

Electric Power Analysis and System Optimization of Micro-Hydro Power Plants at the Sentool Plantation, Jember

(Analisa Potensi Daya dan Optimasi Sistem PLTMH di Perkebunan Sentool, Jember)

Irvan Siswanto, Artoto Arkundato, Lutfi Rohman*, Bowo Eko Cahyono
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember
* E-mail: el_rahman.fmipa@unej.ac.id

ABSTRAK

Perkebunan Sentool merupakan kawasan perkebunan, agro industri dan agro wisata yang terletak di Desa Suci, Kecamatan Panti, Kabupaten Jember. Wilayah ini berada di kaki Gunung Argopuro dengan ketersediaan sumber air yang melimpah. Di wilayah ini terdapat aliran sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). PLTMH adalah pembangkit listrik yang relatif mudah dibuat dan diaplikasikan di wilayah pedesaan atau perkampungan. PLTMH dipilih sebagai salah satu sumber energi alternatif dengan prinsip mengembangkan energi terbarukan. Oleh karena itu dilakukan pengabdian kepada masyarakat dalam upaya menganalisa Potensi Daya dan Optimasi Sistem PLTMH di Perkebunan Sentool yang berguna sebagai pertimbangan pembangunan PLTMH untuk pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat setempat dan kebutuhan listrik untuk pengembangan agrowisata. Proses analisa potensi daya dan optimasi sistem PLTMH dilakukan dengan dua tahap analisis data yaitu perhitungan potensi daya secara teoritis dan simulasi menggunakan *software HOMER Energy*. *HOMER Energy* digunakan untuk simulasi dan optimasi sistem PLTMH secara ekonomi. Potensi daya terbangkitkan paling besar adalah 53,12 kWh dengan debit 0,398 m³/s dan paling kecil yaitu 18,05 kWh dengan debit 0,135 m³/s. Simulasi menggunakan *software HOMER Energy* menghasilkan konfigurasi sistem PLTMH dengan estimasi biaya modal sebesar Rp 48.600.000, biaya operasional dan perawatan 42.900.000 per tahun, NPC sebesar Rp -2.557.215.000, LCoE sebesar Rp -573,63. PLTMH berkapasitas 37,1 kW dengan produksi per tahun 290.573 kW, mendapatkan keuntungan Rp 212.747.987,50 dari penjualan energi. Hasil dari perhitungan debit air, tinggi jatuh air dan daya yang terbangkitkan yang cukup tinggi, maka aliran air di Perkebunan Sentool secara teknis layak untuk dibangun pembangkit tenaga listrik mikrohidro (PLTMH).

Kata kunci: energi listrik, program pengabdian masyarakat, PLTMH, pembangkit listrik, HOMER

ABSTRACT

Sentool Plantation is a plantation area, agro-industrial and agro-tourism are located in Suci Village, Panti District, Jember Regency. This area is at the foot of Mount Argopuro with abundant water sources. In this area there is a river flow that can be utilized as a micro-hydro power plant (PLTMH). PLTMH is a relatively easy power plant to make and apply in rural areas or villages. PLTMH was chosen as an alternative energy source with the principle of developing renewable energy. Therefore, in this community service activity want to effort to analyze potency of electric power generation and optimization of the MHP System at the Sentool Plantation which is useful as a consideration PLTMH development to meet the electricity needs of the local community and electricity needs for the development of agro-tourism. Power potential analysis process and optimization of the PLTMH system is carried out with two stages of data analysis, namely the calculation of the potential power theoretical and simulation using HOMER Energy software. HOMER Energy is used for profit simulation. The greatest potency generated power is 53.12 kWh with a discharge of 0.398 m³/s and the smallest is 18.05 kWh with a discharge of 0.135 m³/s. Simulations using HOMER Energy software produce system configurations PLTMH with an estimated capital cost of IDR 48,600,000, operational costs and maintenance 42,900,000 per year, NPC of IDR -2,557,215,000, LCoE of IDR-573.63. PLTMH has a capacity of 37.1 kW with annual production of 290,573 kW, get a profit of IDR 212,747,987.50 from the sale of energy. The results of the calculation of the water discharge, the height of the water fall and the generated power are quite high, the water flow in the Sentool Plantation is technically feasible to build a micro-hydro power plant (PLTMH).

Keywords: electrical energy, community service program, PLTMH, power generation, HOMER

PENDAHULUAN

Perkebunan Sentool merupakan kawasan perkebunan, agro industri dan agro wisata yang terletak di Desa Suci, Kecamatan Panti, Kabupaten Jember. Wilayah ini berada di kaki Gunung Argopuro dengan ketersediaan sumber air yang melimpah. Di wilayah perkebunan ini terdapat aliran air yang mampu mengalir sepanjang tahun. Sumber air ini dimanfaatkan oleh masyarakat setempat sebagai irigasi tanaman perkebunan dan membantu sistem produksi karet. Sebenarnya aliran air tersebut dapat dimanfaatkan juga untuk hal lain seperti pembangkit listrik. Berprinsip mengembangkan *renewable energy* untuk meningkatkan ekonomi dan kemandirian masyarakat dapat dilakukan dengan mengembangkan pembangkit energi alternatif.

