

Analisis Perencanaan Energi Pada Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Pltmh-Plts Menggunakan Simulasi Homer Pro

Nadia Febriana Khairunnisa¹, Fadilah², Zulkiffli Saleh³, Wiwin A.Oktaviani⁴,
Yosi Apriani⁵

1,2,3,4,5 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia.

*e-mail: fadilah@um-palembang.ac.id

ABSTRAK

Penyediaan energi listrik di daerah terpencil menjadi tantangan besar bagi PT PLN, karena beberapa wilayah sulit dijangkau sehingga menyulitkan perusahaan untuk berperan sebagai penyedia listrik utama. Salah satu wilayah tersebut adalah Desa Segamit yang terletak di Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Saat ini, desa tersebut mengandalkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berkapasitas 5 kW sebagai sumber utama listrik. Daya keluaran dari PLTMH ini bergantung pada aliran air dari Danau Deduhuk. Karena memanfaatkan energi terbarukan, kinerja PLTMH ini sangat dipengaruhi oleh perubahan musim. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pembangkit listrik hibrida dengan mengintegrasikan PLTMH yang sudah ada dengan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan perangkat lunak HOMER, guna menjamin pasokan daya yang stabil dan andal bagi beban listrik di desa tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem hibrida PLTMH-PLTS ini mampu menghasilkan total energi sebesar 68.883 kWh per tahun, dengan biaya energi (COE) sebesar Rp2.300 dan biaya kini bersih (NPC) sebesar Rp334.800.000. Dari hasil riset di dapatkan bahwa PV monocrystalline lebih efisien daripada PV polycrystalline dalam hal efisiensi penggunaan PV, dan baterai lithium-ion lebih efisien daripada baterai lead acid dalam hal jenis baterai.

Kata Kunci: *PLTMH, PLTS, PLTH, Optimasi Daya, HOMER.*

ABSTRACT

The provision of electrical energy in remote areas poses a major challenge for PT PLN, as some regions are difficult to access, making it hard for the company to act as the main electricity provider. One such area is Segamit Village, located in Muara Enim Regency, South Sumatra. Currently, the village relies on a 5 kW Micro-Hydro Power Plant (MHPP) as its primary electricity source. The output power of this MHPP depends on the water flow from Deduhuk Lake. Since it utilizes renewable energy, the performance of the MHPP is highly influenced by seasonal changes. This study aims to develop a hybrid power generation system by integrating the existing MHPP with a Solar Power Plant (PV system) using HOMER software, in order to ensure a stable and reliable power supply for the village's electrical loads. The simulation results show that the hybrid MHPP-PV system can generate a total of 68,883 kWh per year, with a cost of energy (COE) of Rp2,300 and a net present cost (NPC) of Rp334,800,000. The research findings indicate that monocrystalline PV is more efficient than polycrystalline PV in terms of photovoltaic efficiency, and lithium-ion batteries are more efficient than lead-acid batteries in terms of battery type.

Keywords: *PLTMH, PLTS, PLTH, Power Optimization, HOMER*

PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik sebagian masyarakat tidak sesuai dengan aksesibilitas PT. PLN. Hal ini dikarenakan lokasinya yang sulit diakses sehingga jaringan PLN tidak dapat menjangkaunya. Salah satunya terletak pada koordinat 4°08'26.8" LS dan 103°27'40.5" BT di wilayah Karyatani, Dusun Rantau Dedap, Desa Segamit, Kecamatan Semende Darat Ulu, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Sumber utama tenaga listrik di Desa Segamit adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Meskipun pada puncak musim kemarau tidak dapat beroperasi

sama sekali karena debit air Danau Deduhuk tidak terpenuhi, PLTMH tidak dapat beroperasi secara maksimal pada saat itu. Oleh karena itu, penambahan sistem pembangkit listrik tenaga surya dipilih sebagai alternatif untuk memaksimalkan jumlah tenaga listrik yang akan disediakan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan sistem pembangkit listrik berskala kecil yang memanfaatkan ketinggian dan debit air untuk menghasilkan listrik seperti air terjun, sungai, atau saluran irigasi alami (Setya Utama & Kusriyanto, 2018). Aliran air yang dibendung pada ketinggian tertentu dan memiliki debit untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator listrik menghasilkan tenaga air. PLTMH pada hakikatnya memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head) yang dapat diubah menjadi energi listrik. Selain menggunakan variabel topografi (tata letak sungai), pembendungan aliran air merupakan salah satu cara untuk menentukan ketinggian jatuhnya air guna mendongkrak muka air. Untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro yang sering kali berada di tepi sungai, air dialirkan melalui pipa pesat ke rumah pembangkit. Energi mekanik putar poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. PLTMH memiliki kapasitas tidak lebih dari 100 KW. Indonesia memanfaatkan sumber daya airnya yang sangat besar dengan sebaik-baiknya (Haryanto, 2017).

Secara teknis, PLTMH terdiri dari tiga bagian utama, yaitu generator, turbin, dan air (hidro). Pemanfaatan perbedaan ketinggian dan jumlah debit air per detik di aliran atau sungai merupakan prinsip kerja PLTMH itu sendiri. Ketika air mengalir dari intake dan dikirim ke penstock melalui saluran pembawa, poros turbin yang berputar akan menghasilkan energi mekanik. Turbin air akan memutar generator untuk menghasilkan listrik. Sistem PLTMH dan PLTA pada dasarnya sama. Namun, yang membedakannya adalah wilayah operasi sistem pembangkit listrik. Sumber air yang relatif kecil dapat digunakan oleh PLTMH. Karena PLTMH mungkin menggunakan sedikit potensi air, maka PLTMH dapat berfungsi dengan atau tanpa reservoir, tidak seperti PLTA. (Sofyan & Sudana, 2022)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang menggunakan sel surya (fotovoltaik) yang mengubah radiasi foton matahari menjadi energi listrik (Putra, 2015). Sumber energi yang ramah lingkungan untuk masa depan karena tidak mengeluarkan polusi apa pun selama proses konversi energi. (Permadi, 2008). Sistem PLTS yang tidak terhubung ke jaringan listrik dikenal sebagai instalasi fotovoltaik off-grid, atau sistem PLTS yang berdiri sendiri. Instalasi fotovoltaik, kadang-kadang disebut sebagai PLTS yang Terhubung ke Jaringan, adalah sistem PLTS yang terhubung ke jaringan listrik. Sistem hibrida adalah kombinasi dari PLTS. Adapun komponen-komponen yang digunakan untuk membuat PLTS seperti *Photovoltaic*, Inverter dan baterai.

