

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN SISTEM OFF-GRID DI KANTOR DESA GONIS TEKAM KECAMATAN SEKADAU HILIR KABUPATEN SEKADAU

Oka Junata

okajunata6@gmail.com

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang andal dan berkelanjutan masih menjadi tantangan di daerah pedesaan, termasuk Desa Gonis Tekam, Kecamatan Sekadau Hilir, Kabupaten Sekadau. Keterbatasan akses listrik dari PLN menghambat aktivitas pemerintahan desa. Penelitian ini bertujuan merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid untuk memenuhi kebutuhan listrik Kantor Desa Gonis Tekam sebesar 16.200 Wh/hari. Perhitungan dilakukan untuk menentukan kapasitas panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, dan inverter, dengan mempertimbangkan data beban harian, intensitas radiasi matahari rata-rata 4,60 kWh/m²/hari, serta suhu lingkungan rata-rata 25,62 °C. Simulasi teknis dan ekonomi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro digunakan untuk memperoleh konfigurasi sistem yang optimal. Hasil menunjukkan bahwa sistem PLTS menggunakan 12 unit panel surya monokristalin 450 Wp (total 5.400 Wp), SCC MPPT 300 A, 2 unit baterai lithium 24V 450Ah (total 24V 900Ah), serta inverter 3.000 W dengan output 220V AC. Simulasi HOMER Pro menghasilkan produksi energi tahunan 6.888 kWh, dengan excess electricity 2,73% dan unmet load 0,02%. Sistem ini terbukti andal dan layak diterapkan, sekaligus mendukung program pemerintah dalam pengembangan energi baru terbarukan.

Kata Kunci: PLTS Off-Grid, Energi Terbarukan, HOMER Pro, Desa Gonis Tekam, Perencanaan Energi.

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan mendasar manusia yang sangat penting dalam menunjang segala aktivitas kehidupan, baik dalam sektor rumah tangga, industri, maupun pemerintahan. Di era modern seperti sekarang, ketersediaan energi listrik menjadi tolak ukur kemajuan suatu wilayah. Tanpa listrik, roda pemerintahan, pendidikan, dan perekonomian tidak akan berjalan secara optimal. Hal ini pun berlaku di wilayah pedesaan seperti Desa Gonis Tekam di Kecamatan Sekadau Hilir, Kabupaten Sekadau, yang hingga kini masih menghadapi tantangan dalam akses dan keandalan pasokan listrik. Sebagai wilayah yang belum sepenuhnya dijangkau oleh infrastruktur listrik PLN secara menyeluruh, Desa Gonis Tekam membutuhkan solusi energi yang mandiri, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Salah satu solusi terbaik adalah dengan mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem off-grid. Sistem ini memungkinkan penyediaan listrik secara independen tanpa bergantung pada jaringan utama PLN, sangat ideal untuk daerah-daerah terpencil yang secara geografis sulit dijangkau.

Menurut Kementerian ESDM (2020) [1], Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 207,8 GWp yang tersebar di seluruh wilayah, dan hanya sebagian kecil yang sudah dimanfaatkan. Dengan posisi geografis di sekitar garis khatulistiwa, Indonesia memiliki radiasi matahari rata-rata sebesar 4–5 kWh/m²/hari, menjadikannya sangat potensial untuk pengembangan PLTS, baik skala besar maupun kecil seperti sistem off-grid. Potensi ini seharusnya dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menjawab kebutuhan listrik masyarakat, terutama di daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar). Sistem PLTS off-grid merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berdiri sendiri tanpa terhubung ke jaringan listrik utama. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel

surya, solar charge controller, baterai, dan inverter. Energi matahari yang ditangkap panel surya diubah menjadi energi listrik, disimpan dalam baterai, dan digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik pengguna. Sistem ini sangat cocok digunakan di kantor desa seperti di Gonis Tekam yang aktivitasnya berlangsung dari pagi hingga sore hari dengan beban listrik yang relatif stabil dan bisa direncanakan. Penerapan sistem PLTS off-grid juga selaras dengan kebijakan pemerintah untuk mempercepat pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT). Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), ditargetkan bahwa kontribusi EBT dalam bauran energi nasional mencapai 23% pada tahun 2025. Salah satu prioritasnya adalah pengembangan PLTS sebagai solusi elektrifikasi di wilayah terpencil (Kementerian ESDM, 2021) [2]. Secara ekonomi, sistem PLTS off-grid memberikan manfaat jangka panjang. Walaupun investasi awal tergolong besar, biaya operasional dan perawatannya relatif rendah karena tidak menggunakan bahan bakar fosil. Panel surya memiliki masa pakai hingga 25 tahun, sehingga sangat efisien dalam jangka panjang (IRENA, 2022) [3]. Selain itu, sistem ini tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, menjadikannya ramah lingkungan dan mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Banyak studi terdahulu telah membuktikan bahwa penerapan sistem PLTS off-grid sangat efektif di daerah terpencil. Seperti penelitian oleh Handoko (2021) [4], menunjukkan bahwa sistem PLTS off-grid mampu meningkatkan produktivitas kerja dan efisiensi pelayanan publik di kantor desa. Hal serupa juga diungkapkan oleh penelitian Saragih (2020) [5], dalam kajiannya di daerah pedalaman Kalimantan Barat, di mana PLTS berperan penting dalam mendukung kegiatan administrasi dan sosial masyarakat desa.

