

Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem On-Grid Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Base Transceiver Station BTS Di Desa Saibi Samukop Kepulauan Mentawai Berbasis Homer

Riyan Siyentanu Mareat Sakeru¹, Eva Magdalena Silalahi², Robinson Purba³
^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta
*Alamat korespondensi: riyansakeru@gmail.com

ABSTRAK

PLTS merupakan sumber energi terbarukan karena menggunakan tenaga matahari sebagai sumber energinya. *Solar photovoltaic* menangkap panas matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik yang dapat disimpan dalam baterai dan juga dapat digunakan secara langsung. Sistem PLTS yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *hybrid on-grid*, dengan memanfaatkan kelebihan energi PLTS untuk dijual ke jaringan listrik (*grid*) PLN. Dari hasil analisis data dan simulasi *software* HOMER yang telah dilakukan, diperoleh energi listrik yang dibutuhkan BTS adalah sebesar 3,96 kWh/hari dan kapasitas PLTS sebesar 1,3 kW dengan produksi energi listrik sebesar 5,06 kWh/hari. Berdasarkan skenario atau konfigurasi sistem PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai dengan nilai *Net Present Cost (NPC)*, Rp56.948.220,00, *Levelized Cost of Energy (LCOE)* Rp1.144,39/kWh dan *Break Even Point (BEP)* tercapai setelah 3,3 tahun proyek beroperasi. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, ditinjau dari sisi ekonomi maupun sisi energi listrik yang dihasilkan PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai, dinilai layak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik BTS Desa Saibi Samukop di Kepulauan Mentawai.

Kata kunci: PLTS, on-grid, energi listrik, ekonomi, Homer.

ABSTRACT

Solar power plants (PLTS) are a renewable energy source as they utilize solar energy as their power source. Solar photovoltaic captures solar heat and converts it into electricity, which can be stored in batteries and used directly. The PLTS system used in this research is a hybrid on-grid system, utilizing the excess energy generated by PLTS to be sold back to the PLN (state-owned electricity company) grid. Based on the data analysis and simulation conducted using the Homer software, it was found that the electrical energy required for the BTS (Base Transceiver Station) is 3.96 kWh/day, and the capacity of the PLTS is 1.3 kW, with electricity production reaching 5.06 kWh/day. Considering the scenario or configuration of the hybrid on-grid PLTS system without batteries, the Net Present Cost (NPC) is Rp56.948.220,00, the Levelized Cost of Energy (LCOE) is Rp1.144,39/kWh, and the Break Even Point (BEP) is achieved after 3.3 years of project operation. Based on the simulation results, both from an economic and electricity production perspective, the hybrid on-grid PLTS system without batteries is considered viable to meet the electricity needs of the BTS in Saibi Samukop Village, Kepulauan Mentawai.

Keywords: *PLTS, on-grid, electrical energy, economy, Homer*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia masih tergolong rendah. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), bauran pemanfaatan EBT baru mencapai 11% pada tahun 2020 dari yang ditargetkan sebesar 25 % pada tahun 2025 sementara untuk tahun 2050, ditargetkan harus mencapai 31%[1]. Untuk mencapai hal tersebut tidaklah mudah dan tentu saja dibutuhkan keseriusan dan kerja keras, baik pemerintah maupun *stakeholder* terkait, dimana salah satu upaya yang sudah dilakukan untuk mendongkrak elektrifikasi nasional, melalui pembangunan EBT di daerah tertinggal, terluar dan terdepan atau lebih dikenal dengan istilah 3T, dengan Kabupaten

Kepulauan Mentawai menjadi salah satu daerah sasaran pembangunan EBT[2].

Berdasarkan data Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD) Kabupaten Kepulauan Mentawai[3] pada tahun 2021 rasio elektrifikasi di Kepulauan Mentawai sudah mencapai 61,48%. Namun jumlah ini masih cukup jauh dari besaran rasio elektrifikasi nasional. Sumber listrik di Kepulauan Mentawai, sebagian besar dipasok oleh PLN, Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm).

