

Analisis mode sistem pembangkit *hybrid* berkelanjutan PLTMH-PLN dengan *solar cell* menggunakan *helioscope* dan HOMER

Sepannur Bandri¹⁾, Rafika Andari^{2)*}, Liliana³⁾, Rendisky⁴⁾

^{1,2,4} Prodi Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Indonesia

³ Prodi Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim, Riau, Indonesia

sepannurb@yahoo.com; rafika.andari09@gmail.com*; lili_fst@yahoo.co.id; rendisky@gmail.com

*Penulis Koresponden

ABSTRAK

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa total penghematan biaya tagihan listrik PLN yang cukup tinggi pada saat musim kemarau dengan menggunakan panel surya pada atap gedung. Penelitian ini dilakukan di Pabrik Teh PTPN VI Kayu Aro, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Pengoperasian pembaruan sumber energi tersebut tidaklah sama sederhananya apabila menggunakan sumber daya *Microhydro*, sehingga dibutuhkan sebuah program aplikasi *Hybrid Optimization Model of Electric Renewable* (HOMER). Program aplikasi ini digunakan untuk menghitung, *Initial Cost*, *Cost Of Energy* (COE) dan *Break Event Point* (BEP) terendah dengan *life time* 25 tahun. Dengan bantuan *Helioscope* dapat diketahui komponen yang diperlukan yaitu 164 panel surya 330 wp, 2 baterai Baterai *Surette Rolls 4-Ks25p*, 1 *inverter hybrid 40000TL3-S*. Berdasarkan analisa *Hybrid Optimization Model of Electric Renewable* (HOMER) didapatkan nilai, *Initial Cost* sebesar Rp.1.049.620.000, *Cost Of Energy* (COE) sebesar Rp.752/Kwh dan *Break Event Point* (BEP) selama 24 tahun. Hasil simulasi dari optimasi desain sistem *Hybrid microhydro*, PLN dengan *photovoltaic array* berkelanjutan ini menunjukkan bahwa kontribusi energi listrik yang diproduksi PLN sebesar 11.856 kWh/Tahun (16.3%) dan *solar cell* sebesar PV: 61.092 kWh/Tahun (83.7%).

Kata kunci: *Hybrid*, HOMER, PLTMH, PLN, *Solar Cell*

ABSTRACT

This study aims to examine the total cost savings of PLN's electricity bill, which is quite high during the dry season, by using solar panels on a building's roof. The study took place at the PTPN VI Kayu Aro Tea Factory in Kerinci Regency, Jambi Province. Because using renewable energy sources is more complicated than using Microhydro resources, a Hybrid Optimization Model of Electric Renewable (HOMER) application program is required. This application program is used to determine the lowest Initial Cost, Cost Of Energy (COE), and Break Event Point (BEP) over a 25-year period. The Helioscope allows us to identify the required components, which are 164 330 wp solar panels, 2 Surette Rolls 4-Ks25p batteries, and 1 40000TL3-S hybrid inverter. According to the Hybrid Optimization Model of Electric Renewable (HOMER) analysis, the initial cost is IDR 1,049,620,000, the Cost of Energy (COE) is IDR 752/Kwh, and the Break Event Point (BEP) is for 24 years. The simulation results from optimizing the design of the Hybrid microhydro system, PLN with a continuous photovoltaic array show that the contribution of electrical energy produced by PLN is 11,856 kWh/year (16.3%) and solar cells is PV: 61,092 kWh/year (83.7%).

Keywords: *Hybrid*, HOMER, PLTMH, PLN, *Solar Cell*

diunggah : Oktober 2022, direvisi : Desember 2022, diterima : Desember 2022, dipublikasi : Desember 2022

Copyright (c) 2022 Sepannur Bandri, Rafika Andari, Liliana, Rendisky

This is an open access article under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik secara umum terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, industri dan usaha ekonomi lainnya. PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang merupakan satu-satunya penyedia tenaga listrik di Indonesia tidak

akan selamanya bisa memenuhi kebutuhan listrik, karena masih mengandalkan energi fosil yang akan meningkatkan pemanasan global. Salah satu usaha manusia dalam mengurangi pemanasan global akibat dari penggunaan energi fosil yaitu dengan memanfaatkan energi terbarukan yang ada (ESDM, 2020).