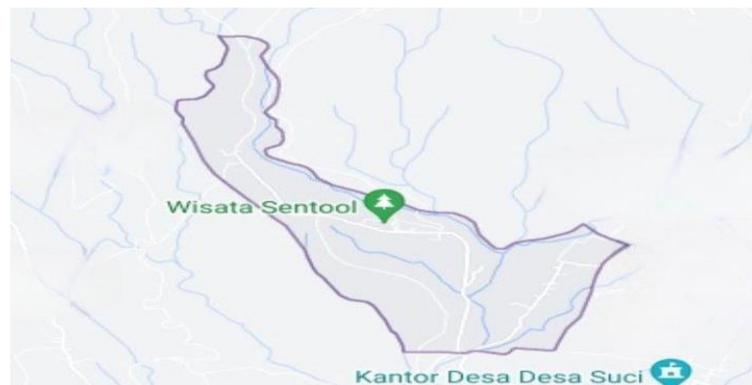
PLTMH dipilih sebagai salah satu sumber energi alternatif dengan prinsip mengembangkan energi terbarukan [1]. PLTMH merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air dengan skala kecil sebagai tenaga penggerak dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian permukaan air [2]. PLTMH adalah pembangkit listrik yang relatif mudah dibuat dan diaplikasikan di wilayah pedesaan atau perkampungan. Keuntungan penggunaan sumber energi air selain ramah lingkungan, energi air juga memiliki densitas yang jauh lebih besar daripada energi angin dengan daya tampung yang sama dan ukuran dari turbin air juga lebih kecil daripada turbin angin sehingga lebih efisien. Penggunaan PLTMH diharapkan dapat menjadi sebuah solusi alternatif untuk menghemat energi listrik di suatu pedesaan atau perkampungan dengan konsep *renewable energy* [3].

Tujuan dilakukan pengabdian masyarakat ini adalah untuk menganalisis potensi daya dan optimasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada aliran air yang berada di wilayah perkebunan Sentool Desa Suci yang nantinya bisa menjadi pertimbangan untuk membangun PLTMH yang dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat setempat dan kebutuhan listrik untuk mengembangkan agro wisata. Pengabdian ini berisi pembahasan potensi daya yang terbangkitkan dan analisis ekonomi pembangunan PLTMH.

METODE PELAKSANAAN KEGIATAN

Lokasi

Pengabdian masyarakat ini dilakukan di wilayah perkebunan Sentool tepatnya di Dusun Glundengan, Desa Suci, Kecamatan Panti, Kabupaten Jember. Secara geografis Perkebunan Sentool berada di dataran tinggi yaitu di kaki gunung Argopuro, dimana peta lokasinya ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi Perkebunan Sentool

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Meteran
2. *Stopwatch*
3. Pelampung (bebek mainan)
4. Peralatan tulis
5. *Software google earth*, digunakan untuk mencari *head*
6. *Software HOMER Energy*, digunakan untuk menganalisa sistem PLTMH secara teknis dan menganalisa dari segi ekonomi



Gambar 2. Tampilan *software HOMER Energy*

Alur Kegiatan

A. Survei Lokasi

Langkah pelaksanaan kegiatan ini diawali dengan Survei di lokasi untuk mendapatkan data dan informasi primer terkait lokasi PLTMH.

B. Pengukuran dan pengambilan data

1. Kecepatan Aliran

Metode yang dipakai untuk pengukuran kecepatan aliran air adalah metode *float*. Metode *float* adalah metode sederhana untuk mengukur kecepatan air dengan menggunakan pelampung, dimana sebuah benda apung diapungkan sampai dengan jarak tertentu dan dicatat waktu tempuhnya [4]. Berdasarkan Direktorat Jenderal EBTKE Kementerian ESDM [5], rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran air adalah sebagai berikut :

$$V = L/T \quad (1)$$

Dimana;

V : kecepatan aliran air (m/s)

L : panjang lintasan (m)

T : waktu tempuh (s)



Gambar 3. Pengukuran panjang lintasan

2. Luas Penampang Aliran Air

Luas penampang diperoleh dengan mengukur lebar aliran dan kedalaman aliran air. Rumus yang digunakan untuk menghitung luas adalah:

$$A = B \cdot H \quad (2)$$

Dimana;

A : luas penampang (m^2)

B : lebar aliran (m)

H : kedalaman aliran air (m)



Gambar 4. Pengukuran lebar aliran air

3. Debit Aliran Air

Debit aliran air dapat dihitung dengan metode luasan-kecepatan yaitu dengan mengalikan luas penampang dengan kecepatan aliran air dan faktor koreksi (c).

$$Q = A \cdot V \cdot c \quad (3)$$

Menurut Sulistyono [6], faktor koreksi berdasarkan jenis salurannya adalah sebagai berikut :

- a. saluran beton, persegi panjang, mulus $c = 0,85$
- b. sungai luas, tenang, aliran bebas ($>10m^2$) $c = 0,75$
- c. sungai dangkal, aliran bebas ($<10 m^2$) $c = 0,65$
- d. dangkal ($<0,5 m$), aliran turbulen $c = 0,45$
- e. sangat dangkal ($<0,2 m$), aliran turbulen $c = 0,25$

4. Tinggi Jatuh Air (*head*)

Menurut Murtaglo, dkk [7], pengukuran *head* dapat menggunakan bantuan *google maps* koordinat dan *google earth*. *Google maps* koordinat digunakan untuk mendapatkan titik koordinat lokasi penstok bagian atas dan titik koordinat lokasi turbin. *Google earth* digunakan untuk mendapatkan profil ketinggian (elevasi). Prinsip pengukuran ini yaitu beda ketinggian elevasi antara elevasi di lokasi penstok atas dengan elevasi lokasi turbin.

5. Efisiensi

Efisiensi disini adalah efisiensi dari turbin, generator dan transmiter.

6. Beban listrik harian

Beban listrik harian didapatkan dari survei secara langsung ke rumah warga, namun tidak semua rumah didata. Hanya di ambil 10 sampel dari 37 rumah secara acak.

