagi dengan kapasitas 1 buah baterai yaitu 100 Ah, maka didapat hasil perhitungannya 0.27 atau 1 buah baterai.

Menentukan Solar Charge Controller

Untuk mengetahui besar arus SCC yang diperlukan, maka dihitung dengan persamaan (2.6). Jumlah panel yang digunakan yaitu 2 buah dikali dengan arus maksimum keluaran panel 5.47 dan dikali dengan *safety factor* (faktor keamanan) 1.25, maka didapat hasil perhitungan yaitu 13.67 A. Dengan demikian, kapasitas minimal *Solar Charge Controller* yang digunakan dalam sistem ini adalah 13,67 A. Pada penelitian ini digunakan *Solar Charge Controller* MPPT 20 A, karena untuk memberikan margin keamanan tambahan.

Menentukan Inverter

Kapasitas inverter ditentukan berdasarkan total daya beban AC yang digunakan secara bersamaan, pada penelitian ini beban AC yang digunakan hanya untuk *charge handphone*,

charge laptop, dan kipas angin dengan total daya 78 Watt. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor keamanan 1,25. Kapasitas inverter diperhitungkan dengan persamaan (2.7), dimana kapasitas inverter sama dengan *demand watt* yang digunakan yaitu 78 Watt dikali dengan faktor keamanan 1.25, maka didapat hasilnya yaitu 97.5 Watt. Dari hasil perhitungan kapasitas inverter yang digunakan adalah 100 watt.

Analisis Energi

Analisis energi bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian antara energi yang dibangkitkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan kebutuhan energi harian rumah tangga. Evaluasi ini penting untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat beroperasi secara optimal, baik pada kondisi siang hari saat pembangkitan berlangsung, maupun malam hari saat sistem bergantung pada baterai sebagai sumber energi. Dalam analisis energi terdapat kekurangan energi yang dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Kekurangan Energi

Waktu	EB (Wh)	Ppv (Wh)	Output Baterai (Wh)	Kekurangan Energi (Wh)
00:00-01:00	10	0	10	0
01:00-02:00	10	0	10	0
02:00-03:00	10	0	10	0
03:00-04:00	10	0	10	0
04:00-05:00	10	0	10	0
05:00-06:00	10	0	10	0
06:00-07:00	0	13.10	0	0
07:00-08:00	0	37.98	0	0
08:00-09:00	0	63.54	0	0
09:00-10:00	0	83.58	0	0
10:00-11:00	0	96.72	0	0
11:00-12:00	10	100.72	0	0
12:00-13:00	78	95.48	0	0
13:00-14:00	78	85.58	0	0
14:00-15:00	0	65.14	0	0
15:00-16:00	0	39.98	0	0
16:00-17:00	0	17.32	0	0
17:00-18:00	0	1.98	0	0
18:00-19:00	20	0	20	0
19:00-20:00	20	0	20	0
20:00-21:00	20	0	20	0
21:00-22:00	20	0	20	0
22:00-23:00	10	0	10	0
23:00-00:00	10	0	10	0
TOTAL	326	701.12	160	0 Wh

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa total kebutuhan energi beban harian (EB) sebesar 326 Wh, dengan total energi yang dihasilkan oleh panel surya (Ppv) sebesar 701,12 Wh, dan energi yang dikeluarkan dari baterai untuk menyuplai beban sebesar 160 Wh. Selama 24 jam pengamatan, tidak terdapat kekurangan energi sama sekali, yang ditunjukkan dengan nilai kekurangan energi sebesar 0 Wh di setiap jam. Pada pukul 18:00 hingga 06:00, panel surya tidak menghasilkan energi karena tidak ada sinar matahari sehingga beban listrik disuplai oleh baterai, yang mengeluarkan daya antara 10 hingga 20 Wh per jam. Hal ini menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai kebutuhan beban malam hari dengan baik. Sementara itu, pada pukul 06:00 hingga 17:00, seluruh kebutuhan energi tercukupi langsung oleh panel surya tanpa bantuan dari baterai. Bahkan pada saat beban tertinggi di siang hari, seperti pada pukul 12:00 hingga 14:00, energi dari panel tetap mencukupi sehingga tidak

terjadi penarikan daya dari baterai. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu beroperasi dengan baik dan handal, tanpa terjadi kekurangan suplai energi. Setelah analisis kekurangan energi, selanjutnya analisis kelebihan energi dapat dilihat pada Tabel 4.