Kondisi pasokan listrik saat ini di Desa Saibi Samukop, Kecamatan Siberut Tengah, Kepulauan Mentawai, yang mendapat pasokan listrik dari PLN masih terbatas yang hanya beroperasi selama 12 jam dalam sehari, yakni mulai pukul 17.00 hingga

pukul 07.00 WIB. Sementara aktivitas masyarakat umum dan perkantoran di daerah tersebut lebih banyak pada pagi hingga sore hari. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Siberut Tengah tahun 2022, total jumlah penduduk yang ada di Desa Saibi Samukop berjumlah 3.485 jiwa dan terdapat 9 gedung perkantoran[4]. Dari jumlah Penduduk dan Kantor yang ada, secara umum membutuhkan akses telekomunikasi untuk berbagai keperluan, baik untuk berkomunikasi maupun urusan administrasi kantor. Dalam hal ini, salah satu perangkat yang digunakan untuk memenuhi tujuan tersebut, adalah BTS. Berdasarkan data BPS Kabupaten Kepulauan Mentawai bahwa, BTS di Desa Saibi Samukop yang tersedia hanya satu menara.

Tingkat iradiasi sinar matahari di Desa Saibi Samukop rata-rata sebesar 4,40 kWh/hari[5] dan dengan demikian, dimungkinkan untuk membangun PLTS dengan sistem *hybrid on-grid* untuk memasok kebutuhan daya listrik BTS. Dengan sistem ini, juga dimungkinkan untuk menjual listrik ke jaringan listrik PLN.

Beberapa penelitian tentang sistem PLTS *on-grid* yang telah dilakukan antara lain penelitian yang dilakukan oleh P. S Harijanto, M. Yunus yang dipublikasikan pada tahun 2021 pada jurnal ELTEK: Vol 9, No 2, hal. 103, dengan judul “Kajian PLTS *on-grid* pada gedung X Politeknik Negeri Malang untuk melayani beban perkantoran menggunakan perangkat HOMER PRO (2021)” mengatakan bahwa analisa secara

ekonomis dan teknis pemasangan sistem PLTS pada Gedung X Politeknik Negeri Malang dapat mengurangi tagihan listrik, dimana setelah perancangan terjadi *Renewable Fraction (RF)* atau persentase beban yang ditutupi oleh PLTS per tahun sebesar 58,5%, dengan produksi harian untuk solar panel sebesar 45,6 kWh dan menutupi 68 % kebutuhan harian dengan Solar panel yang digunakan berkapasitas 250 Wp sebanyak 44 panel pada atap gedung. Secara ekonomis didapatkan bahwa NPC pada sistem ini adalah sebesar Rp.183.000.000[6].

Hasil kajian terhadap rancang bangun PLTS yang dilakukan oleh Brilliant, Purba Robinson dan Soebagio Atmonobudi yang dipublikasikan pada tahun 2019 pada jurnal Lektrokom: Jurnal ilmiah program studi Teknik Elektro: Vol. 2, dengan judul: “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terhubung Dengan Jaringan Listrik PLN Pada Kantor Bintaro – Jakarta Selatan”, mengatakan bahwa, nilai investasi pada perancangan dengan 30 modul *photovoltaic (PV)*, kapasitas masing-masing 305 *watt-peak (Wp)* dan baterai sebanyak 12 buah dengan kapasitas masing-masing 12 Ah, dengan asumsi penggantian baterai setiap 3 kali dalam 10 tahun, dan pada tahun ke-25 biaya modal pembangunan PLTS sudah kembali, sehingga pada tahun ke-26 dan selanjutnya merupakan keuntungan menggunakan listrik gratis[7].

Dari uraian di atas, perlu dilakukan kajian secara ilmiah dalam bentuk penelitian terhadap sistem pembangkit

listrik jenis PLTS *hybrid on-grid*, untuk memasok kebutuhan listrik BTS, Desa Saibi Samukop. Tujuan penelitian mencakup antara lain, menghitung kebutuhan energi listrik per hari untuk BTS, menentukan kapasitas PLTS sistem *hybrid on-grid* yang terhubung ke jaringan PLN (*on-grid*) sesuai kebutuhan BTS, menentukan skenario atau konfigurasi PLTS yang tepat untuk BTS Desa Saibi Samukop, serta mengkaji kelayakan PLTS sistem *hybrid on-grid* pada BTS ditinjau dari sisi ekonomi dan sisi energi listrik yang dihasilkan dengan mempertimbangkan nilai NPC, LCOE dan BEP.

