

Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap pada Stasiun Yogyakarta

Arief Darmawan¹, Edi nyoto², Dhina Setyo³, Yunanda Raharjanto⁴

¹²³⁴ Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun; Inonesia

correspondence e-mail*, darmawan@ppi.ac.id; edi@ppi.ac.id; dhina@ppi.ac.id; yunanda.r@ptdisttd.ac.id

Submitted:	Revised:2024/02/01	Accepted: 2024/02/21	Published: 2024/03/01
Abstract	This study examines the use of a Hybrid Rooftop Solar Power Plant (HRSP) at Yogyakarta Station as a strategic step towards the utilization of renewable energy. The background of this research is highlighted by the global urgency of global warming and climate change, which have wide-ranging impacts on various aspects of life, including the energy sector. As a tropical country, Indonesia has a significant potential in the use of renewable energy, especially solar energy. Yogyakarta Station, as one of the main railway stations in Indonesia serving thousands of passengers daily, requires a high electricity supply, currently predominantly fueled by fossil fuels from PLN. The use of these fossil fuels contributes to the increase in greenhouse gas emissions, a major cause of global warming. This study focuses on the economic analysis of utilizing a Hybrid Rooftop Solar Power Plant (HRSP) at Yogyakarta Station as a strategic step towards renewable energy. The station, a key element in mass transportation, requires a significant supply of electrical energy, currently mostly derived from fossil fuels, contributing to greenhouse gas emissions. The HRSP is proposed as an environmentally friendly alternative, combining solar energy with other sources for sustainable electricity supply. Although it entails a substantial initial investment, technical and economic analyses indicate economic viability, with a Net Present Cost (NPC) of IDR 2,152,699,000.00 and a Cost of Energy (COE) of IDR 1,071.96. With the solar energy potential in the Special Region of Yogyakarta, implementing HRSP could be an economical and sustainable step to replace fossil energy sources at the railway station.		
Keywords	Hybrid Rooftop Solar Power Plant; Renewable Energy; Economic Analysis		



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

PENDAHULUAN

Kereta api telah menjadi elemen penting dalam sistem transportasi massal untuk aktivitas pergerakan, merangsang pertumbuhan ekonomi, dan pengembangan wilayah tertentu. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007, kereta api dianggap sebagai moda transportasi dalam sistem transportasi nasional yang merupakan sarana perkeretaapian yang ditenagai, yang dapat beroperasi secara mandiri atau dikaitkan dengan sarana perkeretaapian

lainnya, yang bergerak atau akan bergerak di jalur rel yang berhubungan dengan perjalanan kereta api.¹ Operasional kereta api memerlukan energi listrik, baik untuk mengendalikan peralatan persinyalan maupun telekomunikasi.²

Pemanasan global dan perubahan iklim menjadi isu global yang mendesak dan mempengaruhi berbagai aspek kehidupan, termasuk sektor energi.³ Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi besar dalam penggunaan energi terbarukan, khususnya energi surya.⁴ Dalam konteks ini, penelitian ini berfokus pada analisis ekonomi penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Hybrid di stasiun Yogyakarta. Stasiun Yogyakarta merupakan salah satu stasiun kereta api utama di Indonesia, yang melayani ribuan penumpang setiap hari. Operasional stasiun ini membutuhkan pasokan energi listrik yang besar, yang saat ini sebagian besar berasal dari PLN dengan sumber utama bahan bakar fosil.⁵ Penggunaan bahan bakar fosil ini berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, yang menjadi penyebab utama pemanasan global.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Hybrid (PLTS Atap Hybrid) dapat menjadi solusi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.⁶ Namun, implementasi PLTS Atap Hybrid membutuhkan investasi awal yang cukup besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis ekonomi untuk menentukan kelayakan dan efisiensi investasi ini. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang potensi dan kelayakan ekonomi penggunaan PLTS Atap Hybrid di stasiun Yogyakarta. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pihak-pihak terkait dalam merencanakan dan menerapkan strategi energi terbarukan di sektor transportasi dan infrastruktur.

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik namun memiliki tujuan yang berbeda. Nabila Putri Zahira dan Dening Putri Fadillah (2022) membahas upaya pemerintah Indonesia mencapai target Net Zero Emission (NZE) tahun 2060

¹ Republik Indonesia. 2016. *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor: PM.54 Tahun 2016 Tentang Standar Spesifikasi Teknis Identitas Sarana Perkeretaapian*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia.

² Republik Indonesia. 2020. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral Dan Batubara*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia.

³ Pongtuluran, Yonathan. 2015. *Manajemen Sumber Daya Alam Dan Lingkungan Edisi Revisi*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.

⁴ Nina Hertiwi Putri, & dr. Reni Utari. (2021, June 22). *Mengenal Gas Rumah Kaca dan Dampaknya untuk Kesehatan* <https://www.sehatq.com/artikel/mengenal-gas-rumah-kaca-dan-dampaknya-untuk-kesehatan/> diakses pada 11 Mei 2023

⁵ Karissa, Citra Hilda & Kodoatie, Johanna Maria. -. *Analisis Permintaan Jasa Kereta Api (Studi Kasus : Kereta Api eksekutif Harina trex Semarang – Bandung dan Kereta Api Eksekutif Argo Muria trex Semarang – Jakarta)*. Jurnal ilmiah: Universitas Diponegoro.

⁶ Hertadi, Christopher D.P, dkk. 2022. *Kajian Industri Energi Terbarukan Tenaga Listrik di Indonesia Berdasarkan Arah Kebijakan dan Potensi Alam*. G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, 6(2):276-283.

dengan menggunakan Variable Renewable Energy (VRE).⁷ Fajar Rizki et al. (2020) membahas pengeringan hybrid dengan energi surya.⁸ Apri Anggi Prayogi (2018) merencanakan sistem pembangkit listrik hybrid di Gedung Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia menggunakan HOMER.⁹ Anwar Ilmar Ramadhan et al. (2016) menganalisis desain sistem pembangkit listrik tenaga surya. Zahratika Rahmadyani (2015) melakukan analisis potensi energi terbarukan dan kajian teknologi-ekonomi di Kabupaten Nunukan dan Malinau, Kalimantan Utara. Indah Purnama Sari (2015) merencanakan kelistrikan untuk energi terbarukan di Kabupaten Balungan dan Tana Tidung.¹⁰ Subandi dan Slamet Hani (2015) menguji penggunaan sel surya sebagai pembangkit listrik di lapangan dengan menggerakkan pompa air.¹¹ Keseluruhan penelitian terdahulu ini memberikan dasar dan referensi yang penting bagi penelitian ini.

METODE

Dalam penelitian ini, digunakan diagram alir (*flow chart*) untuk menggambarkan langkah-langkah dan hubungan antarproses secara visual (lihat Gambar 3.1). Lokasi penelitian berfokus pada peralatan persinyalan di stasiun Yogyakarta dan Lempuyangan. Studi literatur menjadi langkah awal yang penting untuk mengumpulkan referensi dari berbagai sumber, seperti diktat kuliah, buku terkait, jurnal ilmiah, serta artikel dan berita online. Referensi ini memberikan pemahaman komprehensif tentang analisis investasi pembangunan PLTS atap, mencakup aspek teknis, perencanaan, manajemen, dan ekonomi.

Metode pengumpulan data terdiri dari data primer dan sekunder. Survey potensi irradiasi matahari dilakukan sebagai metode pengumpulan data primer. Data sekunder diperoleh dari Balai Teknik Perkeretaapian Jawa Tengah dan sumber terpercaya online, mencakup layout stasiun, as built drawing ER stasiun, datasheet peralatan persinyalan, dan datasheet komponen untuk perancangan sistem pembangkit hybrid. Pengolahan data melibatkan identifikasi jumlah aset peralatan yang membutuhkan daya listrik, perhitungan total kebutuhan daya listrik stasiun, dan

⁷ Zahira, Nabila Putrid an Fadillah, Dening Putri. 2022. *Pemerintah Inonesia Menuju Target Net Zero Emission (NZE) Tahun 2060 Dengan Variable Renewable Energy (VRE) Di Indonesia*. Jurnal Ilmu Sosial, 2(2).

⁸ Irawan, Feri Eka, dkk. 2020. *Analisis Kelayakan Ekonomis Pembangunan Gedung Sadewa Rsud Krmt Wongsonegorokota Semarang*. Prosiding: Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

⁹ Sari, Era Sukma Jelita & Zainul, Rahadian. -. *Nitrogen Triflorida (NF3): Termodinamika dan Transpor Elektron NF3*. Jurnal: Universitas Negeri Padang.

¹⁰ Sari, Era Sukma Jelita & Zainul, Rahadian. -. *Nitrogen Triflorida (NF3): Termodinamika dan Transpor Elektron NF3*. Jurnal: Universitas Negeri Padang.