Untuk mendapatkan kebutuhan daya pada panel surya yang di gunakan dalam sistem ini didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$W_p = \frac{E_o}{PSH \times \eta_{Sistem}} \times C_f$$

Dimana :

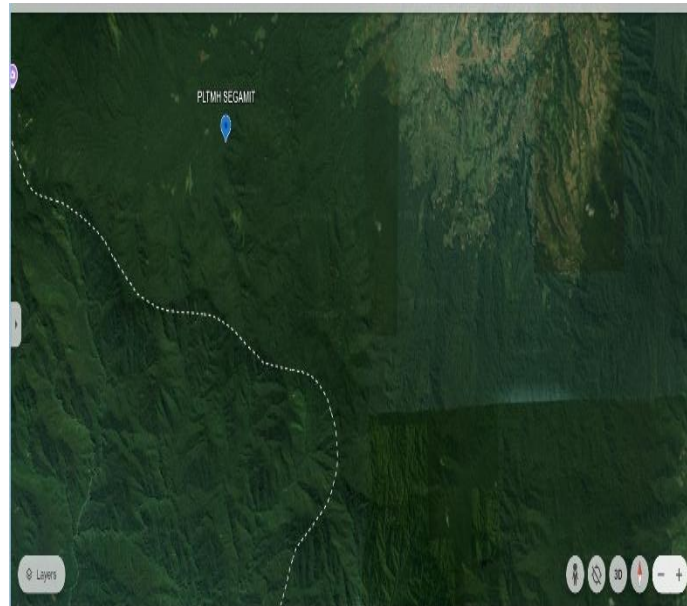
- E_o = Energi yang akan diproduksi
- PSH = Peak Sun Hours (3 jam – 5 jam)
- η_{Sistem} = Efisiensi Sistem (0,67 – 0,75)
- C_f = Faktor Koreksi Temperature (1,1 – 1,5)

METODE PENELITIAN

Model sistem Pembangkit Listrik Hibrida dirancang, direncanakan, dan disimulasikan dalam studi ini menggunakan perangkat lunak HOMER. Parameter merupakan faktor krusial dalam proses simulasi yang digunakan perangkat lunak HOMER untuk menentukan konfigurasi

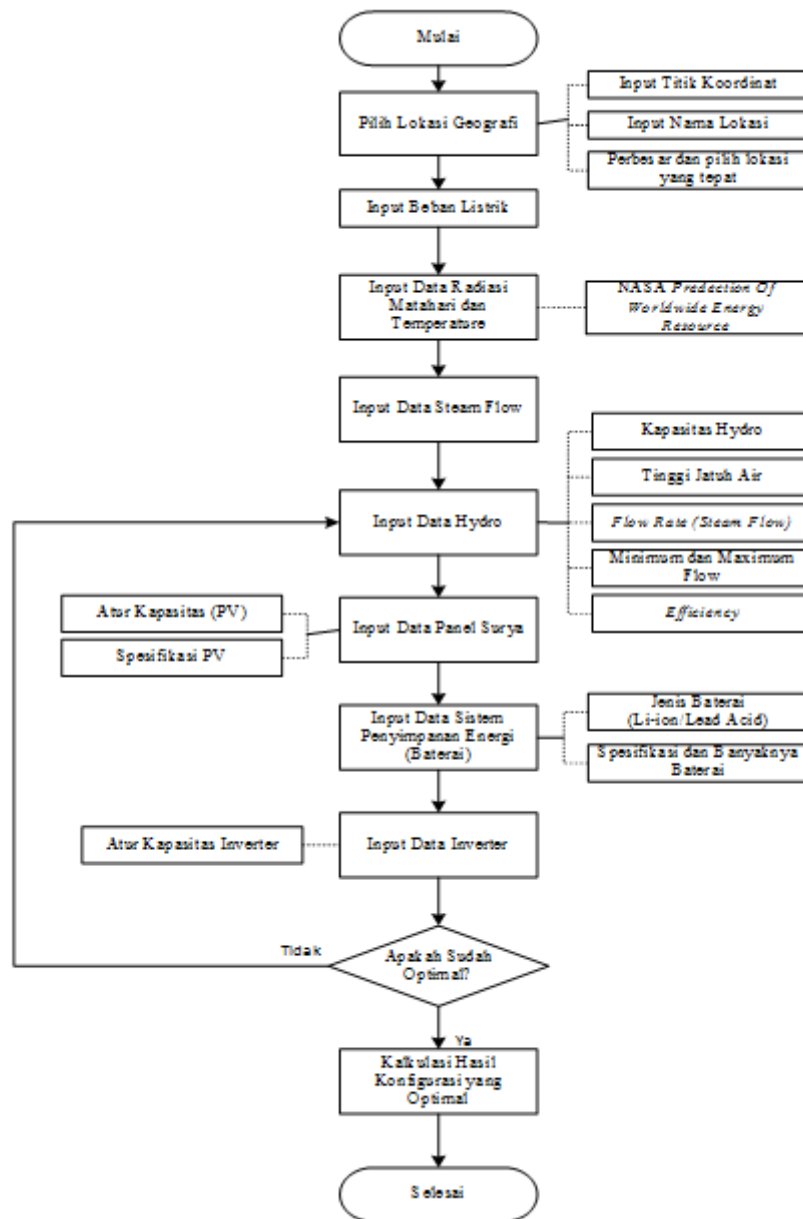
sistem terbaik. Data beban harian, data hidro, data surya, inverter, dan baterai merupakan beberapa faktor krusial. Setelah semuanya selesai, perangkat lunak HOMER digunakan untuk mensimulasikan data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Penelitian ini akan dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang terletak di Kawasan Karyatani, Dusun Rantau Dedap, Desa Segamit, Kecamatan Semende Darat Ulu, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Gambar 2 menjelaskan tahapan simulasi sistem pembangkit listrik hybrid PLTMH–PLTS menggunakan perangkat lunak HOMER Pro. Proses diawali dengan penentuan lokasi geografis, dilanjutkan dengan input beban listrik dan data sumber daya energi terbarukan yaitu radiasi matahari dan aliran air (steam flow). Data-data tersebut digunakan untuk menginput parameter sistem, berupa kapasitas PLTMH, kapasitas dan spesifikasi panel surya, serta sistem penyimpanan energi berupa baterai. Setelah itu, pengguna mengatur kapasitas inverter dan menjalankan simulasi di HOMER Pro untuk mengevaluasi apakah konfigurasi sudah optimal. Jika belum, kapasitas PV, baterai, dan inverter dapat disesuaikan ulang hingga diperoleh hasil optimal. Output dari HOMER berupa konfigurasi sistem terbaik dengan biaya energi dan kelayakan teknis yang paling efisien.