Salah satu sumber energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat di Indonesia yaitu energi surya. Sumber energi terbarukan menawarkan alternatif persediaan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan ramah lingkungan (Nur Azizah & Purbawanto, 2021). Dalam memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik, tentu dalam pengoperasian sistem tenaga listrik akan ditemukan berbagai macam hambatan yang dapat menimbulkan penurunan kualitas serta kelangsungan penyaluran daya listrik ke pelanggan (Nurmela & Hiron, 2019). Pengoperasian pembangkit merupakan biaya terbesar dalam sistem tenaga listrik sehingga sangat diperlukan cara pengoperasian pembangkitan yang efisien (Kristanto et al., 2014). Solusi bagi produsen listrik terbarukan untuk menekan biaya operasi adalah dengan menentukan aliran daya yang optimal (*optimal power flow*) dari sumber energi terbarukan yang ada (Hutasuhut et al., 2022).

Listrik sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, dan ketersediaannya menyebabkan kebutuhan listrik meningkat dari waktu ke waktu. Masalah saat ini adalah kurangnya cakupan layanan infrastruktur serta terbatasnya akses ke listrik publik dan struktur energi. Sumber utama pembangkitan listrik masih berasal dari bahan bakar fosil (batubara, bahan bakar minyak, gas, dll). Percepatan pembangunan infrastruktur, khususnya untuk melayani bisnis pembangkitan tenaga listrik, memiliki batasan dan masalah tertentu (Nugroho, 2015). Harus diupayakan pemanfaatan sumber energi non-fosil, terutama yang menggunakan sumber alam energi primer lokal. Pembangkit listrik tenaga air skala kecil merupakan salah satu sumber energi yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penghasil tenaga listrik. PLTMH sebagai energi alternatif diproyeksikan memiliki manfaat yang lebih besar dan mungkin karena kurangnya pemahaman masyarakat desa tentang PLTMH dan dapat dikembangkan sebagai sumber energi listrik dari air (Murni & Suryanto, 2021).

Pabrik Teh PTPN VI Kayu Aro merupakan tempat untuk mengolah hasil teh yang telah dipanen yang pastinya memiliki beberapa kantor dan kompleks perumahan pegawai. Energi listrik yang dikonsumsi tentunya cukup besar dan tagihan listrik PLN akan melonjak. Pada tahun 2012 Pabrik Teh tersebut melakukan pembangunan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) dengan harapan dapat mengurangi pemakaian listrik dari PLN. Tetapi pada saat musim kemarau PLTMH tidak dapat beroperasi karena keterbatasan air yang tersedia. Upaya yang dapat dilakukan dalam mengembangkan PLTMH dengan melakukan pembaruan sumber energi terbarukan yaitu *Microhydro* dan *Solar Cell*.

Penggunaan PLTMH sebagai energi alternatif diharapkan manfaatnya lebih besar lagi dan bisa menjadi solusi atas minimnya pengetahuan masyarakat desa terhadap PLTMH dan dapat dikembangkan sebagai sumber energi listrik terbarukan bersumber dari air yang hasilnya dimanfaatkan untuk industri rumah tangga atau kebutuhan rumah tangga. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang merupakan satu implemtnasi dari energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan (Ali Akbar, 2018).

Tom Labert melakukan penelitian pada tahun 2006 berjudul "Pemodelan Sistem Tenaga Mikro Dengan Homer." Studi ini meneliti Homer Pro, sistem komputer yang dikembangkan oleh America Unions untuk membantu dalam desain pembangkit listrik tenaga mikro. Homer Pro dapat memodelkan berbagai desain berdasarkan keunggulan teknologi dan ekonomi, bukan hanya sistem pembangkit listrik. Penelitian Homer menunjukkan bahwa turbin air dapat dimodelkan sebagai perangkat yang mengubah gaya jatuh air menjadi listrik AC atau DC tanpa mengatur *output* daya (Lambert, 2006).

