

Analisis Perancangan Sistem Photovoltaic sebagai Catu Daya BTS Telkomsel di Tower Mitra Tel Desa Sukarami Kabupaten Muara Enim

Daeny Septi Yansuri^{1*}, Armin Sofijan², Subianto³

^{1,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Palembang

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

*Email : daenyyansuri@gmail.com

ABSTRAK

Pasokan listrik yang andal merupakan faktor penting dalam menjaga kontinuitas operasional Base Transceiver Station (BTS). Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi penerapan sistem photovoltaic (PV) sebagai sumber catu daya pada BTS Telkomsel Tower Mitra Tel Desa Sukarami, Kabupaten Muara Enim. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan studi kasus melalui pengukuran energi matahari, suhu lingkungan, dan beban listrik selama tiga hari, yaitu 3–5 Januari 2024. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menghitung kebutuhan energi harian, kapasitas sistem PV, jumlah modul PV, dan kapasitas solar charge controller (SCC). Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh rata-rata energi matahari sebesar 4.744,33 Wh/m²/hari, sedangkan kebutuhan energi harian BTS mencapai 28.394,74 Wh. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kebutuhan kapasitas sistem PV sebesar 6.930,464 Wp, dengan kebutuhan 40 modul PV berkapasitas 180 Wp dan 3 unit SCC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi energi surya di lokasi penelitian cukup mendukung penerapan sistem PV, namun perancangannya harus mempertimbangkan karakteristik beban, potensi energi matahari, serta kapasitas sistem penyimpanan dan pengendalian energi agar kontinuitas pasokan listrik BTS dapat terjaga. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam perencanaan sistem PV untuk infrastruktur telekomunikasi di daerah dengan karakteristik beban yang serupa.

Kata kunci: energi surya, sistem fotovoltaik, stasiun pemancar basis (BTS), sistem catu daya, telekomunikasi.

Designing a Hybrid Power Supply Management System for Energy Continuity in the Chicken Egg Incubator

ABSTRACT

A reliable power supply is essential to ensure the continuous operation of Base Transceiver Stations (BTS). This study aims to analyze the potential implementation of a photovoltaic (PV) system as a power supply for the Telkomsel BTS at the Mitra Tel Tower located in Sukarami Village, Muara Enim Regency. The research employed an experimental method with a case study approach by measuring solar energy, ambient temperature, and electrical load over a three-day period from January 3 to 5, 2024. The collected data were analyzed using descriptive quantitative methods to determine the daily energy demand, required PV system capacity, number of PV modules, and solar charge controller (SCC) capacity. The measurement results indicated an average solar energy potential of 4,744.33 Wh/m²/day, while the BTS required 28,394.74 Wh/day of electrical energy. The analysis showed that the PV system requires a capacity of 6,930.464 Wp, consisting of 40 PV modules rated at 180 Wp each and three solar charge controllers (SCCs). The findings demonstrate that the solar energy potential at the study site is sufficient to support the implementation of a PV system. However, its design should consider load characteristics, solar energy availability, and the capacities of energy storage and control systems to ensure a reliable power supply for BTS operation. This study is expected to serve as a reference for planning PV systems for telecommunication infrastructure in areas with similar load characteristics.

Keywords: solar energy, photovoltaic system, Base Transceiver Station (BTS), power supply system, telecommunications.

PENDAHULUAN

Pasokan listrik yang stabil merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung infrastruktur telekomunikasi, terutama pada Base Transceiver Station (BTS) yang harus beroperasi selama 24 jam tanpa henti. Jaringan BTS Telkomsel di Tower Mitra Tel Desa Sukarami, Kecamatan Rambang, Kabupaten Muara Enim memerlukan pasokan listrik yang berkesinambungan agar layanan komunikasi tetap terjaga [1]. Ketergantungan terhadap jaringan PLN masih memiliki risiko akibat pemadaman maupun keterbatasan keandalan pasokan, sedangkan penggunaan sumber energi cadangan berbasis bahan bakar fosil menyebabkan tingginya biaya operasional serta berdampak terhadap lingkungan [2], [3]