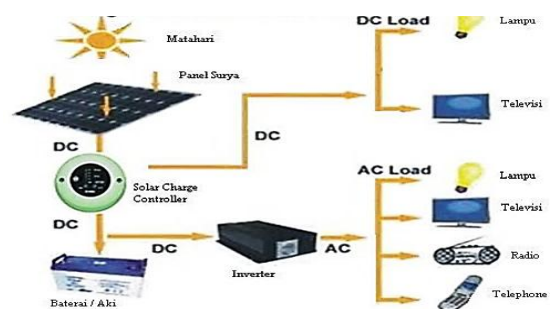
2. TEORI PLTS

PLTS merupakan sumber energi terbarukan yang mengandalkan sinar matahari sebagai sumber energi utamanya, dan Solar PV sebagai alat untuk mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga surya bekerja berdasarkan prinsip konversi energi dari iradiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Proses konversi sinar matahari menjadi energi listrik, dapat dijelaskan berdasarkan gambar 2.1.

1. Iradiasi sinar matahari mengenai panel surya yang terdiri dari bahan semikonduktor, biasanya silikon. Sinar matahari terdiri dari partikel-partikel energi yang disebut foton.
2. Ketika foton-foton tersebut mengenai bahan semikonduktor, mereka dapat berinteraksi dengan elektron dalam bahan tersebut. Energi dari foton diserap

oleh elektron, sehingga energi kinetik elektron meningkat.

3. Energi kinetik yang diberikan oleh foton dapat melepaskan elektron-elektron tersebut dari ikatan atom di dalam bahan semikonduktor. Elektron-elektron ini kemudian berpindah ke pita konduksi, yang merupakan tingkat energi yang memungkinkan elektron untuk bergerak bebas.
4. Elektron-elektron yang berpindah ke pita konduksi dapat mengalir bebas dalam bahan semikonduktor, menciptakan arus listrik. Namun, bahan semikonduktor pada panel surya biasanya memiliki lapisan *p-n junction* (persimpangan p-n) yang membantu mengarahkan aliran elektron.
5. Arus listrik yang dihasilkan dari aliran elektron-elektron ini berupa arus searah (DC). Arus tersebut dapat digunakan untuk memasok energi listrik langsung ke sistem atau disimpan dalam baterai untuk digunakan pada saat yang dibutuhkan.



Gambar 2.1 Konfigurasi PLTS [sumber : www.media.neliti.com]

Jenis – jenis PLTS berdasarkan sistemnya, adalah sebagai berikut:

2.1 PLTS Sistem *Hybrid On- Grid*

PLTS on-grid adalah sistem PLTS yang hanya akan menghasilkan listrik apabila terdapat listrik dari jaringan PLN. PLTS akan mengirimkan kelebihan listrik yang dihasilkan ke PLN, sehingga memungkinkan proses jual beli (ekspor-impor) listrik.

2.2 PLTS Sistem *Off- Grid*

PLTS sistem *Off-Grid* merupakan pembangkit yang menyimpan daya dari PLTS ke baterai dan dapat digunakan ketika PLN padam atau ketika tinggal di daerah yang tidak terjangkau oleh listrik PLN, dimana untuk situasi ini, kerangka PLTS *off-grid* tidak dapat mengimpor energi listrik dari PLN.