Sri Sukanta melakukan penelitian pada tahun 2018 dengan judul "Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kedung Sipingit, Desa Kayupuring, Kecamatan

Petungkriyono, Kabupaten Pekalongan.” Debit air dan panjang penstock diukur sebagai bagian dari penelitian. Sebelum melakukan pengukuran debit air harus dilakukan pemeriksaan data yaitu perhitungan luas penampang dan kecepatan air. Perhitungan PLTMH kemudian dilakukan secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTMH di Desa Kayupuring sudah tidak efisien lagi, dengan nilai efisiensi 54,4%, debit air rata-rata 0,76% m³/detik, dayaturbin rata-rata 14,89 kW, dan daya generator rata-rata 12,64 kW (Sukamta et al., 2018).

Homer adalah perangkat lunak yang biasanya digunakan untuk membangun pembangkit listrik hibrida, dengan pembangkit listrik yang berdiri sendiri menjadi langka. *Software* Homer kemudian digunakan sebagai alat untuk menghitung output daya PLTMH. Homer memiliki keunggulan mengetahui hasil *setup* sistem yang ideal sehingga menjadi *output*. Daya yang dihasilkan merupakan keluaran daya maksimum yang optimal (Kurniasih & Nazir, 2015); (Anastassopoulos et al., 2017).

Beberapa penelitian terkait mengenai penggunaan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) telah banyak diantaranya (Meragun et al., 2013); (Karuniawan, 2021); (Anam et al., 2022); (Muntoha, 2022); (Kurniawan, 2022). Penelitian tersebut belum menggunakan aplikasi seperti *helioscope* dan HOMER. Oleh karena itulah perlu dilakukan penelitian menggunakan aplikasi untuk mempermudah mengetahui *output* dari PLTMH yang digunakan. Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan energi matahari yang berada di Pabrik Teh PTPN VI Kayu Aro dengan menggunakan *solar cell* dengan sistem *hybrid on grid*. Penelitian ini dilakukan karena PLTMH tidak dapat beroperasi saat musim kemarau dan agar energi yang digunakan ramah lingkungan serta dapat mengurangi tagihan biaya listrik PLN. Pada penelitian ini menggunakan aplikasi *helioscope.com* dan HOMER. *Helioscope.com* digunakan untuk membantu memuat nilai-nilai efek shading, pengkabelan, efisiensi komponen, ketidakcocokan modul, serta rekomendasi peletakan susunan modul panel surya dan konfigurasi berdasarkan desain yang telah dibuat. Sedangkan aplikasi Homer digunakan untuk menentukan *Component*, *Resources*, dan beban. Sehingga mendapatkan hasil *NetPresent Cost* (NPC), *Cost Of Energy* (COE), *Renewable Fraction* (RF) dan *Total Initial Capital* yang diinginkan. Data input spesifikasi teknis PLTS yang digunakan sebagai simulasi yaitu, teknologi modul matahari, ragam inverter, total dan ragam modul yang dipakai, serta luas lokasi PLTS. Koordinat, ragam atap gedung dan lingkungan sekitar merupakan data-data lokasi dari PLTS.

Dalam penelitian ini penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang bagaimana mengurangi biaya tagihan listrik PLN disaat musim kemarau dengan cara penambahan panel surya pada atap gedung. Pada penelitian ini penulis menggunakan simulasi perhitungan dari *software Helioscope* dan HOMER. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian dengan menganalisa mode sistem Pembangkit *Hybrid* Berkelanjutan PLTMH-PLN dengan *Solar Cell* menggunakan *Helioscope* dan HOMER.

METODE

Dalam mengumpulkan data penelitian dapat dilakukan dengan cara mengelompokkan data menjadi data primer dan data sekunder. Adapun data primer pada penelitian ini adalah data beban harian, analisis halangan bayangan dari pohon atau instalasi dekat PV. Sedangkan yang menjadi data sekunder pada penelitian ini adalah intensitas radiasi matahari dan denah atap gedung.