Sistem photovoltaic (PV) merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang banyak diterapkan sebagai sumber pembangkit listrik karena mampu mengubah radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik [4][5]. Modul PV menghasilkan energi melalui efek fotovoltaiik, namun besar energi yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, lama penyinaran, suhu lingkungan, kondisi cuaca, serta orientasi dan sudut kemiringan modul [6], [7]. Kondisi tersebut menyebabkan produksi energi PV bersifat fluktuatif, sedangkan BTS memerlukan pasokan listrik yang kontinu selama 24 jam. Oleh karena itu, penerapan sistem PV pada BTS tidak hanya bergantung pada kapasitas modul, tetapi juga memerlukan perancangan yang mempertimbangkan kebutuhan energi beban, kapasitas baterai, inverter, dan solar charge controller (SCC) agar sistem dapat beroperasi secara andal.

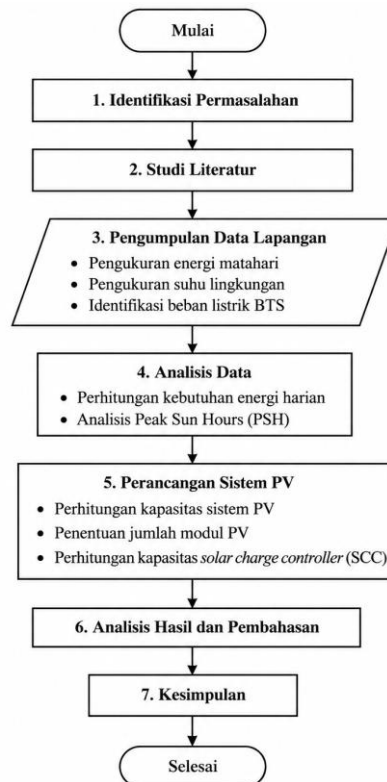
Berbagai penelitian telah mengkaji penerapan sistem photovoltaic (PV) pada infrastruktur telekomunikasi. [8] mengembangkan manajemen energi pada BTS berbasis sistem PV untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi. [9] menyatakan bahwa energi terbarukan merupakan alternatif yang layak untuk penyediaan daya rendah karbon pada menara telekomunikasi. [10] menunjukkan bahwa sistem PV off-grid mampu memenuhi kebutuhan energi BTS berdasarkan potensi energi surya setempat, sedangkan [11] menegaskan bahwa perancangan sistem energi terbarukan pada sektor telekomunikasi harus mempertimbangkan kondisi iklim dan karakteristik beban agar sistem dapat beroperasi secara optimal. Selain itu, [12][13] menjelaskan bahwa sistem PV terdiri atas modul PV, baterai, solar charge controller (SCC), dan inverter sebagai komponen utama dalam penyediaan energi listrik.[14]

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah menunjukkan potensi sistem PV sebagai sumber catu daya BTS, sebagian besar penelitian berfokus pada analisis kelayakan teknis, manajemen energi, atau simulasi sistem. Kajian yang menentukan kebutuhan kapasitas sistem PV berdasarkan data pengukuran lapangan pada lokasi BTS tertentu, khususnya di wilayah Kabupaten Muara Enim, masih terbatas. Padahal, setiap lokasi BTS memiliki karakteristik beban listrik dan potensi energi surya yang berbeda sehingga memerlukan perancangan sistem yang disesuaikan dengan kondisi aktual. Oleh karena itu, diperlukan analisis berdasarkan data pengukuran lapangan untuk memperoleh rancangan kapasitas sistem PV yang sesuai dengan kebutuhan operasional BTS.[1]

