

Analisis dan Simulasi Perancangan PLTMH Menggunakan *Software* HOMER-Pro di Sungai Damar

Maulana Fadhilah Gunawan^{1*}, Difa Raditya Dwitama¹, Arnisa Stefanie¹

¹*Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang*

*2210631160011@student.unsika.ac.id

Abstrak— Peningkatan kebutuhan energi listrik menuntut penggunaan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu solusi yang potensial untuk wilayah pedesaan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), yang memanfaatkan energi potensial air untuk menghasilkan listrik tanpa emisi karbon secara terus-menerus. Penelitian ini menganalisis dan menyimulasikan rancangan PLTMH di Sungai Damar, Kabupaten Kendal, menggunakan perangkat lunak HOMER-Pro untuk menilai kelayakan teknis dan ekonominya. Metode penelitian mencakup studi literatur debit air, perancangan beban dan sistem suplai mikrohidro, perancangan turbin dan generator berdasarkan potensi daya yang dihitung, serta analisis biaya yang sudah diperhitungkan. Data debit andalan (Q80) sebesar 1.259,88 L/s dan tinggi jatuh efektif 0,3734 meter menghasilkan daya bersih 2,95 kW dengan efisiensi 64%. Simulasi menunjukkan PLTMH dapat beroperasi sepanjang 8.760 jam per tahun, menghasilkan energi tahunan sebesar 27.879 kWh dengan tingkat pemenuhan kebutuhan energi mencapai 100%. Analisis ekonomi menunjukkan biaya energi rata-rata (LCOE) sebesar Rp53,05/kWh dan biaya proyek total (NPC) sebesar Rp30.802.740,00. Sistem ini juga menghasilkan surplus energi tahunan sekitar 25.287 kWh yang dapat diekspor ke jaringan PLN. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa PLTMH di Sungai Damar layak secara teknis dan ekonomis, serta berpotensi menjadi solusi energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan di Kabupaten Kendal.

Kata Kunci—Energi Terbarukan, Mikrohidro, PLTMH, Sungai Damar, HOMER-Pro.

DOI: 10.22441/jte.2026.v17i1.010

I. PENDAHULUAN

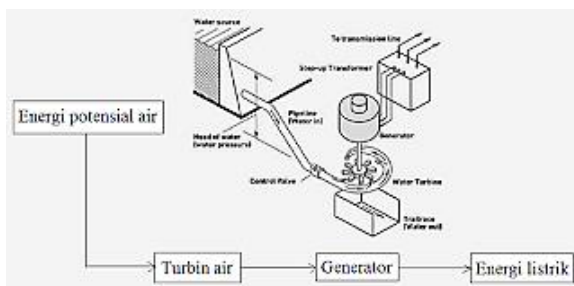
Pemenuhan kebutuhan energi listrik merupakan faktor utama dalam pembangunan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat dan peningkatan kualitas hidup masyarakat, permintaan terhadap energi listrik terus mengalami peningkatan yang signifikan setiap tahunnya. Sektor industri, komersial, dan rumah tangga menjadi penyumbang utama konsumsi energi yang semakin tinggi, sehingga menuntut tersedianya pasokan listrik yang andal dan berkelanjutan. Saat ini sebagian besar penyediaan energi listrik masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti batu bara, minyak, dan gas. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang terbatas berdampak negatif seperti keterbatasan cadangan energi, fluktuasi harga bahan bakar, hingga dampak lingkungan seperti emisi gas rumah kaca, polusi, dan perubahan iklim.

Berdasarkan data Dewan Energi Nasional (DEN) pada tahun 2023, penggunaan energi masih sangat bertumpu pada sumber energi konvensional. Batubara mendominasi dengan kontribusi

40,46%, diikuti minyak bumi 30,18%, dan gas bumi 16,28% [1]. Oleh karena itu, pengembangan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan harus menjadi prioritas utama untuk mengurangi permasalahan yang timbul dari penggunaan energi fosil dalam sektor ketenagalistrikan nasional. Salah satu penggunaan energi terbarukan adalah penggunaan sumber daya air atau sumber daya hidro. Indonesia sebagai negara maritim dan kepulauan tentunya memiliki sumber daya air yang melimpah dan bagus dimanfaatkan sebagai energi terbarukan.

Salah satu pemanfaatan energi air adalah pembuatan PLTMH atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan ketinggian dan aliran air dari sumber seperti air terjun, sungai, atau saluran irigasi alami untuk menghasilkan listrik. Air yang dialirkan dari elevasi tertentu dengan debit yang cukup akan memutar turbin yang terhubung dengan generator listrik, sehingga menghasilkan tenaga listrik. Pada dasarnya, PLTMH mengubah energi potensial dari jatuhnya air (*head*) menjadi energi listrik [2]. PLTMH memiliki peluang yang sangat besar untuk diterapkan di wilayah pedesaan, karena di pedesaan umumnya memiliki sumber daya air yang cukup melimpah dan debit air yang memadai untuk dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Potensi PLTMH ini mampu menghasilkan daya listrik dengan kapasitas yang bervariasi, biasanya berkisar antara 5 hingga 100 kilowatt [3]. Kapasitas ini sangat sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di tingkat desa atau komunitas kecil, sehingga dapat mendukung aktivitas sehari-hari masyarakat setempat.