Ada dua tipe data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data kuantitatif yang berupa informasi dalam bentuk numerik/angka yang dapat dievaluasi dengan rumus matematika ataupun secara statistik. Selain itu penelitian ini juga menggunakan data kualitatif yang diperoleh melalui wawancara.

Metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik analisis data komparatif Konstan bahwa pada setiap permasalahan harus dipadukan dengan teori yang

digunakan. Secara umum, teknik ini digunakan untuk membandingkan permasalahan yang akan diteliti. Dimulai dari sebelum diteliti hingga selesai dilakukannya penelitian tersebut. Berikut tahap-tahap dalam perencanaan PLTS dengan menggunakan *Helioscope* dan *Homer*.

1. Tahap Awal Investigasi

Peneliti menemukan masalah pada objek penelitian yaitu Pabrik Teh PTPN VI Kayu Aro. Setelah teridentifikasi masalah yang terjadi pada studi kasus ini adalah kurangnya ketersediaan sumberdaya pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di musim kemarau sehingga masih besarnya biaya tagihan listrik PLN di saat musim kemarau. Di tahap ini juga menentukan langkah yang akan diambil untuk pemecahan kasus tersebut.

2. Tahap Analisis Kebutuhan Sistem

Setelah mengetahui berbagai masalah yang terjadi tahap selanjutnya adalah menganalisis kebutuhan sistem. Dalam tahap ini dengan bantuan *Helioscope* dapat ditentukan berapa jumlah solar panel, inverter dan sudut letak dari pemasangan panel surya. Kemudian output dari langkah ini berupa laporan dan persentase produktivitas dari PLTS yang direncanakan. Adapun variabel yang diamati pada tahap ini:

- a. Puncak konsumsi daya
- b. Radiasi penyinaran matahari harian
- c. Tegangan operasi sistem
- d. Pola pembebanan sistem
- e. Analisis bayangan yang menghambat penyerapan solar PV