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem photovoltaic (PV) pada BTS Telkomsel Tower Mitra Tel Desa Sukarami, Kabupaten Muara Enim melalui analisis potensi energi matahari, kebutuhan energi beban, serta penentuan kapasitas modul PV dan solar charge controller (SCC). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan rekomendasi awal dalam perencanaan sistem PV yang sesuai dengan karakteristik beban dan potensi energi surya di lokasi penelitian serta mendukung pemanfaatan energi terbarukan pada infrastruktur telekomunikasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan studi kasus (case study) pada sistem catu daya photovoltaic (PV) di BTS Telkomsel Tower Mitra Tel Desa Sukarami, Kecamatan Rambang, Kabupaten Muara Enim. Penelitian dilakukan melalui pengukuran parameter teknis di lapangan untuk mengevaluasi potensi energi surya serta menentukan kebutuhan kapasitas sistem PV sesuai dengan kebutuhan operasional BTS. Studi literatur digunakan sebagai landasan dalam penyusunan metodologi penelitian, analisis data, dan pembahasan hasil penelitian [4], [7].



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilaksanakan secara sistematis yang meliputi identifikasi permasalahan, studi literatur, pengumpulan data lapangan, analisis kebutuhan energi BTS, perhitungan kapasitas sistem photovoltaic (PV), penentuan jumlah modul PV dan kapasitas solar charge controller (SCC), analisis hasil, hingga penarikan kesimpulan. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tahapan penelitian, alur penelitian disajikan pada Gambar 1.

Penelitian dilaksanakan di BTS Telkomsel Tower Mitra Tel Desa Sukarami, Kecamatan Rambang, Kabupaten Muara Enim. Pengambilan data dilakukan selama tiga hari, yaitu pada 3–5 Januari 2024, mulai pukul 06.00 hingga 18.00 WIB dengan interval pengukuran setiap satu jam.

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan yang meliputi energi matahari, suhu lingkungan, dan beban listrik BTS. Selain itu, dilakukan pencatatan spesifikasi teknis sistem photovoltaic (PV) yang telah terpasang, meliputi kapasitas modul PV, baterai, inverter, dan solar charge controller (SCC). Data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang berasal dari artikel ilmiah, buku, laporan teknis, serta standar yang berkaitan dengan sistem PV dan penyediaan energi pada BTS.

Pengukuran energi matahari dilakukan menggunakan solar power meter, sedangkan beban listrik diidentifikasi berdasarkan spesifikasi peralatan BTS dan data operasional yang tersedia di lokasi penelitian. Parameter yang dikumpulkan meliputi energi matahari ($\text{Wh/m}^2/\text{hari}$), beban AC, beban DC, total beban ekuivalen DC, kapasitas modul PV, dan kapasitas solar charge controller (SCC).

Tabel 1 Alat yang Digunakan dalam Penelitian

Alat	Spesifikasi	Fungsi
Solar Power Meter	TES-1333R	Mengukur intensitas/energi matahari
Digital Multimeter	Sanwa CD800A	Mengukur tegangan dan arus
Laptop	—	Pengolahan data
Data spesifikasi BTS	PT Telkomsel	Identifikasi beban

Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menentukan kebutuhan kapasitas sistem photovoltaic (PV) pada BTS. Analisis dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu menghitung kebutuhan energi harian, menentukan kapasitas sistem PV, menghitung jumlah modul PV, serta menentukan kapasitas solar charge controller (SCC). Kebutuhan energi harian dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$E = \sum (P \times t) \quad (1)$$

Keterangan:

E = kebutuhan energi harian (Wh)

P = daya masing-masing beban (W)

t = lama waktu operasi beban (jam)

Kapasitas sistem photovoltaic (PV) dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian, faktor koreksi sistem, Peak Sun Hours (PSH), dan efisiensi sistem sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2). Persamaan ini mengacu pada metode perancangan sistem *stand-alone photovoltaic* yang dikemukakan oleh [6], [7]

$$P_{pv} = \frac{E \times FK}{PSH \times \eta} \quad (2)$$

Keterangan:

Ppv = kapasitas sistem photovoltaic (Wp)

E = kebutuhan energi harian (Wh)

