

Perancangan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Perangkat Lunak Homer : Studi Kasus Kampung Susukan

Wajdi Nesta^{*1}, Ahmad Muflih Baidhowi², Arnisa Stefanie³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia
Email: ¹wajdinesta8@gmail.com, ²ahmadmuflih78@gmail.com, ³arnisa.stefanie@staff.unsika.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan teknis dan ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Kampung Susukan, Desa Tegalarum, Kecamatan Borobudur menggunakan perangkat lunak HOMER. Analisis dilakukan berdasarkan kebutuhan energi masyarakat sebesar 5,043 kWh/hari dan potensi Sungai Tangsi-Susukan yang memiliki debit 21,53 L/s serta head 16,6 m. Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTMH berkapasitas 2,54 kW mampu menghasilkan energi listrik sebesar 20.519 kWh/tahun dengan faktor kapasitas 92,2%. Dari aspek ekonomi, sistem memerlukan investasi awal sebesar Rp 8 juta, menghasilkan Cost of Energy (COE) sebesar Rp 43,04/kWh, dan Net Present Cost (NPC) sebesar Rp 18,4 juta. Selain mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, sistem juga mengekspor energi ke jaringan sebesar 18.678 kWh/tahun dan menurunkan biaya listrik tahunan hingga Rp 1,32 juta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTMH layak diterapkan sebagai sumber energi yang efisien, ekonomis, dan berkelanjutan untuk mendukung kemandirian energi serta pengembangan energi terbarukan di wilayah pedesaan.

Kata kunci: Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Simulasi HOMER, Susukan.

Simulation and Economic Analysis of a Micro Hydro Power Plant via HOMER Software: A Case Study in Susukan Village

Abstract

This study evaluates the technical and economic feasibility of a Micro Hydropower Plant (MHP) in Susukan Hamlet, Tegalarum Village, Borobudur District, using HOMER software. The analysis was conducted based on the community's electricity demand of 5.043 kWh/day and the hydropower potential of the Tangsi-Susukan River, which has a flow rate of 21.53 L/s and a head of 16.6 m. The simulation results indicate that a 2.54 kW MHP system can generate 20,519 kWh/year with a capacity factor of 92.2%. From an economic perspective, the system requires an initial investment of IDR 8 million, resulting in a Cost of Energy (COE) of IDR 43.04/kWh and a Net Present Cost (NPC) of IDR 18.4 million. In addition to meeting local electricity demand, the system is capable of exporting 18,678 kWh/year of electricity to the grid and reducing annual household electricity expenses by up to IDR 1.32 million. These findings demonstrate that the proposed MHP system is technically feasible, economically viable, and environmentally sustainable, making it a promising solution for supporting energy independence and renewable energy development in rural areas.

Keywords: HOMER Simulation, Micro Hydro Power Plant, Renewable Energy, Susukan.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan sektor industri, serta meningkatnya aktivitas sosial masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pemerintah terus mendorong diversifikasi sumber energi, termasuk pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) [1], [2]. Salah satu sumber EBT yang potensial dikembangkan di Indonesia adalah energi air skala kecil melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), yaitu pembangkit yang memanfaatkan energi potensial air dari perbedaan tinggi jatuh (head) dan debit aliran untuk menghasilkan energi listrik [3], [4]. Teknologi PLTMH memiliki keunggulan berupa biaya operasional yang rendah, ramah lingkungan, serta cocok diterapkan pada wilayah pedesaan yang memiliki aliran air relatif stabil sepanjang tahun [5].

Desa Susukan, yang terletak di Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah, merupakan salah satu wilayah dengan potensi energi air yang cukup besar. Di desa ini mengalir Sungai Tangsi. Dalam perancangan sistem PLTMH, Agar pembangunan PLTMH di wilayah ini dapat dilakukan secara layak dan efisien, diperlukan analisis mendalam mengenai potensi aliran air, kebutuhan energi, serta aspek teknis dan ekonominya. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk melakukan simulasi dan analisis kelayakan sistem PLTMH adalah dengan memanfaatkan perangkat lunak HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)[6], [7]. HOMER memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi, optimasi, serta analisis biaya dan kinerja sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, termasuk mikrohidro, baik secara mandiri maupun terintegrasi dengan sumber energi lain[8].

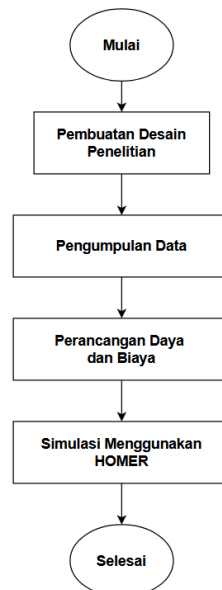
Meskipun berbagai penelitian telah memanfaatkan HOMER untuk analisis sistem energi terbarukan, kajian mengenai pemanfaatan potensi Sungai Tangsi di Desa Susukan sebagai sumber energi PLTMH masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan pada analisis kelayakan teknis dan ekonomi PLTMH berdasarkan kondisi hidrologi lokal Sungai Tangsi serta kebutuhan energi masyarakat Desa Susukan menggunakan pendekatan simulasi HOMER.

Tujuan utama penelitian ini adalah mensimulasikan dan mengevaluasi aspek teknis maupun ekonomis dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang dirancang di Desa Tegalarum dengan bantuan perangkat lunak HOMER. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan PLTMH sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan mendukung kemandirian energi masyarakat pedesaan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

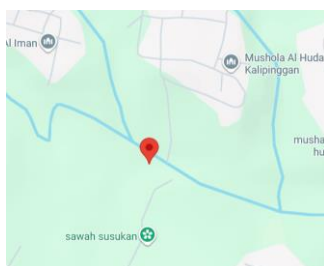
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kelayakan teknis dan ekonomis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan menggunakan perangkat lunak HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables). Pendekatan yang digunakan adalah metode simulasi kuantitatif, dengan tahap-tahap meliputi pengumpulan data, perancangan daya dan biaya, serta hasil simulasi dan analisisnya.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Sungai Tangsi, yang terletak di Kampung Susukan, Desa Tegalarum, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomis, lokasi penelitian berada pada koordinat 07°35'10" Lintang Selatan dan 110°10'52" Bujur Timur. Lokasi tersebut berjarak sekitar 3 km dari Candi Borobudur menuju arah Kota Magelang, dengan akses menuju lokasi sejauh ±800 meter ke arah kanan jalan utama, tepat di sisi kanan aliran Sungai Tangsi. Daerah penelitian termasuk dalam Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Tangsi dengan luas sekitar 119,10 km² dan memiliki elevasi rata-rata 254,47 meter di atas permukaan laut (mdpl).