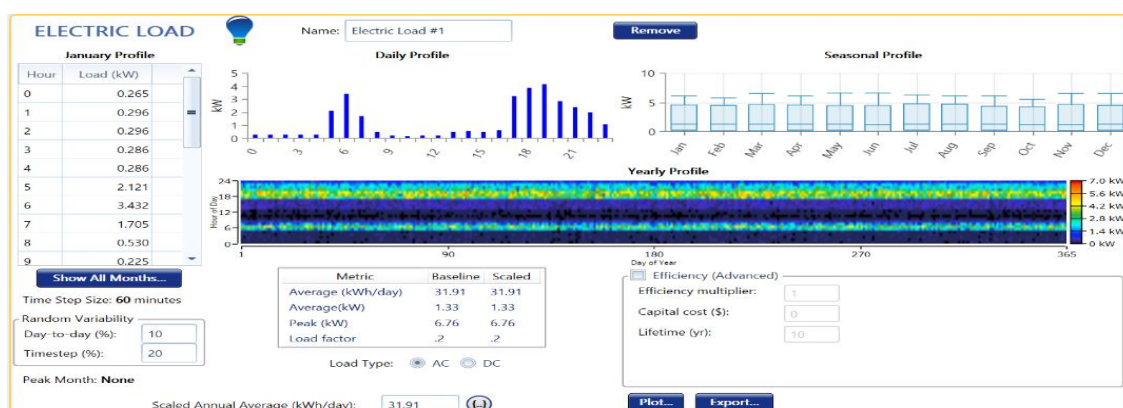
Gambar 2. Flowchart Penelitian

Data beban diperoleh dari wawancara langsung dengan warga Desa Segamit. Data beban listrik Desa Segamit diperoleh dengan menghitung jumlah perangkat listrik dan lama penggunaan. Data beban listrik harian untuk 12 rumah dengan jumlah perangkat listrik, jenis beban, dan lama penggunaan yang sama ditunjukkan pada tabel 1 di bawah ini.

Table 1 Data Beban Harian

Waktu	Beban (Watt)												Total Daya (Watt)
00.00	90	40	50	5	0	10	10	10	10	20	10	10	265
01.00	90	35	70	10	11	10	10	10	10	20	10	10	296
02.00	90	35	60	10	21	10	10	10	10	20	10	10	296
03.00	90	35	50	10	21	10	10	10	10	20	10	10	286
04.00	90	35	50	10	21	10	10	10	10	20	10	10	286
05.00	530	95	470	390	406	160	10	10	10	20	10	10	2121
06.00	725	95	500	270	271	285	435	220	230	125	90	186	3432
07.00	135	90	80	210	255	135	290	10	230	0	90	180	1705
08.00	135	90	80	125	5	0	0	0	0	0	0	95	530
09.00	80	90	50	0	5	0	0	0	0	0	0	0	225
10.00	80	30	50	0	5	0	0	0	0	0	0	0	165
11.00	80	30	50	0	5	75	0	0	0	0	0	0	240
12.00	80	30	50	0	5	75	0	0	0	0	0	0	240
13.00	80	30	50	0	5	75	0	65	0	65	75	85	530
14.00	80	30	50	60	5	75	0	65	0	65	75	85	590
15.00	80	30	50	60	5	75	0	65	0	0	75	85	525
16.00	80	215	110	60	5	0	0	0	0	0	75	85	630
17.00	730	580	670	475	5	40	45	125	125	130	105	185	3215
18.00	730	580	670	485	210	170	270	60	280	165	155	110	3885
19.00	730	580	670	315	470	380	270	135	185	135	155	150	4175
20.00	290	230	575	255	140	380	250	120	45	135	150	255	2825
21.00	290	235	250	555	130	100	250	120	45	135	130	160	2400
22.00	290	235	250	444	125	100	115	105	30	105	20	160	1979
23.00	205	175	250	5	55	40	115	30	30	25	15	120	1065
Total													31906

Berdasarkan data beban yang diperoleh, jumlah beban listrik yang dikonsumsi oleh masyarakat Desa Segamit sebesar 31,62 kW. Dan dapat dilihat pada Gambar 3 menunjukkan bahwa beban terendah terjadi pada pukul 10.00 WIB dengan penggunaan listrik sebesar 0,17 kW dan beban puncak terjadi pada pukul 19.00 WIB dengan penggunaan listrik sebesar 4,16 kW.