¹¹ Pangestu, Panggih. 2017. *Pengaruh Preferensi Konsumen Terhadap Keputusan Pembelian Pada Kantin Halalan Thayyiban Universitas Brawijaya Malang*. Jurnal Ilmiah: Jurusan Ilmu Ekonomi Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya

evaluasi potensi irradiasi matahari di sekitar lokasi penelitian. Tahap selanjutnya adalah analisis data menggunakan metode techno-ekonomi, dengan fokus pada analisis keekonomisan (NPC dan COE).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data dan Hasil Analisis

Peralatan listrik pada sistem persinyalan

Peralatan persinyalan di Stasiun Yogyakarta dan Lempuyangan di kontrol oleh peralatan interlocking yang peralatannya terletak di ER (Equipment Room) Stasiun Lempuyangan. Peralatan persinyalan ini berupa perangkat luar dan perangkat dalam yang semuanya membutuhkan daya listrik yang terhubung oleh grid PLN. Dalam menghitung kebutuhan daya listrik yang ada di ER dan di luar ruangan maka diperlukan pendekatan perhitungan sesuai daya peralatan yang terdapat pada tabel 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4 sebagai berikut

Tabel 4.1 Daya Peralatan Equipment Room Stasiun Yogyakarta

No	Peralatan	Jumlah		Daya Satuan (Watt)	Total Daya (Watt)
1	AC	5	Unit	840	4.200
2	Exhaust Fan	2	Unit	40	80
3	Lampu Philips TL 2x18 W	10	Unit	36	360
4	Lampu Philips SL 18 W	19	Unit	18	342
5	Interlocking Yogyakarta	11	Rack	74.4	818,5
6	Interlocking Lempuyangan	11	Rack	74.4	818,5
TOTAL					

Sedangkan kebutuhan daya peralatan luar khususnya peralatan persinyalan yang digunakan di stasiun Yogyakarta ialah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Daya Peralatan Persinyalan Stasiun Yogyakarta

No	Peralatan	Jumlah Satuan		Daya Satuan (Watt)	Total Daya (watt)
1	Wesel	31	Unit	10.32	320

2	Peraga Sinyal	45	Unit	10	450
3	Axle Counter	50	Unit	1	50
Total Daya (watt)					820

Tabel 4.3 Peralatan Persinyalan Stasiun Lempuyangan

NO	BARANG	JUMLAH	DAYA
1	Wesel	19	320
2	Peraga Sinyal	22	220
3	Axle Counter	38	24
4	Interlocking	11	818,5
Total Daya (watt)			

Potensi Energi Surya Sebagai Bauran Energi

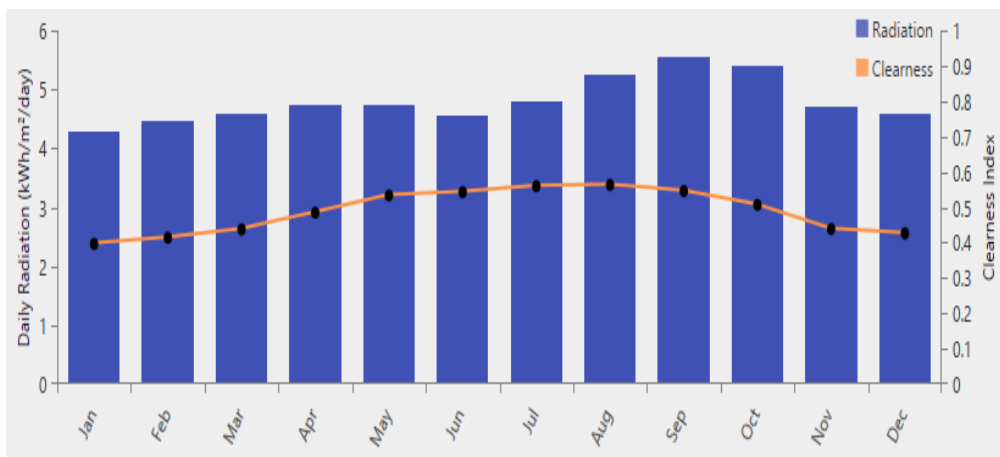
Menurut data prediksi iradiasi matahari dari National Aeronautics and Space Administration (NASA), yang merupakan badan pemerintah Amerika Serikat (AS) yang bertanggung jawab atas program ilmiah dan teknologi di bidang aeronautika dan antariksa, rata-rata Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) di Provinsi Yogyakarta dijelaskan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.4 Iradiasi Horizontal Global Matahari (GHI) Rata-Rata Bulanan

Bulan	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Januari	0,396	4.280
Februari	0,413	4.470
Maret	0,437	4.590
April	0,484	4.720
Mei	0,533	4.730
Juni	0,542	4.550
Juli	0,559	4.800
Agustus	0,563	5.250
September	0,545	5.540

Oktober	0,506	5.390
November	0,438	4.710
Desember	0,426	4.570

Berdasarkan prediksi dari National Aeronautics and Space Administration (NASA), data yang tercantum dalam Tabel 4.14 dapat diilustrasikan dalam grafik berikut. Dari grafik ini, dapat disimpulkan bahwa iradiasi matahari rata-rata (GHI) di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta mencapai puncak tertinggi pada bulan September, dengan nilai sebesar 5.540 kWh/m²/hari dan indeks kecerahan (clearness index) sebesar 0,545. Sementara itu, pada bulan Februari, iradiasi matahari rata-rata dan clearness index di Provinsi DIY menunjukkan angka yang lebih rendah dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya. Secara keseluruhan, rata-rata iradiasi matahari dalam rentang tahunan mencapai 4,80 kWh/m²/hari.



Gambar 4. 1 Iradiasi Horizontal Global Matahari (GHI) Rata-Rata Bulanan

Penyinaran matahari atau iradiasi matahari adalah proses di mana energi matahari dipancarkan dan mencapai permukaan bumi. Ini digunakan untuk mengukur seberapa banyak radiasi matahari jatuh pada suatu area tertentu selama periode waktu tertentu, dan biasanya dinyatakan dalam satuan daya per luas, yaitu watt per meter persegi. Beberapa faktor yang mempengaruhi iradiasi matahari termasuk posisi matahari relatif terhadap Bumi, konsentrasi atmosfer, dan kondisi cuaca. Ketinggian matahari di langit akan berubah sepanjang tahun karena inklinasi sumbu Bumi. Ketika matahari berada di atas garis ekuator, sinar matahari akan lebih terfokus dan memberikan iradiasi yang lebih intensif. Kondisi atmosfer seperti keberadaan awan dan polusi juga dapat mempengaruhi jumlah iradiasi matahari yang mencapai permukaan bumi. Selanjutnya, terdapat beberapa jenis penyinaran matahari berdasarkan karakteristiknya:

Global Horizontal Irradiance (GHI).

GHI memiliki peran penting dalam berbagai bidang seperti pemodelan iklim, penelitian energi surya, dan perencanaan instalasi panel surya. Dengan memahami GHI, kita dapat menganalisis seberapa banyak energi matahari yang tersedia di suatu lokasi tertentu dalam jangka waktu tertentu, dan hal ini sangat relevan dalam mengoptimalkan penggunaan energi surya serta perancangan sistem energi yang berkelanjutan.

Direct Normal Irradiance (DNI)

Direct Normal Irradiance (DNI) adalah istilah yang mengacu pada komponen sinar matahari yang mencapai permukaan Bumi secara langsung dari arah matahari tanpa mengalami pemantulan atau hamburan oleh atmosfer. DNI merupakan sinar matahari yang datang tegak lurus terhadap permukaan yang menerimanya. Tingkat DNI dipengaruhi oleh posisi matahari relatif terhadap lokasi pengukuran.

Informasi yang diberikan oleh DNI sangat penting dalam menggambarkan potensi energi surya yang dapat dikumpulkan oleh sistem pelacak matahari atau panel surya yang mengikuti posisi matahari sepanjang hari. Pengukuran DNI dilakukan dalam satuan watt per meter persegi (W/m^2), dan memberikan informasi tentang intensitas sinar matahari yang langsung jatuh tegak lurus ke permukaan. Dengan pemahaman tentang DNI ini, kita dapat merencanakan dan mengoptimalkan penggunaan sistem energi surya untuk memanfaatkan sinar matahari secara efisien.

Diffuse Horizontal Irradiance (DFI)

DFI adalah komponen sinar matahari yang mencapai permukaan Bumi setelah mengalami pemantulan atau hamburan oleh partikel-partikel di atmosfer, seperti awan, debu, dan uap air. DFI terdiri dari sinar yang datang dari berbagai arah dan tidak langsung dari matahari. DFI dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap energi surya yang diterima oleh permukaan, terutama pada hari yang berawan atau saat sinar matahari tersebar secara merata di langit. DFI juga diukur dalam watt per meter persegi (W/m^2) dan memberikan informasi tentang jumlah sinar matahari yang tersebar secara merata di langit. Hubungan antara GHI (Global Horizontal Irradiance) dan temperatur di permukaan Bumi memiliki keterkaitan yang kompleks. Namun, hubungan antara GHI dan temperatur dapat dipengaruhi oleh banyak faktor lainnya, seperti kondisi atmosfer, kelembaban udara, komposisi atmosfer, dan sifat permukaan (misalnya, vegetasi, air, atau permukaan yang berbeda). Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi sejauh mana energi matahari yang diserap atau dipantulkan kembali ke atmosfer, serta bagaimana energi itu didistribusikan dan

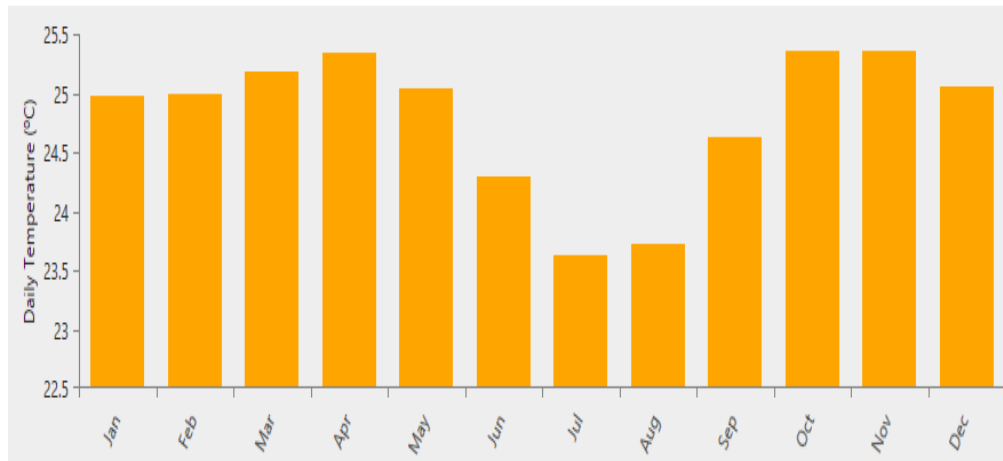
disimpan di dalam sistem iklim.

Di samping itu, variasi waktu seperti pergantian musim atau perjalanan harian matahari juga memiliki dampak pada intensitas dan durasi sinar matahari yang diterima di suatu lokasi. Karena itu, keterkaitan antara Global Horizontal Irradiance (GHI) dan suhu tidaklah langsung dan sederhana. Ada faktor-faktor tambahan yang perlu diperhitungkan untuk memahami hubungan ini secara lebih mendalam. Berikut tabel data temperature rata-rata perbulan di daerah Yogyakarta

Tabel 4.5 Temperatur Rata-Rata Bulanan di Provinsi Yogyakarta

Bulan	Temperatur Harian (°C)
Januari	24,970
Februari	24,990
Maret	25,190
April	25,340
Mei	25,040
Juni	24,300
Juli	23,620
Agustus	23,730
September	24,630
Oktober	25,360
November	25,350
Desember	25,050

Tabel tersebut menunjukkan temperature rata-rata harian, temperature terendah terjadi pada bulan Juli yaitu mencapai angka 23,620 °C. Sementara temperature tertinggi terjadi pada bulan Oktober dengan angka 25,360 °C. Dari data temperatur tersebut maka akan didapatkan rata-rata tahunan sejumlah 24,80°C.