Gambar 3. Lokasi Penelitian

2.3. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, data sekunder merupakan jenis data yang diperoleh secara tidak langsung melalui pihak atau sumber perantara. Data ini biasanya bersumber dari berbagai dokumen seperti arsip, catatan, buku, jurnal, maupun laporan historis yang telah terdokumentasi sebelumnya. Dengan demikian, data sekunder mencakup informasi yang tidak dikumpulkan langsung dari sumber utama atau responden[9], [10].

Data debit sungai yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, diperoleh dari Dinas PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah melalui publikasi Data Debit Sungai Pos Duga Air BPSDA Probolo Tahun 2023[11].

Tabel 1. Debit Sungai Tangsi-Susukan Desa Tegalarum

Bulan	Debit Rata-rata (L/s)
Januari	30,87
Februari	31,46
Maret	29,8
April	26,6
Mei	25,52
Juni	18,84
Juli	17,46
Agustus	14,9
September	13,9
Oktober	13,46
November	17,06
Desember	18,47
Rata rata	21,53

2.4. Karakteristik Beban

Dalam simulasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) ini, data beban listrik diambil dari hasil estimasi kebutuhan energi masyarakat di Desa Susukan, yang menggambarkan pola konsumsi energi rumah tangga pada wilayah pedesaan. Jenis peralatan listrik yang digunakan antara lain lampu LED, televisi LED, kipas angin, kulkas, rice cooker, dan setrika. Setiap peralatan memiliki daya listrik yang berbeda-beda, menyesuaikan dengan fungsi dan durasi pemakaiannya sehari-hari. Data beban dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Beban

No	Elektronik	Daya (W)	Durasi Penggunaan (jam)	Jumlah unit	Total Daya (W)
1	Rice Cooker	400	4	1	1600
2	Kulkas	60	24	1	1440
3	Kipas Angin	46	12	2	1104
4	Setrika	350	1	1	350
5	Televisi	33	5	1	165
6	Lampu LED	8	12	4	384
Total Konsumsi Energi Per Hari (Wh/d)					5043
Total Konsumsi Energi Per Hari (kWh/d)					5,043
Total Konsumsi Energi Per Tahun (Wh/y)					1845738
Total Konsumsi Energi Per Tahun (kWh/y)					1845,738

Lampu LED memiliki daya yang relatif kecil, namun digunakan lebih lama karena berfungsi sebagai penerangan utama di malam hari. Sementara itu, rice cooker dan setrika merupakan perangkat dengan daya tertinggi, masing-masing mencapai sekitar 350 watt, dan umumnya digunakan antara 1 hingga 2 jam per hari. Kulkas merupakan beban kontinu dengan waktu operasi 24 jam, sehingga memberikan kontribusi signifikan terhadap total konsumsi energi harian.

Dari hasil perhitungan, total konsumsi energi listrik per hari mencapai sekitar 5,043 kWh. Nilai ini diperoleh dari hasil perkalian antara daya (Watt) dan waktu pemakaian (jam) untuk setiap peralatan, kemudian dijumlahkan seluruhnya dan dikonversi ke satuan kilowatt-jam (kWh). Dengan asumsi penggunaan yang konstan sepanjang tahun, maka total konsumsi energi tahunan rumah tangga di Kampung Susukan mencapai sekitar 1840,695 kWh/tahun.

2.5. Perencanaan Daya

Perencanaan daya pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dilakukan untuk menentukan kebutuhan energi, potensi daya air, serta kapasitas turbin dan generator yang sesuai dengan kondisi lapangan. Dari tabel 2 kebutuhan konsumsi energi harian masyarakat dihitung sebesar 5043 Wh/hari, dengan asumsi sistem mikrohidro menyuplai 50% kebutuhan energi total. Asumsi kontribusi PLTMH sebesar 50% digunakan sebagai skenario dasar (base case) untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengurangi konsumsi energi dari jaringan PLN tanpa menghilangkan keandalan pasokan listrik bagi masyarakat. Nilai 920,3475 kWh/tahun merupakan target energi yang direncanakan untuk disuplai oleh PLTMH berdasarkan asumsi kontribusi sebesar 50% terhadap kebutuhan energi masyarakat. Nilai ini digunakan sebagai dasar analisis kebutuhan energi, sedangkan produksi energi aktual sistem dievaluasi melalui simulasi HOMER.

Tabel 3. Penentuan Supply Mikrohidro

No	Parameter	Nilai
1	Total Konsumsi Energi Per Hari	5043
2	Supply mikrohidro	50%
	Total Daya Mikrohidro Per Hari (Wh/d)	2521,5
	Total Daya Mikrohidro Per Hari (kWh/d)	2,5215
	Total Daya Mikrohidro Per Tahun (Wh/y)	920,3475
	Total Daya Mikrohidro Per Tahun (kWh/y)	920,3475

Selanjutnya dilakukan penentuan rating turbin dan generator yang tersedia di pasaran. Berdasarkan hasil analisis, daya turbin dan generator yang sesuai dengan kebutuhan adalah 5000 W seperti ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penentuan Rating Turbin dan Generator

No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Per Hari (Wh/d)	2521,5
	Turbin dan Generator di Pasaran (W)	5000

Efisiensi total sistem diperoleh dari hasil perkalian antara efisiensi turbin dan efisiensi generator. Dengan efisiensi turbin 80% dan generator 90%, maka efisiensi total sistem sebesar 72%. Nilai efisiensi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Penentuan Nilai Efisiensi Turbin dan Generator

No	Parameter	Nilai
1	Efisiensi Turbin	0,80
2	Efisiensi Generator	0,90
3	Efisiensi Total	0,72

Nilai efisiensi turbin sebesar 80% dan efisiensi generator sebesar 90% ditetapkan berdasarkan spesifikasi teknis umum komponen PLTMH skala kecil yang tersedia di pasaran dan digunakan sebagai parameter masukan dalam simulasi. Dengan demikian, efisiensi total sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 72%[12].