Gambar 1 Tampilan Pada Aplikasi Homer Pro

Adapun spesifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Desa Segamit adalah dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

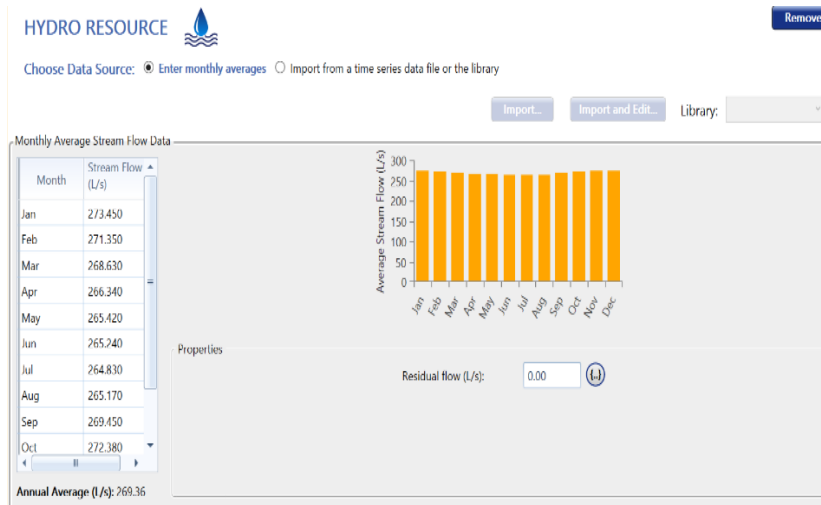
Table 2 Spesifikasi PLTMH Desa Segamit

Item Pengukuran		Hasil Pengukuran	Satuan
Kolam	Panjang	9,8	Meter
	Tando		
	Lebar	10	Meter
	Tinggi	2	Meter
	Kedalaman	1,8	Meter
Saluran	Lebar	2,3	Meter
	Tinggi	1	Meter
	Tinggi Jatuh Air	0,5	Meter
Pipa	Diameter	10	Inch
	Panjang	10	Meter
	Tinggi Jatuh Air	0,5	Meter
Turbin	Jenis	Crossflow	
	Putaran	1020	rpm
	Diameter pulley	62	cm
	Efisiensi	80%	
	Tinggi Jatuh Air	3	m
Generator	Jenis	Sinkron	5kW
	Daya	3840	Watt
	Arus	16	Ampere
	Tegangan	300	Volt
	Diameter pulley	13	cm
Jaringan	Faktor Daya	0,8	
	Efisiensi	65%	
	Jenis kabel	SR 2x10	
	Panjang kabel ke konsumen	908	Meter

Data debit air didapat dari Dinas Pekerjaan Umum Sumatera Selatan dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Sumatera VIII, dapat dilihat pada Tabel 3.

Table 3 Steam Flow Danau Deduhuk

No	Bulan	Stream Flow (l/detik)
1	Januari	273,45
2	Februari	271,35
3	Maret	268,63
4	April	266,34
5	Mei	265,42
6	Juni	265,24
7	Juli	264,83
8	Agustus	265,17
9	September	269,45
10	Oktober	272,38
11	November	274,64
12	Desember	275,37
	Jumlah	3232,27
	Rata-rata	269,39



Gambar 2 Tampilan Pada Aplikasi Homer Pro

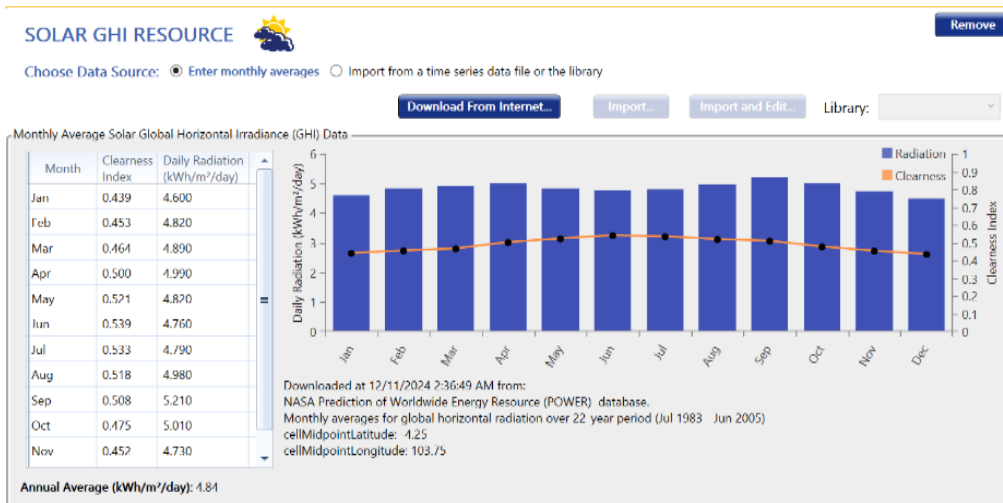
Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bagaimana variasi musiman dalam laju aliran air memerlukan penggunaan generator energi terbarukan tambahan untuk memaksimalkan energi listrik yang dibutuhkan. Aliran air menurun dari 266,34 menjadi 264,83 liter/detik dari April hingga Juli dan kemudian meningkat sebesar 265,17 menjadi 275,37 liter/detik dari Agustus hingga Desember.

E. Data Radiasi Matahari

Prediction of Worldwide Energy (POWER) NASA memberikan informasi tentang suhu udara dan radiasi matahari. Indikator jumlah pencahayaan atau energi matahari yang ditangkap panel surya adalah nilai iradiasi atau daya radiasi per satuan luas, dapat dilihat pada Tabel 4

Table 4 Data Radiasi Matahari

Bulan	Intensitas Radiasi KWh/m ² /day
Januari	4.600
Februari	4.820
Maret	4.890
April	4.990
Mei	4.820
Juni	4.760
Juli	4.790
Agustus	4.980
September	5.210
Oktober	5.010
November	4.730
Desember	4.490
Rata-rata	4.84

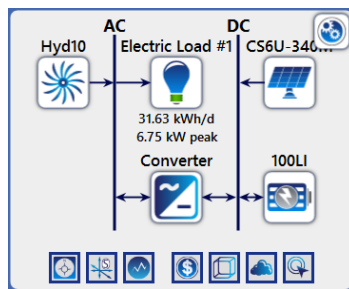


Gambar 3 Tampilan Pada Aplikasi Homer Pro

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa Desa Segamit memiliki nilai radiasi matahari yang cukup tinggi. Pada bulan September, radiasi matahari maksimum sebesar 5.210 kWh/m², sedangkan pada bulan Desember, radiasi matahari terendah sebesar 4.490 kWh/m². Dengan radiasi matahari sebesar 4,84 kWh/m²/hari, Desa Segamit memiliki potensi yang besar untuk pemasangan panel surya.