FK = faktor koreksi sistem

PSH = *Peak Sun Hours* (jam)

η = efisiensi sistem

Jumlah modul photovoltaic (PV) ditentukan berdasarkan kebutuhan kapasitas sistem dan kapasitas satu modul menggunakan Persamaan (3).

$$N_{pv} = \frac{P_{pv}}{P_m} \quad (3)$$

Keterangan:

Npv = jumlah modul photovoltaic

Ppv = kapasitas sistem photovoltaic (Wp)

Pm = kapasitas satu modul photovoltaic (Wp)

Kapasitas solar charge controller (SCC) dihitung berdasarkan daya sistem PV dan tegangan sistem sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4). Perhitungan ini mengacu pada [15]

$$I_{scc} = \frac{P_{pv}}{V_s} \quad (4)$$

Keterangan:

I_{scc} = arus minimum solar charge controller (A)

Ppv = kapasitas sistem photovoltaic (W)

V_s = tegangan sistem (V)

Hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan kebutuhan energi operasional BTS untuk mengevaluasi kesesuaian kapasitas sistem photovoltaic (PV) yang dirancang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Energi Matahari

Hasil pengukuran energi matahari selama tiga hari menunjukkan bahwa energi yang diterima di lokasi penelitian mengalami fluktuasi. Total energi matahari yang diperoleh pada 3 Januari 2024 sebesar 5.472 Wh/m²/hari, meningkat menjadi 5.828 Wh/m²/hari pada 4 Januari 2024, kemudian menurun menjadi 2.933 Wh/m²/hari pada 5 Januari 2024. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut diperoleh rata-rata energi matahari sebesar 4.744,33 Wh/m²/hari atau setara dengan 4,744 kWh/m²/hari. Nilai tertinggi tercatat sebesar 869 Wh pada pukul 11.00 WIB, sedangkan nilai terendah sebesar 65 Wh pada pukul 18.00 WIB.

Tabel 2. Ringkasan hasil pengukuran energi matahari

Tanggal Pengukuran	Total Energi Matahari (Wh/m ² /hari)
03 Januari 2024	5.472
04 Januari 2024	5.828
05 Januari 2024	2.933
Rata-rata	4.744,33

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata energi matahari di lokasi penelitian sebesar 4.744,33 Wh/m²/hari atau setara dengan 4,74 kWh/m²/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki potensi energi surya yang cukup baik untuk mendukung penerapan sistem *photovoltaic* (PV) sebagai sumber catu daya BTS. Meskipun demikian, produksi energi matahari mengalami fluktuasi akibat perubahan intensitas radiasi matahari, kondisi cuaca, dan lama penyinaran harian. Oleh karena itu, perancangan sistem PV perlu mempertimbangkan variasi potensi energi matahari agar kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga.

Hasil penelitian ini sejalan dengan [7] yang menyatakan bahwa kinerja sistem *stand-alone photovoltaic* sangat dipengaruhi oleh variasi radiasi matahari sehingga diperlukan sistem penyimpanan energi untuk menjaga kontinuitas suplai listrik. Selain itu, [4] menjelaskan bahwa keberhasilan implementasi sistem PV tidak hanya ditentukan oleh kapasitas modul surya, tetapi juga oleh strategi pengelolaan energi dan karakteristik lingkungan operasi. Dengan demikian, potensi energi matahari di lokasi penelitian dapat dikategorikan memadai untuk mendukung penerapan sistem PV pada BTS, namun tetap memerlukan perencanaan kapasitas sistem yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Analisis Kebutuhan Energi BTS

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa perangkat BTS merupakan beban terbesar dengan konsumsi energi sebesar 26.520 Wh/hari atau sekitar 93% dari total kebutuhan energi sistem. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan kapasitas sistem *photovoltaic* (PV) harus didasarkan pada karakteristik beban aktual agar energi yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan operasional BTS secara kontinu.