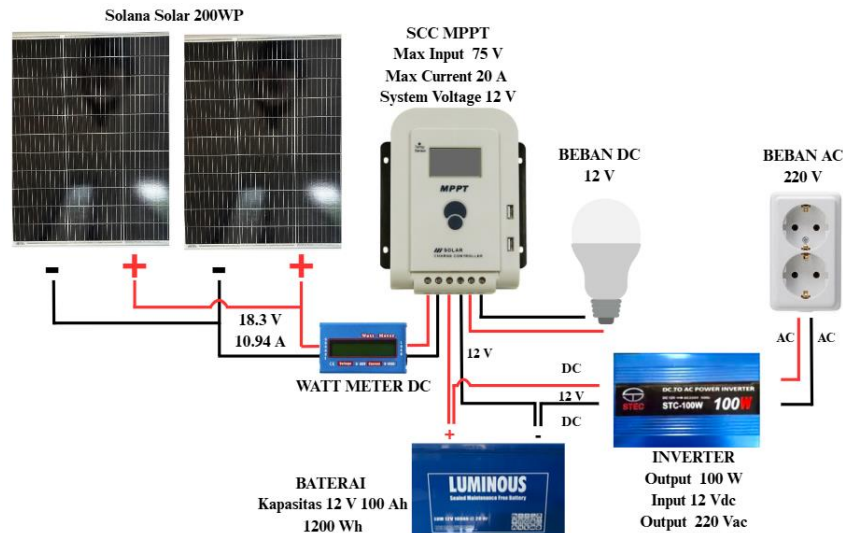
Tabel 5 Kelebihan Energi

Waktu	EB (Wh)	Ppv (Wh)	Input Baterai (Wh)	Kelebihan Energi (Wh)
00:00-01:00	10	0	0	0
01:00-02:00	10	0	0	0
02:00-03:00	10	0	0	0
03:00-04:00	10	0	0	0
04:00-05:00	10	0	0	0
05:00-06:00	10	0	0	0
06:00-07:00	0	13.10	13.10	0
07:00-08:00	0	37.98	37.98	0
08:00-09:00	0	63.54	63.54	0
09:00-10:00	0	83.58	83.58	0
10:00-11:00	0	96.72	96.72	0
11:00-12:00	10	100.72	90.72	0
12:00-13:00	78	95.48	17.48	0
13:00-14:00	78	85.58	7.58	0
14:00-15:00	0	65.14	65.14	0
15:00-16:00	0	39.98	39.98	0
16:00-17:00	0	17.32	17.32	0
17:00-18:00	0	1.98	1.98	0
18:00-19:00	20	0	0	0
19:00-20:00	20	0	0	0
20:00-21:00	20	0	0	0
21:00-22:00	20	0	0	0
22:00-23:00	10	0	0	0
23:00-00:00	10	0	0	0
TOTAL	326	701.12	635.12	0 Wh

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa total kebutuhan energi beban (EB) selama satu hari adalah sebesar 326 Wh, sedangkan total energi yang dihasilkan oleh panel surya (Ppv) mencapai 701,12 Wh. Dari jumlah tersebut, energi yang berhasil disimpan ke dalam baterai sebesar 635,12 Wh, dan tidak terdapat kelebihan energi yang tercatat, atau 0 Wh. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dimanfaatkan secara optimal, baik untuk langsung memenuhi beban maupun untuk pengisian baterai. Tidak adanya kelebihan energi menandakan bahwa kapasitas baterai yang digunakan dalam sistem PLTS *off-grid* ini sudah cukup untuk menyimpan seluruh energi dari panel ke sistem tanpa terjadi kelebihan yang terbuang.