Perancangan PLTH

Desain yang dibuat untuk simulasi pada *software* HOMER PRO x64 3.14.2 dengan menggabungkan beberapa komponen utama, seperti panel surya, inverter, baterai dan *hydro*. Selain menggabungkan komponen Adapun parameter yang akan diinput yaitu debit air, intensitas radiasi matahari, perkiraan beban harian, spesifikasi peralatan dan biaya. Desain PLTH dapat dilihat pada Gambar 6

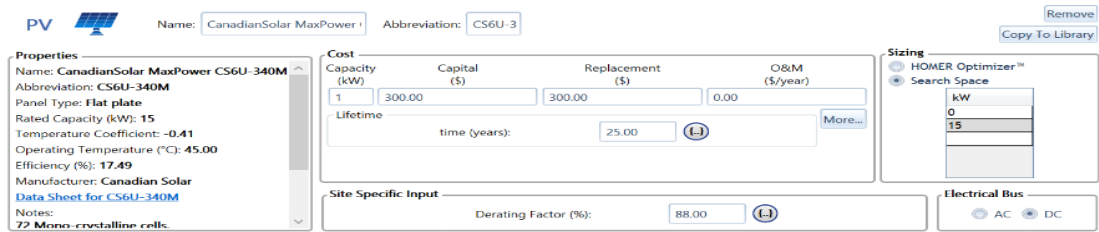


Gambar 4 Diagram Perancangan PLTH

Komponen Utama PLTH

Photovoltaic

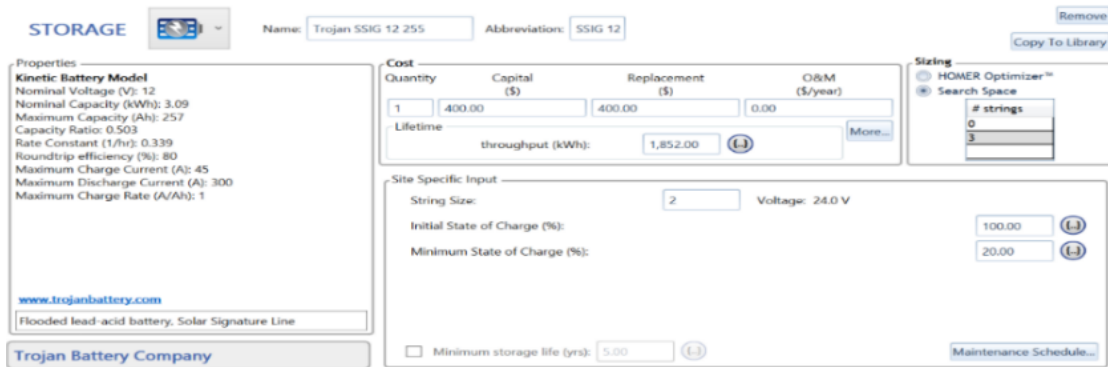
Parameter panel dan jumlah panel yang diperoleh dari HOMER Pro termasuk dalam data yang dimasukkan. PV dengan daya 340 Wp dan total kapasitas 15 kW digunakan dalam penelitian ini. Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 5 Desain Modul Panel Surya

Baterai

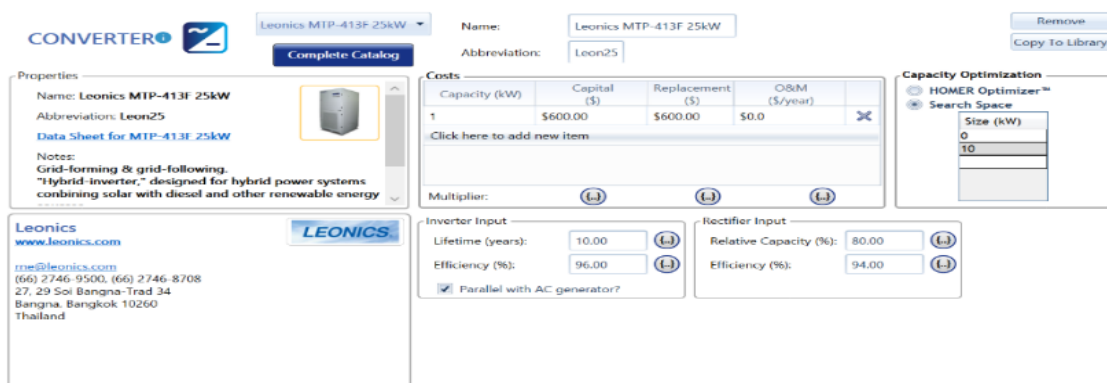
Rincian tentang karakteristik baterai dan jumlah baterai yang efisien yang diprediksi oleh HOMER Pro merupakan salah satu data masukan yang akan digunakan dalam studi ini. Arsitektur sistem ini akan menggunakan baterai dengan kapasitas antara 3 dan 12 kWh, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6 Tampilan Input Baterai

Inverter

Spesifikasi dan biaya inverter yang digunakan termasuk dalam informasi yang dimasukkan. Desain PLTH ini menggunakan inverter tipe *Bi-Directional* dengan kapasitas 10 kW. Konfigurasi input inverter dalam desain PLTS dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 7 Tampilan Input Inverter

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Sistem Hybrid

Lima konfigurasi sistem yang berbeda dikelompokkan oleh Homer. Konfigurasi ideal dipilih berdasarkan NPC (Net Present Cost) terendah, bukan COE, yang ditampilkan di bagian atas hasil desain sistem oleh perangkat lunak Homer. NPC adalah keseluruhan biaya sistem selama periode 20 tahun dikurangi uang yang diperoleh selama proyek, sedangkan COE (Cost of Energy) adalah biaya rata-rata per kWh energi yang diproduksi dan dijual kepada pelanggan. Perangkat lunak Homer menampilkan saran konfigurasi seperti pada Tabel 5.