7. Biaya

Biaya yang dimaksud disini adalah biaya keseluruhan dalam pembuatan sistem PLTMH. Seperti harga turbin, generator, komponen-komponen elektrik, biaya sipil, biaya operasional dan pemeliharaan.

C. Analisis Data

Setelah pengukuran dan pengambilan data, langkah selanjutnya data hasil di analisis. Ada dua tahap analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu perhitungan potensi daya secara teoritis dan simulasi menggunakan *software HOMER Energy*.

1. Daya teoritis

Daya teoritis yang terbangkitkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = g \times Q \times h \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_{tr} \quad (4)$$

Dimana η_t = efisiensi turbin, η_g = efisiensi generator, η_{tr} = efisiensi transmiter [7].

2. *Software HOMER Energy*

HOMER Energy mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik independen dan terhubung ke jaringan yang dapat ditenagai oleh pembangkit listrik mikrohidro, energi biomassa, turbin angin, pembangkit listrik *fotovoltaik*, energi biomassa, generator (diesel/bensin), sel bahan bakar turbin mikro, baterai dan hidrogen [8]. Ekonomi merupakan pemegang peranan penting dalam simulasi *HOMER*, dimana dalam prosesnya menggunakan nilai *Net Present Cost* terendah. Dalam optimasi akan diperhitungkan semua biaya termasuk biaya siklus hidup peralatan dan biaya lainnya. Output dari simulasi *HOMER* adalah *Optimal system*, *Net Present Cost* dan *Cost of Energy* [9].

• Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi disini dibagi menjadi dua aspek, yaitu pembiayaan dan kelayakan investasi.

1. Aspek pembiayaan

a. *Levelized Cost of Energy (LCoE)*

LCoE merupakan rata-rata biaya per kWh penggunaan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem. Menurut Hakim [10], perhitungan *LCoE* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$LCoE = \sum_{t=n}^n \frac{\frac{LCC}{(1+r)^t}}{\frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (5)$$

Dimana;

$LCoE$ = harga energi listrik (per kWh)

LCC = biaya sistem keseluruhan

Et = total pembangkitan energi listrik

r = tingkat suku bunga (%)

t = usia pakai sistem (tahun)

b. Life cycle cost (LCC)

Life cycle cost (LCC) adalah metode ekonomi untuk mengevaluasi dan menghitung keseluruhan biaya total yang dikeluarkan dalam pembangunan suatu proyek. *LCC* meliputi biaya modal, operasi dan pemeliharaan, biaya penggantian alat di masa mendatang dan nilai jual kembali [11]. Perhitungan *LCC* dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$LCC = IC + SV + NFOMC + NRC \quad (6)$$

Dimana;

LCC = nilai biaya keseluruhan sistem

IC = nilai biaya investasi awal sistem

SV = biaya pemasangan sistem dan pergantian komponen

$NFOMC$ = biaya operasi dan pemeliharaan

NRC = biaya lain diluar bahan bakar dan pemeliharaan

2. Aspek Kelayakan Investasi

Aspek ini merupakan langkah untuk menganalisis mengenai kelayakan sebuah proyek, jika di beri investasi akan mengalami kerugian atau keuntungan. Berapa metode yang dapat digunakan dalam analisis kelayakan investasi adalah sebagai berikut:

a. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) merupakan jumlah total dari pendapatan yang diperoleh selama periode pemakaian, dikurangi dengan total dari semua biaya yang dikeluarkan masa pakai. Biaya tersebut juga termasuk biaya modal investasi, biaya operasional dan pemeliharaan (O & M), biaya penggantian denda emisi dan lain lain-lain [12]. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung total NPV:

$$NPV = \frac{(B_n - C_n)}{(1+r)^n} \quad (7)$$

Dimana, B_n = pendapatan periode n , C_n = biaya pada periode n , r = tingkat diskon (*discount rate*), n = periode yang terakhir dimana *cashflow* diharapkan. Kriteria dalam penilaian hasil perhitungan dar parameter *NPV* terhadap proyek adalah sebagai berikut:

1. Jika $NPV > 0$, maka investasi yang dilakukan dapat memberikan keuntungan dan proyek tersebut dapat dijalankan
2. Jika $NPV < 0$, maka investasi yang dilakukan akan mengalami kerugian
3. Jika $NPV = 0$, maka investasi tidak akan mendapatkan keuntungan maupun kerugian jika proyek dijalankan [13].

b. Waktu Pengembalian investasi (*Payback Period*)

Payback period (PBP) merupakan waktu yang dibutuhkan proyek yang dikerjakan untuk pengembalian biaya investasi atau modal. Biaya modal awal keseluruhan sistem dibagi dengan pendapatan yang dihasilkan oleh pembangkit dalam setahun merupakan cara mendapatkan nilai *payback period*. Rencana investasi dikatakan layak pada *payback period* jika $k \leq n$ (dimana k merupakan jumlah periode pengembalian dan n adalah masa periode investasi. Menurut Sugirianta, dkk[14], perhitungan PBP dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Payback Period}(t) = \frac{\text{biaya investasi}}{\text{pendapatan per tahun}} \quad (8)$$

c. *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR yaitu metode analisis investasi untuk mendapatkan tingkat bunga yang menyamakan total nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas yang diharapkan dengan total dengan total nilai yang digunakan sebagai modal. Proyek layak diterima dan dilanjutkan apabila nilai *IRR* lebih besar daripada suku bunga yang diberikan oleh bank [8]. Menurut Sugirianta, dkk [14], *IRR* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$IRR = i^1 + \left\{ \frac{NPV^1}{NPV^1 - NPV^2} (i^1 - i^2) \right\} \quad (9)$$