Desain Engineering Detail Sistem PLTS Off-Grid

Desain Engineering Detail (DED) merupakan bagian penting dalam proses perancangan sistem PLTS *off-grid* yang menyajikan konfigurasi teknis, diagram sistem, dan spesifikasi komponen secara menyeluruh. DED dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4 Desain Engineering Detail Sistem PLTS Off-Grid

Desain Engineering Detail (DED) sistem PLTS *off-grid* ini terdiri atas dua panel surya solana solar 100WP yang dirangkai paralel sehingga menghasilkan total daya 200WP dengan tegangan 18,3 V dan arus sebesar 10,94 A. Daya ini dialirkan menuju *solar charge controller* (SCC) tipe MPPT 20A, yang berfungsi mengatur serta mengoptimalkan proses pengisian baterai dengan mendeteksi titik daya maksimum dari panel surya. SCC akan mengonversi tegangan dari panel menjadi tegangan pengisian yang sesuai untuk baterai VRLA 12V 100Ah, sekaligus melindungi baterai dari risiko *overcharging* dan *overdischarge*. Output dari SCC kemudian dialirkan melalui kabel DC positif dan negatif menuju terminal baterai, tempat energi disimpan dalam bentuk arus searah. Baterai berperan sebagai pusat penyimpanan energi yang akan digunakan untuk menyuplai beban listrik DC dan AC, kemudian baterai akan menyalurkan arus DC 12V melalui kabel menuju input inverter. Inverter 100W ini mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC 220V yang kemudian disalurkan ke beban rumah tangga seperti kipas angin, *charge handphone* dan laptop. Dengan konfigurasi ini, aliran energi berlangsung dari panel surya menuju SCC lalu ke baterai, dan selanjutnya ke beban DC maupun inverter untuk beban AC, sehingga sistem dapat bekerja secara optimal.

Data Pengujian

Setelah dilakukan instalasi dari alat yang telah dirancang, kemudian dilakukan pengujian beban sebanyak 3 macam, yaitu pengujian beban lampu dan kipas angin, beban *charge handphone* dan laptop, dan beban campuran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kestabilan sistem PLTS saat menyuplai beban kombinasi DC dan AC. Untuk hasil dari pengujian dapat di lihat pada gambar dan tabel dibawah ini.

Data Pengujian Beban Lampu dan Kipas Angin

Dilakukan pengujian beban lampu dan kipas angin dengan total daya sebesar 55 W. Data hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.3 dan hasil pengujian selanjutnya dimasukan pada tabel 4.6 dibawah ini.



Gambar 4 Data Pegujian Beban

Tabel 6 Data Pengujian Beban Lampu dan Kipas Angin

NO	JAM	TEGANGAN (Vdc)	Arus (A)	Daya Keluaran (W)
1	09:00	13.71	4.09	56.1
2	10:00	13.55	5.36	72.7
3	11:00	13.68	5.83	79.8
4	12:00	13.87	6.33	87.4
5	13:00	13.94	6.50	90.7
6	14:00	13.59	6.59	88.9
7	15:00	13.50	4.19	56.7
8	16:00	13.38	3.72	49.5
Rata-Rata		13.65 V	5.33 A	72.73 W

Data Pengujian Beban Charge Handphone dan Laptop

Dilakukan pengujian beban *charge handphone* dan laptop dengan total daya sebesar 43 W. Data hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 7 Data Pengujian Beban Charge Handphone dan Laptop

NO	JAM	TEGANGAN (Vdc)	Arus (A)	Daya Keluaran (W)
1	09:00	13.42	4.44	60.2
2	10:00	14.01	5.62	78.6
3	11:00	14.06	6.04	85.2
4	12:00	14.24	5.36	76.4
5	13:00	14.26	5.34	76.0
6	14:00	14.41	5.20	74.9
7	15:00	14.48	5.03	72.9
8	16:00	14.38	4.50	64.7
Rata-Rata		14.15	5.19	73.61

Data Pengujian Beban Campuran

Dilakukan pengujian beban lampu, kipas angin, *charge handphone* dan laptop dengan total daya sebesar 98 W. Data hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 8 Data Pengujian Beban Campuran

NO	JAM	TEGANGAN (Vdc)	Arus (A)	Daya Keluaran (W)
1	09:00	13.76	4.85	63.7
2	10:00	14.03	5.89	82.7
3	11:00	13.89	5.96	83.0
4	12:00	14.24	5.20	74.6
5	13:00	14.34	5.55	79.8
6	14:00	14.43	5.11	73.7
7	15:00	14.43	4.93	71.2
8	16:00	14.27	4.18	59.8
Rata-Rata		14.17	5.21	73.56