Table 5 Tampilan Pada Aplikasi Homer Pro

Architecture								
PV	Baterai	Hydro	Converter	CS6U-340M (kW)	SSIG 12 225	Hyd5 (kW)	Leon25 (kW)	Dispatch
				15	6	6,34	10	LF
					6	6,34	10	LF

Pada tabel 6 menunjukkan bahwa dengan modal awal Rp 164,3 juta, nilai NPC rendah sebesar Rp 260,9 juta dihasilkan dengan komponen berupa *Hydro*, baterai, konverter, dan tanpa PV. Tabel 6 menunjukkan nilai NPC tinggi sebesar Rp 334,8 juta yang dihasilkan oleh komponen yang terdiri dari PV, Baterai, PLTA, dan Konverter, dengan modal awal Rp 238,3 juta. Hal ini menunjukkan bahwa karena komponen yang digunakan berbeda-beda, maka lebih murah Rp 73,9 juta dibandingkan dengan NPC tertinggi. Karena studi ini akan membandingkan nilai listrik yang diproduksi oleh PV dan Hydro dan mengoptimalkan distribusi daya kepada penduduk Desa Segamit, maka opsi kedua digunakan meskipun hasil simulasi Homer merupakan yang terbaik dari kedua opsi yang ditampilkan dan opsi teratas dengan hasil yang lebih murah dan produksi listrik yang cukup adalah pilihannya.

Table 6. Saran Yang Ditampilkan Homer Pro

NPC (Rp)	COE (Rp)	Cost			System		Leon25	
		Operating Cost (Rp)	Intial Capital (Rp)	Ren (%)	Frac	Recifier Output (kW)	Mean Inverter Output (kW)	Mean
260,9 JT	1.630	7,5 JT	164,3 JT	100		0,00403	0,00309	
334,8JT	2.300	7,5 JT	238,3JT	100		0,00381	0,00309	

Table 7. Saran Yang Ditampilkan Homer Pro

SSIG 12 255							
Autonomy (hr)	Annual (kWh/yr)	Throughput	Nominal (kWh)	Capacity	Usable (kWh)	Nominal	Capacity
11,1	31,6		18,5		14,8		
11,1	30,9		18,5		14,8		

Dua tabel di atas, tabel 6 dan tabel 7 yang menampilkan biaya dan keluaran energi listrik pada PV dan hidro, memberikan penjelasan tentang hasil dari dua pengaturan yang disediakan Homer. Perhitungan ekonomi dan harga jual energi listrik dipengaruhi oleh produksi energi listrik, yang sedikit bervariasi tetapi berbeda dalam jumlah pembiayaan. Hidro menghasilkan 24.957 kWh energi listrik per tahun, yang merupakan perbedaan dalam produksi. Meskipun

alternatif pertama sedikit lebih murah, itu tidak akan dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Desa Segamit karena hanya bergantung pada satu sumber daya alam, dan kondisi alam dapat berubah secara konstan.

Hasil Keluaran Masing-Masing Komponen

Hasil simulasi sistem PLTH dengan menggunakan software HOMER diperoleh kapasitas sistem optimal yang mampu memenuhi kebutuhan beban listrik di Desa Segamit seperti tampilan yang ditunjukkan pada Gambar 10.

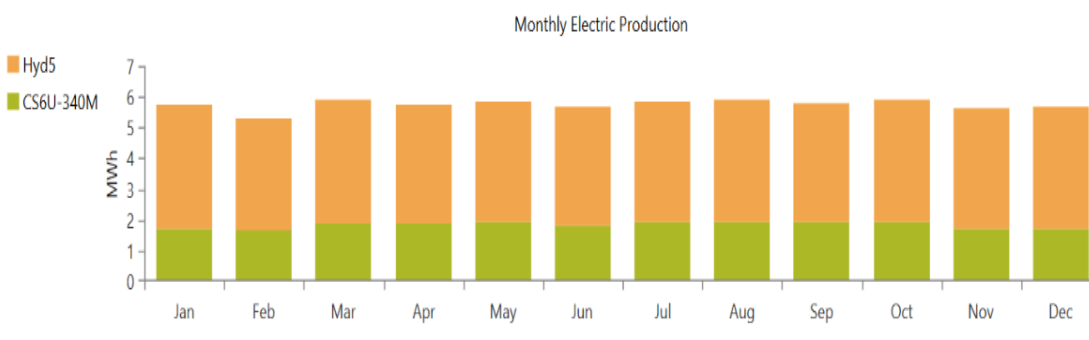
Optimization Results
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Architecture					Cost				System		CS6U-340M		
CS6U-340M (kW)	SSIG 12.255	Hyd5 (kW)	Leon25 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)
6		6.34	10.0	LF	\$15,875	\$0.105	\$454.43	\$10,000	100	0			11.1
15.0		6.34	10.0	LF	\$20,375	\$0.135	\$454.43	\$14,500	100	0	4,500	21,963	11.1

Gambar 10 Tampilan Konfigurasi Pads Homer Pro

Energi yang diproduksi Sistem Hybrid

Pada software HOMER menunjukkan parameter produksi energi yang dihasilkan dari komponen-komponen yang ada. Dapat dilihat pada Gambar 11 merupakan diagram hasil produksi energi listrik yang dihasilkan oleh Mikrohidro dan PV, dimana menunjukkan bahwa *Hydro* memproduksi energi listrik lebih banyak dari pada PV



Gambar 11 Diagram Produksi Daya Bulanan

Dari Gambar 11 Perbedaan hasil produksi energi antara PV dan *Hydro* disebabkan oleh kapasitas *Hydro* dan PV yang digunakan. PV menghasilkan energi listrik dijam tertentu sedangkan *Hydro* dapat menghasilkan energi listrik setiap waktu sehingga produksi energi pada *Hydro* lebih besar dar PV. Hal ini ditunjukkan pada persentase *Hydro* sebesar 68,1% dalam memproduksi kebutuhan listrik warga Desa Segamit sedangkan PV memproduksi energi listrik



hanya sebesar 31,9%. Sehingga *Hydro* menjadi sumber energi utama dalam memproduksi energi listrik. Secara keseluruhan sistem menghasilkan energi listrik sebesar 120.130 kWh/yr. Total *Consumption* energi listrik sebesar 11,647 kWh/yr dapat dilihat pada Tabel 8.