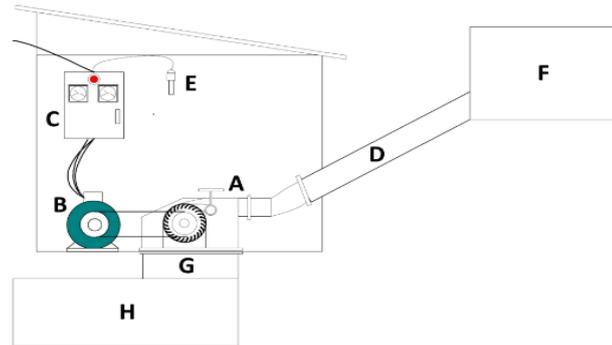
Dimana; i^1 = tingkat suku bunga bank acuan (%), i^2 = tingkat suku bunga yang bisa menghasilkan nilai positif *NPV* (%), i^2 = tingkat suku bunga yang bisa menghasilkan nilai negatif *NPV* (%), NPV^1 = nilai positif net *present value*, NPV^2 = nilai *negative net present value*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desa suci merupakan salah satu Desa yang berada di Kecamatan Panti Kabupaten Jember. Desa Suci terdiri dari 3 Dusun yaitu Dusun Glundengan, Dusun Glengseran dan Dusun Gaplek. Di Dusun Glundengan inilah terdapat sebuah kawasan Perkebunan Sentool. Perkebunan Sentool merupakan kawasan perkebunan, agro industri dan agro wisata. Luas dari perkebunan Sentool yaitu sebesar 537,47 Ha dan berada di kaki Gunung Argopuro dengan kemiringan tanah antara 1-40 %.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Secara teknis, PLTMH tersusun dari tiga komponen utama yaitu air, turbin dan generator. Air yang mengalir dari ketinggian tertentu dengan kapasitas tertentu mengalir melalui pipa pesat (penstok) yang akan menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi mekanik berupa berputarnya turbin. Perputaran turbin tersebut akan menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik [15]. Sedangkan secara umum PLTMH terdiri dari beberapa komponen seperti bendungan, saluran terbuka, bak penenang, penstok, *power house* dan jaringan kabel [7].



Gambar 5. Desain PLTMH

Perhitungan Potensi Daya Secara Teoritis

Kegiatan ini dimulai dengan pengukuran lebar, kedalaman dan luas penampang aliran air. Hasil pengukuran lebar aliran air didapatkan sebesar 0,5 m dan lebar aliran ini adalah tetap, karena aliran ini berbentuk kotak. Bentuk aliran Air ini dapat dilihat pada gambar 3 dan 4. Hasil pengukuran kedalaman dan Luas penampang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan luas penampang

No	Tanggal	Lebar Aliran (m)	Kedalaman(m)	Luas Penampang (m ²)
1	Januari 2022	0,500	0,400	0,200
2	April 2022	0,500	0,410	0,205
3	Mei 2022	0,500	0,390	0,195
4	Juni 2022	0,500	0,310	0,155
5	Juli 2022	0,500	0,180	0,090
6	Agustus 2022	0,500	0,180	0,090

Pengukuran kecepatan aliran air dilakukan selama 6 bulan dan data yang ditampilkan merupakan data rata-rata. Hasil pengukuran kecepatan aliran air menggunakan metode float dapat dilihat pada tabel 2. Perhitungan kecepatan aliran air.

Tabel 2. Perhitungan kecepatan aliran air

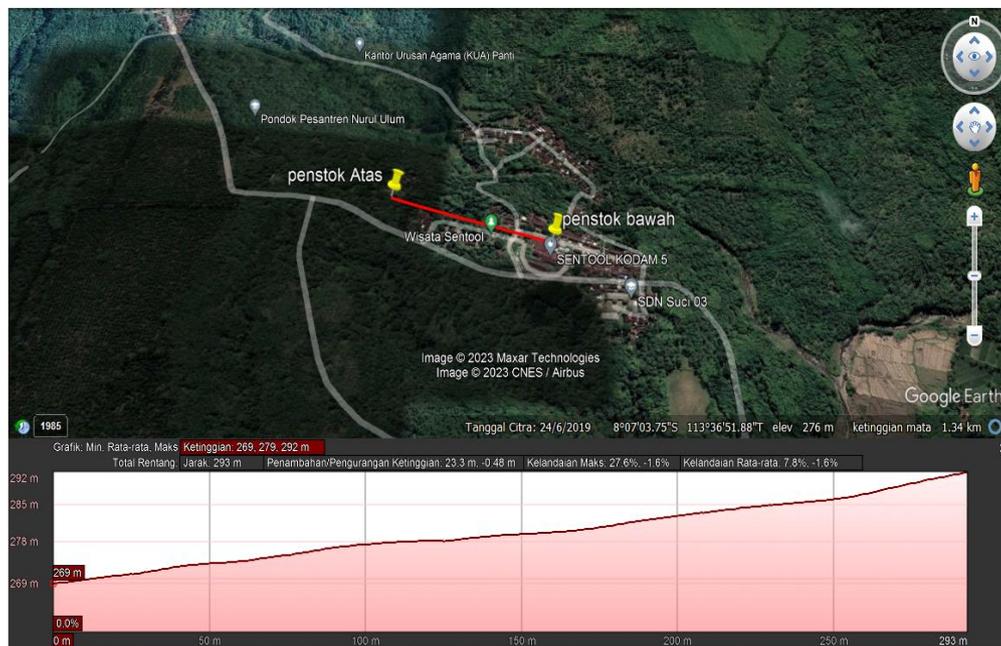
No	Tanggal	Waktu (s)	Panjang lintasan (m)	Kecepatan (m/s)
1	Januari 2022	3,875	8	2,065
2	April 2022	3,499	8	2,286
3	Mei 2022	3,641	8	2,197
4	Juni 2022	3,839	8	2,084
5	Juli 2022	4,364	8	1,833
6	Agustus 2022	4,520	8	1,770