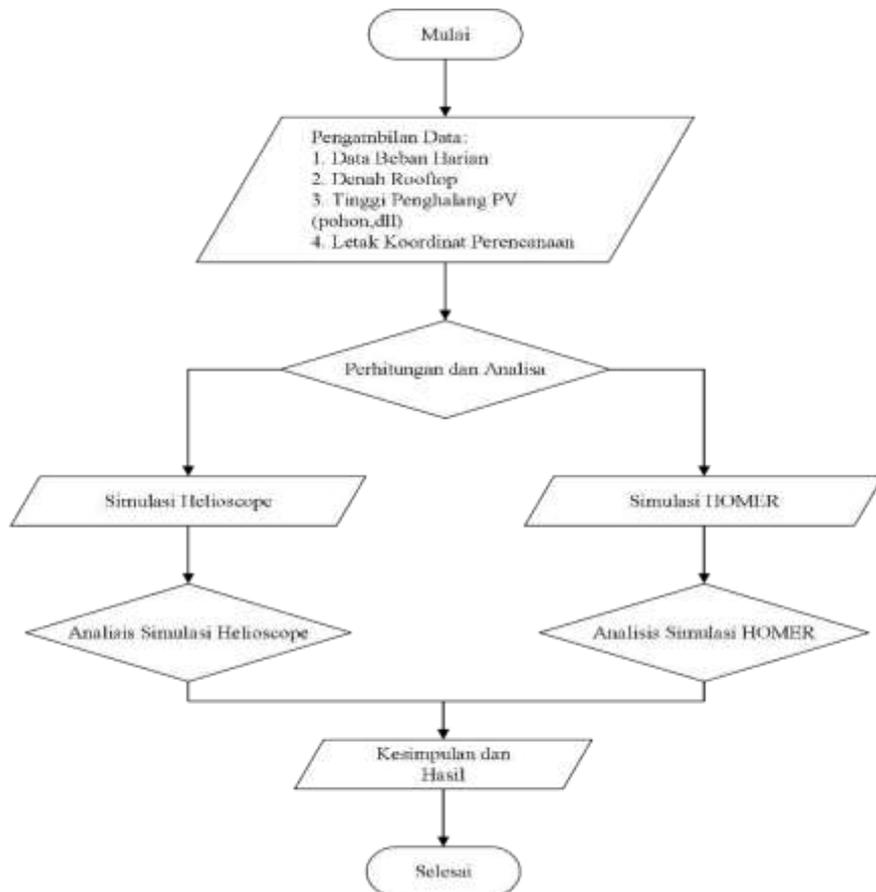
3. Tahap Analisis Ekonomi

Setelah mengetahui kebutuhan sistem yang akan dirancang maka selanjutnya peneliti akan menganalisis biaya yang dibutuhkan untuk membangun PLTS dengan menggunakan *software* HOMER. Dengan bantuan *software* ini kita dapat menganalisis investasi awal, biaya perbaikan, lamanya balik modal, faktor renewable sistem.

4. Tahap Final

Setelah disimulasi dengan menggunakan *software* maka selanjutnya diambil kesimpulan dan analisis dari simulasi.

Tahapan penelitian secara lebih jelas dapat ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian berada di Pabrik Teh PTPN VI Kayu Aro dimana kelistrikkannya merupakan sistem Hybrid. Pembangkit PLTMH di Hybrid dengan PLN menggunakan Electronic Load Controller. Saat ini kantor ini disuplai PLTMH dengan kapasitas 860 KVa dan PLN dengan kapasitas 555 Kva.

Rancangan PLTS

Sebagaimana pada perhitungan berikut maka jumlah panel surya yang dibutuhkan akandidapatkan :

$$\text{jumlah panel surya} = \frac{100000 \text{ Watt}}{450 \text{ Wp}} = 222,22 = 223 \text{ modul}$$

Pada penelitian ini panel surya yang digunakan adalah jenis *Monocrystalline* dengan kapasitas 450 wp. Panel yang dibutuhkan minimal 223 panel surya, dengan kapasitas setiap panel 450 wp serta efisiensi sebesar 21%.

Baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah baterai li-on BZP100 dengan kapasitas 100 Kw dan banyaknya baterai yang digunakan sebanyak 2 buah. Inverter BZP100 memiliki spesifikasi dengan tegangan *input* sebesar 600 Volt dan panel surya 450 wp memiliki spesifikasi dengan tegangan *output* sebesar 45,6 Volt. Dari hasil perhitungan diperoleh konfigurasi pada hubungan seri adalah 13 string. Selanjutnya dilakukan analisis arus yang keluar pada modul panel surya yang disusun secara seri, yaitu sebesar 9,88 A. dan analisis tegangan diperoleh sebesar 592,8 Volt. Sehingga, total daya yang dihasilkan pada satu string adalah 5856,8 Watt.

Dalam menentukan jumlah maksimum dari panel surya dengan hubungan paralel,

diperlukan arus maksimum input pada inverter. Besar arus input maksimum pada inverter BZP100 adalah 240 Ampere, dimana arus input akan diatur oleh keluaran *Solar Charge Controller* (SCC). Adapun besar arus dibagi dalam satu string atau arus total pada rangkaian seri.

$$\text{PV Paralel Maks} = \frac{\text{Input Maks Inverter}}{IT}$$

$$\text{PV Paralel Maks} = \frac{240 \text{ A}}{9,55 \text{ A}} = 25,13 = 25 \text{ Unit}$$

Selanjutnya total string yang dibutuhkan dengan kapasitas PLTS sebesar 100 KW dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Banyak String} &= \frac{\text{Daya PLTS yang di rencanakan}}{\text{Daya total dalam string 1}} \\ &= \frac{100000 \text{ Watt}}{5856,8 \text{ Watt}} = 17,07 = 17 \text{ String} \end{aligned}$$

Sehingga total panel surya yang dibutuhkan adalah :

Banyak modul = Total string x Jumlah panel surya dalam satu string
 Banyak modul = 17 x 13 = 221 Unit panel surya