Table 8 Produksi Daya Masing-Masing Komponen

<i>Component</i>	<i>Production (kWh/yr)</i>	<i>Percent (%)</i>
CanadianSolar MaxPowe CS6u-340M	21.963	31,9
<i>Hydro</i>	46.920	68,1
Total	68.883	100
<i>Component</i>	<i>Production (kWh/yr)</i>	<i>Percent (%)</i>
CanadianSolar MaxPowe CS6u-340M	21.963	31,9
<i>Hydro</i>	46.920	68,1
Total	68.883	100

Sistem ini memiliki nilai *excess electricity* tahunan sebesar 57.226 kWh. Ketika pembangkitan daya terlalu tinggi dan baterai tidak dapat menangani daya ekstra, kelebihan listrik akan dihasilkan maka itu disebut *excess electricity*. Nilai beban yang tidak terpenuhi dari sistem ini adalah 0 kWh/tahun, ini menunjukkan bahwa semua permintaan dapat dipenuhi oleh sistem saat ini atau tidak ada permintaan untuk beban yang melebihi pasokan daya yang tersedia. Demikian pula, pengurangan jumlah listrik yang dihasilkan karena kurangnya radiasi matahari dan energi hidro pada bulan-bulan tertentu dikenal sebagai *capacity storage* atau kekurangan energi tahunan pada sistem ini memiliki nilai sebesar 0 kWh/yr. Persentase energi terbarukan sebesar 100% menunjukkan bahwa sistem yang digunakan termasuk dalam kategori energi terbarukan, dapat dilihat pada Tabel 9.

Table 9 Hasil Kerja Kelistrikan

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Excess Electricity</i>	57.226	kWh/yr
<i>Unmet Electric Load</i>	0	kWh/yr
<i>Capacity Shortage</i>	0	kWh/yr
<i>Renewable Fraction</i>	100	%

Energi yang di produksi PLTS

Dengan kapasitas terpasang PV sebesar 15 kW, PLTS menghasilkan listrik sebesar 21.963 kWh per tahun. Rata-rata, 60,2 kW energi dihasilkan setiap hari. Outputnya berkisar antara 0 kW pada minimum dan 13,7 kW pada maksimum. Menurut perangkat lunak Homer, tingkat penetrasi PV adalah 189%. PV beroperasi selama 4.380 jam per tahun untuk memenuhi permintaan energi listrik. Pelanggan dapat membeli energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya seharga Rp 328,70 kWh. Dibandingkan dengan harga dari PLN, harga yang diperoleh lebih rendah. Dapat dilihat pada Tabel 10

Table 10 Tabel Produksi PLTS

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Rated Capacity</i>	15	kW
<i>Mean Output</i>	2,51	kW
<i>Mean Output</i>	60,2	kWh/d
<i>Capacity Factor</i>	16,7	%
<i>Minimal Output</i>	0	kW

<i>Maximum Output</i>	13,7	kW
<i>PV Penetration</i>	189	%
<i>Hous Of Operation</i>	4,380	hrs/yr
<i>Lavelized Cost</i>	328,70	Rp/kWh
<i>Total Production</i>	21.963	kWh/yr

Energi yng di produksi PLTMH

Kapasitas turbin terpasang PLTMH sebesar 5 kW menghasilkan daya sebesar 46.920 kWh per tahun, dengan produksi energi rata-rata sebesar 5,36 kW. Outputnya berkisar antara 5,30 kW minimum dan 5,39 kW maksimum. Penetrasi air sebesar 403%. PLTMH beroperasi selama 8.760 jam per tahun untuk menghasilkan listrik. Biaya pembelian daya yang dihasilkan oleh PLTMH sebesar Rp 251,80 per kWh.

Table 11 Tabel Produksi PLTMH

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Nominal Capacity</i>	6,34	kW
<i>Mean Output</i>	5,36	kW
<i>Capacity Factor</i>	84,5	kW
<i>Minimal Output</i>	5,30	kW
<i>Maximum Output</i>	5,39	kW
<i>Hydro Penetration</i>	403	%
<i>Hous Of Operation</i>	8,760	hrs/yr
<i>Lavelized Cost</i>	251,80	Rp/kWh
<i>Total Production</i>	46,920	kWh/yr

Energi yang dihasilkan Baterai

PLTS memiliki enam baterai secara keseluruhan, dua di antaranya terhubung secara seri dan tiga di antaranya terhubung secara paralel, dengan total kapasitas baterai sebesar 18,5 kWh. Satu baterai dalam sistem memiliki kapasitas 3 kWh. Hanya 14,8 kWh dari kapasitas terpasang yang digunakan. 11,1 jam dapat dihabiskan dalam keadaan *autonomy* atau saat baterai tidak terkena sinar matahari. Data *Storage depletion* menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan baterai turun menjadi 0,00239 kWh tahun. Selisih antara jumlah energi listrik yang digunakan dan yang didistribusikan, adalah 7,06 kWh. Karena nilai *losses* dan pengurangan kapasitas penyimpanan baterai, energi yang masuk ke baterai adalah 35,3 kWh per tahun, sedangkan energi yang keluar adalah 28,2 kWh per tahun. Dapat dilihat pada Tabel 12.