METODE

Penelitian dilakukan di Kantor Desa Gonis Tekam, Kecamatan Sekadau Hilir, Kabupaten Sekadau. Tahapan penelitian meliputi:

1. Pengumpulan Data

- Beban listrik harian: 16.200 Wh (2.320 W beban puncak).
- Radiasi matahari rata-rata: 4,60 kWh/m²/hari.
- Suhu rata-rata: 25,62 °C.

2. Perhitungan Komponen

- Panel Surya dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi sistem 70%.
- SCC dihitung dari daya panel dan tegangan sistem baterai dengan faktor keamanan 1,25.
- Baterai ditentukan berdasarkan kebutuhan energi harian, DoD 80%, dan efisiensi 95%.
- Inverter ditentukan berdasarkan beban puncak dengan safety factor 25%.

3. Simulasi Sistem

Menggunakan perangkat lunak HOMER Pro untuk memperoleh konfigurasi optimal dari sisi teknis dan ekonomis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menghitung Jumlah Panel Surya

Berdasarkan Tabel 3.1 data kebutuhan energi harian sebesar 16.200 Wh/hari dan rata-rata radiasi matahari dari Tabel 3.2 sebesar 4,600 Wh/m²/hari, maka kapasitas total panel surya dihitung menggunakan rumus berikut (2.1) (2.2) ;

Dengan efisiensi sistem total 70% (N = 0,70), yang mempertimbangkan kerugian dari inverter, suhu panel, kabel, debu, dan sistem distribusi.

$$P_{pv} = \frac{E_D}{H \cdot N} = \frac{16.200}{4.600 \cdot 0,7} = \frac{16.200}{3,220} = 5.031 \text{ Wp}$$

Dengan menggunakan panel 450 Wp yang dibutuhkan:

$$\frac{5.031}{450} = 11,18 \text{ Dibulatkan menjadi 12 unit}$$

Menghitung Kapasitas Solar Charger Controller (SCC)

Berdasarkan total daya dari panel surya sebesar 5.031 Wp dan tegangan sistem baterai 24 V, serta mempertimbangkan faktor keamanan sebesar 25%, maka kapasitas minimum Solar Charge Controller (SCC) dihitung sebagai berikut: (2.3)

$$I_{SCC} = \frac{P_{PV}}{V_{batt}} \cdot S_f = \frac{5.031}{24} \cdot 1,25 = 262,03 \text{ A}$$

Oleh karena itu, diperlukan SCC tipe MPPT dengan kapasitas minimal 262,03 Ampere. Salah satu opsi praktis adalah menggunakan 1 unit MPPT 300 A.

Menghitung Jumlah Baterai

Perhitungan jumlah baterai dilakukan berdasarkan kebutuhan energi harian terdapat pada Tabel 3.1 sebesar 16.200 Wh, dengan tegangan sistem 24 Volt, kedalaman pengosongan (DoD) sebesar 80%, dan efisiensi baterai sebesar 95%. Digunakan jenis baterai lithium dengan spesifikasi 24V 450Ah per unit: (2.4) (2.5) (2.6) (2.7) (2.8)

$$C_{Batri} = \frac{E_D}{V_{baterai} \cdot DOD \cdot \eta_{Baterai}} = \frac{16.200}{24 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 887,5 \text{ Ah}$$

Dengan menggunakan baterai 24V dan 450Ah, maka jumlah baterai yang diperlukan:

$$\frac{887,5}{450} = 1,97 \text{ dibulatkan menjadi 2 unit.}$$

Konfigurasi sistem baterai terdiri dari 2 unit baterai 24V dan 450Ah serta terhubung secara paralel, sehingga menghasilkan 24V dan 900Ah. Kapasitas ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban harian selama lebih dari 1 hari operasi tanpa sinar matahari.