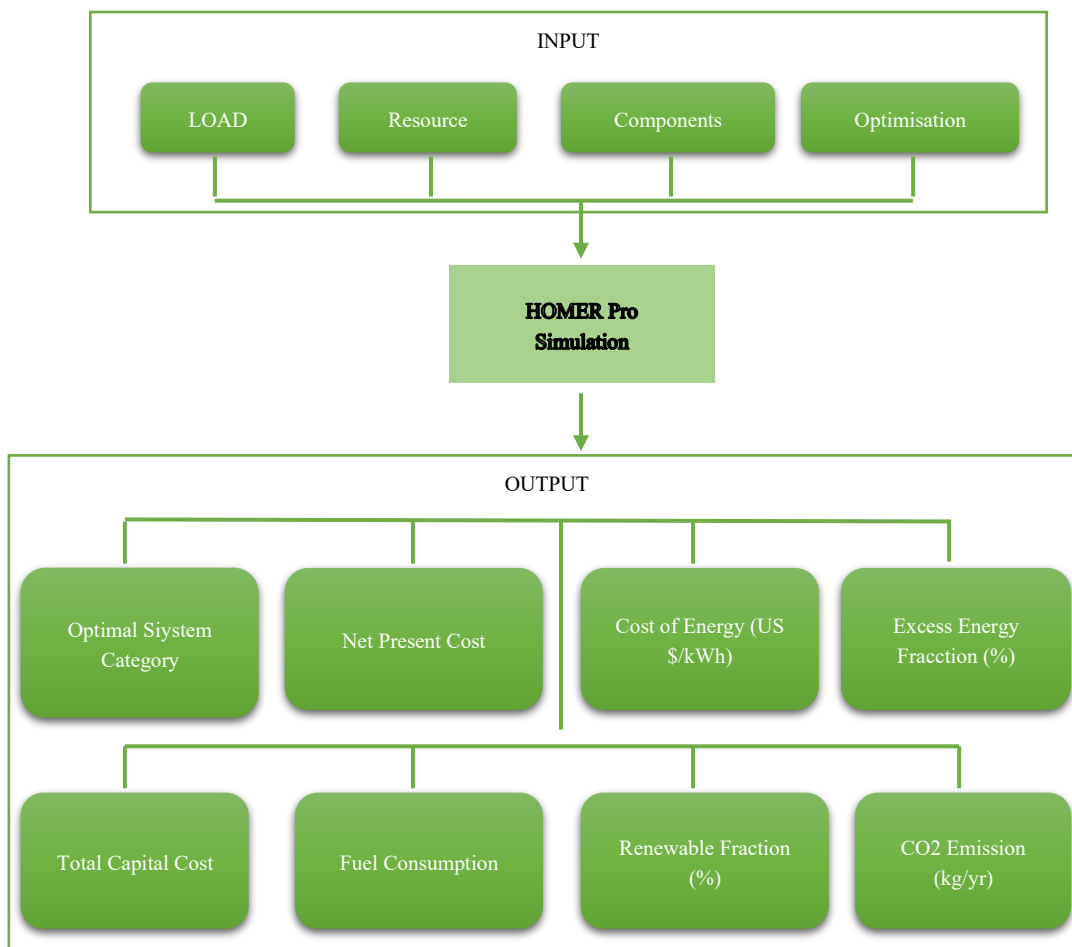


Gambar 4. 2 Grafik Temperatur Rata-Rata Bulanan

Analisis dengan Software HOMER Pro

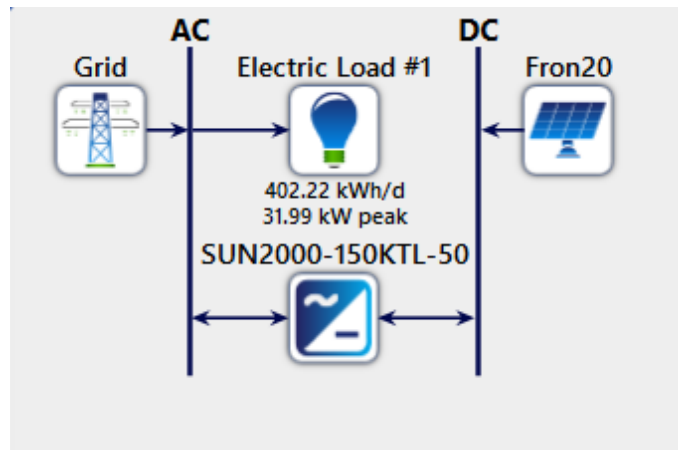
Perangkat lunak HOMER Pro adalah sebuah perangkat lunak optimasi yang memiliki kemampuan khusus untuk membuat desain pembangkit energi yang optimal dengan mempertimbangkan biaya serendah-rendahnya sambil memenuhi kondisi teknis operasional yang layak. HOMER Pro dirancang untuk mempermudah aktivitas evaluasi desain sistem tenaga listrik, baik yang direncanakan secara mandiri (off-grid) maupun terhubung ke jaringan listrik umum (on-grid).

Software HOMER Pro dapat membantu dalam perancangan desain pembangkit energi dengan melakukan kalkulasi aspek ekonomi, termasuk menghitung jumlah keuntungan dari sistem yang dibuat, serta memperkirakan potensi pengurangan emisi karbon. Melalui fitur-fitur yang dimiliki, HOMER Pro dapat melakukan simulasi dan optimasi yang membantu dalam mendapatkan hasil yang optimal dari sistem yang direncanakan.



Gambar 4.3 Diagram Simulasi dan Optimasi Software HOMER Pro

Dalam penelitian ini, simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro untuk merancang sistem pembangkit listrik terhubung ke jaringan (on-grid) yang menggabungkan listrik dari PLN dan Solar PV. Sistem ini juga dilengkapi dengan inverter dan baterai sebagai bagian dari desainnya. Beban penggunaan peralatan persinyalan di suplai dari Grid PLN menggunakan AC bus dan grid DC yang berasal dari Solar PV. Untuk dapat menghubungkan 2 grid tersebut dibutuhkan sebuah inverter 3 phase untuk mengubah tegangan DC menjadi AC



Gambar 4.4 Skema perencanaan sistem pembangkit hybrid pada HOMER Pro

Grafik beban listrik

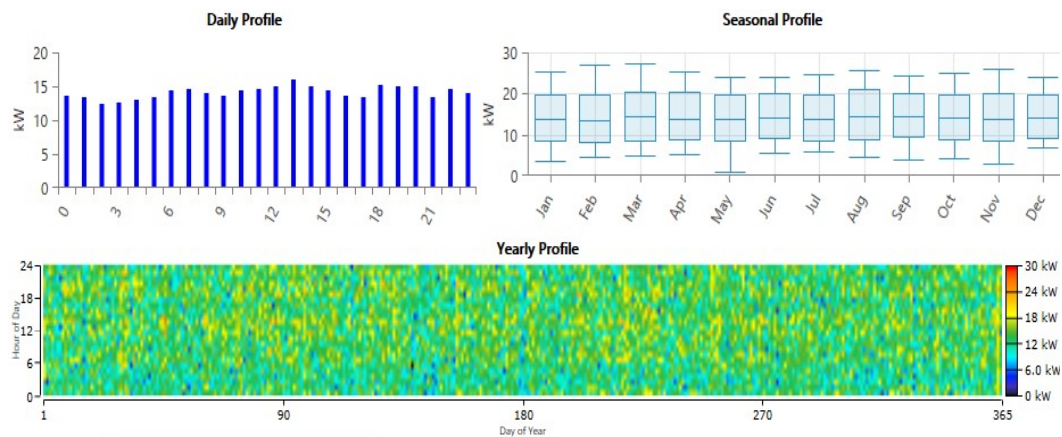
Grafik beban listrik merupakan representasi visual dari pola permintaan dan penggunaan daya listrik pada suatu sistem atau jaringan listrik selama periode waktu tertentu, umumnya dalam skala harian, mingguan, atau bulanan. Grafik ini menunjukkan besaran daya listrik yang dikonsumsi oleh seluruh peralatan, beban, atau pengguna listrik dalam jaringan selama rentang waktu yang ditentukan. Cara untuk mendapatkan grafik beban listrik dapat melibatkan pengumpulan data pemakaian daya listrik dari berbagai sumber seperti peralatan listrik, instalasi industri, perumahan, serta sektor komersial. Data ini biasanya dikumpulkan oleh perusahaan penyedia listrik atau operator jaringan listrik. Selain itu, teknologi monitoring dan pengukuran canggih, seperti smart metering, dapat digunakan untuk mengumpulkan data daya listrik secara real-time.