Berdasarkan debit air Sungai Tangsi-Susukan sebesar 21,53 L/s, percepatan gravitasi 9,8 m/s², serta efisiensi total 72%, diperoleh nilai head minimum sebesar 16,598 m seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Penentuan Head/Jatuh Air

No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Per Hari (Wh/d)	2521,5
2	Debit Air S. TANGSI-SUSUKAN Desa Tegalarum (l/s)	21,53
3	Percepatan Gravitasi	9,8
4	Efisiensi Total	0,72
	Nilai Head minimum	16,598023

Potensi daya dapat hidrolik dihitung menggunakan rumus:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \quad (1)$$

dengan hasil potensi sebesar 3502,083 W. Setelah dikalikan efisiensi total sistem sebesar 0,72, diperoleh potensi daya terbangkit sebesar 2521,5 W, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Potensi Hidrolik

No	Parameter	Nilai
1	Head (m)	16,598023
2	Debit Air S. TANGSI-SUSUKAN Desa Tegalarum (l/s)	21,53
3	Percepatan Gravitasi (m/s)	9,8
	Potensi Hidrolik (W)	3502,0833

Tabel 8. Potensi Daya Terbangkit

No	Parameter	Nilai
1	Head (m)	16,598023
2	Debit Air S. TANGSI-SUSUKAN Desa Tegalarum (l/s)	21,53
3	Percepatan Gravitasi	9,8
4	Efisiensi Total	0,72
	Potensi Daya terbangkit (W)	2521,5

2.6. Perencanaan Biaya

Pada tahap perencanaan biaya, dilakukan analisis perbandingan antara kondisi sistem listrik yang hanya mengandalkan jaringan PLN dengan kondisi sistem setelah adanya integrasi PLTMH sebagai sumber energi terbarukan tambahan. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya penghematan biaya listrik tahunan maupun bulanan yang dapat diperoleh masyarakat apabila sistem PLTMH beroperasi secara optimal.

Biaya investasi awal (capital cost) sebesar Rp 8.000.000 dan biaya operasional tahunan sebesar Rp 499.169,50 yang digunakan dalam simulasi HOMER mengacu pada penelitian Prabowo dkk[13]. mengenai simulasi PLTMH di Desa Sukosari. Nilai tersebut digunakan sebagai parameter ekonomi untuk menghitung Cost of Energy (COE), Net Present Cost (NPC), dan kelayakan ekonomi sistem. Penggunaan parameter biaya tersebut dilakukan karena kapasitas PLTMH yang dirancang pada penelitian ini relatif sebanding dengan sistem yang dianalisis pada penelitian Prabowo dkk[13]. sehingga dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam evaluasi ekonomi

Dari total energi yang dihasilkan PLTMH (920,3475 kWh/yr), 40% diasumsikan diekspor ke grid (PLN) sehingga yang tersedia untuk swakelola (mandiri) adalah 60%. Dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Listrik PLTMH mandiri (per tahun)

No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Dalam 1 Tahun (kWh)	920,3475
2	Faktor Ekspor Listrik	40%
3	Faktor Impor Listrik	60%
	Listrik PLTMH mandiri per tahun (kWh)	552,2085

Diketahui Kebutuhan energi yang ditargetkan untuk dapat disuplai PLTMH sebesar 920,3475 kWh/tahun. Energi ini kemudian dibagi menjadi dua bagian, yaitu 40% untuk ekspor listrik ke PLN dan 60% untuk kebutuhan

listrik mandiri masyarakat sekitar. Dengan demikian, daya listrik mandiri yang disuplai PLTMH mencapai 552,2085 kWh per tahun. Sementara itu, kebutuhan listrik total di wilayah kajian (berdasarkan profil konsumsi rumah tangga) adalah 1.845,74 kWh per tahun, sehingga kekurangannya harus dipenuhi dari jaringan PLN sebesar 1288,4865 kWh per tahun. Dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Impor Listrik PLN Per Tahun

No	Parameter	Nilai
1	Total Konsumsi Energi Per Tahun (kWh/y)	1840,695
2	Listrik PLTMH mandiri Per Tahun	552,2085
	Impor Listrik PLN Per Tahun (kWh)	1288,4865

Energi yang diekspor ke PLN = $920,3475 \times 0,40 = 369,1476$ kWh/yr. Diasumsikan 100% dari energi ekspor dijual/diterima oleh PLN. Dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Ekspor Listrik PLN Per Tahun

No	Parameter	Nilai
1	Total Daya Mikrohidro Dalam 1 Tahun (kWh)	920,3475
2	Faktor Ekspor Listrik	40%
3	Faktor Impor Listrik	60%
	Ekspor Listrik PLN Per Tahun (kWh)	368,139

Net energi dari PLN (Impor – Ekspor) menghasilkan nilai 920,3475 kWh/tahun, sama dengan total produksi PLTMH karena asumsi distribusi internal/ekspor seperti di atas. Nilai bulanan diperoleh dengan membagi nilai tahunan dengan 12. Dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Listrik PLTMH mandiri (per tahun)

No	Parameter	Nilai
1	Persentase Jual Ke PLN (%)	100%
2	Ekspor Listrik Dari PLN per Tahun (kWh)	368,1390
	Ekspor Listrik Yang Dihitung PLN Per Tahun (kWh)	368,1390

Tabel 13. Total Energi dari PLN

No	Parameter	Nilai
1	Impor Listrik PLN Per Tahun (kWh)	1288,4865
2	Ekspor Listrik Dari PLN per Tahun (kWh)	368,1390
	Energi Bersih dari PLN Dalam 1 Tahun (kWh)	920,3475
	Energi Bersih dari PLN Dalam 1 Bulan (kWh)	76,695625

Tabel 14. Tagihan Biaya dari PLN dengan PLTMH

No	Parameter	Nilai
1	Total Energi dari PLN per Tahun (kWh)	920,3475
2	Tarif Dasar Listrik PLN 2200 VA (Rp/kWh)	Rp1.440,70
	Total Biaya dari PLN dengan PLTMH dalam 1 tahun	Rp 1.325.944,64
	Total Biaya dari PLN dengan PLTMH dalam 1 bulan	Rp 110.495,39

Tabel 15. Total Biaya dari PLN tanpa PLTMH

No	Parameter	Nilai
1	Total Konsumsi Energi dalam 1 Tahun (kWh)	1840,695
2	Tarif Dasar Listrik PLN 2200 VA (Rp/kWh)	Rp 1.440,70
	Tagihan Biaya dari PLN tanpa PLTMH dalam 1 tahun	Rp 2.651.889,29
	Tagihan Biaya dari PLN tanpa PLTMH dalam 1 bulan	Rp 220.990,77

Tabel 16. Selisih Biaya Tagihan selama 1 Tahun

No	Parameter	Nilai
1	Tagihan Biaya dari PLN tanpa PLTMH dalam 1 tahun	Rp2.651.889,29
2	Tagihan Biaya dari PLN dengan PLTMH dalam 1 tahun	Rp1.325.944,64
	Selisih Biaya Tagihan selama 1 Tahun	Rp1.325.944,64