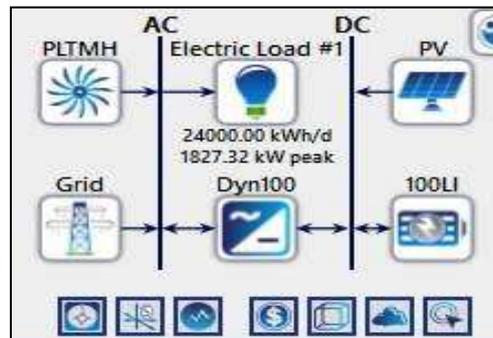
Sehingga total daya yang dihasilkan adalah :

$$P_{\text{total}} = 17 \times 5856,8 = 99565,6 \text{ Watt}$$

Selanjutnya analisis tegangan paralel diperoleh sebesar 592,8 Volt dan arus paralel sebesar 128,44 Ampere.

Simulasi HOMER

Untuk *input* masing-masing komponen ke dalam *software* HOMER, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian sistem hibrid berkelanjutan

Output Hasil Simulasi HOMER

Presentase Konsumsi Listrik

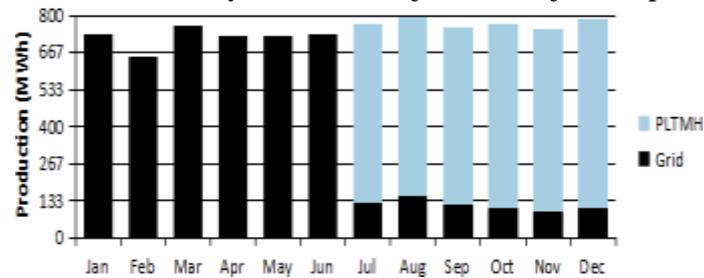
Besar konsumsi listrik di pabrik teh PTPN VI disaat sebelum dilakukan pembaruan energi yaitu PLTMH sebesar 3.937.259 kWh/Tahun atau sebesar 44%, grid PLN sebesar 5.023.669 kWh/Tahun atau sebesar 56%. Sedangkan setelah dilakukan pengembangan energi didapat hasil berupa solar cell menyumbang 129.22 kWh/Tahun, PLTMH sebesar 3.937.259 kWh/Tahun atau sebesar 43.9%, dan grid PLN sebesar 4.908.890 kWh/Tahun seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Disini dapat dilihat bahwa beban PLN mengalami pengurangan sebesar 1.44% sehinggasedikit dapat mengurangi biaya tagihan listrik PLN.

Production	kWh/yr	%	Production	kWh/yr	%
Hydro	3,937,259	44.0	PV	129,222	1.44
Grid Purchases	5,012,669	56.0	Hydro	3,937,259	43.9
Total	8,949,928	100	Grid Purchases	4,908,809	54.7
			Total	8,975,290	100

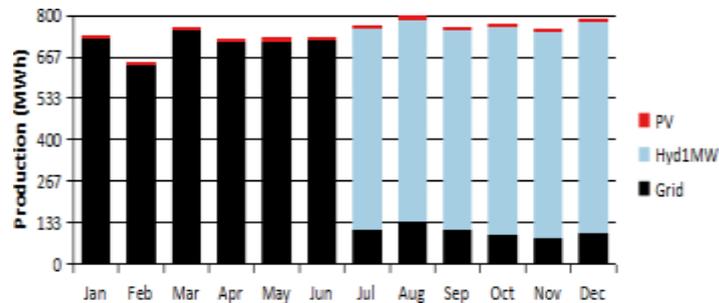
Gambar 3. Perbandingan konsumsi listrik

Konsumsi listrik sebelum Hybrid berkelanjutan ditunjukkan pada Gambar 4.

Sedangkan konsumsi listrik setelah hybrid berkelanjutan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik konsumsi listrik sebelum hybrid berkelanjutan



Gambar 5. Grafik konsumsi listrik sesudah hybrid berkelanjutan

Dari Gambar 4. dan Gambar 5. dapat dilihat bahwa selisih perbandingan sebelum dan sesudah adanya hybrid berkelanjutan dengan solar cell yang tidak terlalu signifikan dikarenakan daya yang dipasang dari panel surya hanya 100 KW. Namun solar cell bisa menyumbang daya selama 1 tahun penuh dibandingkan dengan PLTMH yang hanya bisa mensuplai selama 6 bulan dikarenakan debit air yang tidak mencukupi selama musim kemarau.