Setelah data terkumpul, analisis dan pemrosesan data dilakukan untuk mengidentifikasi pola beban listrik. Data tersebut kemudian diolah menjadi grafik dengan sumbu waktu pada sumbu X dan daya listrik pada sumbu Y. Grafik beban listrik yang dihasilkan memberikan gambaran yang jelas tentang variasi permintaan daya listrik selama periode waktu tertentu. Grafik beban listrik sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan sistem kelistrikan. Dengan memahami pola beban listrik, operator dapat merencanakan kebutuhan daya yang optimal, mengantisipasi puncak permintaan, mengatur pasokan daya, dan melakukan manajemen beban untuk mencapai efisiensi energi dan menjaga kestabilan jaringan listrik. Grafik beban listrik pada stasiun Yogyakarta relative cenderung konstan, hal tersebut dikarenakan pola perjalanan hampir rata setiap jam nya, seperti dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.6 Kebutuhan Daya Stasiun Yogyakarta-Lempuyangan

JAM	LOAD (Watt)
00.00	16.480
01.00	14.240
02.00	17.120
03.00	15.200
04.00	14.880
05.00	15.520
06.00	18.080
07.00	17.760
08.00	16.800
09.00	16.160
10.00	18.400
11.00	17.760
12.00	16.480
13.00	17.760
14.00	17.760
15.00	17.760
16.00	16.800
17.00	16.160
18.00	17.760
19.00	18.080
20.00	17.440
21.00	15.840
22.00	16.480
23.00	15.520

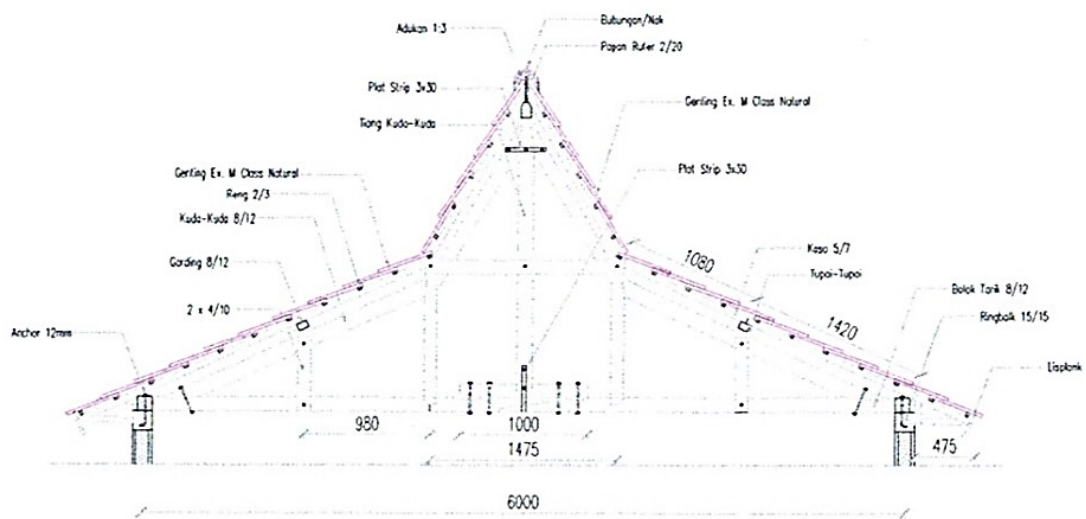
Dari tabel tersebut dapat dilihat beban daya listrik untuk dua stasiun yaitu stasiun Yogyakarta dan Lempuyangan. Beban daya terendah untuk operasional di kedua stasiun tersebut adalah pada jam 01.00 WIB dengan nilai 14.240 watt, sementara kebutuhan daya listrik tertinggi berada pada pukul 10.00 WIB yaitu sebanyak 18.400 watt. Dari hasil perhitungan dapat diketahui kebutuhan daya listrik di Stasiun Yogyakarta dan Lempuyangan tersebut didapatkan jumlah total beban listrik harian sebesar 402.42 kWh/hari. Berdasarkan hal ini software HOMER Pro memunculkan beban puncak (watt peak) sebesar 31.99 Kw peak.



Gambar 4.5 Grafik Beban Daya Listrik Stasiun Yogyakarta-Lempuyangan

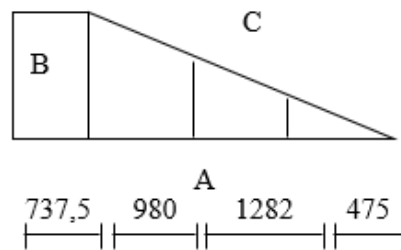
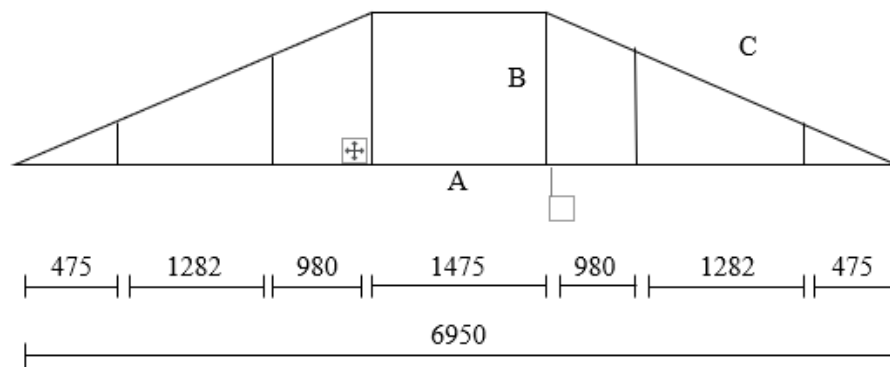
Perhitungan potensi Solar PV

Modul solar PV (Photovoltaic) memiliki kemampuan untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Namun, selain radiasi matahari, temperatur atau suhu juga memiliki pengaruh terhadap jumlah energi yang dihasilkan oleh panel surya. Selain itu, jumlah energi yang dapat dihasilkan juga dipengaruhi oleh luasan atap tempat panel surya dipasang. Semakin besar luas atap yang terpasang panel surya, semakin banyak energi yang dapat dikumpulkan dan diubah menjadi listrik oleh modul solar PV tersebut.



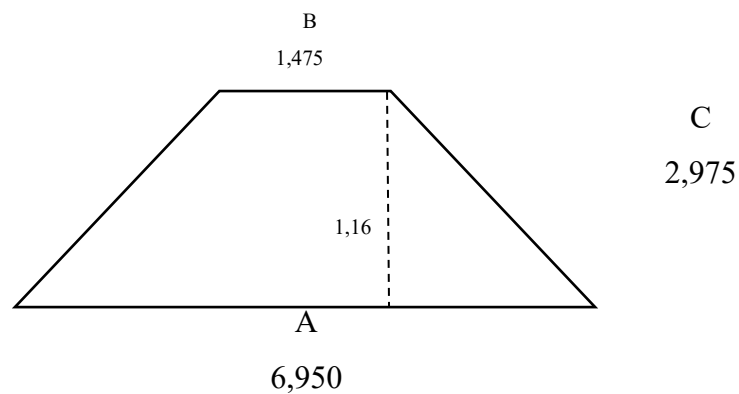
Gambar 4.6 Penampang Bagian Samping Atap ER untuk PV

Berikut merupakan potongan gambar penampang atap equipment room (ER) sisi samping di Stasiun Yogyakarta. Dibawah ini merupakan potongan atap bentuk trapezium sisi samping:



$$\begin{aligned}
 B^2 &= C^2 - A^2 \\
 &= (2,975)^2 - (2,737)^2 \\
 &= 8,85 - 7,49 \\
 B &= \sqrt{1,36} \\
 &= 1,16 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan nilai B atau sama dengan nilai tinggi sebesar 1,16 meter. Dari hal ini maka dapat dihitung potongan luas atap sisi samping yang berbentuk trapezium.



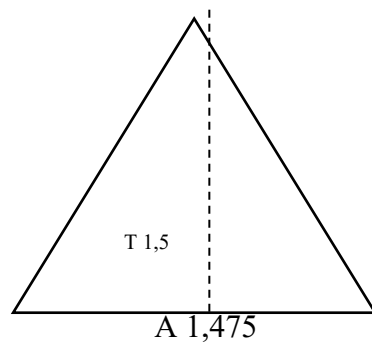
$$\text{Luas atap} = \frac{(a + b) \times t}{2}$$

$$\frac{(6,950 + 1,475) \times 1,16}{2}$$

$$\frac{9,773}{2}$$

$$4,8865 \text{ meter}^2$$

Sementara itu untuk potongan penampang sisi samping yang berbentuk segitiga atap equipment room (ER) di stasiun Yogyakarta dapat dihitung luasnya dengan cara berikut:

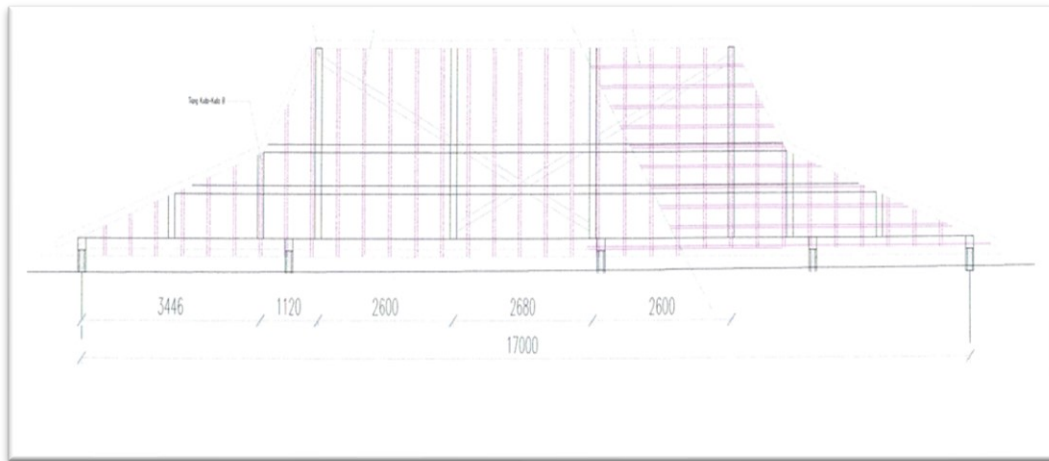


$$\text{Luas segitiga} = \frac{1}{2} \times a \times t$$

$$\frac{1}{2} \times 1,475 \times 1,5$$

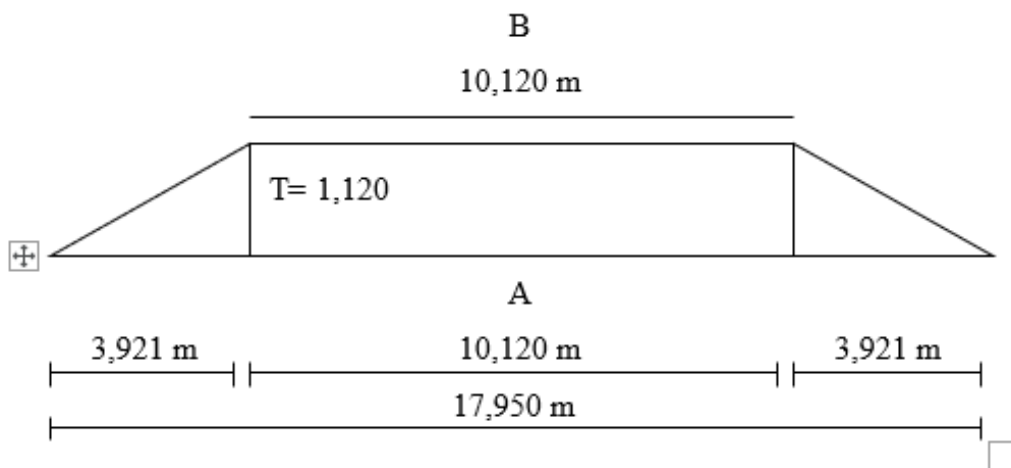
$$1,106 \text{ meter}^2$$

Berdasarkan perhitungan luas atap bagian samping tersebut yang terdiri dari potongan trapesim dan segitiga tersebut dapat dijumlahkan dengan luas total sebesar 5,9925 m². dikarenakan atap sisi samping tersebut sebanyak 2 sisi maka jumlah tersebut dikalikan 2 sehingga total akhir nilai luas atap sisi sampingnya adalah 11,985 meter².