Tabel 17. Selisih Biaya Tagihan selama 1 Bulan

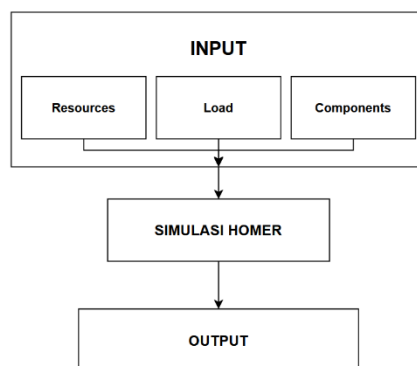
0	Parameter	Nilai
1	Tagihan Biaya dari PLN tanpa PLTMH dalam 1 bulan	Rp220.990,77
2	Tagihan Biaya dari PLN dengan PLTMH dalam 1 bulan	Rp110.495,39
	Selisih Biaya Tagihan selama 1 bulan	Rp110.495,39

Berdasarkan tarif dasar listrik PLN untuk pelanggan 2200 VA sebesar Rp 1.440,70 per kWh, diperoleh hasil bahwa biaya listrik tahunan tanpa PLTMH mencapai Rp 2.651.889,29, sedangkan biaya tahunan setelah adanya PLTMH turun menjadi Rp 1.325.944,64. Artinya, terdapat penghematan sebesar Rp 1.325.944,64 per tahun, atau setara dengan Rp 110.495,39 per bulan.

2.7. Simulasi Homer

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak HOMER untuk mempermudah proses evaluasi efisiensi daya. Perangkat lunak HOMER dipilih karena mampu melakukan simulasi teknis, optimasi konfigurasi sistem, serta analisis ekonomi secara terintegrasi. Dibandingkan dengan pendekatan analitis konvensional yang umumnya hanya menghitung potensi daya atau energi, HOMER dapat mengevaluasi parameter ekonomi seperti Cost of Energy (COE), Net Present Cost (NPC), dan biaya operasi sistem selama umur proyek. Selain itu, HOMER banyak digunakan dalam penelitian sistem energi terbarukan sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan studi sejenis dan memiliki validitas yang lebih baik. Oleh karena itu, HOMER dianggap sebagai metode yang relevan untuk mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomi PLTMH di Sungai Tangsi, Desa Tegalarum [14], [15].

Dalam tahap ini, dilakukan proses input berupa data sumber daya (resources), beban listrik (load), dan komponen sistem (components) ke dalam perangkat lunak. Setelah seluruh data dimasukkan, simulasi dijalankan untuk memperoleh hasil perhitungan. Keluaran dari simulasi HOMER yang digunakan dalam penelitian ini meliputi daya keluaran (output power) serta skematik konfigurasi sistem yang menggambarkan hubungan antar komponen pembangkit.



Gambar 4. Alur Kerja Simulasi HOMER

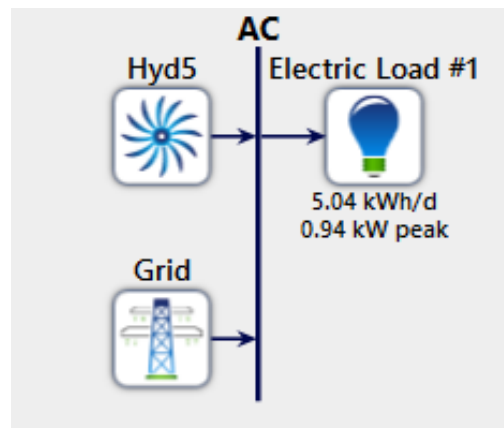
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dapat diuraikan mengenai hasil dari penelitian beserta pengujian yang telah dilakukan. Selain itu, disampaikan juga mengenai pembahasan dari penelitian maupun pengujian yang telah dilakukan.

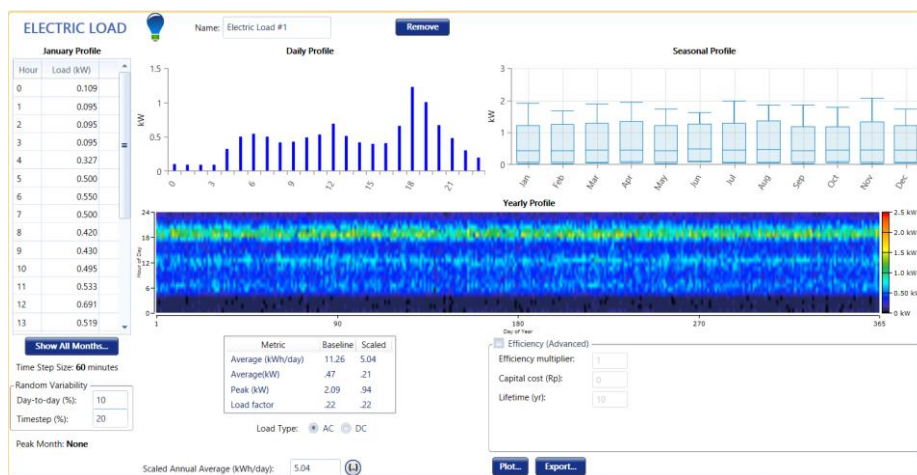
Hasil dan pembahasan seharusnya merupakan bab yang paling banyak isinya pada sebuah paper. Isi Hasil dan Pembahasan dapat mencapai 50-65% dari keseluruhan paper.

3.1. Input Data

Gambar skematik di gambar 5 menunjukkan konfigurasi sederhana: sumber hidro (Hyd5) terhubung ke beban listrik (Electric Load #1) dan juga ke grid (PLN). Konfigurasi ini merepresentasikan sistem mikrohidro yang bekerja bersama jaringan utama artinya saat produksi hidro melebihi kebutuhan lokal listrik dapat diekspor ke grid, dan saat produksi kurang, grid memasok kekurangan.



Gambar 5. Skematik Sistem



Gambar 6. Profil Beban

Profil beban yang dimasukkan ke HOMER menunjukkan Scaled Annual Average = 5.04 kWh/day, yang setara dengan:

$$5,04 \times 365 = 1840 \text{ kWh/tahun} \quad (2)$$

Metode visualisasi di HOMER memperlihatkan: average (scaled) = 0,21 kW, peak (scaled) = 0,94 kW, dan load factor = 0,22. Perhitungan load factor sederhana:

$$\text{Load factor} = \frac{\text{peak}}{\text{average}} = \frac{0,94}{2,21} = 0,22 \quad (3)$$

Artinya beban relatif kecil rata-rata tetapi ada lonjakan (puncak) mendekati 0,94 kW puncak ini terlihat pada grafik daily profile, terutama pada sore/malam (sekitar jam 18–19), yang tipikal karena aktivitas memasak dan penerangan.