Dari tabel 2 terlihat bahwa kecepatan aliran air tertinggi adalah sebesar 2,286 m/s, dengan panjang lintasan 8 meter. Sedangkan kecepatan aliran air terendah yaitu sebesar 1,770 m/s. Debit aliran air dapat dihitung berdasarkan metode luasan kecepatan yaitu dengan mengalikan luas penampang dan kecepatan aliran air. Diperoleh hasil seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan debit aliran air

No	Tanggal	Luas Penampang (m ²)	Kecepatan Aliran (m/s)	Faktor Koreksi	Debit (m ³ /s)
1	Januari 2022	0,200	2,065	0,85	0,351
2	April 2022	0,205	2,286	0,85	0,398
3	Mei 2022	0,195	2,197	0,85	0,364
4	Juni 2022	0,155	2,084	0,85	0,275
5	Juli 2022	0,090	1,833	0,85	0,140
6	Agustus 2022	0,090	1,770	0,85	0,135
Rata-rata					0,277

Debit perlu dikoreksi dengan faktor kekasaran sungai, Kekasaran sungai harus diperhitungkan dalam metode ini. Perhitungan debit air ini menggunakan nilai faktor koreksi saluran beton, persegi panjang dan mulus ($c = 0,85$). Dari tabel 3 terlihat bahwa debit tertinggi adalah sebesar 0,398 m³/s, debit terendah sebesar 0,135 m³/s dan debit rata-rata adalah sebesar 0,277 m³/s. Pengukuran tinggi jatuh air (*head*) dilakukan dengan menggunakan *software google earth* seperti pada gambar 6. Pengukuran *head*



Gambar 6. Pengukuran *head*

Berdasarkan gambar 6 diketahui bahwa tinggi maksimum (penstok atas) adalah 292 meter dan tinggi minimum (penstok bawah) sebesar 169 meter. *Head* dapat dihitung dengan mengurangkan tinggi maksimum dengan tinggi minimum dan didapatkan hasil sebesar 23 meter (*head* aktual). Sedangkan *head* yang dibutuhkan untuk menghitung potensi daya adalah *head* efektif. *Head* efektif yaitu *head* aktual dikurangi dengan rugi *head* (10 % *head* aktual), sehingga diperoleh nilai *head* efektif sebesar 20,7 meter.

Dari hasil mengurangkan perhitungan bahwa besar potensi daya bergantung pada *head* dan debit. Hasil perhitungan potensi daya ditampilkan dalam bentuk tabel seperti pada tabel 4. Perhitungan potensi daya.

Tabel 4. Perhitungan potensi daya

No	Tanggal	Debit (m ³ /s)	Head (m)	Gravitasi (m/s ²)	Efisiensi Total	Daya Terbangkitkan (kW)
1	Januari 2022	0,351				46,80
2	April 2022	0,398				53,12
3	Mei 2022	0,364				48,56
4	Juni 2022	0,275	20,7	9,8	0,66	36,61
5	Juli 2022	0,140				18,70
6	Agustus 2022	0,135				18,05
Rata-rata						37,13

Dari tabel 4 terlihat bahwa potensi daya secara teoritis bergantung pada besar debit aliran air. Efisiensi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah efisiensi turbin sebesar 70 %, generator sebesar 88 % dan transmiter sebesar 97 %. Potensi daya maksimum secara teoritis adalah sebesar 53,12 kW.

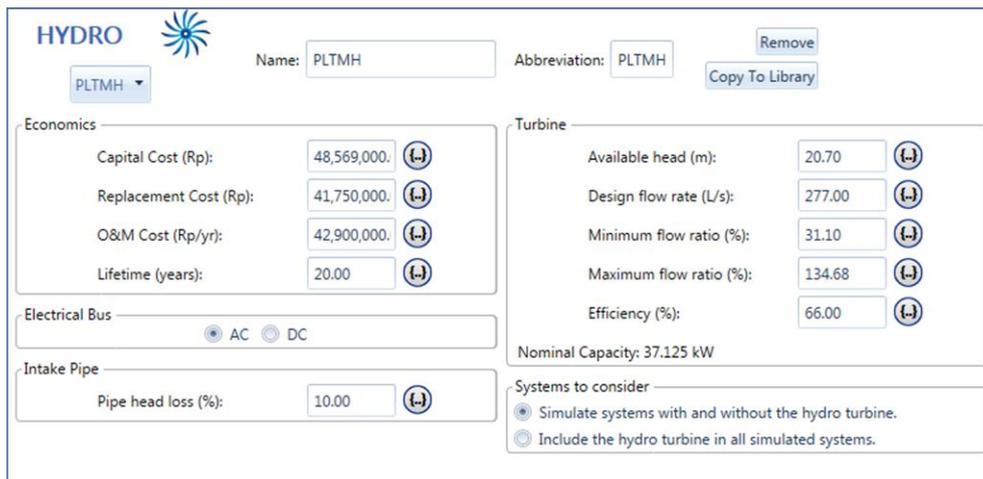
Simulasi *Software HOMER Energy*

Simulasi menggunakan *software HOMER Energy* diawali dengan pemilihan lokasi sistem PLTMH. Dilanjutkan dengan menentukan profil beban. Profil beban dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Profil beban listrik

Profil beban listrik tersebut didapatkan dari survei secara langsung ke rumah warga setempat, namun tidak semua rumah didata. Hanya di ambil 10 sampel dari 37 rumah secara acak. Selanjutnya memasukkan data *hydro* seperti pada gambar 8.