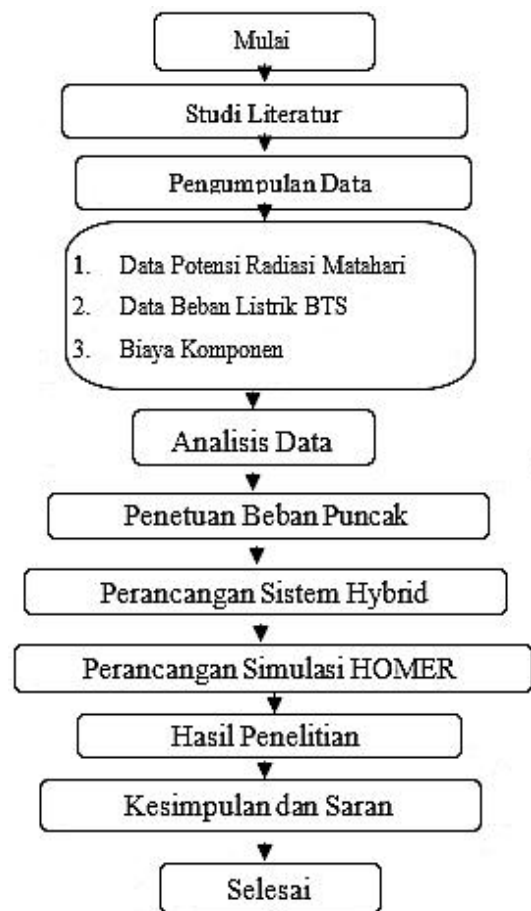
3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif. Metode kualitatif merupakan suatu metode yang tahapan pelaksanaannya mencakup observasi, studi literatur, pengamatan langsung, pengumpulan data. Selanjutnya data yang diperoleh diolah dan dianalisa untuk mendapatkan jawaban terhadap tujuan penelitian[8].

3.1 Diagram Alur

Seperti telah diuraikan di atas bahwa, penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yakni studi literatur, pengumpulan data dan analisis data. Studi literatur bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan yang relevan dengan topik penelitian. Pengumpulan data dilakukan untuk melengkapi data penelitian yang akan

diolah untuk selanjutnya dilakukan analisis. Sementara analisis data bertujuan untuk mengetahui hasil penelitian melalui simulasi maupun kalkulasi ilmiah. Alur penelitian diperlihatkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Data Potensi Iradiasi Matahari

Potensi energi matahari di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Data iradiasi matahari dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Iradiasi Matahari [sumber : <https://www.nasa.gov/> diakses melalui software homer]

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m2/day)
Jan	0.468	4.770
Feb	0.497	5.210
Mar	0.485	5.100
Apr	0.490	4.970
May	0.521	4.970
Jun	0.526	4.820
Jul	0.505	4.690
Aug	0.483	4.750
Sep	0.462	4.770
Oct	0.450	4.690
Nov	0.427	4.360
Dec	0.451	4.540

3.3 Data Beban

Tabel 3.2. memperlihatkan data beban listrik yang terpasang pada BTS, Desa Saibi Samukop dan kebutuhan energi per hari.

Tabel 3.2 Data Beban BTS

NO	Nama Alat/Komponen	jumlah	Daya per Unit	Total Daya (Watt)	Jam operasional	Kebutuhan energi (Wh/hari)
1	Antena Sectoral	3	30	90	24	2160
2	Antena Microwave	1	40	40	24	960
3	Lampu tower	1	20	20	24	480
4	Lampu jalan	1	30	30	12	360
Total		6		180		3960

3.4 Biaya Komponen

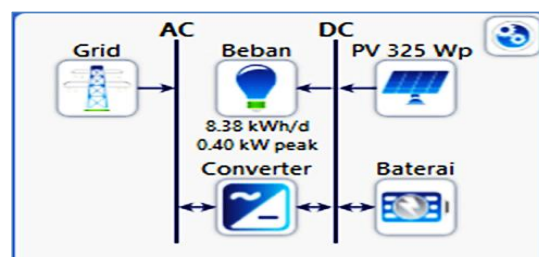
Biaya komponen serta spesifikasi yang digunakan dalam perancangan ini, diperlihatkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Biaya Komponen [sumber : <https://www.tokopedia.com/> diakses pada 29 Mei 2023]

Komponen	Spesifikasi	Vol	Harga satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Solar Panel	Canadian solar panel 325 Wp	4	2,275,000.00	9,100,000.00
Inverter	Bidirectional converter	1	10,750,000.00	10,750,000.00
Baterai	Aki Lifepo4 24 V 110 Ah	2	7,522,000.00	15,044,000.00
SCC	Techfine solar 48 V	1	1,089,000.00	1,089,000.00
Total				35,983,000.00

3.5 Desain sistem on-grid pada homer

Gambar 3.2. merupakan desain yang akan dilakukan pada software homer dengan sistem hybrid on-grid.