Analisis Perbandingan Perencanaan Pembangkit

Analisis ini adalah analisis yang digunakan untuk mengetahui biaya produksi listrik dan membandingkan antara Pembangkit Listrik Hibrida dengan Pembangkit Eksisting dengan bantuan homer. Analisis perbandingan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis perbandingan listrik hybrid

Variabel	Pembangkit Listrik Hibrid (Berkelanjutan)	Pembangkit (Eksisting)
Biaya	Rp. 2.114.200.000,00	--
Kelistrikan	Produksi	PLTMH : 3.937.259 KWh/Tahun (44%)
		Grid PLN : 5.012.669 KWh/Tahun (56%)
		PLTMH : 3.937.259 KWh/Tahun (43.8%)
		Grid PLN : 4.908.809 KWh/Tahun (54.7%)
Konsumsi	8.975.290 kWh/Tahun	8.949.928 kWh/Tahun
Jam		
Operasional Lama	4416 Jam/Tahun	4416 Jam/Tahun
Operasional	10,20 Bulan	10,20 Bulan
Biaya Produksi Listrik	PV : Rp. 495/kWh	PLTMH : Rp. 0/kWh
	PLTMH : Rp. 0/kWh	Grid PLN : Rp. 1114/Kwh
	Grid PLN : Rp. 1114/Kwh	
	Rata-rata : Rp. 536,3/Kwh	Rata-rata : Rp. 557 kWh

Biaya (O&M) adalah biaya yang mencakup pemeliharaan, pemeriksaan peralatan, pembersihan panel, dan instalasi. Pada umumnya biaya pemeliharaan ini sebesar 1-2% dari

total biaya investasi awal. Dikarenakan Indonesia memiliki 2 musim maka penentuan presentase sekitar 1%, yaitu Rp. 21.142.200/Tahun. Sehingga untuk perkiraan usia panel surya yang mencapai 25 tahun, maka total biaya operasi dan pemeliharaan untuk 25 tahun mencapai Rp. 537.500.000.

Adapun nilai *cash flow* yang menyatakan keuntungan yang akan diperoleh adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Cash Flow} &= \text{Selisih biaya produksi listrik} - \text{biaya pergantian komponen} \\ &= \text{Rp. } 2.114.200.000 - (\text{Rp.}42.500.000/2\text{Tahun}) \\ &= \text{Rp. } 2.071.700.000 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis dapat ditentukan nilai *Payback Period* untuk mengetahui lama pengembalian modal investasi awal. Adapun nilai *Payback Periode* berdasarkan selisih biaya produksi listrik adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Payback Periode} &= \frac{\text{Initial Cost} \times 1 \text{ Tahun}}{\text{Cast Flow}} \\ &= \frac{\text{Rp.}2.651.500.000}{\text{Rp.}2.071.700.000} \times 1 \text{ Tahun} \\ &= 1,27 \text{ Tahun} = 15,24 \text{ Bulan} = 16 \text{ Bulan} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis diperoleh bahwa lama pengembalian modal investasi awal pembangkit listrik hibrida PLN-PLTMH dengan *Solar cell* adalah 1,27 tahun atau setara dengan 16 bulan. Masa pengembalian modal yang sangat singkat yang akan memberi keuntungan bagi perusahaan dimasa yang akan datang.

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh tahanan-pentanahan terhadap terhadap posisi sambaran, maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh tahanan-pentanahan terhadap jumlah trip out, ketika sebelum perbaikan tahanan pentanahan jumlah gangguan masing-masing sebanyak 102 dan setelah perbaikan pentanahan dan 32 kali. Kemudian pada saat dilakukan perhitungan, nilai pentanahan juga berpengaruh hal ini dibuktikan ketika sebelum perbaikan dengan rata-rata tahanan 17,195 Ω diperoleh jumlah back-flashover sebanyak 88,16 100km/tahun, dan ketika setelah perbaikan dengan rata-rata 4,07 Ω diperoleh back-flashover 1,4 100km/tahun.