Analisis Hasil Pengujian

Pengujian terhadap beban lampu dan kipas angin menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu memberikan tegangan rata-rata sebesar 13,65 V, arus sebesar 5,33 A, dan daya

keluaran rata-rata 72,73 W. Daya tertinggi tercatat pada pukul 13:00 sebesar 90,7 W, sedangkan daya terendah terjadi pada pukul 16:00 sebesar 49,5 W. Perbedaan nilai arus yang cukup signifikan menunjukkan bahwa konsumsi daya oleh beban berubah-ubah seiring dengan perubahan intensitas sinar matahari. Secara umum, sistem mampu menyuplai energi secara stabil selama periode siang hari terhadap beban kombinasi lampu dan kipas angin.

Pada pengujian dengan beban pengisian daya *handphone* dan laptop, sistem menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 14,15 V, arus sebesar 5,19 A, dan daya keluaran rata-rata 73,61 W. Daya tertinggi diperoleh pada pukul 11:00 sebesar 85,2 W, menunjukkan performa optimal saat radiasi matahari cukup tinggi. Nilai arus cenderung stabil antar jam, yang menunjukkan bahwa karakteristik beban *charge handphone* bersifat konstan dan tidak terlalu berubah. Hal ini membuktikan bahwa sistem PLTS dapat secara efektif dan efisien digunakan untuk pengisian daya perangkat elektronik kecil.

Pada pengujian dengan beban campuran, yakni kombinasi beberapa peralatan listrik, diperoleh tegangan rata-rata sebesar 14,17 V, arus sebesar 5,21 A, dan daya keluaran rata-rata 73,56 W. Nilai ini cukup stabil dan tidak berbeda jauh dengan pengujian beban *charge handphone* dan Laptop. Daya maksimum terjadi pada pukul 11:00 sebesar 83,0 W, dan minimum pada pukul 16:00 sebesar 59,8 W. Secara umum, performa sistem masih tergolong baik, meskipun daya keluaran tidak mencapai 98 W penuh, karena sebagian energi disuplai dari baterai atau terjadi rugi sistem. Hal ini menunjukkan bahwa sistem PLTS memiliki performa yang konsisten meskipun digunakan untuk beban dengan jenis dan karakteristik berbeda secara bersamaan.

Selain itu, perbandingan antara perhitungan daya output panel surya dan hasil pengujian langsung di lapangan, secara umum sistem PLTS *off-grid* yang dirancang menunjukkan kinerja yang cukup baik. Dari hasil perhitungan teoritis (Tabel 4.2) energi total yang dihasilkan panel surya dalam satu hari mencapai 701,12 Wh, sedangkan dari hasil pengujian langsung terhadap beban campuran selama durasi efektif delapan jam, energi yang dihasilkan sebesar 588,5 Wh. Perbedaan antara hasil perhitungan dan hasil pengujian menunjukkan adanya selisih energi 112,62 Wh dari total energi teoritis yang seharusnya dapat dibangkitkan. Meskipun terdapat selisih tersebut, hasil pengujian masih menunjukkan bahwa sistem mampu menyuplai beban secara stabil tanpa terjadi kekurangan energi yang signifikan selama waktu pengujian. Hal ini menandakan bahwa sistem telah bekerja dengan efisien dan cukup handal dalam memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga sesuai rencana. Selisih antara hasil perhitungan dan hasil pengujian dapat disebabkan oleh beberapa faktor teknis, di antaranya adalah penurunan efisiensi panel akibat suhu tinggi, kerugian daya pada kabel, koneksi, dan efisiensi, serta kondisi cuaca saat pengujian yang tidak selalu ideal. Selain itu, perhitungan dilakukan dengan mengasumsikan kondisi iradiasi matahari yang konstan dan ideal, sedangkan di lapangan intensitas radiasi bisa mengalami fluktuasi karena awan menutupi matahari sehingga cahaya berkurang. Dengan demikian, meskipun terdapat sedikit perbedaan antara perhitungan dan hasil pengujian, sistem PLTS *off-grid* ini tetap layak dan mampu menyediakan energi sesuai kebutuhan, tanpa mengalami kekurangan energi yang banyak dalam kondisi pengujian normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* di Dusun Berinang, maka dapat disimpulkan:

1. Sistem PLTS *off-grid* berhasil dirancang dan dipasang secara tepat untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tinggal di Dusun Berinang. Sistem ini mampu menyediakan suplai energi listrik sebesar 326 Wh per hari, sesuai dengan profil kebutuhan energi rumah tangga yang diteliti.