Secara teknis, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber air, turbin, dan generator [4]. Turbin adalah komponen krusial dalam PLTMH yang berfungsi menangkap energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi gerakan putar berupa energi mekanik. Putaran yang dihasilkan oleh turbin ini kemudian dihubungkan dengan generator untuk proses produksi listrik. Jenis generator yang dipakai biasanya adalah generator listrik bolak-balik (AC). Dalam pemilihan kapasitas generator, penentuan daya listrik yang mampu dihasilkan disesuaikan berdasarkan hasil perhitungan daya yang diperoleh dari data survei lapangan. Kapasitas generator ini umumnya diukur dalam satuan Volt Ampere (VA) atau kilo Volt Ampere (kVA) [5]. Energi listrik pada PLTMH diperoleh dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu atau yang dikenal sebagai *head*. Pada prinsipnya, PLTMH memanfaatkan energi potensial dari jatuhnya air akibat perbedaan elevasi. Semakin tinggi ketinggian jatuhnya air tersebut, maka energi potensial yang terkandung juga semakin besar, sehingga dapat diubah menjadi energi listrik dengan efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 1. Skema PLTMH

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter debit andalan dan *head* merupakan faktor dominan dalam menentukan daya terbangkit pada PLTMH. Sofyan dan Sudana (2022) melaporkan bahwa debit andalan sebesar 1,3174 m³/s dengan *head* 6 m menghasilkan daya generator sebesar 66,22 kW [6]. Likadja dkk. (2020) menyimpulkan bahwa sistem PLTMH dapat beroperasi secara stabil dan layak diterapkan apabila perancangan dilakukan secara tepat, dengan rugi daya yang relatif kecil [7]. Selain itu, Dimiyati (2021) menyatakan bahwa PLTMH skala kecil dengan kapasitas di bawah 20 kW sangat sesuai diterapkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pedesaan karena dapat memanfaatkan sumber daya air lokal yang tersedia secara kontinu [8]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada analisis potensi teknis berdasarkan perhitungan teoritis, sedangkan analisis sistem secara menyeluruh yang mencakup simulasi operasi tahunan, estimasi produksi energi, surplus energi yang berpotensi diekspor ke jaringan, serta evaluasi ekonomi menggunakan parameter seperti *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost of Energy* (COE) masih terbatas.

Salah satu tempat yang bisa dimanfaatkan untuk merancang PLTMH adalah di Sungai Damar yang terletak di Desa Gebangan, Kecamatan Pageruyung, Kabupaten Kendal. Kabupaten Kendal menyimpan potensi besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Di wilayah tersebut terdapat beberapa sungai yang berpotensi dimanfaatkan, salah satunya adalah Sungai Damar yang terletak di Desa Gebangan. Sungai Damar memiliki daerah aliran sungai (DAS) seluas kurang lebih 29,93 km² dengan total panjang aliran mencapai 48 km. Sungai Damar memiliki potensi besar untuk dirancangnya PLTMH karena letak geografisnya yang strategis dan debit airnya yang cukup besar. Penelitian oleh Abu Abdillah Muhammad dan Muhamad Haddin (2025) juga menunjukkan bahwa Sungai Damar memiliki potensi PLTMH yang besar berdasarkan hasil perhitungan debit dan *head* yang menghasilkan daya terpasang dalam skala ratusan kilowatt [1].



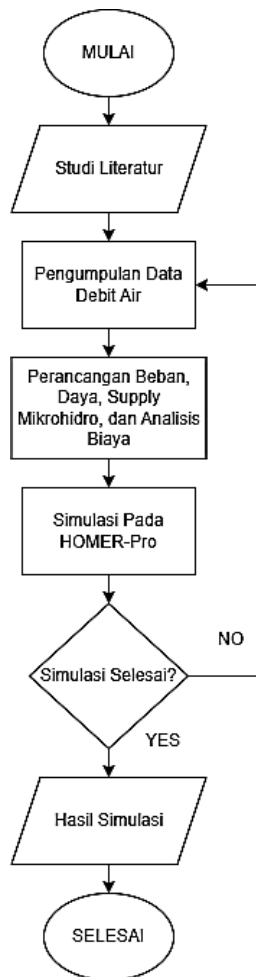
Gambar 2. Desa Gebangan

Pada penelitian ini membahas mengenai perancangan dan simulasi mengenai PLTMH pada di Sungai Damar. Penelitian ini mencakup analisis debit air, analisis potensi daya yang dihasilkan dari PLTMH berdasarkan debit air, dan analisis beban dan biaya yang dikeluarkan dalam merancang PLTMH di Sungai Damar. Desain dan Perancangan dibuat pada *Software HOMER-Pro* yang merupakan model optimasi pembangkit listrik berdasarkan data debit air, data beban, dan data biaya yang telah dirancang.

Kebaruan dari penelitian ini tidak terletak pada pengembangan metode simulasi, melainkan pada penerapan studi perancangan PLTMH yang bersifat spesifik lokasi di Sungai Damar, yang hingga saat ini belum banyak dikaji. Penelitian ini menyajikan analisis teknis dan ekonomi sebagai dasar awal (*baseline*) perencanaan sistem PLTMH skala kecil untuk mendukung elektrifikasi wilayah terpencil. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal bagi pengembangan PLTMH serupa di daerah dengan karakteristik sumber daya air yang sebanding.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan studi literatur. Studi literatur yang digunakan meliputi mengumpulkan beberapa data seperti data debit air dari peneliti sebelumnya di Sungai Damar, perancangan beban dan supply mikrohidro yang akan digunakan dalam pembuatan simulasi PLTMH, perancangan analisis biaya yang mungkin dikeluarkan dalam perancangan simulasi, dan simulasi menggunakan software HOMER-Pro jika semua data sudah dikumpulkan. Berikut merupakan diagram alir dari penelitian yang dilakukan :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Data debit air didapatkan dari studi literatur dari penelitian yang dilakukan oleh Abu Abdillah Muhammad dan Muhamad Haddin (2025) di Sungai Damar. Data yang diperoleh merupakan data debit rata-rata bulanan Sungai Damar selama 10 tahun dari 2010 sampai dengan 2020 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Kendal. Berikut merupakan data debit air di Sungai Damar :

Tabel 1. Data Debit Air Sungai Damar

Bulan	Liter/s
Januari	2602,65
Februari	2580,2
Maret	2367,3
April	2328,8
Mei	2086,45
Juni	1582,95
Juli	1455,4
Agustus	1070,6
September	1188,9
Oktober	1307,2
November	1676,95
Desember	2108,6

Dalam perancangan PLTMH data debit air yang digunakan adalah data debit andalan. Debit andalan adalah debit sungai atau sumber air yang dapat diandalkan untuk digunakan pada tingkat keandalan tertentu. Debit andalan yang digunakan adalah Q80. Perhitungan debit andalan Q80 dilakukan untuk menentukan debit air yang dapat diandalkan sepanjang tahun dengan probabilitas ketersediaan 80%. Dalam melakukan perhitungan debit andalan perlunya mengurutkan data debit air dari yang terbesar hingga terkecil.