Menghitung Kapasitas Inverter

Total beban selama sehari pada Kantor Desa Gonis Tekam terdapat pada Tabel 3.1 adalah 2.320 Watt dan safety factor yang ditetapkan adalah 25%. Dengan begitu dapat dihitung kapasitas inverter sebagai berikut (2.9):

$$D_w = 2.320 \text{ W}, S_f = 1 + 0,25 = 1,25$$

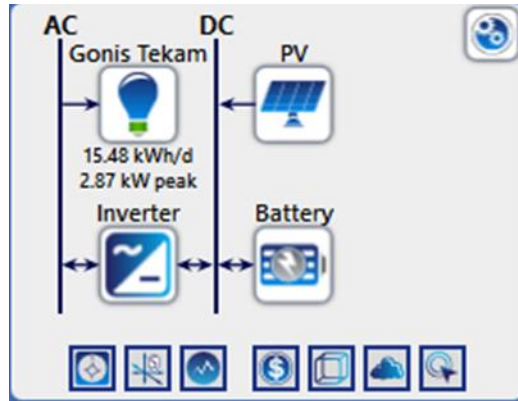
$$C_{iv} = D_w \cdot S_f = 2.320 \cdot 1,25 = 2.900 \text{ W}$$

adi, jumlah inverter MPPT yang dibutuhkan adalah 1 unit dengan kapasitas inverter yaitu 3.000 Watt.

Hasil Simulasi Homer Pro

Skematik Konfigurasi Sistem PLTS Off – Grid

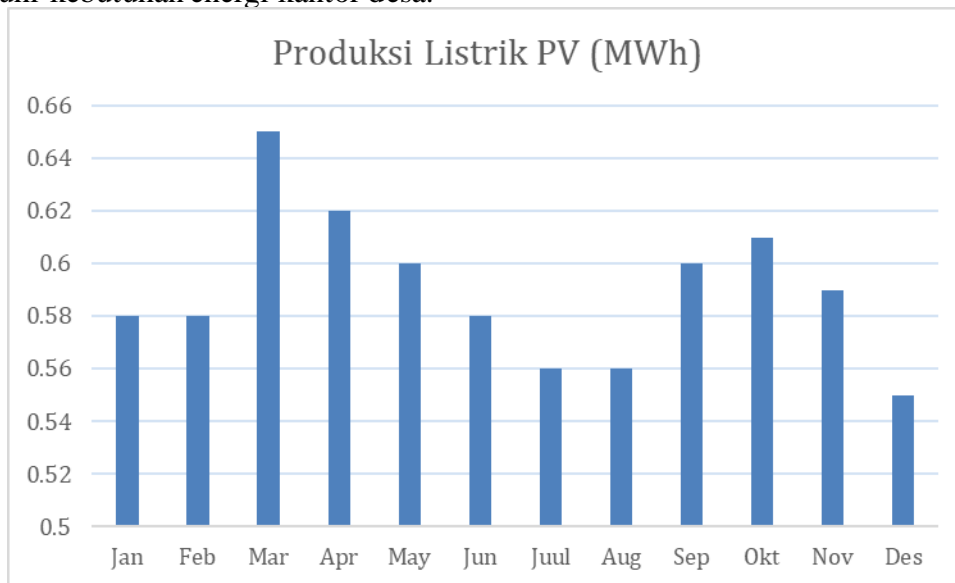
Gambar 4.1 ini menunjukkan konfigurasi sistem PLTS Off-Grid yang dirancang menggunakan perangkat lunak HOMER Pro. Dalam skema tersebut, terlihat hubungan antar komponen utama, yaitu panel surya, solar charge controller (MPPT), baterai lithium, dan inverter. Gambar ini penting karena menggambarkan bagaimana aliran energi terjadi dari proses konversi energi matahari menjadi energi listrik hingga didistribusikan ke beban. Gambar ini juga memperlihatkan sistem berdiri sendiri (off-grid), tanpa koneksi ke jaringan PLN, yang sangat sesuai untuk daerah terpencil seperti Desa Gonis Tekam.



Gambar 4. 1 Skematik Konfigurasi Sistem PLTS Off - Grid

Hasil Produksi Listrik

Gambar 4.4 ini menunjukkan hasil produksi energi tahunan dari sistem PLTS yang disimulasikan melalui HOMER Pro. Produksi listrik tahunan sistem mencapai 6.888 kWh, dengan excess electricity sebesar 188 kWh (2,73%) dan unmet load sangat kecil, yaitu 0,115 kWh (0,002%). Artinya, sistem dirancang dengan efisiensi tinggi dan sangat andal dalam memenuhi kebutuhan energi kantor desa.