Tahanan-pentanahan juga memiliki pengaruh terhadap posisi sambaran petir, dengan melihat tegangan tertinggi pada isolator, ketika sebelum perbaikan pentanahan tegangan isolator pada lower yang tinggi, sementara setelah perbaikan pentanahan posisi upper lah yang tinggi, hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan ketika tahanan sebesar 53,5 Ω (Upper 21,53 kV; middle 25,82 kv; lower 29,32 kV) dan setelah perbaikan menjadi 1,04 Ω diperoleh masing-masing tegangan isolator (Upper 3,67 kV; middle 3,53 kV; lower 3,23 kV).

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Akbar, T. (2018). Analisa Pengaruh Ketinggian Dan Debit Air Terhadap Output Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Pembangkit Mikrohidro (Pltmh) Desa Girikerto. In *Tugas Akhir*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/9792>
- Anam, M. S., Sunaryantiningsih, I., & Yuniastuti, I. T. (2022). Analisa Potensi Sumber Daya Air Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh). *ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 3(01), 08. <https://doi.org/10.25273/electra.v3i01.13485>
- Anastassopoulos, V., Avignone, F., Bykov, A., Cantatore, G., Cetin, S. A., Derbin, A., Drachnev, I., Djilkibaev, R., Eremin, V., Fischer, H., Gangapshev, A., Gardikiotis, A., Gninenko, S., Golubev, N., Hoffmann, D. H. H., Karuza, M., Kravchuk, L., Libanov, M., Lutovinov, A., ... Zioutas, K. (2017). Towards a

- medium-scale axion helioscope and haloscope. *Journal of Instrumentation*, 12(11). <https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/11/P11019>.
- ESDM. (2020). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI Tahun 2020.
- Hutasuhut, A. A., Rimbawati, Riandra, J., & Irwanto, M. (2022). Analysis of hybrid power plant scheduling system diesel/photovoltaic/microhydro in remote area. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012024>
- Karuniawan, E. A. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3), 100. <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i3.001>
- Kristanto, D., Suyono, H. S. M. P. ., & Ph.D, I. W. M. (2014). Operasi Ekonomis Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Metode Iterasi Lambda Menggunakan Komputasi Paralel. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 2(6), 1–6.
- Kurniasih, N., & Nazir, R. (2015). Analisis Mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Microhydro - Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Kampung Bayang Janiah, Kabupaten Pesisir Selatan). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.25077/jnte.v4n1.114.2015>
- Kurniawan, A. (2022). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Photovoltaic–Mikrohidro) Menuju Desa Mandiri Energi. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 2, 1–10. <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/1036>
- Lambert, T. (2006). Micropower system modeling. In John Wiley & Sons, Inc (pp. 379–418).
- Meragun, D., Taman, K. N., Sekadau, K., & Wilayah, P. (2013). Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun. 5(1), 31–40.
- Muntoha, G. B. (2022). Analisis Potensi Penerapan PLTS pada Kantor Unit Metrologi Legal Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Listrik Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, 3(1), 3–7. <https://doi.org/10.22146/juliet.v3i1.73780>.
- Murni, S. S., & Suryanto, A. (2021). Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Parakandowo Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, 1(2), 34–38. <https://doi.org/10.22146/juliet.v1i2.61282>
- Nugroho, A. (2015). Daya Terserap Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro Karangtalun Yang Digabung Dengan Pt Pln (Persero) Rayon Boja Area Semarang. *Transmisi*, 17(1), 30–34.
- Nur Azizah, A., & Purbawanto, S. (2021). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PvDan Mikrohidro) Terhubung Grid. *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan*, 2(No. 1), 1–1.
- Nurmela, N., & Hiron, N. (2019). Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Hybrid. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 1(1), 7–11. <https://doi.org/10.37058/jeee.v1i1.1189>
- Sukamta, S., Ananta, H., & Aini, M. K. (2018). Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan. *Edu Elekrika Journal*, 7(1), 27–33.