2. Komponen utama yang digunakan dalam sistem meliputi dua panel surya 100 WP (dirangkai paralel), satu solar charge controller MPPT 20A, satu baterai VRLA 12V 100Ah, dan satu inverter 100W. Pemilihan dan spesifikasi setiap komponen ditentukan berdasarkan hasil perhitungan teknis kebutuhan energi dan potensi radiasi matahari di lokasi.
3. Sistem yang dirancang telah melalui perhitungan teknis dan pengujian langsung, yang menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil tanpa mengalami kekurangan energi. Ini menunjukkan bahwa sistem layak secara teknis untuk diterapkan sebagai solusi elektrifikasi mandiri di daerah terpencil seperti di Dusun Berinang.

Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem PLTS off-grid yang dilakukan, maka terdapat beberapa saran yang dapat mempertimbangkan untuk pengembangan keberlanjutan sistem kedepan, antara lain:

1. Pengembangan Kapasitas Sistem: Disarankan untuk menambah kapasitas baterai dan panel surya agar sistem dapat mengantisipasi peningkatan beban listrik di masa mendatang atau kondisi cuaca mendung yang berkepanjangan.
2. Pemeliharaan Rutin: Perlu dilakukan perawatan rutin terhadap panel surya, sambungan kabel, dan komponen lainnya untuk menjaga efisiensi sistem PLTS agar tetap optimal dalam jangka panjang.
3. Penyuluhan kepada Masyarakat: Diperlukan pelatihan sederhana kepada masyarakat setempat agar dapat mengoperasikan dan memelihara sistem PLTS secara mandiri.
4. Pengembangan Sistem Monitoring: Untuk pengembangan lanjutan, sistem dapat dilengkapi dengan perangkat monitoring berbasis digital atau IoT agar mempermudah pemantauan kinerja sistem dan mendeteksi gangguan sejak dini.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian ESDM. "Kementerian ESDM Tuntaskan Program Elektrifikasi di Tahun 2024". 15 januari 2024. [online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kementerian-esdm-tuntaskan-program-elektrifikasi-di-tahun-2024>
- R. Evan, Tugas Akhir. 175.45.187.195, 31124. 2019.
- Elektro, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, S. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. 2023.
- Global Solar Atlas, "Solar Resource Data: West Kalimantan" 2025. [online]. Available: <https://globalsolaratlasinfo>
- H. B. Nurjaman, and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," 2022.
- Y. S. Handayani, M. Hendy Jaza, A. Kurniawan, and B. Istijono, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat OFF-GRID System Pada Gedung LAB Terpadu II Fakultas Teknik Universitas Bengkulu," 2024.
- G. A. D.A Pranitha, and N. Lubis, "Studi Perencanaan Pusat Listrik Tenaga Surya Off Grid 50 kWp," J. Penelit. dan Pengkaj. Elektro, vol. 20, no. 3, pp. 14–20, 2018.
- E. Wati, "Performance Analysis of Off-Grid Solar Power Systems Configured in Parallel and Combination (Series-Parallel) for Indoor Lighting," 2023.
- K. H. Kwee, A. Hiendro, and U. A. Gani, "Perancangan Optimum Sistem Plts Pada Puskesmas Terigas Di KABUPATEN SAMBAS. 2020.
- N. Nugroho, K. H. Khwee, and Yandri, "Studi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off Grid Dan On Grid (Studi kasus :PT Arif Borneo Azzara)," J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2022.
- Rama. BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Panel Surya (Solar Cell). Panel Surya (Solar Cell) Panel, 4–27. 2018
- J. Bawalo, M. Rumbayan, and N. M. Tulung, Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Rumah Kebun Desa Ammat Kabupaten Kepulauan Talaud. Paper Knowledge. Toward a

- Media History of Documents, 1–11. 2014.
- J. Syahrizal, Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbantuan Program Calculationsolar. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura. 2019.
- Pembangkit, M., Tenaga, L., Komponen, S., Silicon, C., Film, T., Indium, C., Selenide, G., Telluride, C., & Silicon, A. (n.d.). Perancangan berbantuan komputer.