Kebutuhan energi harian BTS dihitung berdasarkan daya masing-masing peralatan dan lama waktu operasinya menggunakan Persamaan (1). Selanjutnya, total kebutuhan energi beban AC dikonversi menjadi kebutuhan energi ekuivalen DC dengan mempertimbangkan efisiensi inverter (*inverter efficiency*) dan rugi-rugi sistem (*system losses*). Perhitungan kebutuhan energi ekuivalen DC dilakukan menggunakan Persamaan (5).

$$E(DC) = \frac{E_{AC}}{\eta_{inv}} \quad (5)$$

Keterangan:

E_{DC} = kebutuhan energi ekuivalen DC (Wh)

E_{AC} = kebutuhan energi beban AC (Wh)

η_{inv} = efisiensi inverter

Perhitungan kebutuhan energi beban BTS disajikan pada Tabel 3. Kebutuhan energi harian BTS dihitung menggunakan Persamaan (1), yaitu berdasarkan hasil perkalian daya masing-masing beban dengan lama waktu operasinya. Selanjutnya, total energi beban dikonversi menjadi kebutuhan energi ekuivalen DC dengan mempertimbangkan efisiensi inverter dan faktor rugi-rugi sistem (*system losses*). Perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan kapasitas sistem *photovoltaic* (PV).

Berdasarkan Tabel 3, total kebutuhan energi beban AC sebesar 26.952 Wh/hari. Setelah memperhitungkan efisiensi inverter dan rugi-rugi sistem, diperoleh kebutuhan energi ekuivalen DC sebesar 28.394,74 Wh/hari. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas sistem *photovoltaic* (PV), jumlah modul PV, serta kapasitas solar charge controller (SCC).



Tabel 3. Kebutuhan energi beban BTS

Jenis Beban	Total Daya (W)	Waktu Operasi (Jam)	Energi (Wh)
Penerangan umum	16	12	192
Lampu menara	20	12	240
Perangkat BTS	1.105	24	26.520
Total kebutuhan energi AC	26.952		26.952
Tambahan energi akibat efisiensi inverter dan rugi-rugi sistem			1.442,74
Total kebutuhan energi ekuivalen DC			28.394,74

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat BTS merupakan beban dominan dengan konsumsi energi sekitar 93% dari total kebutuhan energi sistem. Kondisi ini menunjukkan bahwa penentuan kapasitas sistem PV harus didasarkan pada kebutuhan energi aktual agar mampu menjamin kontinuitas operasi BTS selama 24 jam. Temuan ini sejalan dengan penelitian [10] yang menyatakan bahwa profil beban merupakan parameter utama dalam menentukan kapasitas sistem PV pada infrastruktur telekomunikasi. Hasil yang serupa juga dilaporkan oleh [11], yang menjelaskan bahwa karakteristik beban dan kondisi iklim merupakan faktor dominan dalam perancangan sistem energi terbarukan pada sektor telekomunikasi. Dengan demikian, analisis kebutuhan energi harian menjadi tahapan yang sangat penting sebelum menentukan kapasitas modul PV, sistem penyimpanan energi, maupun solar charge controller.

Analisis Kebutuhan Sistem Photovoltaic (PV)

Kapasitas sistem *photovoltaic* (PV) dihitung berdasarkan total kebutuhan energi harian, rata-rata energi matahari, faktor koreksi sistem, dan efisiensi sistem sebagaimana dijelaskan pada Persamaan (2). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kebutuhan kapasitas sistem PV sebesar 6.930,464 Wp. Selanjutnya, jumlah modul PV ditentukan menggunakan Persamaan (3). Dengan kapasitas satu modul sebesar 180 Wp, diperoleh kebutuhan sebanyak 38,5 modul yang kemudian dibulatkan menjadi 40 modul untuk memberikan cadangan kapasitas terhadap fluktuasi energi matahari dan penurunan performa sistem.