Pemilihan Q80 sebagai debit rencana didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Riwan Fridolin Kelo (2024) yang menerapkan debit andalan Q80 dan Q90 untuk analisis ketersediaan air sungai, dimana Q80 dinilai lebih representatif sebagai debit operasional karena masih mampu menggambarkan ketersediaan debit yang cukup stabil namun tidak terlalu konservatif seperti Q90 [9]. Datanya sebagai berikut :

Tabel 2. Data Debit Air Sungai Damar dari Terbesar hingga Terkecil

Bulan	Liter/s
Januari	2602,65
Februari	2580,2
Maret	2367,3
April	2328,8
Desember	2108,6
Mei	2086,45
November	1676,95
Juni	1582,95
Juli	1455,4
Oktober	1307,2
September	1188,9
Agustus	1070,6

Berikut perhitungan dalam mencari debit andalan Q80 :

$$\text{Jumlah data } (n) = 12 \text{ bulan}$$

$$Q_{80} = 80\% \times (n + 1) = 0,8 \times 13 = 10,4 \dots\dots\dots(1)$$

Dikarenakan 10,4 merupakan di antara dua data yaitu 10 dan 11, maka data yang diambil data ke-10 dan ke-11 yaitu bulan Oktober = 1307,2 dan September = 1188,9. Kemudian cari interpolasi dari dua data tersebut :

$$Q_{80} = 1307,2 - \frac{10,4 - 10}{11 - 10} \times (1307,2 - 1188,9) \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{80} = 1307,2 - 0,4 \times 118,3 \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_{80} = 1307,2 - 47,32 \dots\dots\dots(4)$$

$$Q_{80} = 1.259,88 \text{ L/s} \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_{80} = 1,25988 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots(6)$$

Jadi data debit air yang digunakan dalam perancangan PLTMH adalah 1.259,88 Liter/s

Selanjutnya dilakukan perancangan beban listrik untuk menentukan kebutuhan energi yang akan disuplai oleh sistem PLTMH, mencakup identifikasi jumlah dan jenis peralatan yang digunakan. Data beban ini diambil dari beberapa peralatan elektronik yang umumnya digunakan pada rumah warga. Berikut data beban yang digunakan :

Tabel 3. Data Beban

Perancangan Total Beban						
No	Beban	Daya (Watt)	Durasi Pengoperasian (Hour)	Jumlah penggunaan (x kali)	Jumlah	Total Daya (Watt)
1	Mesin Cuci	330	2	1	1	660
2	Rice Cooker	315	1	2	1	630
3	Kulkas	165	24	1	1	3960
4	Setrika	350	1	1	1	350
5	Lampu LED	10	10	1	5	500
6	Televisi	50	2	3	1	300
7	Kipas Angin	35	1	4	3	420
8	Exhaust Fan	40	7	1	1	280
Total Konsumsi Energi (Watt) Per Hari (Wh/d)						7100
Total Konsumsi Energi (Kwh) Per Hari (Kwh/d)						7,1
Total Konsumsi Energi(Watt) Per Tahun (Wh/y)						2598600
Total Konsumsi Energi (Kwh) Per Tahun (Kwh/y)						2598,6

Setelah itu, dilakukan perancangan sistem suplai mikrohidro, termasuk pemilihan jenis turbin dan generator berdasarkan hasil perhitungan data beban sehingga bisa didapat Total Daya Mikrohidro yang dihasilkan PLTMH. Persentase penggunaan mikrohidro diatur sebesar 40% agar efisiensi perhitungan anggaran biaya. Berikut data suplai mikrohidro yang dirancang:

Tabel 4. Data Suplai Mikrohidro

Penentuan Suplai Mikrohidro		
No	Parameter	Nilai
1	Total Konsumsi Energi Per Hari	7100
2	Supply Mikrohidro	40%
Total Daya Mikrohidro Per Hari (Wh/d)		2840
Total Daya Mikrohidro Per Hari (Kwh/d)		2,84
Total Daya Mikrohidro Per Tahun (Wh/d)		1039440
Total Daya Mikrohidro Per Tahun (Kwh/d)		1039,44

Selanjutnya penentuan daya turbin dan generator yang ingin dirancang berdasarkan total daya yang dihasilkan dari Mikrohidro dengan nilai efisiensi turbin dan generator tersebut. Berikut data dari perancangan daya turbin dan generator :

Tabel 5. Data Rating Turbin dan Generator

Penentuan Rating Turbin dan Generator		
No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Per Hari (Wh/d)	2840
2	Total Daya Mikrohidro Per Hari (Kwh/d)	2,84
Turbin dan Generator dipasaran (Watt)		3000
Turbin dan Generator dipasaran (Kw)		3

Tabel 6. Data Efisiensi Turbin dan Generator

Penentuan Efisiensi Turbin dan Generator	
Efisiensi	Nilai
Turbin	0,8
Generator	0,8
Total Efisiensi	0,64

Nilai efisiensi turbin dan generator masing-masing diasumsikan sebesar 80 %, sehingga efisiensi total sistem menjadi 64 %. Asumsi ini didasarkan pada tinjauan literatur sebelumnya bahwa efisiensi turbin mikrohidro, khususnya turbin *cross-flow*, umumnya berada pada kisaran 70–88 %, tergantung desain dan kondisi operasi. Selain itu, beberapa studi PLTMH menunjukkan bahwa nilai efisiensi tersebut masih representatif untuk sistem mikrohidro skala kecil. Oleh karena itu, nilai efisiensi yang digunakan dianggap layak sebagai dasar perhitungan potensi daya dan simulasi menggunakan HOMER-Pro [10]. Tahap selanjutnya penentuan *head* (jatuh air), potensi hidrolik, dan potensi daya terbangkit dari PLTMH.