Gambar 4.7 Penampang Bagian Depan Atap ER untuk PV

Dari penampang atap Equipment Room (ER) di atas yang mana terdiri dari dua buah potongan trapesium, maka dapat di hitung jumlah luasan dengan menggunakan rumus berikut:



$$\begin{aligned} \text{Luas Trapesium} &= \frac{(a + b) \times t}{2} \\ &= \frac{(17,950 + 10,120) \times 1,120}{2} \\ &= \frac{31,4384}{2} \\ &= 14,7192 \text{ meter}^2 \end{aligned}$$

Sementara untuk luas trapesium di atasnya dapat diketahui melalui perhitungan berikut ini:

$$\begin{array}{c}
 \text{B} \\
 7,880 \text{ m} \\
 \begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{1,5 m} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array} \\
 \text{A} \\
 10,120 \text{ m}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Trapesium} &= \frac{(a + b) \times t}{2} \\
 &= \frac{(10,120 + 7,880) \times 1,5}{2} \\
 &= \frac{36}{2} \\
 &= 18 \text{ meter}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga luas seluruh penampang atap ruang ER bagian depan dalam satu sisi ialah sebesar 31,7192 meter². Karena memiliki dua sisi dengan ukuran yang sama maka dapat disimpulkan jumlah total luasan bagian depan dan belakang adalah sebesar 65,4384 meter². Dari hal ini maka, luasan total atap ruang equipment room (ER) ialah sebagai berikut:

Luasan total sisi samping = 11,985 meter²

Luasan total sisi depan dan belakang = 65,4384 meter²

Total luasan = 77,4234 meter²

Sedangkan untuk mengetahui luasan solar pv dengan kapasitas 59,95 kW peak dapat dilihat pada datasheet komponen terkait. Pada penelitian ini, rancangan system pembangkit dengan solar pv yang digunakan ialah Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV.



Gambar 4.8 Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV

Berdasarkan data sheet dari solar pv yang digunakan Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV ini memiliki Nominal Max. Power (Pmax) sebesar 31,99 kilo Watt peak, dan untuk luasannya

diketahui ialah sebesar 1,9 meter².

Tabel 4.7 Spesifikasi Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV

Spesifikasi	Keterangan
Rated Capacity (Kw)	20 Kw
Ambient temperature range	-40- + 60°C
Efficiency (%)	98,1 %
Capital cost	Rp 46.162.125

Gambar 4.9 Tampilan pemilihan Solar PV pada HOMER Pro

Total daya yang dibutuhkan pada Yogyakarta-Lempuyangan ialah 31,99 kW peak. Standar harga rata-rata untuk solar pv Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV ialah Rp 46.162.125 per unit, pada system yang dirancang ini membutuhkan dua buah Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV sehingga capital cost sebesar Rp 92.324.250 . Biaya perawatan berdasarkan pada nilai UMR Provinsi Daerah Provinsi Yogyakarta (DIY) yaitu sejumlah Rp 1.981.782,39.

Luasan atap Equipment Room (ER) dengan luas 77,4234 meter² dapat menampung solar pv tersebut dengan luas 1,9 m² ialah sejumlah 40,7 unit atau bisa dikatakan sebanyak 41 unit solar panel. Akan tetapi kebutuhan pv ini disesuaikan juga terhadap beban daya yang dibutuhkan, yaitu 31,99 kW peak atau. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dua solar panel dengan kapasitas 40 kW peak tersebut dapat memenuhi kebutuhan daya pada stasiun Yogyakarta-Lempuyangan.

Penentuan Inverter

Inverter adalah suatu komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Proses konversi ini memungkinkan arus bolak-balik (AC) untuk disesuaikan dengan tegangan dan frekuensi yang diperlukan menggunakan perangkat seperti transformator, switching, dan kontrol sirkuit yang tepat. Perlu diperhatikan bahwa inverter tidak menghasilkan daya listrik itu sendiri, tetapi mampu mengonversi daya yang disediakan dari sumber arus searah (DC) sebagai input, yang bisa berupa baterai, aki, ataupun dari panel surya.

Kebutuhan daya harian untuk stasiun Yogyakarta-Lempuyangan adalah sekitar 402,22 kWh/d berdasarkan data beban daya ini, diketahui bahwa watt peak yang dibutuhkan adalah sekitar 31,99 kW peak untuk stasiun Yogyakarta-Lempuyangan, sehingga inverter yang digunakan dengan kapasitas 33 Kilowatt. Inverter ini bertugas untuk mengubah daya dari panel surya menjadi arus bolak-balik yang sesuai dengan kebutuhan daya listrik di stasiun-stasiun tersebut. Dengan spesifikasi pada tabel berikut :



Tabel 4.8 Spesifikasi Huawei SUN2000-150KTL-50

Spesifikasi	Keterangan
Capacity (Kw)	33 kW
Lifetime (years)	15
Weight (kg)	74 kg
Efficiency	98,7%
Capital cost	Rp 57.889.800

CONVERTER Huawei SUN2000-150KTL-50 Name: iawei SUN2000-150KTL-50 Remove

Complete Catalog Abbreviation: SUN2000 Copy To Library

Properties

Name: **Huawei SUN2000-150KTL-50**

Abbreviation: **SUN2000-150KTL-50**

[Huawei Technologies Co., Ltd](#)

Notes:
Off-grid. HUAWEI micro grid inverter use the integrate design, the MPPT solar controller, battery charger, bi-directional inverter all in one converter. per converter is 33KVA, one cabinet can install 5 converters. Max support two cabinet(10 converter) in parallel.

[Huawei Technologies Co., Ltd](#)

Costs

Capacity (kW)	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/year)
33	Rp57,889,800.00	Rp57,889,800.00	Rp1,981,782.39

[Click here to add new item](#)

Multiplier:

Capacity Optimization

☒ HOMER Optimizer™

☐ Search Space

☐ Advanced

Inverter Input

Lifetime (years): 15.00

Efficiency (%): 97.00

☒ Parallel with AC generator?

Rectifier Input

Relative Capacity (%): 50.00

Efficiency (%): 97.00

Gambar 4.10 Tampilan pemilihan Inverter pada HOMER Pro

Hasil Simulasi dengan software HOMER Pro

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan sistem pembangkit yang menggunakan energi surya dengan solar PV sebagai sumber energi terbarukan. Sistem ini dapat disebut sebagai sistem

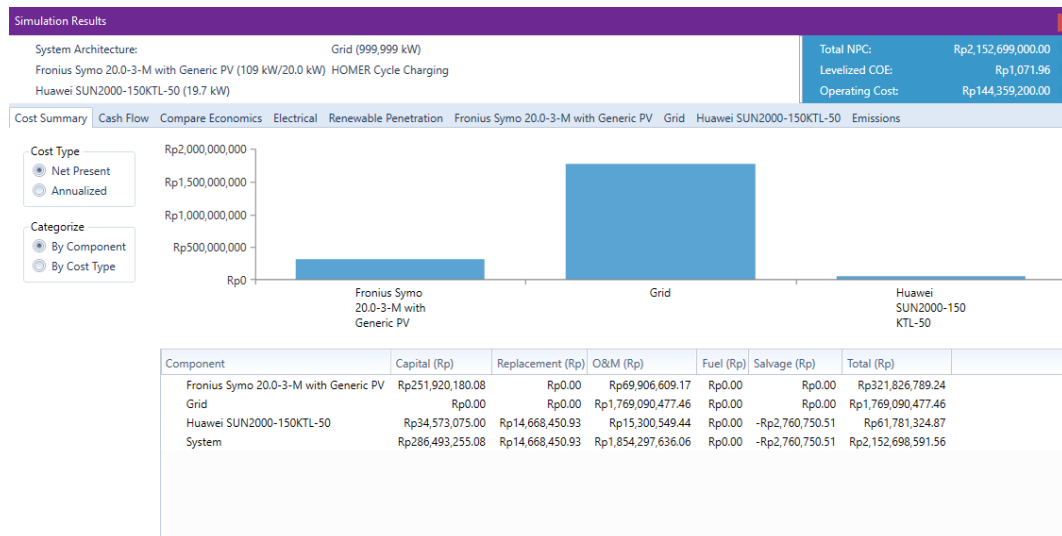
pembangkit hybrid karena panel surya yang digunakan terhubung dengan jaringan listrik eksisting dari PLN, dan menggunakan komponen baterai untuk menyimpan kelebihan energi. Hasil simulasi sistem yang dirancang dalam penelitian ini kemudian dioptimalkan menggunakan software HOMER Pro. Proses optimasi ini mencakup perhitungan berbagai parameter seperti Net Present Cost (NPC), modal awal (Initial Capital), biaya operasional dan pemeliharaan (Operating and Maintenance), serta biaya Levelized Cost of Energy (LCOE) berdasarkan sistem dengan biaya terendah dan sistem dasar. Dengan menggunakan software HOMER Pro, sistem pembangkit yang dirancang secara otomatis dihitung dan dioptimasi, sehingga menghasilkan hasil perencanaan dengan biaya terendah dan performa yang efisien sesuai dengan asumsi-asumsi yang telah diterapkan dalam simulasi.