Langkah selanjutnya dalam simulasi sistem PLTMH menggunakan software HOMER adalah memasukkan data masukan (input data). Data tersebut terdiri atas tinggi jatuh (head) sebesar 16,6 meter dan debit air rata-rata sebesar 19,5 liter per detik (0,0195 m³/s). Efisiensi turbin diatur sebesar 80%, dengan kehilangan energi (head loss) pada pipa sebesar 15%. Selain itu, parameter ekonomi juga dimasukkan, seperti biaya investasi awal sebesar Rp 8.000.000, biaya operasi dan perawatan tahunan sebesar Rp 500.000, serta masa pakai sistem selama 25 tahun. Proses ini bertujuan untuk memastikan seluruh parameter yang digunakan dalam simulasi sesuai dengan kondisi nyata di lapangan sehingga hasil analisis lebih akurat.

HYDRO

Name: SkW Generic Abbreviation: Hyd5 Remove Copy To Library

Economics

Capital Cost (Rp):	8,000,000.0
Replacement Cost (Rp):	8,000,000.0
O&M Cost (Rp/yr):	500,000.00
Lifetime (years):	25.00

Electrical Bus

AC ☒ DC ☐

Intake Pipe

Pipe head loss (%): 15.00

Turbine

Available head (m):	16.60
Design flow rate (L/s):	19.50
Minimum flow ratio (%):	50.00
Maximum flow ratio (%):	150.00
Efficiency (%):	80.00

Nominal Capacity: 2.540 kW

Systems to consider

☒ Simulate systems with and without the hydro turbine.

☒ Include the hydro turbine in all simulated systems.

Gambar 7. Pengaturan Hydro

ADVANCED GRID

Name: Grid Abbreviation: Grid Remove Copy To Library

Scheduled Rates

Simple Rates ☒ Real Time Rates ☐ Scheduled Rates ☐ Grid Extension ☐

Parameters

Rate Definition: Demand Rates Reliability Emissions

Sale capacity (kW): 300.15

Purchase Capacity

Annual Purchase Capacity

Capacity Optimization

132077.17

Systems to consider

☒ Simulate systems with and without the grid

☒ Include the grid in all simulations

☐ Net Metering

☒ Net purchases calculated monthly

☐ Net purchases calculated annually

Maximum net grid purchases:

☐ Limit (kWh/yr): 0.00

Grid Extension Costs

Grid capital cost (Rp/km): 0.00

Distance (km): 0.00

Electrified Generation Costs

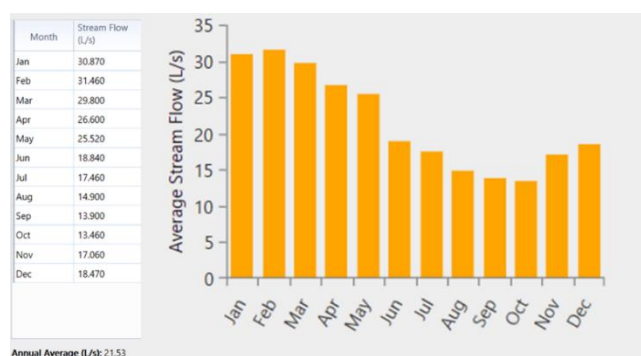
Interconnection charge (Rp): 0.00

Standby charge (Rp/hr): 0.00

Gambar 8. Pengaturan Grid

Langkah berikutnya adalah menghitung daya keluaran dari sistem turbin air yang akan menjadi input bagi HOMER dalam simulasi daya. Perhitungan daya dilakukan menggunakan rumus (1). diperoleh daya teoritis sebesar 2,54 kW, yang sesuai dengan nilai kapasitas nominal turbin pada simulasi HOMER. Setelah memperhitungkan kehilangan energi sebesar 15%, tinggi jatuh efektif menjadi 14,11 m, menghasilkan daya efektif sekitar 2,16 kW. Nilai ini kemudian digunakan HOMER untuk melakukan simulasi beban harian dan tahunan, sehingga menghasilkan keluaran berupa kebutuhan energi harian sebesar 5,04 kWh/hari dengan beban puncak 0,94 kW sebagaimana ditunjukkan pada hasil simulasi.

Langkah Selanjutnya memasukkan data sumber daya air (hydro resource) pada simulasi HOMER adalah menentukan metode input data. Pada tahap ini dipilih opsi “Enter monthly averages”, yaitu dengan memasukkan data debit aliran sungai rata-rata setiap bulan (L/s). Data ini menggambarkan fluktuasi debit air sepanjang tahun yang berpengaruh langsung terhadap potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin



Gambar 9. Pengaturan Resources Hydro

Setelah semua data bulanan dimasukkan, HOMER secara otomatis menghitung rata-rata debit tahunan (annual average) sebesar 21,53 L/s. Nilai ini menunjukkan potensi rata-rata ketersediaan air di lokasi yang akan digunakan dalam simulasi sistem PLTMH. Grafik di sisi kanan menampilkan pola distribusi debit air bulanan, di mana debit cenderung tinggi pada awal tahun (musim hujan) dan menurun pada pertengahan hingga akhir tahun (musim kemarau).

3.2. Hasil Simulasi

Architecture				Cost			System		Grid		Hyd5
Grid (kW)	Hyd5 (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Mean Output (kW)
1,329,577	2.54	CC	Rp18.4M	Rp43.04	Rp499,066	Rp8.00M	100	0	0	18,678	2.34

Gambar 10. Tabel Hasil Simulasi Optimasi Sistem PLTMH Menggunakan Software HOMER

Tabel 18. Hasil Simulasi Optimasi Sistem PLTMH Menggunakan Software HOMER

Variabel	Nilai
Architecture/Grid (kW)	1329577
Architecture/Hyd5 (kW)	2,54
Architecture/Dispatch	CC
Cost/NPC (Rp)	Rp18.395.084,22
Cost/COE (Rp)	Rp 43,04
Cost/Operating cost (Rp/yr)	Rp 4.990.661,00
Cost/Initial capital (Rp)	Rp 8.000.000,00
System/Ren Frac (%)	100
Grid/Energy Sold (kWh)	18678,19
Hyd5/Mean Output (kW)	2,34

Hasil simulasi dari perangkat lunak HOMER menunjukkan bahwa sistem yang dirancang terdiri dari kombinasi pembangkit hidro (Hyd5) dengan jaringan listrik (Grid). Berdasarkan data pada tabel, sistem menghasilkan rata-rata daya keluaran (mean output) sebesar 2,34 kW dari sumber hidro dengan kapasitas nominal 2,54 kW. Dari sisi ekonomi, sistem memiliki biaya modal awal (initial capital) sebesar Rp 8.000.000, biaya operasi tahunan (operating cost) sebesar Rp 499.066 per tahun, dan menghasilkan biaya energi (COE) sebesar Rp 43,04 per kWh. Nilai NPC (Net Present Cost) atau biaya total proyek selama umur sistem tercatat sebesar Rp 18,4 juta.