Tabel 7. Data Penentuan Head

Penentuan Head/Tinggi Jatuh Air		
No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro (Wh/d)	2.840
2	Debit Air Sungai Damar (L/s)	1.259,88
3	Percepatan Gravitasi (m/s ²)	9,8
4	Efisiensi Total	0,64
Nilai Head Minimum (m)		0,3594041674

Berikut perhitungan untuk mencari Penentuan Head/Tinggi:

$$Head (m) = \frac{Total\ Daya(P)}{\{Debit\ Air(Q) \times gravitasi(g) \times Efisiensi(\eta)\}} \dots \dots \dots (7)$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung total daya teoretis (daya kotor) yang terkandung dalam aliran air. Ini adalah potensi

energi mentah air sebelum dikonversi dan sebelum memperhitungkan kerugian efisiensi pada turbin atau generator.

Pada data Tabel 7. Penentuan *Head*/Tinggi Jatuh Air Tabel ini menunjukkan proses perhitungan terbalik untuk menemukan tinggi jatuh air (*Head*) minimum yang diperlukan. Berdasarkan target daya (2840 Wh/hari), debit air (1259,88 L/s), dan efisiensi (0,64), *head* minimum yang dibutuhkan sistem adalah 0,3594 meter.

Tabel 8. Data Potensi Hidrolik

Potensi Hidrolik		
No	Parameter	Nilai
1	<i>Head</i> (m)	0,3734
2	Debit Air Sungai Damar (L/s)	1259,88
3	Percepatan Gravitasi (m/s ²)	9,8
Potensi Hidrolik (watt)		4610,304082

Berikut perhitungan untuk mencari Potensi Hidrolik:

$$P = Head(m) \times Debit\ Air(Q) \times Gravitasi(g) \dots\dots\dots (8)$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung total daya teoretis (daya kotor) yang terkandung dalam aliran air. Ini adalah potensi energi mentah air sebelum dikonversi dan sebelum memperhitungkan kerugian efisiensi pada turbin atau generator.

Selanjutnya pada data Tabel 5. Potensi Hidrolik Tabel ini menghitung potensi energi kotor (energi hidrolik murni) dari air sebelum dikonversi menjadi listrik. Dengan menggunakan *head* yang dibulatkan/ditetapkan (0,3734 m) dan debit (1259,88 L/s), potensi hidrolik mentahnya adalah 4610,3 Watt.

Tabel 9. Data Potensi Daya Air Terbangkit

Potensi Daya Air Terbangkit		
No	Parameter	Nilai
1	<i>Head</i> (m)	0,3734
2	Debit Air Sungai Damar (L/s)	1259,88
3	Percepatan Gravitasi (m/s ²)	9,8
4	Total Efisiensi	0,64
Potensi Daya Air Terbangkit (watt)		2950,594612

Berikut perhitungan untuk mencari Potensi Daya Air Terbangkit:

$$P = m \times Q \times g \times \eta \dots\dots\dots (9)$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung daya listrik bersih (daya terbangkit) yang secara aktual dapat dihasilkan oleh sistem PLTMH. Rumus ini menyertakan faktor efisiensi total (η) untuk

menghitung kerugian energi selama proses konversi dari energi air menjadi energi listrik.

Terakhir pada data Tabel 6. Potensi Daya Air Terbangkit Tabel ini menghitung daya listrik nyata (terbangkit) yang diharapkan dari sistem. Ini dihitung dengan mengalikan Potensi Hidrolik (dari tabel sebelumnya) dengan total efisiensi sistem (0,64), menghasilkan daya keluaran bersih sebesar 2950,59 Watt.

Tahap berikutnya adalah perancangan daya dan analisis biaya, yang meliputi estimasi kebutuhan daya output, efisiensi sistem, serta perkiraan biaya pembangunan dan operasional PLTMH. Analisis ini bertujuan untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomi sistem yang dirancang. Pada tahap ini juga diterapkan asumsi skema *net-metering* (jual-beli listrik dengan PLN), dimana digunakan faktor impor sebesar 60% dan faktor ekspor sebesar 40% untuk menggambarkan bahwa sebagian energi listrik hasil PLTMH dimanfaatkan langsung untuk memenuhi beban, sedangkan sebagian lainnya dapat diekspor ke jaringan PLN, sehingga parameter tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan energi impor, energi ekspor, serta estimasi biaya listrik tahunan dan bulanan. Berikut beberapa cara menghitung untuk analisis biaya:

Tabel 10. Data Listrik PLTMH Mandiri Per Tahun

Listrik PLTMH Mandiri Per Tahun		
No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Dalam 1 Tahun (kWh)	1039,44
2	Faktor Ekspor Listrik (%)	40%
3	Faktor Impor Listrik (%)	60%
Listrik PLTMH Mandiri Per Tahun (kWh)		623,66

Tabel 11. Data Impor Listrik dari PLN Per Tahun

Impor Listrik dari PLN Per Tahun		
No	Parameter	Nilai
1	Total Konsumsi Energi Tahunan (kWh)	2598,6
2	Listrik PLTMH Mandiri Per Tahun (kWh)	623,66
Impor Listrik dari PLN Per Tahun (kWh)		1.974,94

Tabel 12. Data Ekspor Listrik dari PLTMH ke PLN Per Tahun

Ekspor Listrik dari PLTMH ke PLN Per Tahun		
No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Dalam 1 Tahun (kWh)	1039,44
2	Faktor Ekspor Listrik (%)	40%
3	Faktor Impor Listrik (%)	60%