Gambar 3.2 Desain Perancangan.

Komponen pada gambar 3.3, terdiri dari:

a. Panel Surya

Kapasitas panel surya yang digunakan pada desain ini adalah kapasitas 1.5 kW sebanyak 4 buah.

b. Inverter

Inverter yang digunakan pada perancangan ini adalah inverter dengan kapasitas 5 kW sebanyak 1 buah.

c. Baterai

Baterai yang digunakan adalah baterai jenis AKI Lifepo4 berkapasitas 24 V,

261 Ah, dengan estimasi daya sebesar 6260 Wh.

d. *Grid*

Grid yang terhubung yang disalurkan oleh PLN adalah *grid* dengan daya sebesar 5500 VA, dengan tarif listrik Rp 1669,53/kWh[9].

dibandingkan dengan konfigurasi PLTS di-*hybrid* dengan *grid* + baterai.

4.2 Total Produksi Energi

Total produksi energi listrik dari tiga konfigurasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Optimisasi Simulasi Homer

Gambar 4.1 memperlihatkan hasil optimisasi simulasi yang dilakukan pada *software homer*.

PV 325 Wp (kW)	Co	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial cost (Rp)
1.30	99 5.00 CC	Rp56.9M	Rp1,144	Rp2.79M	Rp20.9M
1.30	2 99 5.00 LF	Rp85.4M	Rp1,719	Rp3.83M	Rp36.0M
	99 5.00 CC	Rp86.5M	Rp2,189	Rp3.78M	Rp11.8M
	2 99 5.00 LF	Rp115M	Rp2,903	Rp6.81M	Rp26.9M

Gambar 4.1 Hasil Simulasi Homer

Tujuan dari optimisasi simulasi adalah, untuk menentukan konfigurasi PLTS yang paling optimal untuk digunakan pada BTS desa Saibi Samukop. Ada 3 konfigurasi berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan yaitu:

1. Konfigurasi dengan pembebanan 100 persen ke *grid*.
2. Pembebanan dengan konfigurasi PLTS di-*hybrid* dengan *grid* + baterai.
3. konfigurasi PLTS di-*hybrid* dengan *grid* tanpa baterai.

Berdasarkan hasil simulasi, maka konfigurasi yang paling optimal dari ketiga konfigurasi diatas, adalah konfigurasi antara PLTS di-*hybrid* dengan *grid* tanpa baterai. Biayanya lebih murah

Tabel 4.1 Produksi Energi.

Sistem Pembangkit	Beban yang dilayani (kWh/thn)	Total energi listrik yang dihasilkan (kWh/thn)	Kelebihan energi listrik (kWh/thn)	Grid Sales	
				(kWh/thn)	(%)
Grid 100 %	3.059	3.220	0	0	0
PLTS Hybrid On-Grid+ baterai	3.059	3.995	786	786	20,5
PLTS Hybrid On-Grid tanpa baterai	3.059	3.999	791	791	20,5

Pada tabel 4.1 dapat dilihat produksi energi listrik dengan sistem PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai lebih banyak daripada menggunakan baterai, yaitu 3.999 kWh/tahun, begitu juga dengan penjualan listrik kepada jaringan PLN (*Grid Sales*) sistem ini lebih banyak menjual energi listrik daripada sistem yang menggunakan baterai, dengan penjualan sebesar 791 kWh/tahun.

4.3 Net Present Cost (NPC)

Nilai NPC dari hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Net Present Cost.