Nilai COE sebesar Rp43,04/kWh menunjukkan biaya produksi energi yang relatif rendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian Prabowo dkk. yang menunjukkan bahwa PLTMH skala kecil memiliki biaya energi yang kompetitif karena tidak memerlukan bahan bakar dan memiliki biaya operasi yang rendah. Perbedaan nilai COE dan NPC antar penelitian umumnya dipengaruhi oleh variasi debit air, head, kapasitas pembangkit, serta asumsi biaya investasi yang digunakan pada masing-masing lokasi.

Nilai Net Present Cost (NPC) pada hasil simulasi Homer sebesar $\approx$ Rp18,4 juta menggambarkan biaya total sistem selama umur proyek, yang mencakup seluruh komponen biaya mulai dari investasi awal, biaya penggantian komponen, biaya operasi dan pemeliharaan, hingga biaya energi dari grid (jika ada), dikonversi ke nilai sekarang (present value). Dengan kata lain, NPC menunjukkan berapa besar total pengeluaran yang harus dikeluarkan sepanjang umur sistem (25 tahun dalam simulasi ini) dengan mempertimbangkan faktor diskonto (discount rate) agar seluruh biaya masa depan dihitung dalam nilai uang saat ini.

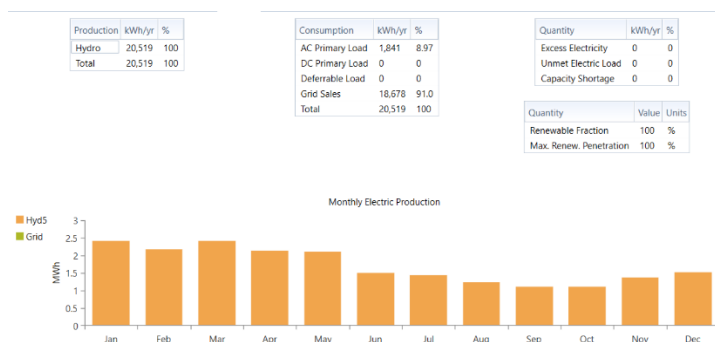
Pada sistem ini, NPC sebesar Rp 18,4 juta tergolong rendah karena sistem PLTMH memiliki biaya operasional yang kecil, tidak memerlukan bahan bakar (non-fuel), dan memiliki umur komponen yang cukup panjang. Kontribusi terbesar terhadap NPC berasal dari biaya modal awal (Rp 8 juta) dan biaya operasi tahunan (Rp 499.066 per tahun), sedangkan tidak terdapat biaya penggantian besar karena sistem hidro bersifat tahan lama. Sistem ini juga memiliki fraksi energi terbarukan (RenFrac) sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa seluruh energi listrik yang dihasilkan berasal dari sumber air tanpa kontribusi bahan bakar fosil. Dari sisi interaksi dengan jaringan listrik, sistem tidak melakukan pembelian energi dari grid (energy purchased = 0 kWh) namun menjual energi sebesar 18.678 kWh ke jaringan listrik.



Gambar 11. Rincian Biaya Sistem PLTMH pada Software HOMER

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 11, total biaya sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebesar Rp18.395.084,22, yang terdiri dari komponen utama yaitu turbin mikrohidro 5 kW Generic dan sambungan ke jaringan listrik (Grid). Komponen 5 kW Generic memiliki biaya investasi awal (capital

cost) sebesar Rp8.000.000,00 dan biaya operasi serta pemeliharaan (O&M) sebesar Rp10.414.536,69, tanpa adanya biaya bahan bakar maupun biaya penggantian karena sistem sepenuhnya berbasis energi terbarukan dari air. Komponen Grid memberikan nilai negatif sebesar Rp19.452,47 pada kategori biaya operasi dan pemeliharaan, yang menunjukkan adanya penghematan atau pendapatan dari penjualan energi listrik ke jaringan PLN. Secara keseluruhan, total biaya sistem yang diperoleh sejalan dengan nilai Net Present Cost (NPC) sebesar Rp18,4 juta, sehingga menunjukkan bahwa sistem PLTMH ini efisien secara ekonomi dan layak untuk diterapkan.

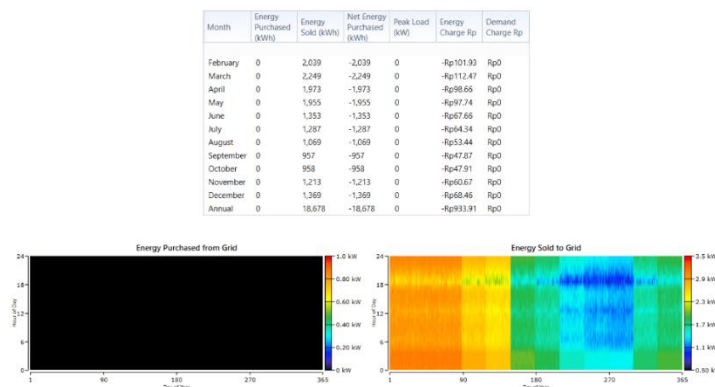


Gambar 12. Hasil Produksi Energi Listrik Tahunan PLTMH pada Software HOMER

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar di atas, sistem PLTMH (Hid5) menghasilkan total produksi energi sebesar 20,519 kWh per tahun, dengan 100% sumber energi berasal dari hidro tanpa kontribusi dari jaringan listrik (grid). Energi yang dihasilkan digunakan untuk memenuhi beban listrik utama sebesar 1.841 kWh/tahun atau sekitar 8,97% dari total energi, sedangkan sisanya sebesar 18.678 kWh/tahun (91%) dijual ke jaringan listrik. Nilai Renewable Fraction sebesar 100% menunjukkan bahwa seluruh energi listrik yang dihasilkan berasal dari sumber energi terbarukan, yaitu air.