Ekspor Listrik Dari PLTMH Ke PLN Per Tahun (kWh)	415,78
--	--------

Tabel 13. Data Ekspor Listrik yang Dihitung PLN Per Tahun

Ekspor Listrik yang Dihitung PLN Per Tahun		
No	Parameter	Nilai
1	Persentase Jual Ke PLN (%)	100%
2	Ekspor Listrik Dari PLN Per Tahun (kWh)	415,78
Ekspor Listrik Yang Dihitung PLN Per Tahun (kWh)		415,78

Tabel 14. Data Total Energi dari PLN

Total Energi dari PLN		
No	Parameter	Nilai
1	Impor Listrik Dari PLN Per Tahun (kWh)	1.974,94
2	Ekspor Listrik Yang Dihitung PLN Per Tahun (kWh)	415,78
Total Energi Dari PLN Dalam 1 Tahun (kWh)		1.559,16
Total Energi Dari PLN Dalam 1 Bulan (kWh)		129,93

Pada rangkaian tabel 10 – 14 merupakan rincian skema *net-metering* (jual-beli listrik) dengan PLN. Data tabel ini menghitung jumlah listrik yang dipakai sendiri (623,66 kWh), jumlah yang diimpor dari PLN (1.974,94 kWh), jumlah yang diekspor ke PLN (415,78 kWh), dan total energi bersih yang ditagih PLN per tahun (1.559,16 kWh).

Tabel 15. Data Tagihan Biaya dari PLN dengan PLTMH

Tagihan Biaya dari PLN dengan PLTMH		
No	Parameter	Nilai
1	Total Energi Dari PLN Per Tahun (kWh)	1.974,94
2	Tarif Dasar Listrik PLN 2200 VA (Rp/kWh)	1.444,00
Total Biaya Dari PLN Dengan PLTMH Dalam 1 TAHUN		2.851.807,58
Total Biaya Dari PLN Dengan PLTMH Dalam 1 Bulan		237650,632

Data tabel 15 ini menghitung total biaya listrik tahunan yang harus dibayar ke PLN setelah memasang PLTMH. Biaya ini dihitung berdasarkan total impor listrik (1.974,94 kWh) dikalikan tarif dasar (Rp 1.444,00), menghasilkan total tagihan tahunan Rp 2.851.807,58.

Tabel 16. Data Total Biaya dari PLN tanpa PLTMH

Total Biaya dari PLN tanpa PLTMH		
No	Parameter	Nilai
1	Total Konsumsi Energi Dari PLN Per Tahun (kWh)	2598,6
2	Tarif Dasar Listrik PLN 2200 VA (Rp/kWh)	1.444,00
Tagihan Biaya Dari PLN Tanpa PLTMH Dalam 1 Tahun		3.752.378,40
Tagihan Biaya dari PLN Tanpa PLTMH Dalam 1 Bulan		312698,2

Tabel 16 ini berfungsi sebagai pembanding, menunjukkan berapa biaya listrik tahunan jika tidak menggunakan PLTMH. Berdasarkan total konsumsi energi tahunan (2598,6 kWh), biayanya adalah Rp 3.752.378,40.

Tabel 17. Data Selisih Tagihan Biaya dalam 1 Tahun

Selisih Tagihan Biaya Dalam 1 Tahun		
No	Parameter	Nilai
1	Tagihan Biaya dari PLN Tanpa PLTMH Dalam 1 Tahun	3.752.378,40
2	Tagihan Biaya Dari PLN Dengan PLTMH Dalam 1 Tahun	2.851.807,58
Selisih Tagihan Biaya Dalam 1 Tahun		900.570,82

Tabel 18. Data Selisih Tagihan Biaya dalam 1 Bulan

Selisih Tagihan Biaya dalam 1 Bulan		
No	Parameter	Nilai
1	Tagihan Biaya Dari PLN Tanpa PLTMH Dalam 1 Bulan	312698,2
2	Tagihan Biaya Dari PLN Dengan PLTMH Dalam 1 Bulan	237650,632
Selisih Tagihan Biaya Dalam 1 Bulan		75.047,57

Tabel 17 – 18 menunjukkan hasil akhir atau penghematan yang didapat. Dengan membandingkan biaya "Tanpa PLTMH" dan "Dengan PLTMH", sistem ini memberikan penghematan biaya tahunan sebesar Rp 900.570,82 atau Rp 75.047,57 per bulan.

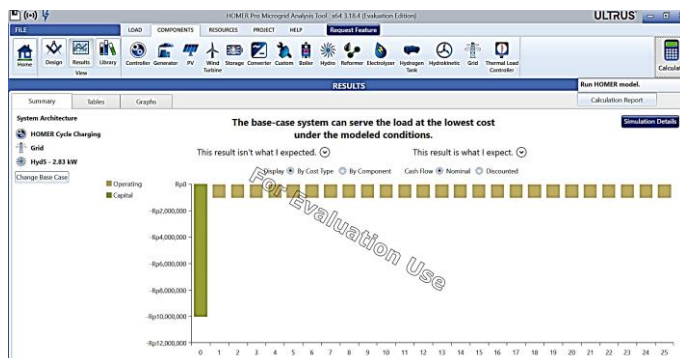
Tahap terakhir adalah Simulasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER-Pro untuk memperoleh konfigurasi sistem yang optimal berdasarkan parameter teknis dan ekonomi yang telah ditetapkan. Simulasi ini mencakup perhitungan produksi energi, efisiensi konversi daya, variasi debit musiman,

serta analisis interaksi daya impor dan ekspor terhadap jaringan listrik PLN.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem yang disimulasikan terdiri dari dua komponen utama yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang dirancang dengan kapasitas nominal 2,83 kW (berdasarkan potensi daya terbangkit 2,95 kW yang dihitung sebelumnya) dan koneksi ke jaringan (*Grid*). Beban (*load*) yang digunakan dalam simulasi adalah 2.592 kWh/tahun, yang konsisten dengan hasil perhitungan beban rumah tangga pada Tabel 3 (2.598,6 kWh/tahun). Berikut adalah hasil dan analisis dari simulasi HOMER Pro:

4.1. Ringkasan Sistem dan Aliran Kas (Cash Flow)



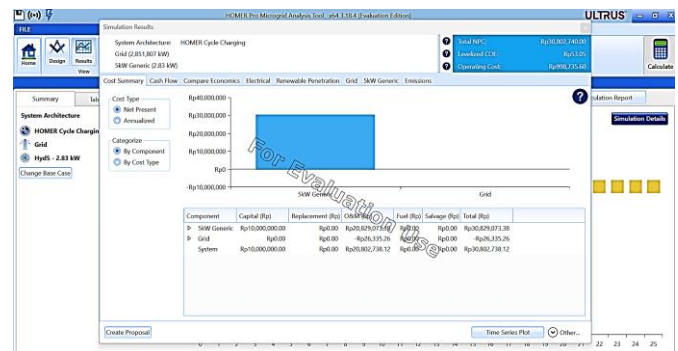
Gambar 4. Cash Flow

Gambar 3 menunjukkan arsitektur sistem yang disimulasikan, terdiri dari "Grid" dan komponen hidro "Hyd5 - 2.83 kW". Grafik di bawahnya menyajikan visualisasi aliran kas (*Cash Flow*) selama 25 tahun masa proyek.

- Tahun 0: Terlihat satu batang negatif yang signifikan, mewakili biaya modal (*Capital Cost*) atau investasi awal. Dari data di Gambar 4, diketahui biaya modal ini adalah Rp10.000.000,00.
- Tahun 1-25: Batang-batang yang jauh lebih kecil mewakili biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) tahunan. Data dari Gambar 4 menunjukkan *Operating Cost* tahunan adalah Rp998.735,60.

Analisis ini menunjukkan bahwa biaya terbesar dari proyek ini adalah investasi modal di awal, dengan biaya operasional tahunan yang relatif konsisten dan jauh lebih kecil.

4.2. Analisis Biaya (Cost Summary)



Gambar 5. Cost Summary

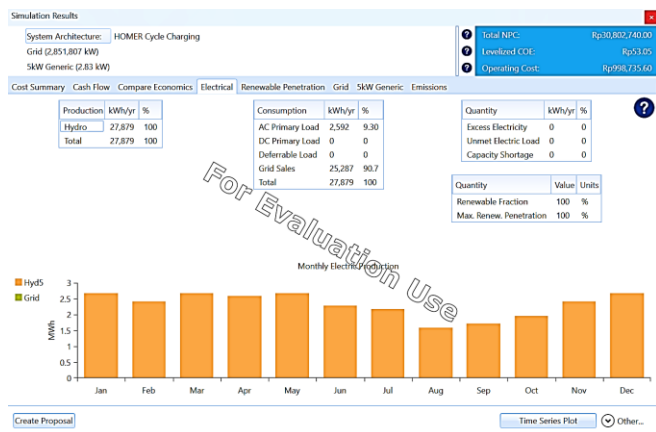
Gambar 4 merinci komponen biaya dari sistem yang paling optimal. Metrik utama yang disajikan di pojok kanan atas adalah:

- **Total NPC (*Net Present Cost*):** Total biaya siklus hidup proyek adalah Rp30.802.740,00. Ini adalah nilai sekarang dari semua biaya (modal, O&M, penggantian) dikurangi semua pendapatan (penjualan ke grid) selama masa proyek.
- **Levelized COE (*Cost of Energy*):** Biaya energi yang diratakan adalah Rp53,05/kWh. Ini adalah biaya rata-rata per kWh energi yang dihasilkan dan digunakan oleh beban. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa sistem PLTMH memiliki nilai biaya energi (LCOE) yang relatif rendah, sehingga secara ekonomi sistem ini layak diterapkan untuk mendukung elektrifikasi wilayah terpencil.
- **Operating Cost:** Biaya operasional tahunan adalah Rp998.735,60.

Tabel "Cost Summary" di bagian bawah memberikan rincian:

- **SKW Generic (PLTMH):** Komponen ini memiliki biaya modal Rp10.000.000,00 dan total biaya O&M (*Net Present*) sebesar Rp20.829.073,38. Ini merupakan komponen biaya utama sistem.
- **Komponen grid** memiliki total O&M (*Net Present*) bernilai -Rp26.335,26. Nilai negatif ini menunjukkan pendapatan (*revenue*), yang diperoleh dari penjualan kelebihan listrik ke grid.
- **Total NPC sistem (Rp30.802.738,12)** adalah penjumlahan dari total biaya PLTMH dikurangi total pendapatan dari grid.

4.3. Analisis Kelistrikan (*Electrical Result*)



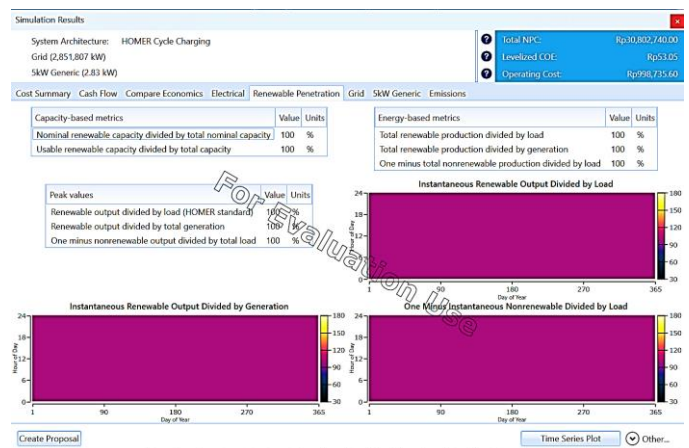
Gambar 6. Electrical Result

Gambar 5 menyajikan data produksi dan konsumsi listrik tahunan. Ini adalah salah satu hasil simulasi yang paling penting.