Hasil Produksi Listrik

Berdasarkan Gambar 4.2, Tabel 4.1 ini merangkum performa sistem PLTS hasil simulasi Homer Pro. Beberapa poin utama dari kinerja sistem.

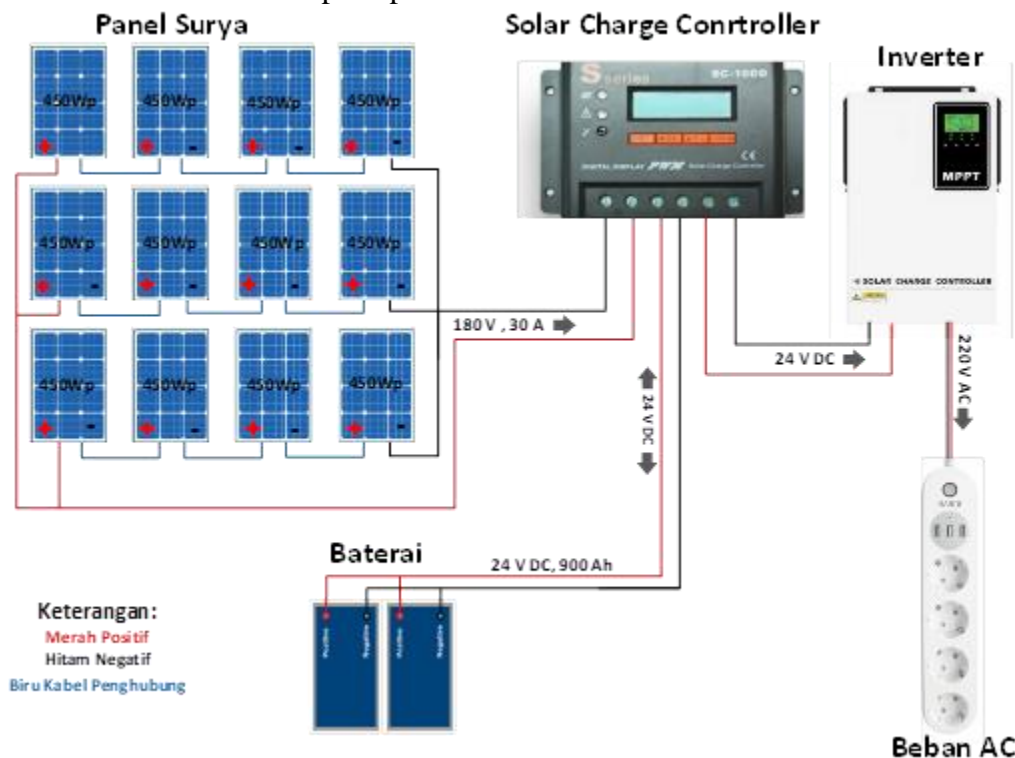
Kinerja Sistem

Keterangan	Nilai	Keterangan Tambahan
Excess Electricity	1.88 kWh (2,73%)	Energi yang tidak digunakan
Unmet Electric Load	115 Wh (0,02%)	Beban yang tidak dapat dipenuhi
Renewable Fraction	100%	Seluruh energi berasal dari PV

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan energi sebesar 6.888 kWh per tahun dengan Energi yang tidak digunakan sebesar 2,73% dan Beban yang tidak dapat dipenuhi hanya 0,02%. Hal ini membuktikan bahwa sistem PLTS Off-Grid yang dirancang sangat andal dan layak diterapkan untuk mendukung pelayanan publik di wilayah terpencil seperti Desa Gonis Tekam.

Detail Engineering Design (DED)

Detail Engineering Design (DED) ada pada Gambar 4.3 merupakan tahapan akhir dalam perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid yang bertujuan untuk menggambarkan secara teknis dan rinci susunan sistem, konfigurasi komponen utama, serta alur kerja energi dari sumber hingga ke beban. DED ini dibuat berdasarkan hasil perhitungan dan analisis energi sebelumnya, untuk memastikan sistem dapat beroperasi optimal dalam memenuhi kebutuhan energi berdasarkan kebutuhan harian Kantor Desa Gonis Tekam seperti pada Tabel 3.1 sebesar 16.200 Wh.



