

Analisis Efisiensi Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Pakem).

Rifky Abilio Faizal^{1*}, Sandi², Lela Nurpulaela³

1, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

Keywords:

Efisiensi Teknis, Efisiensi Ekonomis, PLTMH, HOMER, Energi Terbarukan.

Correspondent Email:

2110631160021@student.unsika.ac.id

Abstrak. Penelitian ini menganalisis efisiensi daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di daerah Pakem menggunakan perangkat lunak HOMER. Kebutuhan air meningkat dari 7,83 liter/detik pada tahun 2009 menjadi 15,61 liter/detik pada proyeksi 2027, dengan debit air rata-rata 1,76 liter/detik. Hasil simulasi menunjukkan PLTMH mampu menghasilkan 27.645 kWh per tahun dengan 100% energi berasal dari tenaga air. Sebanyak 6,52% energi digunakan untuk kebutuhan lokal, sementara 93,5% dijual ke jaringan listrik. PLTMH beroperasi pada faktor kapasitas sebesar 128%, dengan biaya operasional tahunan rendah sebesar Rp 92,12. Net Present Cost (NPC) tercatat Rp 38.081,26 dan Levelized Cost of Energy (COE) sebesar Rp 0,06613/kWh. PLTMH di Pakem menunjukkan efisiensi tinggi baik secara teknis maupun ekonomi, namun peningkatan kebutuhan air di masa depan memerlukan optimasi sistem agar operasi pembangkit tetap berkelanjutan.



Copyright © [JITET](#) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. This study analyzes the power efficiency of a Micro-Hydro Power Plant (PLTMH) in the Pakem area using HOMER software. Water demand increased from 7.83 liters/second in 2009 to a projected 15.61 liters/second by 2027, with an average water flow of 1.76 liters/second. The simulation results show that the PLTMH can generate 27,645 kWh per year, with 100% of the energy coming from hydropower. About 6.52% of the energy is used for local needs, while 93.5% is sold to the grid. The PLTMH operates at a capacity factor of 128%, with a low annual operating cost of Rp 92.12. The Net Present Cost (NPC) is recorded at Rp 38,081.26, and the Levelized Cost of Energy (COE) is Rp 0.06613/kWh. The PLTMH in Pakem demonstrates high efficiency both technically and economically, but increasing water demand in the future will require system optimization to maintain sustainable operations.

1 PENDAHULUAN

Keberadaan listrik sangat membantu kehidupan manusia dan membuat kebutuhan listrik semakin meningkat dari waktu ke waktu. Permasalahannya saat ini adalah terbatasnya

cakupan pelayanan infrastruktur dan rendahnya akses listrik masyarakat serta struktur energi primer untuk pembangkit listrik masih bersumber kepada sumber energi fosil (batu bara, minyak bakar, gas, dll). Dalam

mempercepat pembangunan infrastruktur khususnya untuk mendukung usaha pembangkitan tenaga listrik yang baru, memiliki keterbatasan dan beberapa permasalahan. Perlu dilakukan usaha pemanfaatan sumber energi non-fosil, khususnya yang memanfaatkan sumber energi primer lokal. Salah satu sumber daya energi yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit tenaga listrik adalah tenaga air skala kecil. PLTMH sebagai energi alternatif diharapkan manfaatnya lebih besar lagi dan bisa atas minimnya pengetahuan masyarakat desa terhadap PLTMH dan dapat dikembangkan sebagai sumber energi listrik dari air [8]. Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan listrik pedesaan di daerah terpencil adalah dengan memanfaatkan aliran sungai, melalui Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Hasil daya yang dibangkitkan PLTMH, disinyalir sangat beresiko karena fluktuasi sumber energi primer air, keberadaannya sangat tergantung musim [9]. Debit air PLTMH bergantung dengan musim, apabila musim kemarau debit air PLTMH mengalami penurunan. Mikrohidro atau biasa disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. [1] Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) ditujukan untuk daerah-daerah pedesaan. Selain itu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) memiliki jaringan transmisi dan distribusi sendiri yang pengelolaannya dapat diserahkan langsung kepada pengurus Desa setempat.[2] PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energy air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. [3] Teknologi pembangkit listrik tenaga mikro hidro merupakan teknologi yang paling matang untuk dikembangkan di daerah pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Sumber energi listrik dengan mikro hidro termasuk bersih dan ramah lingkungan.[4] Pada prinsipnya