- Total produksi listrik sistem adalah 27.879 kWh/tahun, di mana 100% (27.879 kWh) berasal dari PLTMH (Hydro).
- Total konsumsi dibagi menjadi dua:
 - AC Primary Load (Beban): Sebesar 2.592 kWh/tahun. Ini adalah total energi yang dibutuhkan oleh rumah tangga, yang berhasil dipenuhi seluruhnya.
 - Grid Sales (Penjualan ke Grid): Sebesar 25.287 kWh/tahun. Ini adalah kelebihan energi masif yang diekspor kembali ke jaringan PLN.
- Hasil simulasi menunjukkan Renewable Fraction (Fraksi Energi Terbarukan) adalah 100%. Ini berarti seluruh kebutuhan beban (2.592 kWh/tahun) dipenuhi oleh PLTMH tanpa perlu membeli listrik dari grid.

Grafik produksi bulanan menunjukkan produksi energi yang konsisten sepanjang tahun, dengan sedikit penurunan di bulan Agustus, September, dan Oktober yang sesuai dengan pola data debit air pada Tabel 1.

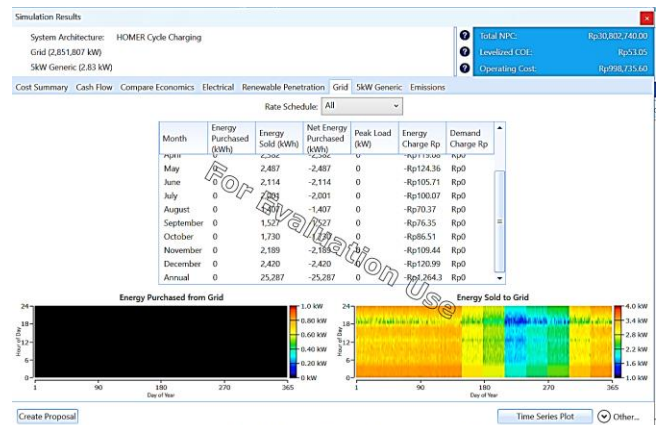
4.4. Analisis Penetrasi Energi Terbarukan (Renewable Penetration)



Gambar 7. Renewable Penetration

Gambar 6 mengkonfirmasi temuan dari Gambar 5. Semua metrik, baik berbasis kapasitas maupun energi, menunjukkan angka 100%. Grafik plot yang berwarna solid menunjukkan bahwa di setiap jam sepanjang tahun (8.760 jam), output dari energi terbarukan (PLTMH) selalu mencukupi untuk memenuhi beban. Tidak ada kekurangan daya (*Capacity Shortage*) sama sekali.

4.5. Analisis Jaringan (Grid Result)



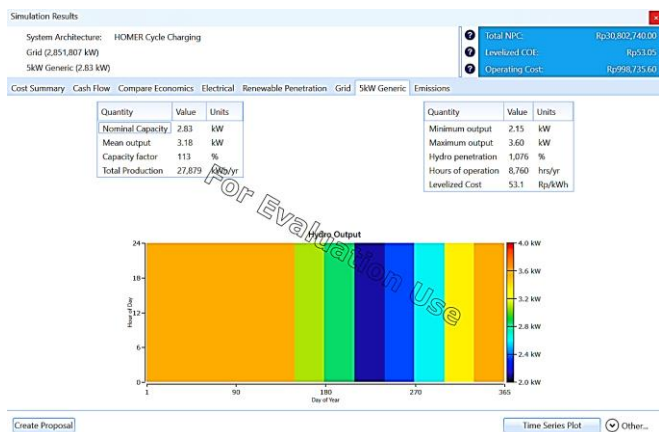
Gambar 8. Grid Result

Gambar 7 menunjukkan interaksi antara sistem PLTMH dengan jaringan PLN.

- Secara tahunan, *Energy Purchased* (Energi yang Dibeli) dari grid adalah 0 kWh. Sebaliknya, *Energy Sold* (Energi yang Dijual) ke grid adalah 25.287 kWh.
- Grafik:
 - "*Energy Purchased from Grid*": Berwarna hitam total, mengonfirmasi tidak ada listrik yang diimpor dari PLN.
 - "*Energy Sold to Grid*": Berwarna cerah sepanjang tahun, menunjukkan ekspor energi yang konstan ke grid, dengan daya ekspor bervariasi antara 1,6 kW hingga 4,0 kW.

Hasil ini berbeda dengan analisis biaya pada metodologi (Tabel 11 & 15), yang mengasumsikan sistem akan mengimpor listrik. Perbedaan itu terjadi karena analisis di metodologi menggunakan asumsi faktor suplai 40%, sementara hasil simulasi HOMER-Pro menunjukkan bahwa potensi aktual PLTMH (berdasarkan data debit) mampu menyuplai 100% beban dan masih memiliki surplus besar.

4.6. Analisis Komponen PLTMH (5kW Generic Result)



Gambar 9. 5kW Generic Result

Gambar 8 memberikan rincian performa dari komponen PLTMH ("5kW Generic").

- Kapasitas nominal yang disimulasikan adalah 2.83 kW, yang sangat mendekati hasil perhitungan potensi daya terbangkit sebesar 2,95 kW (Tabel 9).
- Total produksi tahunan adalah 27.879 kWh, dengan sistem beroperasi 8.760 jam per tahun (24/7).
- **Output Daya:**
 - *Output* rata-rata (*Mean Output*) adalah 3.18 kW.
 - *Output* minimum adalah 2.15 kW (terjadi saat debit air terendah).
 - *Output* maksimum adalah 3.60 kW (terjadi saat debit air tertinggi).
- **Capacity Factor:** Tercatat 113%. Angka di atas 100% ini merupakan anomali yang terjadi karena output rata-rata (3.18 kW) ternyata lebih tinggi daripada kapasitas nominal yang dimasukkan (2.83 kW). Ini mengindikasikan bahwa data debit air yang digunakan dalam simulasi (berdasarkan data bulanan Tabel 1) menghasilkan energi yang lebih besar dari yang diperkirakan menggunakan perhitungan debit andalan Q80.