Economic Metrics	
IRR ⓘ	41%
ROI ⓘ	37%
Simple Payback ⓘ	2.4 yr

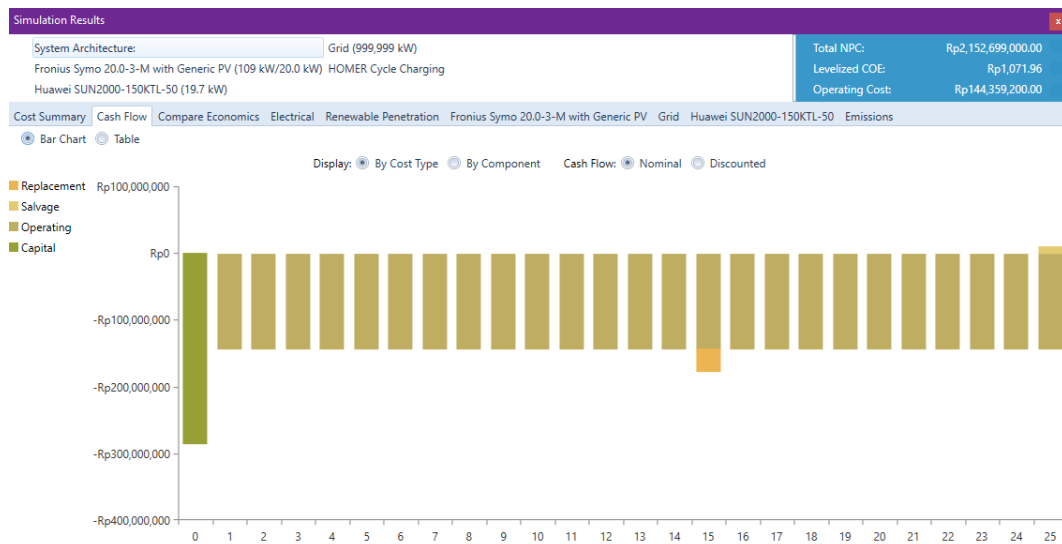
Gambar 4.11 Metrik Ekonomi IRR

Cost Summary		
	Base Case	Lowest Cost System
NPC ⓘ	Rp3.37B	Rp2.15B
Initial Capital	Rp0.00	Rp286M
O&M ⓘ	Rp260M/yr	Rp144M/yr
LCOE ⓘ	Rp1,774/kWh	Rp1,072/kWh

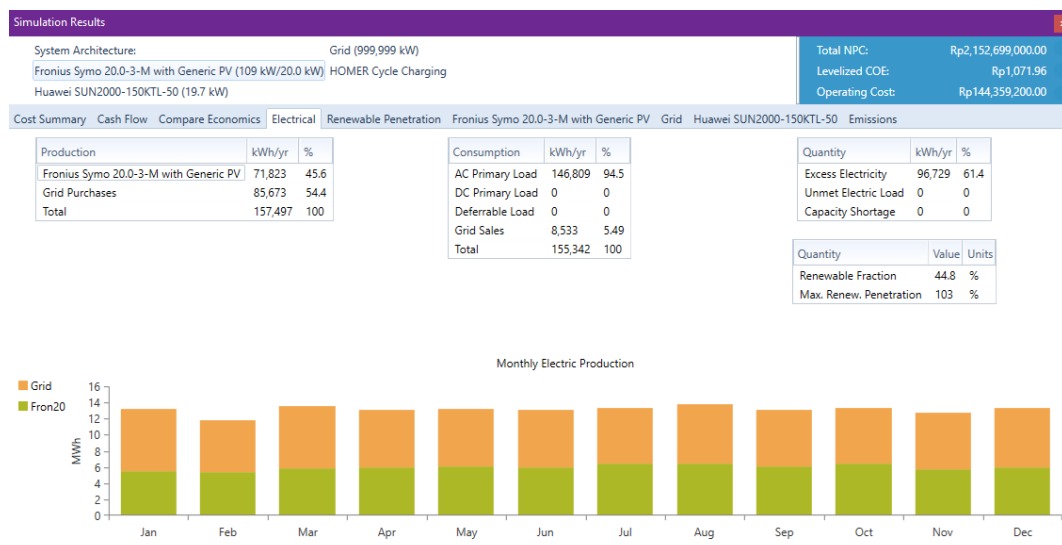
Gambar 4.12 Ringkasan Biaya Rancangan Sistem Pembangkit ON-GRID



Gambar 4.13 Ringkasan Biaya Mendatang Sistem Pembangkit



Gambar 4.14 Arus Kas Sistem Pembangkit



Gambar 4.15 Hasil Produksi Listrik Bulanan

Berdasarkan hasil simulasi pada software HOMER Pro menunjukkan hasil Net Present Cost (NPC) sebesar Rp 2.152.699.000,00 dan nilai Cost of Energy (COE) sebesar Rp 1.071,96. Apabila dihitung secara manual, sebagai berikut:

$$NPC = \text{Capital cost} + \text{Replacement cost} + \text{O\&M cost} - \text{Salvage} \quad 2.4$$

$$= \text{Rp}286.493.255,08 + \text{Rp}14.668.450,93 + \text{Rp}1.854.297.636,06 - \text{Rp}2.760.750,51$$

$$= \text{Rp}2.152.698.591,56$$

Hasil ini sesuai dengan hasil simulasi pada Software HOMER. Adapun perhitungan manual untuk nilai Cost of Energy (COE), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} COE &= \frac{TAC}{E \text{ total served}} \\ &= \frac{\text{Rp}166.520.660}{155.342 \text{ kWh/yr}} \\ &= \text{Rp}1.071,9616073 \end{aligned}$$

Summary

Tables

Graphs

Calculation Report

RESULTS

Export...

Optimization Results

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Compare Economics

Column Choices

Categorized

Overall

Architecture				Cost				System			Fron20		SUN2000	
Fron20 (kW)	Fron20-MPPT (kW)	Grid (kW)	SUN2000-150KTL-50 (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (Rp)	Production (kWh/yr)	Rectifier	Mean Output (kW)
109	20.0	999,999	19.7	CC	Rp2.158	Rp1.072	Rp144M	Rp286M	44.8	0	251,920,176	71,823	0	
		999,999		CC	Rp3.378	Rp1.774	Rp260M	Rp0.00	0	0				

Gambar 4.16 Hasil Optimasi Desain Pembangkit pada software HOMER Pro

Asumsi Sistem Pembangkit PV

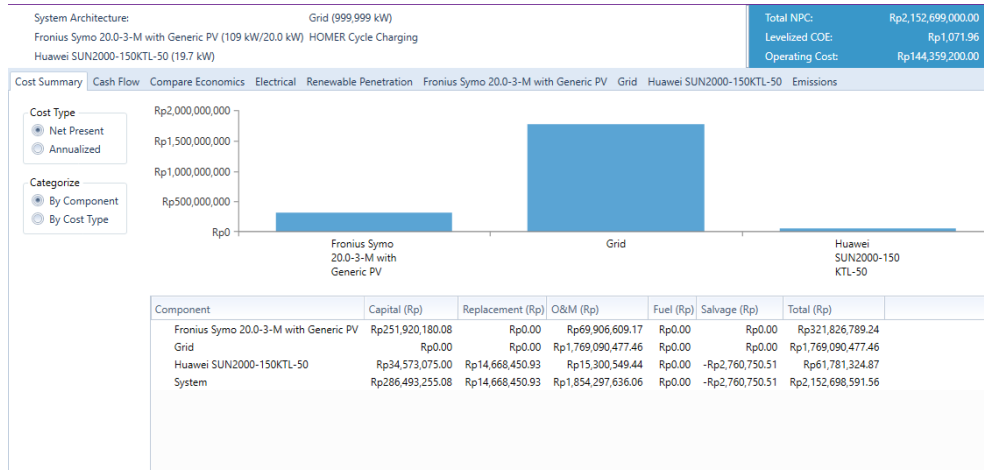
Berdasarkan hasil simulasi perancangan system pembangkit hybrid yang menggunakan software HOMER Pro. Hasil optimasi pada penelitian ini memunculkan empat asumsi jaringan system yang terdiri atas arsitektur, biaya, sistem, dan hasil optimasi dari masing-masing komponen pembangkit yang digunakan pada perancangan ini antara lain solar pv, converter, dan grid PLN. Asumsi pertama tersebut ialah:

Architecture					Cost			
Fron20 (kW)	Fron20-MPPT (kW)	Grid (kW)	SUN2000-150KTL-50 (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)
109	20.0	999,999	19.7	CC	Rp2.158	Rp1,072	Rp144M	Rp286M

Gambar 4.17 Asumsi Pertama Sistem Pembangkit Pada HOMER Pro

Sumber: Dokumen Pribadi, HOMER Pro 2023

Pada asumsi pertama dimisalkan system pembangkit dengan menggunakan komponen Solar PV, Grid PLN, dan menggunakan Converter untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari solar pv menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Berikut ialah detail simulasi pada asumsi system pertama.



Gambar 4.18 Detail Hasil Optimasi Asumsi Pertama Sistem Pembangkit

Dapat dilihat pada permisalan atau asumsi pertama system pembangkit dengan tiga komponen yaitu Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV, Grid PLN, dan Converter Huawei SUN2000-150KTL-50 mendapatkan nilai NPC (Net Present Cost) sebesar Rp 2.152.698.591,56 Untuk nilai Levelized COE sebesar Rp1.071,9616073 dan nilai Operating Cost sebesar Rp144.359.200,00. Hasil ini dapat dilihat berdasarkan nilai Net Present dan berdasarkan nilai tahunan.