HYDRO Remove

Name: PLTMH Abbreviation: PLTMH Copy To Library

Economics

Capital Cost (Rp): 48,569,000.00

Replacement Cost (Rp): 41,750,000.00

O&M Cost (Rp/yr): 42,900,000.00

Lifetime (years): 20.00

Electrical Bus

AC DC

Intake Pipe

Pipe head loss (%): 10.00

Turbine

Available head (m): 20.70

Design flow rate (L/s): 277.00

Minimum flow ratio (%): 31.10

Maximum flow ratio (%): 134.68

Efficiency (%): 66.00

Nominal Capacity: 37.125 kW

Systems to consider

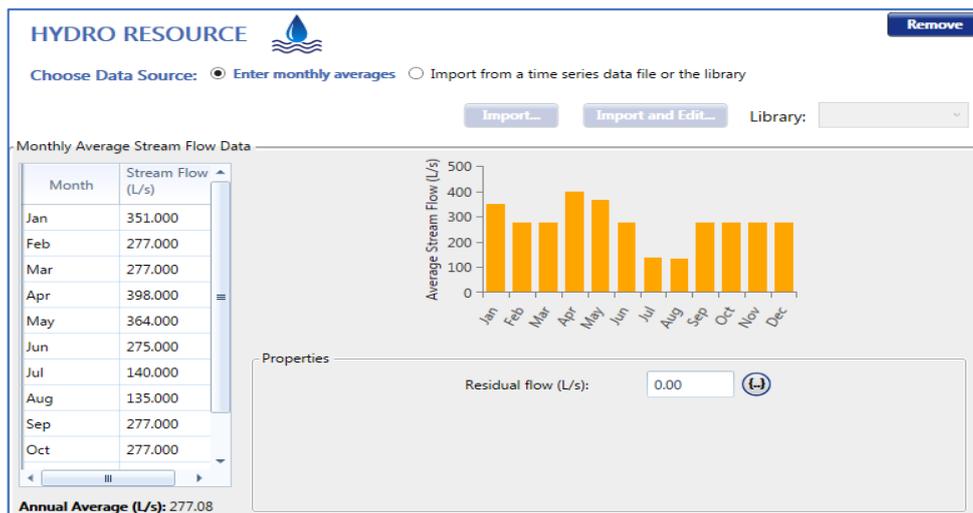
Simulate systems with and without the hydro turbine.

Include the hydro turbine in all simulated systems.

Gambar 8. Bagian *Hydro*

Pada bagian hidro ada 2 inputan yaitu ekonomi dan turbin, dimana pada bagian ekonomi dibutuhkan harga modal komponen (seperti harga turbin generator dan instalasi), biaya pergantian, biaya operasional & pemeliharaan dan usia pakai komponen. Biaya modal komponen sebesar Rp 48.569.000, biaya pergantian sebesar Rp 41.750.000, biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 42.900.000 dan dengan usia pakai selama 20 tahun. Bagian turbin inputan yang di perlukan adalah *head*, debit desain, rasio debit minimum, rasio debit maksimum dan efisiensi. *Head* yang digunakan pada simulasi yaitu *head* efektif sebesar 20,7 m dengan debit desain sebesar 0,277 m³, rasio debit maksimum sebesar 134,68 %, rasio debit minimum sebesar 31,10 % dan dengan efisiensi sebesar 66 %.

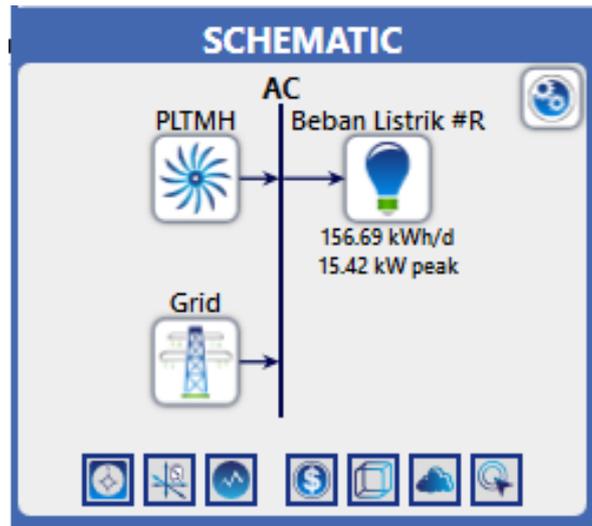
Selanjutnya pada bagian *hydro resource* dimasukkan data debit yang telah didapatkan dari hasil pengukuran seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Input *Hydro Resource*

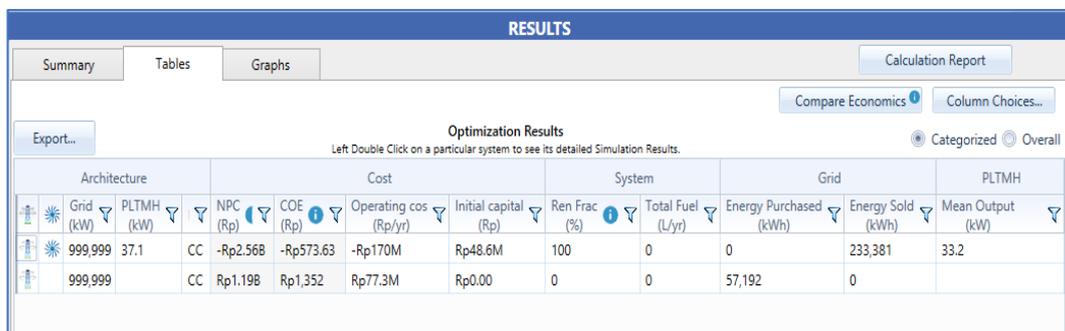
Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa pada bagian ini dibutuhkan data debit selama 12 bulan. Data debit yang didapatkan hanya 6 bulan karena pengabdian ini hanya berlangsung selama 6 bulan dan tidak ada catatan debit dari sumber lain sedangkan aliran air mengalir sepanjang tahun. Oleh karena itu data debit yang belum ada dimasukkan data debit rata-rata.