Grafik "Hydro Output" menunjukkan variasi output daya PLTMH sepanjang tahun, yang berkorelasi langsung dengan data debit air bulanan.

4.7. Validasi dan Perbandingan Hasil dengan Penelitian Terdahulu

Untuk memvalidasi hasil simulasi yang diperoleh, dilakukan perbandingan dengan beberapa penelitian PLTMH sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Sofyan dan Sudana (2022) melaporkan daya terbangkit sebesar 66,22 kW pada debit 1,317 m³/s dan head 6 m, sedangkan penelitian ini menghasilkan daya

terbangkit sebesar 2,95 kW pada debit 1,26 m³/s dengan head 0,37 m dan hasil simulasi berdasarkan HOMER-Pro sebesar 2,83 kW. Perbedaan kapasitas daya tersebut sebanding dengan perbedaan tinggi jatuh air yang digunakan, sehingga hasil simulasi dinilai masih berada dalam rentang yang realistis secara teknis. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Dimyati (2021) menunjukkan bahwa PLTMH skala kecil dengan kapasitas di bawah 20 kW layak diterapkan untuk kebutuhan energi pedesaan. Hasil simulasi HOMER-Pro pada penelitian ini dapat divalidasi secara komparatif dan dinilai layak secara teknis. Dari sisi ekonomi, nilai biaya energi (LCOE) yang rendah menunjukkan bahwa sistem PLTMH skala kecil dengan sumber daya air yang kontinu memiliki potensi keekonomian yang baik, sejalan dengan temuan beberapa studi PLTMH terdahulu yang menekankan rendahnya biaya operasi pembangkit mikrohidro.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, analisis, dan simulasi PLTMH di Sungai Damar, diperoleh bahwa Sungai Damar memiliki potensi teknis yang layak dengan debit andalan (Q80) sebesar 1.259,88 L/s dan head 0,3734 m yang menghasilkan potensi daya 2,95 kW, dimana simulasi HOMER-Pro menunjukkan PLTMH berkapasitas 2,83 kW mampu beroperasi kontinu selama 8.760 jam/tahun dengan produksi energi 27.879 kWh/tahun untuk memenuhi 100% kebutuhan beban (2.592 kWh/tahun) tanpa impor energi dari PLN serta mencapai fraksi energi terbarukan 100%, menghasilkan surplus energi sebesar 25.287 kWh/tahun yang dapat diekspor ke jaringan, dan dinyatakan layak secara ekonomi dengan COE Rp53,05/kWh serta NPC Rp30.802.740,00, sementara hasil simulasi juga dinilai realistis melalui perbandingan dengan penelitian terdahulu, sehingga penelitian ini dapat menjadi *baseline* perencanaan PLTMH skala kecil untuk mendukung elektrifikasi wilayah terpencil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang atas semua dukungan dan fasilitas yang telah disediakan selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Dosen Pengampu yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta saran yang sangat berharga selama penyusunan penelitian. Selain itu, penulis menghargai segala bantuan dari rekan-rekan yang turut berperan dalam pengumpulan data dan analisis penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Damar Kecamatan Pageruyung Kabupaten Kendal, A. Abdillah Muhammad dan, M. Haddin, T. Elektro, U. Islam Sultan Agung Jl Kaligawe Raya NoKm, and J. Tengah, "CYCLOTRON: Jurnal Teknik Elektro," 2025.
- [2] N. Febriana Khairunnisa, Z. Saleh, W. AOKtaviani, Y. Apriani, P. Studi Teknik Elektro, and U. Muhammadiyah Palembang, "Analisis Perencanaan Energi Pada Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Pltmh-Plts Menggunakan Simulasi Homer Pro," vol. 10, no. 1, 2025, doi: 10.31851/ampere.
- [3] A. M. Al Bawani and S. Sudarti, "ANALISIS KELEMAHAN DAN KELEBIHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) SEBAGAI ALTERNATIF SUMBER ENERGI

- LISTRIK,” *Jurnal Kumparan Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 99–104, Sep. 2022, doi: 10.33369/jkf.5.2.99-104.
- [4] Muchlisin Riadi, “Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH),” KAJIANPUSTAKA.
- [5] S. Anwar, “PROSES KERJA GENERATOR TURBIN PROPELER PLTMH KAPASITAS 250 WATT.”
- [6] M. Sofyan and I. Made Sudana, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik,” *JuLIET*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [7] F. J. Likadja, A. Sampeallo, and C. R. D. N. R. Amaral, “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) MEMANFAATKAN OUTLET KONDENSOR PLTU II NTT DI DESA BOLOK KECAMATAN KUPANG BARAT, KABUPATEN KUPANG,” *Jurnal Media Elektro*, vol. VIII, no. 2.
- [8] A. P. Maghfur Dimiyati DINAMIKA ELEKTRIK MANDIRI Rukan Graha Mas, B. B. No, J. Perjuangan Kebon Jeruk, and J. Barat, “STUDI KELAYAKAN POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI DESA SETREN KECAMATAN SLOGOIMO KABUPATEN WONOGIRI,” *Jurnal Emitor*, vol. 15, no. 02.
- [9] R. Kelo, “KOMPARASI DEBIT ANDALAN SUNGAI POSO DENGAN MENGGUNAKAN METODE RANGKING DAN METODE TAHUN DASAR PERENCANAAN,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2024*, pp. 238–245, 2024.
- [10] H. Nurin Alimani and T. Marhendi, “Analisis Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dusun Rinjing, Desa Gununglurah Kec. Cilongok, Kab. Banyumas, Jawa Tengah An Analysis on Efficiency of Micro Hydropower Plant (PLTMH) in Dusun Rinjing, Gununglurah Village, Cilongok District, Banyumas Regency, Central Java,” 2025. [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/civeng>