Gambar 4. 3 Detail Engineering Design

Sistem PLTS menggunakan 12 unit panel surya monocrystalline 450 Wp yang disusun dalam 3 string paralel, masing-masing terdiri dari 4 panel seri, sehingga membentuk konfigurasi total 180 V, 30 A = 5.400 Wp. Solar Charge Controller (SCC) yang digunakan adalah tipe MPPT dengan kapasitas maksimal 300 Ampere. SCC berfungsi mengatur tegangan dan arus dari panel menuju baterai, serta mencegah overcharging dan overdischarging. Energi listrik disimpan dalam 2 unit baterai lithium berkapasitas 24V 450Ah yang disusun secara paralel, sehingga membentuk sistem penyimpanan 24V 900Ah, Kapasitas ini mampu menyuplai kebutuhan beban harian kantor selama lebih dari satu hari, memberikan cadangan energi jika terjadi cuaca mendung atau tidak ada sinar matahari. Energi dari baterai kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter tipe Pure Sine Wave dengan kapasitas 3.000 Watt. Inverter ini memiliki input 24V DC dan output 220V AC.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid di Kantor Desa Gonis Tekam, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Total kebutuhan energi harian sebesar 16.200 Wh digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kapasitas sistem PLTS.
- 2 Sistem PLTS dirancang menggunakan 12 unit panel surya monocrystalline 450 Wp (total kapasitas 5.400 Wp), disusun dalam konfigurasi 3 paralel \times 4 seri.
- 3 Solar Charge Controller (SCC) yang digunakan memiliki kapasitas minimal 300 A tipe MPPT, sesuai dengan daya output panel dan tegangan sistem 24V.
- 4 Sistem penyimpanan energi menggunakan 2 unit baterai lithium 24V 450Ah, disusun secara paralel untuk mendapatkan 24V 900Ah.
- 5 Inverter yang digunakan adalah Pure Sine Wave berkapasitas 3.000 Watt, dengan input 24V DC dan output 220V AC, sesuai dengan daya puncak beban.
- 6 Hasil simulasi HOMER Pro menunjukkan bahwa sistem menghasilkan energi sebesar 6.888 kWh per tahun, dengan excess electricity sebesar 2,73% dan unmet load hanya 0,002%, yang berarti sistem memiliki keandalan sangat tinggi.
- 7 Berdasarkan data dari NASA, lokasi memiliki potensi radiasi matahari yang baik, dengan rata-rata 4,60 kWh/m²/hari dan suhu lingkungan stabil di kisaran 25–26°C.

Dengan demikian, perencanaan sistem PLTS Off-Grid ini layak secara teknis dan dapat diterapkan sebagai solusi kelistrikan mandiri untuk kantor desa dan daerah terpencil lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2020). *Potensi Energi Baru Terbarukan di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2021). *Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2022*. Abu Dhabi: IRENA.
- Handoko, R. (2021). Analisis Penerapan Sistem PLTS Off-Grid di Wilayah Rural. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 15(1), 45–56.
- Saragih, M. (2020). Studi Kasus Implementasi PLTS Off-Grid di Daerah Pedalaman Kalimantan. *Jurnal Rekayasa Energi*, 8(2), 21–29.
- Lambert, T., Gilman, P., & Lilienthal, P. (2006). *Micropower System Modeling with HOMER*. Golden, CO: NREL, U.S. Department of Energy.
- HOMER Energy. (2022). *HOMER Pro: Microgrid Optimization Software*. Boulder, CO: HOMER Energy by UL.
- Suryani, E. (2022). Perencanaan Sistem PLTS Off-Grid Menggunakan HOMER Pro untuk Wilayah Terpencil NTT. *Prosiding Seminar Energi Terbarukan Nasional 2022*.
- Sari, R. D., & Ahmad, U. (2020). Pemanfaatan Sistem PLTS Atap untuk Rumah Tangga di Wilayah Terpencil. *Jurnal Energi Terbarukan*, 3(1), 25–37.
- Widodo, G., & Darmawan, M. (2021). Perancangan Teknis Sistem PLTS Atap di Daerah Tanpa Jaringan Listrik. *Jurnal Energi dan Sistem Tenaga*, 7(2), 89–102.
- Wicaksono, S. A., Hartati, R. S., & Sukerayasa, I. W. (2023). Perencanaan PLTS Off-Grid di PT. Geber Samudra. *Jurnal SPEKTRUM*, 10(3).
- Naim, M. (2017). Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS Off-Grid 1000 Watt di Desa Mahalona Kecamatan Towuti. *DINAMIKA – Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1), 27–32.
- Herliyanso, D., & Rozak, O. A. (2023). Perencanaan PLTS Off-Grid untuk Suplai Perpustakaan Universitas Pamulang. *Electrices*, 5(1), 20–29.
- Kossi, V. R. (2018). Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. *Jurnal Teknik Elektro*, Universitas Tanjungpura.