Tabel 4.9 Nilai NPC dalam Net Present dan Annualized system pertama

Cost Type	Component		TOTAL	
	Converter Huawei SUN2000- 150KTL-50	Grid	Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV	
Net Present	Rp61.781.3324,87	Rp1.769.090.477,46	Rp321.826.789,24	Rp2.152.698.591,56
Annualized	Rp4.779.055,95	Rp136.846.893,28	Rp24.894.711,06	Rp166.520.660,29

Dalam nilai tersebut sudah termasuk nilai Replacement, O&M (Operating and Maintenance), serta nilai Salvage. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat detailnya sebagai berikut:

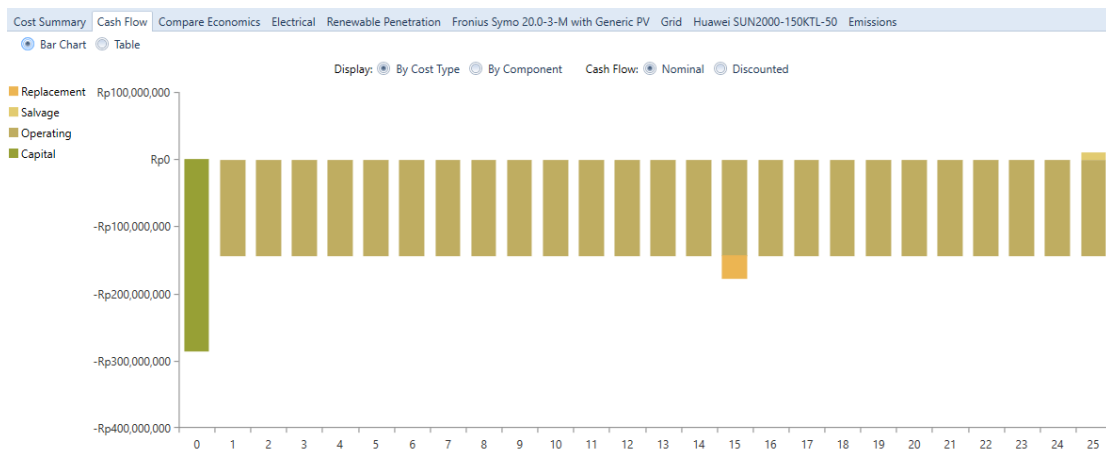
Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV	Rp251,920,180.08	Rp0.00	Rp69,906,609.17	Rp0.00	Rp0.00	Rp321,826,789.24
Grid	Rp0.00	Rp0.00	Rp1,769,090,477.46	Rp0.00	Rp0.00	Rp1,769,090,477.46
Huawei SUN2000-150KTL-50	Rp34,573,075.00	Rp14,668,450.93	Rp15,300,549.44	Rp0.00	-Rp2,760,750.51	Rp61,781,324.87
System	Rp286,493,255.08	Rp14,668,450.93	Rp1,854,297,636.06	Rp0.00	-Rp2,760,750.51	Rp2,152,698,591.56

Gambar 4.19 Ringkasan Biaya Mendatang Pada Asumsi Sistem Pertama

Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV	Rp19,487,128.80	Rp0.00	Rp5,407,582.26	Rp0.00	Rp0.00	Rp24,894,711.06
Grid	Rp0.00	Rp0.00	Rp136,846,893.28	Rp0.00	Rp0.00	Rp136,846,893.28
Huawei SUN2000-150KTL-50	Rp2,674,378.71	Rp1,134,668.90	Rp1,183,564.48	Rp0.00	-Rp213,556.14	Rp4,779,055.95
System	Rp22,161,507.51	Rp1,134,668.90	Rp143,438,040.02	Rp0.00	-Rp213,556.14	Rp166,520,660.29

Gambar 4.20 Ringkasan Biaya Tahunan Pada Asumsi Sistem Pertama

Pada system pertama ini sumber energi berasal dari dua komponen, yaitu energi listrik eksisting dari PLN dan dari sumber energi baru terbarukan berupa energi matahari yang di manfaatkan melalui komponen Solar Photovoltaic. Dari nilai biaya yang di optimasi oleh software HOMER Pro, maka dapat diketahui arus keuangan yang digambarkan di bawah ini.

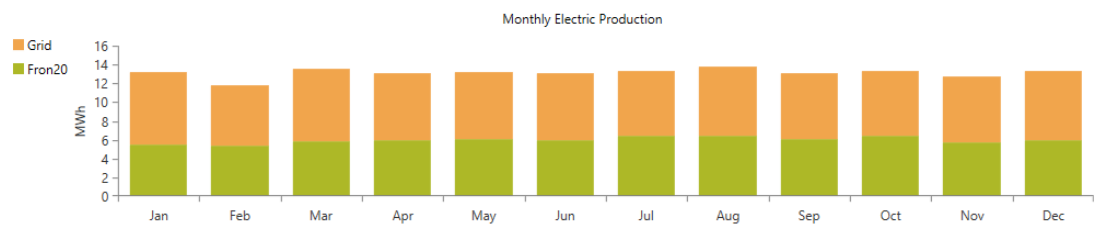


Gambar 4.21 Arus Kas Rancangan Sistem Pembangkit Pertama

Apabila dilakukan pengamatan, arus kas pada rancangan sistem pembangkit listrik tersebut yakni pada tahun pertama atau bisa dikatakan tahun dimulainya pembangunan system pembangkit ini ialah membutuhkan biaya sebesar Rp286.493.255,08 hal ini berarti pada tahun pertama membutuhkan pengeluaran untuk dapat merealisasikan system pembangkit tersebut. Biaya operasi diketahui sebesar Rp143.438.040,02 yang dimulai di tahun kedua dan bersifat tetap hingga tahun ke 25. Namun di tahun ke 15 dari dimulainya pembangunan system pembangkit tersebut terdapat pengeluaran untuk biaya penggantian (replacement) sebesar Rp34.573.075,00 dan kemudian di

tahun ke 25 setelah pembangunan system pembangkit akan didapatkan nilai jual kembali (salvage) sebesar Rp11.524.358.33

Software HOMER Pro juga memunculkan perbandingan produksi listrik bulanan antara listrik eksisting dari PLN dengan sumber energi matahari yang dimanfaatkan melalui Solar PV dalam rentang bulanan, seperti dibawah ini.



Gambar 4.22 Produksi Listrik Bulanan Grid dan PV Rancangan Pertama

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Produksi Listrik Grid dan PV

Produksi	kWh/tahun	%
Fronius Symo 20.0-3-M with Generic PV	71,823	45,6
Grid PLN	85,673	54,4
Total	157,497	100

Asumsi penggunaan daya dari grid PLN

Berbeda dengan asumsi perencanaan system pembangkit sebelumnya. Pembangkit kedua ini hanya menggunakan komponen Grid PLN saja sebagai sumber energinya.

Architecture						Cost			
	Fron20 (kW)	Fron20-MPPT (kW)	Grid (kW)	SUN2000-150KTL-50 (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)
	109	20.0	999,999	19.7	CC	Rp2.15B	Rp1,072	Rp144M	Rp286M
			999,999		CC	Rp3.37B	Rp1,774	Rp260M	Rp0.00

Gambar 4.23 Asumsi Ketiga Sistem Pembangkit Pada HOMER Pro

Dari perancangan system pembangkit ketiga yang hanya menggunakan Grid PLN ini, didapatkan nilai Net Present Cost (NPC) sebesar Rp3.366.828.000 Untuk nilai Levelized Cost of Energy (LCOE) diketahui sebesar Rp1.774,00 dan untuk nilai Operating Cost (OC) sebesar Rp260.438.900. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa system pembangkit dengan perancangan hanya menggunakan komponen Grid PLN memiliki biaya operating yang jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan perencanaan system pertama dan kedua.

Tabel 4.11 Nilai NPC dalam Net Present dan Annualized system ketiga

Cost Type	Component
-----------	-----------

	Grid
Net Present	Rp3.366.828.000,00
Annualized	Rp260.438.882,16

Dalam nilai tersebut hanya termasuk biaya perawatannya saja, tidak mencakup biaya awal dan biaya penggantian, sebab system jaringan PLN ini sudah tersedia . Nilai tersebut dapat dilihat detailnya sebagai berikut:

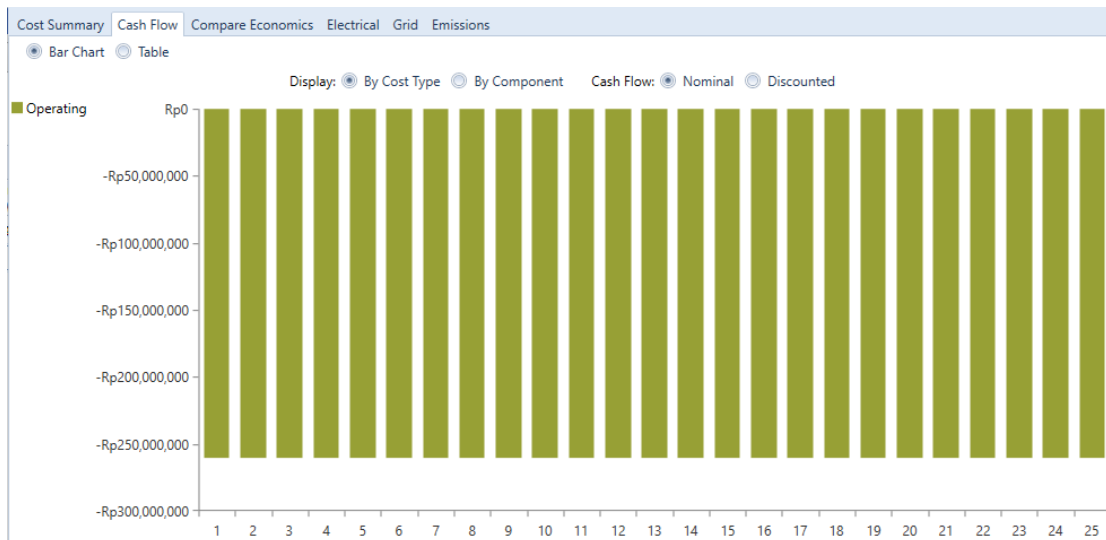
Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Grid	Rp0.00	Rp0.00	Rp3,366,827,958.95	Rp0.00	Rp0.00	Rp3,366,827,958.95
System	Rp0.00	Rp0.00	Rp3,366,827,958.95	Rp0.00	Rp0.00	Rp3,366,827,958.95