Produksi energi PLTMH sangat dipengaruhi oleh variasi debit air sungai. Berdasarkan data debit bulanan pada Tabel 1, debit tertinggi terjadi pada bulan Februari sebesar 31,46 L/s, sedangkan debit terendah terjadi pada bulan Oktober sebesar 13,46 L/s. Karena daya hidrolik berbanding lurus dengan debit aliran, maka penurunan debit pada musim kemarau berpotensi menurunkan daya keluaran pembangkit. Namun demikian, hasil simulasi HOMER menunjukkan bahwa sistem masih mampu memenuhi kebutuhan beban sepanjang tahun tanpa terjadi unmet load, sehingga sistem memiliki tingkat keandalan yang baik terhadap fluktuasi debit musiman. Perbedaan antara target suplai energi pada tahap perencanaan (920,35 kWh/tahun) dan hasil simulasi HOMER (20.519 kWh/tahun) terjadi karena pada tahap awal digunakan asumsi kontribusi PLTMH sebesar 50% dari kebutuhan energi masyarakat. Sementara itu, simulasi HOMER mengevaluasi potensi energi berdasarkan kapasitas teknis pembangkit sebesar 2,54 kW dengan debit dan head yang tersedia, sehingga menghasilkan produksi energi yang jauh lebih besar dari kebutuhan lokal.

Distribusi produksi listrik bulanan terlihat pada grafik “Monthly Electric Production”. Produksi tertinggi terjadi pada bulan Januari hingga Maret dengan rata-rata di atas 2,4 MWh, sementara produksi terendah terjadi pada September dan Oktober dengan nilai sekitar 1,2 MWh. Variasi ini dipengaruhi oleh fluktuasi debit aliran air pada sungai yang digunakan sebagai sumber energi PLTMH. Tidak terdapat kelebihan listrik (Excess Electricity = 0) maupun kekurangan daya (Unmet Electric Load = 0), yang menandakan sistem ini bekerja secara optimal dan stabil sepanjang tahun dalam memenuhi kebutuhan beban serta menjual energi ke grid.

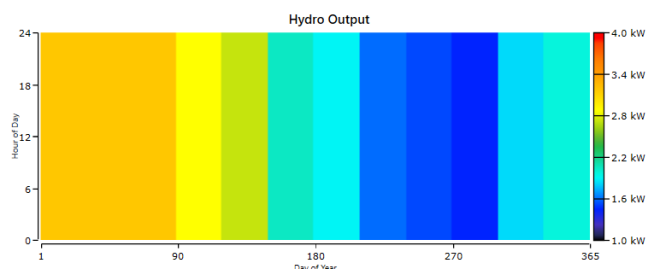


Gambar 13. Energi yang Dibeli dan Dijual ke Grid

Gambar tersebut menampilkan hasil analisis interaksi energi antara sistem PLTMH dengan jaringan listrik (grid). Berdasarkan tabel di bagian atas, terlihat bahwa sepanjang tahun tidak ada energi yang dibeli dari jaringan (Energy Purchased = 0 kWh), sementara total energi yang dijual ke jaringan mencapai 18.678 kWh per tahun. Nilai Net Energy Purchased selalu negatif, yang berarti sistem selalu mengeksport energi ke grid, bukan mengimpor. Nilai Energy Charge (Rp) juga bernilai negatif karena sistem memperoleh pendapatan dari penjualan listrik ke jaringan. Grafik di bagian bawah memperkuat hasil ini — grafik Energy Purchased from Grid berwarna hitam, menandakan tidak ada pembelian energi dari jaringan sepanjang tahun, sedangkan grafik Energy Sold to Grid menunjukkan fluktuasi ekspor daya dengan rata-rata sekitar 2–3,5 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem PLTMH menghasilkan energi melebihi kebutuhan lokalnya dan berfungsi sebagai pemasok listrik bersih ke jaringan, menjadikannya sistem yang efisien dan berkontribusi positif terhadap pasokan energi terbarukan.

Quantity	Value	Units
Nominal Capacity	2.54	kW
Mean output	2.34	kW
Capacity factor	92.2	%
Total Production	20,519	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	1.49	kW
Maximum output	3.24	kW
Hydro penetration	1,115	%
Hours of operation	8,760	hrs/yr
Levelized Cost	43.1	Rp/kWh



Gambar 14. Output Daya Pembangkit Mikrohidro (Hydro Output)

Gambar menunjukkan hasil simulasi output daya pembangkit mikrohidro (Hydro Output) selama satu tahun dengan kapasitas nominal sebesar 2,54 kW dan rata-rata keluaran daya (mean output) sebesar 2,34 kW. Berdasarkan hasil simulasi, sistem memiliki faktor kapasitas sebesar 92,2%, yang menunjukkan bahwa pembangkit bekerja sangat efisien dan hampir mendekati kapasitas maksimumnya. Total produksi energi tahunan mencapai 20.519 kWh/tahun, dengan variasi daya keluaran antara 1,49 kW hingga 3,24 kW. Grafik distribusi warna di bawah tabel memperlihatkan perubahan daya keluaran terhadap waktu (hari dalam setahun dan jam dalam sehari), di mana warna merah hingga kuning menunjukkan daya tinggi, sedangkan warna biru menunjukkan daya yang lebih rendah. Dari grafik ini dapat diamati bahwa pembangkit beroperasi secara stabil sepanjang tahun dengan jam operasi penuh (8.760 jam/tahun) dan penetrasi energi hidro sebesar 1.115%, menandakan kontribusi yang dominan dari sumber energi air terhadap sistem kelistrikan. Biaya listrik yang dihasilkan relatif rendah, yaitu sekitar Rp 43,1 per kWh. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan potensi energi air di Sungai Tangsi dapat menjadi solusi penyediaan energi listrik berkelanjutan bagi masyarakat Kampung Susukan. Selain mengurangi ketergantungan terhadap listrik PLN, sistem PLTMH juga berpotensi meningkatkan pendapatan melalui penjualan energi listrik ke jaringan. Oleh karena itu, pengembangan PLTMH dapat dipertimbangkan sebagai salah satu strategi pemanfaatan energi terbarukan di wilayah pedesaan yang memiliki karakteristik sumber daya air serupa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan potensi energi air di Sungai Tangsi dapat menjadi solusi penyediaan energi listrik berkelanjutan bagi masyarakat Kampung Susukan. Selain mengurangi ketergantungan terhadap listrik PLN, sistem PLTMH juga berpotensi meningkatkan pendapatan melalui penjualan energi listrik ke jaringan. Oleh karena itu, pengembangan PLTMH dapat dipertimbangkan sebagai salah satu strategi pemanfaatan energi terbarukan di wilayah pedesaan yang memiliki karakteristik sumber daya air serupa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER, sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Kampung Susukan, Desa Tegalarum, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang menunjukkan performa yang layak dan efisien untuk diterapkan sebagai sumber energi terbarukan. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem PLTMH dengan kapasitas turbin sebesar 2,54 kW mampu menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 20.519 kWh/tahun, dengan rata-rata keluaran daya (mean output) sebesar 2,34 kW dan faktor kapasitas mencapai 92,2%. Dari sisi ekonomi, sistem PLTMH memiliki biaya investasi awal sebesar