Sistem	NPC (Rp)
Grid PLN	86.536.820,00
Grid Dihybrid dengan PLTS +Baterai	85.473.910,00
Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai	56.948.220,00

Pada tabel 4.2 dapat dilihat nilai NPC terendah terjadi pada sistem Grid dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai dengan nilai NPC sebesar Rp56.948.220,00 dan nilai NPC tertinggi terjadi pada sistem pembebanan PLN 100% sebesar Rp86.536.820,00 dan NPC sistem PLTS + baterai lebih besar daripada tanpa baterai. Hal ini terjadi karena pada sistem Grid dihybrid dengan PLTS + Baterai ada penambahan biaya untuk pembelian baterai sedangkan untuk sistem Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai tidak ada biaya untuk baterai. Hal ini menunjukkan bahwa sistem grid dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai lebih layak karena lebih hemat biaya.

4.5 Levelized Cost of Energy (LCOE)

Nilai LCOE dari hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Levelized Cost of Energy.

Sistem	LCOE (Rp)
Grid PLN	2.188,61
Grid Dihybrid dengan PLTS + Baterai	1.718,90
Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai	1.144,93

Pada tabel 4.3 dapat dilihat nilai LCOE terendah terjadi pada sistem Grid dihybrid dengan PLTS tanpa baterai dengan nilai LCOE sebesar Rp1.144,93/kWh dan nilai LCOE tertinggi terjadi pada sistem Grid PLN sebelum dihybrid dengan PLTS sebesar Rp2.188,61/kWh, hal ini menunjukkan bahwa sistem Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa baterai lebih layak karena lebih hemat biaya.

4.4 Break Even Point (BEP)

Nilai BEP dapat dihitung sebagai berikut:

$$BEP = \frac{\text{Total Capital}}{\text{Etot.served} \times \text{Harga Jual Listrik ke PLN}}$$

Dalam hal ini,

Total Capital = biaya total komponen (Rp)

Etot.served = total energi tahunan untuk beban (kWh)

Harga jual listrik ke PLN = Rp1.645/kWh[10]

Tabel 4.4 Break Even Point.

Sistem	BEP (tahun)
Grid PLN	Tidak terjadi BEP
Grid Dihybrid dengan PLTS + Baterai	5,6
Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai	3,3

Pada tabel 4.4 dapat dilihat BEP tercepat terjadi pada sistem Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai dengan nilai NBEP selama 3,3 tahun, dan BEP terlama terjadi pada sistem Grid PLN dihybrid dengan PLTS + baterai selama 5,6 tahun, dan pada sistem grid PLN sebelum dihybrid dengan PLTS tidak terjadi BEP. Hal ini menunjukkan bahwa sistem Grid Dihybrid dengan PLTS tanpa Baterai lebih layak karena lebih cepat kembali modal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengolahan data dan simulasi dengan menggunakan *software* Homer, serta analisa terhadap hasil pengolahan data, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Energi listrik yang dibutuhkan BTS adalah sebesar 3,96 kWh/hari.
2. Kapasitas PLTS sebesar 1,3 kW dengan produksi energi listrik sebesar 5,06 kWh/hari
3. Skenario atau konfigurasi sistem yang tepat adalah konfigurasi PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai.
4. Berdasarkan hasil simulasi dilihat dari sisi ekonomi dan sisi energi listrik yang dihasilkan, PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai, dinilai layak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik BTS Desa Saibi Samukop dengan nilai NPC sebesar Rp56.948.220,00 LCOE Rp1.144,39/kWh dan BEP tercapai setelah 3,3 tahun proyek beroperasi.

5.2 Saran

Disarankan kepada Pemerintah atau lembaga terkait, supaya mengoptimalkan PLTS sistem *hybrid*, agar fasilitas umum yang belum beroperasi selama 24 jam dapat digunakan lebih maksimal.