Gambar 4.24 Ringkasan Biaya Mendatang Pada Asumsi Sistem Kedua

Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Grid	Rp0.00	Rp0.00	Rp260,438,882.16	Rp0.00	Rp0.00	Rp260,438,882.16
System	Rp0.00	Rp0.00	Rp260,438,882.16	Rp0.00	Rp0.00	Rp260,438,882.16

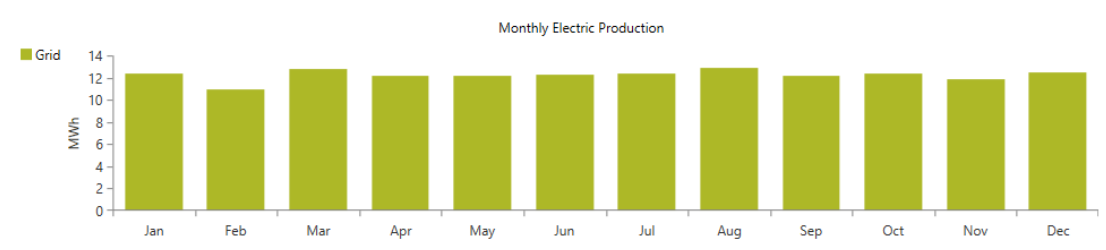
Gambar 4.25 Ringkasan Biaya Tahunan Pada Asumsi Sistem Kedua

Dari rancangan system ketiga ini, satu-satunya sumber energi yang digunakan adalah energi listrik dari system eksisting PLN sehingga tidak terdapat biaya tambahan untuk biaya awal (capital), biaya penggantian (replacement) dan hanya terdapat biaya perawatan (operating and maintenance). Sehingga dapat diketahui laju arus kas seperti grafik dibawah ini.



Gambar 4.26 Arus Kas Rancangan Sistem Pembangkit Ketiga

Dari grafik tersebut menyebutkan bahwa biaya operasi bersifat konstan dari tahun pertama hingga tahun ke-25. Dapat dilihat nilai biaya operasi dari rancangan system yang hanya terdiri dari system Grid tersebut ialah sebesar Rp 260.438.882,16. Berdasarkan system ini juga dapat diketahui jumlah produksi listrik bulanan, sebagai berikut.



Gambar 4.27 Produksi Listrik Bulanan Pada Grid Sistem Rancangan Kedua

Pada grafik di atas terdapat perbedaan dengan grafik-grafik sebelumnya, yang terdapat produksi listrik bulanan dari Solar PV, akan tetapi pada grafik rancangan system pembangkit yang ketiga ini hanya dapat terlihat produksi energi listrik dari system Grid PLN. Hal ini karena software HOMER Pro memberikan pilihan rancangan system ketiga ini hanya menggunakan Grid PLN, sehingga system ketiga ini hanya dapat dilihat produksi listrik dari Grid PLN tidak dengan sumber energi lainnya.

Tabel 4.12 Hasil Produksi Listrik Grid

Produksi	kWh/tahun	%
Grid PLN	146,809	100
Total	146,809	100

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis menggunakan software HOMER Pro, beberapa kesimpulan dapat diambil. Pertama, lintas Yogyakarta-Brambanan saat ini menggunakan energi listrik dari PLN sebagai sumber utama, namun masih bersumber dari energi fosil berupa batu bara yang berpotensi menghasilkan emisi karbon. Kebutuhan daya listrik untuk stasiun Yogyakarta-Lempuyangan dihitung sebesar 402,22 kWh/dengan beban puncak 31,99 kW peak.

Kedua, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) memiliki potensi energi surya yang cukup, dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 4,80 kWh/m²/hari. Radiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan September (5,540 kWh/m²/hari) dan Oktober (5,39 kWh/m²/hari), sedangkan terendah pada bulan Januari (4,280 kWh/m²/hari).

Ketiga, hasil simulasi dengan HOMER Pro menunjukkan bahwa sistem pembangkit hybrid dengan komponen solar panel Fronius Symo 20.0-3-M (kapasitas 20 kW), inverter Huawei SUN2000-150KTL-50 (kapasitas 33 kW), dan terhubung secara on-grid dengan jaringan PLN memiliki Net Present Cost (NPC) sebesar Rp2.152.699.000,00 dan Cost of Energy (COE) sebesar Rp1.071,96.

Dengan demikian, implementasi sistem pembangkit hybrid dengan memanfaatkan energi surya dapat menjadi alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk menggantikan sumber energi fosil di lintas Yogyakarta-Brambanan.

REFERENSI

- Ahdiat, Adi. 2023. *Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Dari Pembakaran Energi Dan Aktivitas Industri Global (1990-2022)*. Artikel: Katadata Media Network.
- Ananda. 2021. Contoh penggunaan energy alternative dan manfaatnya bagi kehidupan. Artikel: Gramedia Blog.
- Aprillianto, Rizky Ajie dan Ariefianto, Rizki Mendung. 2021. *Peluang Dan Tantangan Menuju Net Zero Emission (NZE) Menggunakan Variable Renewable Energy (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia*". Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia, 2(2):1-13.
- Arinaldo, Deon dan Adiatma, Julius Chistian. 2019. *Dinamika Batu Bara Indonesia: Menuju Transisi Energi yang Adil*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR).
- Belkhir, Lotfi dan Elmeligi, Ahmed. (2018). *Assessing ICT global emission footprint: Trends to 2040 & recommendations*. Jurnal of Cleaner Production 177: 448-463.
- C Burk "techno-economic modelling for new technology development, "chemical engineering progress, pp. 43-52, 2018.
- Cable News Network Indonesia. 2022. "Sri Mulyani: 62 Persen Pebangkit Listrik PLN Masih Berbasis Batu Bara". <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20220713143354-532-820996/sri->

- mulyani-62-persen-pembangkit-listrik-pln-masih-berbasis-batu-bara/ diakses pada 09 Mei 2023.
- Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. 2021. *Grand Strategy Mineral Dan Batubara Arah Pengembangan Hulu Hilir Mineral Utama dan Batubara Menuju Indonesia Maju*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Hertadi, Christopher D.P, dkk. 2022. *Kajian Industri Energi Terbarukan Tenaga Listrik di Indonesia Berdasarkan Arah Kebijakan dan Potensi Alam*. G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, 6(2):276-283.
- Inameq Indonesia Marine Equipment. 2023. *Jenis-Jenis Turbin Angina Berdasarkan Porosnya*. Artikel: Indonesia Marine Equipment. <https://inameq.com/auxiliary/marine-energy/jenis-jenis-turbin-angin/>.
- Irawan, Feri Eka, dkk. 2020. *Analisis Kelayakan Ekonomis Pembangunan Gedung Sadewa Rsud Krmt Wongsonogorokota Semarang*. Prosiding: Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Jumina & Wijaya, Karya. 2012. *Prospek dan Potensi Renewable Energy Resources (RES) Di Indonesia*. Artikel. Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada.
- Karissa, Citra Hilda & Kodoatie, Johanna Maria. -. *Analisis Permintaan Jasa Kereta Api (Studi Kasus : Kereta Api eksekutif Harina trex Semarang – Bandung dan Kereta Api Eksekutif Argo Muria trex Semarang – Jakarta)*. Jurnal ilmiah: Universitas Diponegoro.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. *“Semester I 2022, Realisasi Batubara Untuk Kelistrikan Capai 72,94 Juta Ton”*. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/semester-i-2022-realisasi-batubara-untuk-kelistrikan-capai-7294-juta-ton/> diakses pada 09 Mei 2023
- Kementerian Keuangan. 2022. *“Ini Komitmen Indonesia Mencapai Net Zero Emission”*. <https://www.kemenkeu.go.id/informasi-publik/publikasi/berita-utama/Ini-Komitmen-Indonesia-Mencapai-Net-Zero-Emission/> diakses pada 09 Mei 2023.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. *Indonesia Menandatangani Perjanjian Paris Tentang Perubahan Iklim*. Siaran Pers. Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi. http://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/298#.
- Nina Hertiwi Putri, & dr. Reni Utari. (2021, June 22). *Mengenal Gas Rumah Kaca dan Dampaknya untuk Kesehatan* <https://www.sehatq.com/artikel/mengenal-gas-rumah-kaca-dan-dampaknya-untuk-kesehatan/> diakses pada 11 Mei 2023
- Pongtuluran, Yonathan. 2015. *Manajemen Sumber Daya Alam Dan Lingkungan Edisi Revisi*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Pangestu, Panggih. 2017. *Pengaruh Preferensi Konsumen Terhadap Keputusan Pembelian Pada Kantin Halalan Thayyiban Universitas Brawijaya Malang*. Jurnal Ilmiah: Jurusan Ilmu Ekonomi Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya
- Republik Indonesia. 2007. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia
- Republik Indonesia. 2016. *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor: PM.54 Tahun 2016 Tentang Standar Spesifikasi Teknis Identitas Sarana Perkeretaapian*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia.

- Republik Indonesia. 2020. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral Dan Batubara*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia.
- Samosir, Sry Lestari. 2022. *Renewable Energy*. <https://www.ukmindonesia.id/baca-deskripsi-posts/renewable-energy/> diakses pada 11 Mei 2023.
- Sari, Era Sukma Jelita & Zainul, Rahadian. -. *Nitrogen Triflorida (NF3): Termodinamika dan Transpor Elektron NF3*. Jurnal: Universitas Negeri Padang.
- Sekarputri, Nadhira. 2022. *Gas Metana Berbahaya atau Bermanfaat?*. <https://solarindustri.com/blog/gas-metana/> diakses pada 11 Mei 2023.
- Silitonga, Arridina Susan & Ibrahim, Husin. 2020. *Buku Ajar Energi Baru dan Terbarukan*. Deepublish Grup Penerbitan CV Budi Utama: Yogyakarta.
- Susana, Tjuju. 1988. Karbon Dioksida. *Jurnal Oseana* 13(1):1-11.
- Yunilas. 2011. Eliminasi Gas Metana (CH₄) Asal Ternak Melalui Ekstrak Tanaman. Karya Ilmiah. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Zahira, Nabila Putrid an Fadillah, Dening Putri. 2022. Pemerintah Inonesia Menuju Target Net Zero Emission (NZE) Tahun 2060 Dengan Variable Renewable Energy (VRE) Di Indonesia. *Jurnal Ilmu Sosial*, 2(2).