Hasil perhitungan kebutuhan sistem *photovoltaic* (PV) dan *solar charge controller* (SCC) disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan kebutuhan photovoltaic dan solar charge controller

Komponen Perhitungan	Hasil
Total beban ekivalen DC	28.394,74 Wh
Rata-rata energi matahari	4.744,33 Wh/m ² /hari
Kebutuhan kapasitas PV	6.930,464 Wp
Kapasitas satu modul PV	180 Wp
Jumlah modul PV	38,5 $\approx$ 40 unit
Kebutuhan solar charge controller	2,875 $\approx$ 3 unit

Berdasarkan Tabel 4, kapasitas sistem PV yang dibutuhkan sebesar 6.930,464 Wp dengan 40 modul PV berkapasitas 180 Wp. Jumlah modul tersebut diperoleh berdasarkan kebutuhan energi harian BTS sebesar 28.394,74 Wh serta rata-rata potensi energi matahari sebesar 4.744,33 Wh/m²/hari. Pembulatan jumlah modul dilakukan untuk memberikan cadangan kapasitas (design margin) sehingga sistem tetap mampu memenuhi kebutuhan energi ketika terjadi penurunan intensitas radiasi matahari maupun degradasi kinerja modul selama masa operasi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan [10] yang menyatakan bahwa kapasitas sistem PV harus ditentukan berdasarkan kebutuhan energi aktual dan potensi energi surya setempat agar sistem mampu beroperasi secara optimal. Temuan yang serupa juga dilaporkan oleh [8], yang menjelaskan bahwa keberhasilan implementasi sistem PV pada BTS sangat dipengaruhi oleh kesesuaian antara kapasitas pembangkit, karakteristik beban, serta sistem penyimpanan energi. Selain itu, [7] menegaskan bahwa penambahan cadangan kapasitas dalam perancangan sistem stand-alone photovoltaic diperlukan untuk mengantisipasi variasi intensitas radiasi matahari dan rugi-rugi sistem selama operasi. Dengan demikian, kapasitas sistem PV yang diperoleh pada penelitian ini telah mempertimbangkan kondisi operasional BTS dan potensi energi

surya di lokasi penelitian sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan sistem PV pada infrastruktur telekomunikasi dengan karakteristik beban yang serupa.

Analisis Solar Charge Controller (SCC)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem memerlukan 3 unit solar charge controller (SCC) untuk mengakomodasi kapasitas modul PV yang dirancang. Penggunaan tiga unit SCC bertujuan menjaga proses pengisian baterai tetap optimal, sekaligus melindungi baterai dari kondisi overcharging maupun overdischarging. Dengan demikian, SCC tidak hanya berfungsi sebagai pengatur proses pengisian baterai, tetapi juga berperan dalam meningkatkan keandalan dan umur pakai sistem photovoltaic (PV).

Hasil penelitian ini sejalan dengan Majaw et al. (2018) yang menyatakan bahwa pemilihan kapasitas SCC yang tepat berpengaruh terhadap stabilitas sistem, efisiensi pengisian baterai, dan perlindungan terhadap komponen penyimpanan energi. Pendapat tersebut juga didukung oleh Franklin (2022) yang menjelaskan bahwa koordinasi antara modul PV, baterai, inverter, dan SCC merupakan faktor penting dalam menjaga kontinuitas operasi sistem stand-alone photovoltaic. Selain itu, Abdulla et al. (2024) menegaskan bahwa sistem pengendalian energi yang dirancang dengan baik mampu meningkatkan keandalan operasi sekaligus memperpanjang umur pakai komponen pada sistem PV. Oleh karena itu, penggunaan tiga unit SCC pada penelitian ini dinilai telah sesuai dengan kapasitas sistem yang dirancang dan kebutuhan operasional BTS secara berkelanjutan..