Rp 8.000.000, biaya operasi tahunan Rp 499.066, dan biaya energi (COE) hanya sebesar Rp 43,04/kWh, dengan nilai Net Present Cost (NPC) sebesar Rp 18,4 juta selama masa operasi 25 tahun. Selain itu, sistem mampu menghemat biaya listrik masyarakat hingga Rp 1.325.944,64 per tahun, atau sekitar Rp 110.495,39 per bulan, dibandingkan dengan kondisi tanpa PLTMH. Seluruh energi listrik yang dihasilkan berasal dari sumber hidro (Renewable Fraction = 100%), tanpa kontribusi bahan bakar fosil, menjadikan sistem ini ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan efisiensi teknis tinggi, biaya operasional rendah, serta kemampuan menghasilkan energi bersih yang berlebih untuk dijual ke jaringan listrik (18.678 kWh/tahun), sistem PLTMH Kampung Susukan terbukti layak secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan. Berdasarkan hasil penelitian ini, pemerintah desa dan pemangku kepentingan terkait dapat mempertimbangkan pengembangan PLTMH sebagai salah satu strategi penyediaan energi berkelanjutan di Kampung Susukan. Potensi energi air yang tersedia tidak hanya mampu mengurangi ketergantungan terhadap listrik PLN, tetapi juga berpeluang memberikan manfaat ekonomi melalui penjualan energi listrik ke jaringan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan debit air musiman, evaluasi biaya investasi berdasarkan data lapangan terkini, serta kajian implementasi sistem PLTMH secara nyata guna memperoleh hasil yang lebih representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Syah, I. Sunaryantiningsih, and C. Sari, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Patihan Kabupaten Madiun," *Set-up: Jurnal Keilmuan Teknik*, vol. 1, no. 2, 2023, doi: 10.25273/set-up.v1i2.17539.177-186.
- [2] C. B. K. Sampurno, O. A. Nugroho, and R. C. E. Putri, "OPTIMASI KINCIR AIR TIPE UNDERSHOT: PENGARUH JUMLAH SUDU DANKETINGGIAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN EKSPERIMENTAL," *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, Apr. 2024.
- [3] W. B. Kusuma, "Kajian Potensi Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro (PLTMH) Indragiri Hulu," *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.37525/mz/2020-1/255.
- [4] P. L. Utami, S. Aisah, N. Suprpto, H. N. Hidaayatullaah, and B. Arymbekov, "How Micro-hydro power plant fit in support of SDG 7?," in *E3S Web of Conferences*, E3S Web of Conferences, 2024.
- [5] A. Nurmansyah, M. Alkaf, N. 'Afini Aulia, and Nurdianto, "Analysis of Micro Hydro Potential as A New Renewable Energy Source (Case Study: Bangkong Waterfall, Kuningan Regency, Indonesia) ," *Jurnal Locus Penelitian dan Pengabdian*, vol. 3, no. 7, 2024.
- [6] R. A. Faizal, Sandi, and L. Nurpulaela, "Analisis Efisiensi Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Pakem).," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 13, no. 351, Oct. 2025.
- [7] S. Syafii, P. Anugrah, H. D. Laksono, and H. Yamashika, "Economic Feasibility Study on PV/Wind Hybrid Microgrids for Indonesia Remote Island Application," *TEM Journal*, vol. 10, no. 4, 2021, doi: 10.18421/TEM104-66.
- [8] S. Sukamta, H. Ananta, and M. K. Aini, "Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan," *Edu ElektriKA Journal*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [9] A. Nugroho, Hi. Yusuf, K. Hie Kwee, P. Studi Teknik Elektro, and J. Teknik Elektro, "EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KAPASITAS 40 kVA DESA RIRANG JATI KECAMATAN NANGA TAMAN KABUPATEN SEKADAU," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 5, no. 1, Jan. 2017, doi: 10.26418/J3EIT.V5I1.18033.
- [10] W. Syahrir, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid di Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Syntax Idea*, vol. 6, no. 1, pp. 470–487, Jan. 2024, doi: 10.46799/SYNTAX-IDEA.V6I1.2931.
- [11] PUSDATARU, "Data Debit Sungai Pos Duga Air BPSDA Probolo Tahun 2023.," Magelang, 2023.
- [12] K. Nisa, M. Qidam, and A. Santoso, "Analisis Perbedaan Generator Dan Effisiensi Gear Ratio PLTMH Vortex Turbine Di Waduk Desa Bujel," *Jurnal JEETech*, vol. 3, no. 1, pp. 52–56, Jul. 2022, doi: 10.48056/JEETECH.V3I1.200.
- [13] F. I. Prabowo, A. F. Syahla, Y. A. Saputra, A. R. Kurniadi, A. Stefanie, and D. B. Santoso, "SIMULATION OF MICRO HYDRO POWER GENERATION USING HOMER SOFTWARE: A CASE STUDY IN SUKOSARI AREA," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 26, no. 2, pp. 158–167, Jan. 2024, doi: 10.24912/TESLA.V26I2.32608.

- [14] Z. Hanafi, T. Kurniawan, G. A. Artanto, M. Arihta, and D. B. Santoso, “DESAIN DAN OPTIMASI SISTEM TENAGA HIBRIDA UNTUK LISTRIK RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN HOMER PRO: ANALISIS BIAYA DAN KEBERLANJUTAN,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, pp. 2830–7062, Jul. 2025, doi: 10.23960/JITET.V13I3.6620.
- [15] A. Sistem Hibrida, H. Pro dan PVsyst Nuraina, and D. Supriyatna, “Sistem Hibrida : HOMER PRO dan PVsyst,” *JTM: JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 1, no. 1, pp. 8–11, Jun. 2025, doi: 10.58466/JTM.V1I2.1911.