REFERENSI

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). Perlu Upaya Konkrit dan Terencana Capai Target Bauran 23% Di Tahun 2025 (Siaran Pers Nomor 458 tahun 2021). Jakarta, DKI: Agung Pribadi. Diakses dari <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/12/15/3038/menteri.esdm.perlu.upaya.konkrit.dan.terencana.capai.target.bauran.23.di.tahun.2025> diakses pada 29 Mei 2023.
- [2] Peraturan Presiden. (2020). Penetapan Daerah 3T Tahun 2020 – 2024 (PERPRES Nomor 63 tahun 2020). Jakarta, DKI: Diakses dari <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/136563/perpres-no-63-tahun-2020> diakses pada 29 Mei 2023.
- [3] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. (2021). Peraturan Bupati tentang Rencana Kerja Pemerintah Daerah (PERBUB Nomor 30 tahun 2021). Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat: Bappeda Mentawai. Diakses dari <https://bappeda.mentawai.kab.go.id/dokumen/perencanaan/rpjmd/> diakses pada 29 Mei 2023.
- [4] Badan Pusat Statistik. (2021). Kecamatan Siberut Tengah. Dalam Angka 2021. Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat: Fajar Wisga Permana. Diakses dari <https://mentawai.kab.bps.go.id/publication/2021/09/24/207354548a91aff6cb7de553/kecamatan-siberut-tengah-dalam-angka-2021.html> diakses pada 26 Juni 2023.
- [5] Global Solar Atlas *website*, <https://globalsolaratlas.info/detail?s=-1.378191,99.035424&m=site&c=-1.378191,99.035424,11&pv=ground,0,4,1000>. Diakses pada 29 Mei 2023.
- [6] Harijanto, P. S., & Yunus, M. (2021) Kajian PLTS on-grid pada gedung X Politeknik Negeri Malang untuk Melayani Beban Perkantoran Menggunakan Perangkat Homer Pro. Jurnal ELTEK, 19(2),96-104. Diakses dari <https://www.researchgate.net>

- [7] Brilliant, Purba Robinson, & Soebagio Atmonobudi. (2019). Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terhubung Dengan Jaringan Listrik PLN Pada Kantor Bintaro – Jakarta Selatan. *Jurnal Lektrokom* 2(1),33-38. Diakses dari <http://ejournal.uki.ac.id>
- [8] Creswell, John W. (2012). *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed* (Vols. 1-5). Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [9] Perusahaan Listrik Negara. (2023). Pemerintah Putuskan Tarif Listrik Tetap, PLN Siap Dorong Ekonomi dengan Listrik Andal (siaran Pers Nomor 004 tahun 2023). Jakarta, DKI: Gregorius Adi Trianto. Diakses dari <https://web.pln.co.id/pelanggan/tarif-tenaga-listrik/tariff-adjustment>. diakses pada 29 mei 2023.
- [10] Peraturan Presiden (2022). Percepatan pengembangan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik (PERPRES Nomor 112 tahun 2022). Jakarta DKI: Diakses dari <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/225308/perpres-no-112-tahun-2022> diakses pada 29 Mei 2023.
- [11] Suharsaputra, Uhar. (2012), Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan. Bandung: Refika Aditama.
- [12] Roger, A., Ventre Jerry Messenger. *Photovoltaic System Engineering* (Vols. 1-4). Florida: CRC Press LLC.
- [13] Solanki Singh Chetan. (2015). *Solar Photovoltaic Fundamentals, Technologies and Applications* (Vols. 1-3). Delhi: PHI Learning.
- [14] Gosmwami, Y. D. (2015). *Principles Of Solar Engineering* (Vols. 1-3). Florida: CRC Press LLC, 2015.
- [15] Safitri Nely, Teuku Ridayat, & Shafira Riskina. (2019). Buku Teknologi *Photovoltaic*. Aceh: Yayasan Puga Aceh Riset.
- [16] Luque, A., & Hegedus, S. (2003) *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, England: John Wiley & Sons Ltd.
- [17] Roger, A., & Ventre, J. M. (2017) *Photovoltaic System Engineering* (Vols. 1-4). Florida: CRC Press LLC. Diakses dari http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula_virtual/Cursos/Teoria%20de%20Control/Messenger_Photovoltaic_Systems_Engineering.pdf
- [18] Santiari, I., & Dewa, A. S. (2011). Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan Di Nusa Lembongan Bali. Bali: Universitas Udayana.