Setelah semua komponen dimasukkan maka didapatkan skema sistem PLTMH seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Skema sistem PLTMH

Hasil optimasi menggunakan *software HOMER Energy* dapat dilihat pada gambar 11.



RESULTS											
Architecture		Cost				System		Grid		PLTMH	
Grid (kW)	PLTMH (kW)	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cos (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Mean Output (kW)	
999,999	37.1	-Rp2.568	-Rp573.63	-Rp170M	Rp48.6M	100	0	0	233,381	33.2	
999,999		Rp1.198	Rp1,352	Rp77.3M	Rp0.00	0	0	57,192	0		

Gambar 11. Tampilan hasil optimasi sistem PLTMH

Gambar 11 menunjukkan hasil optimasi konfigurasi sistem PLTMH on grid dan Grid saja. Parameter-parameter yang dibutuhkan seperti data profil beban, data debit, pemilihan jenis turbin, komponen grid dan *economic*. Tabel 5 menunjukkan konfigurasi sistem PLTMH.

Tabel 5. Konfigurasi sistem PLTMH

No.	Parameter	Nilai
1	Kapasitas Mikrohidro	37,1 kW
2	Biaya Modal	Rp 48.569.000
3	Biaya Operasional	Rp -169.848.000
4	NPC	Rp -2.557.215.000
5	LCoE	Rp -573,63
6	Penjualan Energi	233.573 kWh/tahun

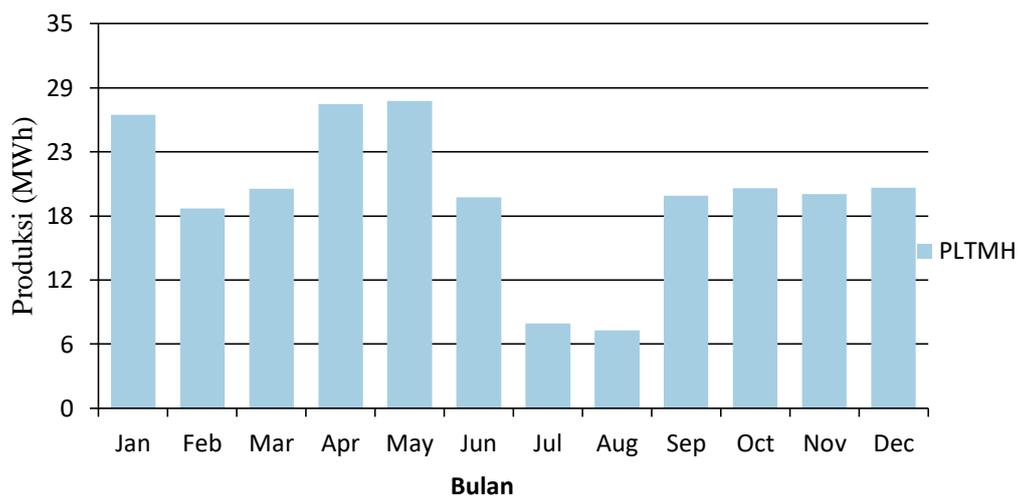
Simulasi menggunakan *software HOMER Energy* menghasilkan konfigurasi sistem PLTMH seperti pada (gambar 10; tabel 5), Kapasitas PLTMH dari hasil simulasi adalah 37,1 kW dengan biaya modal sebesar 48.569.000 dan biaya operasional Rp -169.848.000. Adapun nilai *Net Present Cost (NPC)* selama masa pakai 20 tahun adalah sebesar Rp -2.557.215.000 dan *Levelized Cost of Energi sebesar (LCoE)* sebesar Rp -573,63. PLTMH dalam setahun dapat memproduksi listrik sebesar 290.573 kWh dengan pemakaian beban primer sebesar 57.192 kW dan penjualan ke jaringan sebesar 233.381 kWh

Simulasi pada *HOMER Energy* bagian elektrik yaitu produksi dan konsumsi energi listrik per tahun. Hasil produksi dan konsumsi energi listrik tahunan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. konsumsi energi tahunan

Komponen	Pemakaian (kWh/tahun)	Persen
Beban Primer	57.192	19,7
Penjualan Energi	233.381	80,3
Total (produksi)	290.573	100

Tabel 6. menunjukkan konsumsi atau pemakaian energi listrik dalam setahun yaitu 19,7 % pemakaian beban utama dan 80,3 % penjualan ke grid. Sedangkan produksi energi listrik yaitu sebesar 290.573 kWh per tahun dan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Produksi energi listrik per bulan

Hasil kalkulasi dalam aspek ekonomi menggunakan *software HOMER Energy* disajikan dalam bentuk tabel yaitu tabel 7.