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem photovoltaic (PV) memiliki potensi yang baik untuk diterapkan sebagai sumber catu daya alternatif pada BTS Telkomsel Tower Mitra Tel Desa Sukarami, Kabupaten Muara Enim. Berdasarkan kebutuhan energi harian sebesar 28.394,74 Wh, sistem membutuhkan kapasitas photovoltaic sebesar 6.930,464 Wp, yang terdiri atas 40 modul PV berkapasitas 180 Wp dan 3 unit solar charge controller (SCC). Hasil tersebut menunjukkan bahwa potensi energi surya di lokasi penelitian mampu mendukung penerapan sistem PV, dengan catatan perancangan sistem harus disesuaikan dengan karakteristik beban dan kondisi operasional BTS.

Penelitian ini memberikan informasi awal yang dapat dijadikan acuan dalam perencanaan sistem PV pada infrastruktur telekomunikasi dengan karakteristik beban yang serupa. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan periode pengukuran yang lebih panjang serta mempertimbangkan analisis kapasitas baterai, aspek ekonomi, dan evaluasi kinerja sistem hibrida PV–PLN maupun PV–PLN–genset untuk memperoleh rancangan sistem yang lebih komprehensif dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P.T.Telekomunikasi, **Laporan Tahunan Telkomsel 2023**. Jakarta, Indonesia: PT Telekomunikasi Selular, 2023.
- [2] I. E. A. (IEA), *Renewables 2024: Analysis and Forecast to 2030*. Paris, France: International Energy Agency, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>
- [3] I. R. E. A. (IRENA), *Renewable Power Generation Costs in 2023*. United Arab Emirates: Abu Dhabi, 2023.
- [4] H. Abdulla, A. Sleptchenko, and A. Nayfeh, "Photovoltaic systems operation and maintenance: A review and future directions," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 195, p. 114342, 2024, doi: 10.1016/j.rser.2024.114342.
- [5] W. Adipradana, A. Sofijan, K. Wisnutama, F. Ardianto, C. Cekdin, and B. O. Siregar, "Evaluasi efektivitas prototype pembangkit listrik tenaga surya hibrida-generator set dengan menggunakan automatic transfer switch," *J. Surya Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 83–90, 2025, doi: 10.32502/jse.v9i2.526.
- [6] A. P. Dobos, *PV Watts Version 5 Manual*. Golden, CO, USA: National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2014.
- [7] E. Franklin and S. Photovoltaic, *Systems: A Description and Function of System Components**. Tucson, AZ, USA: University of Arizona Cooperative Extension, 2022.
- [8] W. Issaadi, A. Khireddine, and S. Issaadi, "Management of a base station of a mobile network using a photovoltaic system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 1570–1590, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.054.
- [9] N. R. Devela, T. C. Kandpal, and B. Singh, "A review of renewable energy based power supply



- options for telecom towers,” *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 26, pp. 2897–2964, 2024, doi: 10.1007/s10668-023-02917-7.
- [10] M. W. Baidas, R. W. Hasaneya, R. M. Kamel, and S. S. Alanzi, “Solar-powered cellular base stations in Kuwait: A case study,” *Energies*, vol. 14, no. 22, Art. no. 7494, 2021, doi: 10.3390/en14227494.
- [11] F. Asghar *et al.*, “Technoeconomic analysis of standalone hybrid renewable energy systems for telecommunication sector under different climatic conditions in Saudi Arabia,” *Energy Reports*, vol. 11, pp. 4067–4084, 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.03.055.
- [12] A. Sofijan, “The solar renewable energy system study with a capacity of 1300 W utilizing polycrystalline photovoltaic,” *J. Mech. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 5–11, 2020, doi: 10.36706/jmse.v6i1.29.
- [13] G. M. Masters, **Renewable and Efficient Electric Power Systems**, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2013.
- [14] A. Sofijan, M. Suparlan, H. Alwani, and M. Fajri, “Desain passive cooling menggunakan perforated aluminum plate pada fotovoltaiik monokristalin,” *J. Surya Energy*, vol. 5, no. 1, pp. 23–30, 2021, doi: 10.32502/jse.v5i1.2953.
- [15] T. Majaw, R. Deka, S. Roy, and B. Goswami, “Solar charge controllers using MPPT and PWM: A review,” *ADB U J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2018.