Table 12 Tabel Produksi Baterai

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Nominal Capacity</i>	18,5	kWh
<i>Usable Nominal Capacity</i>	14,8	kWh
<i>Autonomy</i>	11,1	Hr
<i>Battery Wear Cost</i>	0	Rp/kWh
<i>Average Energy Cost</i>	0	Rp/kWh
<i>Energy In</i>	34,5	kWh/yr
<i>Energy Out</i>	27,6	kWh/yr
<i>Storage Depletion</i>	0,00239	kWh/yr
<i>Losses</i>	7,06	kWh/yr
<i>Annual Throughput</i>	31,6	kWh/yr

Dibandingkan dengan PV, *Hydro* menghasilkan lebih banyak energi listrik karena kapasitasnya dan nilai penetrasi yang tinggi sebesar 403%, yang menunjukkan bahwa tenaga air menghasilkan jumlah energi yang cukup besar yang langsung dikirim ke beban. Dalam hal pembangkitan energi listrik, PV menghasilkan 21.963 kWh per tahun, sedangkan *Hydro* menghasilkan 46.920 kWh per tahun. *Hydro* beroperasi selama 8.760 jam per tahun, sedangkan PV beroperasi selama 4.380 jam per tahun, termasuk jam untuk memenuhi kebutuhan energi. Terdapat perbedaan 4.380 jam per tahun antara jam operasional PV dan *Hydro*, dengan *Hydro* memiliki jam operasional yang lebih banyak atau lebih panjang daripada PV. PLTS memiliki jam operasional terbatas karena membutuhkan energi matahari pada siang hari, dan antara pukul 11.00 WIB dan 15.00 WIB, radiasi matahari berada pada kondisi terbaiknya. Karena kedua metode pembangkitan tersebut tidak memerlukan bahan bakar, selisih produksi energi listrik sebesar 26.290 kWh/tahun tidak memengaruhi harga jual PLTS maupun PLTHM. Energi listrik yang dihasilkan PLTS dijual dengan harga Rp 386,68/kWh, sedangkan energi listrik dari PLTA dijual dengan harga Rp 251,80/kWh. Hal ini menunjukkan selisih harga sebesar Rp 134,88/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa tenaga air lebih murah daripada tenaga surya. Tenaga air merupakan pilihan terbaik untuk menurunkan harga jual energi listrik bagi warga Desa Segamit, tetapi harus digunakan bersama dengan baterai karena kelebihan energi akan disimpan di sana, terutama untuk memenuhi permintaan selama beban puncak atau saat jumlah maksimum terlampaui.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil akhir simulasi perangkat lunak Homer, *Hydro* lebih terjangkau daripada fotovoltaik (PV) dan memiliki kapasitas untuk menghasilkan lebih banyak energi listrik sebesar 24.957 kWh per tahun. Dengan total NPC sebesar Rp 334.800.000 dan biaya ekonomi (COE) sebesar Rp 2.300, hasil simulasi Homer menghasilkan konfigurasi sistem ideal yang terdiri dari turbin mikrohidro 5 kW, panel surya 15 kW, 5 unit baterai 1.285 Ah, dan konverter 10 kW. PV menghasilkan 21.963 kWh per tahun, atau 31,9%, dari energi listrik, sementara *Hydro* menghasilkan 46.920 kWh per tahun, atau 68,1%. Sebanyak 68.883 kWh diproduksi setiap tahun. Ditemukan juga bahwa PV monocrystalline lebih efisien daripada PV polycrystalline dalam hal efisiensi penggunaan PV, dan bahwa baterai lithium-ion lebih efisien daripada baterai lead acid dalam hal jenis baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anshar, M., Yunus, M. Y., Adwianto, M. I., & Langi, F. A. (2021). Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Desa Pallawa Kabupaten Bone Dengan Penambahan Spillway Gate dan Trash Rack. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 19(2), 193. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v19i2.3027>
- [2] Bakhtiar, & Tadjuddin. (2021). Pengaruh Battery Management System (Bms) Pada Pengisian Baterai Lithium Sistem Plts. *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & IPengabdian Kepada Masyarakat*, 85–91.
- [3] Bandri, S., Andari, R., Liliana, L., & Rendisky, R. (2022). Analisis Mode Sistem Pembangkit Hybrid Berkelanjutan Pltmh-Pln Dengan Solar Cell Menggunakan Helioscope Dan Homer. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 22(2), 291. <https://doi.org/10.36275/stsp.v22i2.523>
- [4] Failashuf, M. A. N. (2018). *Pra Studi Kelayakan Rancang Bangun Pembangkit Hybrid (Surya-Angin) Di Pulau Parang Menggunakan Perangkat Lunak Homer*. <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/6109>
- [5] Faruq, U., Ridho, A., Vrayulis, M., & Julio, E. (2021). Peran Penggunaan ETAP Untuk Mengevaluasi Kendala Listrik. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 6(1),

- 16–22. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v6i1.7031>
- [6] PAMBUDI, W. S., FIRMANSYAH, R. A., SUHETA, T., & WICAKSONO, N. K. (2023). Analisis Penggunaan Baterai Lead Acid dan Lithium Ion dengan Sumber Solar Panel. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(2), 392. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i2.392>
- [7] Pranoto, S., Siswanto, A., Pagiling, L., & Teknik Universitas Halu Oleo Kendari, F. (2022). Analisis Pembangkit Hybrid Energi Terbarukan Dengan Metode Particle Swarm Optimization (Pso). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 372–375.
- [8] Prasetya, M. A. (2021). Simulasi Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikohidro/PLTMH dengan Menggunakan Aplikasi Matlab/Simulink. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 73–80.
- [9] Putri Miefthawati, N., Anwar Lubis, A., & Aini, Z. (n.d.). *Kajian Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTMH*. 155.
- [10] Setya Utama, H., & Kusriyanto, M. (2018). Prototype Pembangkit Mikrohidro Terintegrasi Beban Komplemen. *Teknoin*, 24(1), 55–66. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol24.iss1.art6>
- [11] Sibarani, & Maulana, R. (2023). Pengaruh Jumlah Variasi Sudu Terhadap Daya Output Yang Dihasilkan Turbin Pelton Pada PLTMH. *Institutional Repository*.
- [12] Sofyan, M., & Sudana, I. M. (2022). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, 3(2), 31–39. <https://doi.org/10.22146/juliet.v3i2.64410>
- [13] Susilo, G. H., & Winardi, B. (2014). Diesel Dan Energi Terbarukan Di Pulau Enggano , Bengkulu. *Transient*, 3(2), 237--244.
- [14] Halim, Levin. 2022. “Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia.” *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)* 5(2): 131.
- [15] Indra Bayu, Jaya, Irrine Budi Sulistiyawati, dan Ni Putu Agustini. 2023. “Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya.” *Jurnal Fortech* 4(1): 27–32.