Tabel 7. Penjualan energi listrik

Bulan	Penjualan Energi (kWh)	Nominal (Rp)
Januari	26.710	24.348.402,95
Februari	18.194	16.585.730,10
Maret	19.955	18.190.905,36
April	27.680	25.232.395,86
Mei	27.952	25.480.418,54
Juni	19.176	17.480.826,65
Juli	7.737	7.053.252,73
Agustus	7.095	6.468.043,34
September	19.349	17.638.789,39
Oktober	20.009	18.240.063,20
November	19.473	17.751.036,66
Desember	20.051	18.278.122,70
Keuntungan		Rp 212.747.987,50
NPV		Rp 3.743.500.000

Tabel 7 menunjukkan hasil simulasi menggunakan *software HOMER Energy* dalam aspek ekonomi. Hasil simulasi menampilkan jumlah pembelian dan penjualan energi listrik dalam satu tahun. Penjualan energi ke jaringan dihargai sebesar Rp 911,59/kWh, sedangkan pembelian energi dari jaringan untuk rumah tangga golongan tarif R1 sebesar Rp 1.352/kWh. Seperti pada tabel diketahui bahwa keuntungan penjualan listrik dalam 1 tahun adalah sebesar Rp 212.747.987,50. Nilai NPV yang diperoleh dari simulasi ini adalah sebesar Rp 3.743.500.000.

SIMPULAN

Analisa Potensi Daya dan Optimasi PLTMH Sistem PLTMH di Perkebunan Sentool berdasarkan survei dan pengambilan data selama kegiatan pengabdian masyarakat di kawasan Perkebunan Sentool menghasilkan:

1. Potensi daya terbangkitkan paling besar adalah 53,12 kWh dengan debit 0,398 m³/s dan paling kecil yaitu 18,05 kWh dengan debit 0,135 m³/s.
2. Simulasi menggunakan *software HOMER Energy* menghasilkan konfigurasi sistem PLTMH dengan estimasi biaya modal sebesar Rp 48.600.000, biaya operasional dan perawatan 42.900.000 per tahun, NPC sebesar Rp -2.557.215.000, LCoE sebesar Rp -573,63. PLTMH berkapasitas 37,1 kW dengan produksi per tahun 290.573 kW, mendapatkan keuntungan Rp 212.747.987,50 dari penjualan energi.
3. Hasil dari debit air, tinggi jatuh air dan daya yang terbangkitkan, maka aliran air di Perkebunan Sentool secara teknis layak untuk dibangun pembangkit tenaga listrik mikrohidro (PLTMH).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gustina, "Studi potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh) pada aliran hulu sungai deli," Universitas Sumatera Utara, 2020.
- [2] V. Dwiyanto, "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)," Universitas Lampung, 2016.
- [3] T. A. Akbar, "Analisa Pengaruh Ketinggian Dan Debit Air Terhadap Output Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Pembangkit Mikrohidro (Pltmh) Desa Girikerto," 2018.
- [4] S. Ointu, F. E. P. Surusa, and M. Zainuddin, "Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berdasarkan Potensi Air yang Ada di Desa Pinogu," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 30–38, 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i2.4618.
- [5] Direktorat Jenderal EBTKE Kementerian ESDM, "Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)." Kementerian ESDM, Jakarta, 2019.
- [6] Sulistiyono, A. Sugiri, and A. Y. E. Risano, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Sungai Cikawat Desa Talang Mulia Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung," *J. Ilm. Tek. Mesin FEMA*, vol. 1, no. 1, pp. 48–54, 2013, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/97699/studi-potensi-pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro-pltmh-di-sungai-cikawat-desa>.
- [7] I. Murtadlo, T. Wruhatnolo, subuh isnur Haryudo, and M. Widyartono, "Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) di Embung Kuniran Kecamatan Sine Kabupaten Ngawi," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 783–791, 2021, [Online]. Available: <http://jurtek.akprind.ac.id/bib/rancang-bangun-website-penyedia-layanan-weblog>.
- [8] M. Habibi, "Analisis Perbandingan Ekonomis dan Elektris pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Homer di PLTH Bantul Yogyakarta," *Skripsi Tek. Elektro*, 2013.
- [9] S. Kanata, "Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 2, 2015, doi: 10.17529/jre.v11i2.2288.

- [10] A. R. Hakim, W. Sarwono, and L. Assadad, "Perancangan Sistem Photovoltaic untuk Mesin Pembuat Es di Pelabuhan Perikanan Sadeng," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 2, pp. 228–235, 2018, doi: 10.22146/jnteti.v7i2.427.
- [11] A. K. Shukla, K. Sudhakar, and P. Baredar, "Design, simulation and economic analysis of standalone roof top solar PV system in India," *Sol. Energy*, vol. 136, pp. 437–449, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.07.009.
- [12] D. N. T. Budiantara, I. N. S. Kumara, and I. A. . Giriantari, "Redesain Dan Analisa Kelayakan PLTMH 25 KW Desa Susuan Karangasem Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 18, no. 3, p. 303, 2019, doi: 10.24843/mite.2019.v18i03.p02.
- [13] Ismail and Supriono, "Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun," *J. ELKHA*, vol. 5, no. 1, pp. 31–40, 2013.
- [14] I. B. . Sugirianta, I. A. . Giriantari, and I. N. S. Kumara, "Economic Analysis of Solar Electricity Rates using the Life Cycle Cost Method (Analisa Keekonomian Tarif Penjualan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 MWp Bangli Dengan Metode Life Cycle Cost)," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 121–126, 2016.
- [15] S. Sukamta and A. Kusmanto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur," *J. Tek. Elektro Unnes*, vol. 5, no. 2, pp. 58–63, 2013, doi: 10.15294/jte.v5i2.3555.