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) memanfaatkan beda ketinggian jatuh air dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. [5] Pembangkit listrik tenaga mikrohidro sangat berpotensi dan bermanfaat dibangun pada dataran tinggi atau daerah pegunungan, karena pada daerah-daerah tersebut memiliki ketersediaan air yang melimpah dan perbedaan ketinggian.[6] PLTMH sebagai energi alternatif diharapkan manfaatnya lebih besar lagi dan bisa atas minimnya pengetahuan masyarakat desa terhadap PLTMH dan dapat dikembangkan sebagai sumber energi listrik dari air [7].

Penelitian oleh Sri Sukamta pada tahun 2018 yang berjudul “Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan”. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengukuran untuk memperoleh debit air dan panjang penstock. Sebelum melakukan pengukuran debit air perlu dilakukan analisis data yaitu perhitungan luas penampang dan perhitungan kecepatan air [10]

Penelitian oleh Tom Labert pada tahun 2006 yang berjudul “*Micropower System Modeling With Homer*”. Penelitian tersebut membahas tentang Homer Pro yaitu sistem komputer yang dikembangkan oleh Amerika Serikat untuk membantu perancangan sistem tenaga mikro. Homer Pro tidak hanya merancang sistem pembangkit listrik, namun dapat memodelkan banyak desain berdasarkan keunggulan teknis dan ekonomi. Hasil penelitiannya yaitu Homer dapat memodelkan turbin hidro sebagai perangkat yang mengkonversi kekuatan air jatuh ke listrik AC atau DC, tanpa memodulasi output daya [11]. Homer merupakan suatu software yang kebanyakan digunakan untuk mendesain pembangkit listrik tenaga hybrid, sedangkan untuk Pembangkit Listrik stand alone sangat jarang dilakukan. Nantinya software Homer digunakan sebagai media perhitungan output daya PLTMH. Homer memiliki keunggulan dapat mengetahui hasil yang optimal dari konfigurasi sistem sehingga output daya yang dihasilkan merupakan output daya paling optimal [12].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti berinisiatif menggunakan software

Homer sebagai software yang digunakan untuk mengukur output daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Penelitian dengan judul “Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Homer”. Studi analisis ini diharapkan mampu meninjau kembali debit air sehingga nantinya dapat mengetahui output daya yang didapatkan menggunakan software Homer. Dengan perhitungan kembali output daya maka bisa menentukan penurunan daya yang dihasilkan. Apabila telah diketahui output daya yang dihasilkan maka bisa menentukan persentase efisiensi daya PLTMH. Persentase efisiensi daya PLTMH biasanya menurun apabila musim kemarau sehingga solusi yang tepat yaitu dengan menyambungkan ke dalam sistem grid PLTMH dengan PLN. Software Homer dapat mensimulasikan PLTMH grid-connected dengan PLN. Setelah adanya penelitian ini peneliti mengharapkan agar pengelola dapat meningkatkan pengelolaan PLTMH agar semakin optimal baik dari segi elektrik maupun mekanikal.

2 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini disusun secara sistematis untuk menganalisis efisiensi daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan memanfaatkan perangkat lunak HOMER. Penelitian ini dirancang agar hasil yang diperoleh dapat direplikasi, serta memberikan gambaran menyeluruh mengenai langkah-langkah analisis teknis maupun ekonomis. Proses penelitian dimulai dengan penentuan desain penelitian, dilanjutkan dengan pengumpulan data primer dan sekunder, kemudian dilakukan pemodelan sistem pada perangkat lunak HOMER, hingga analisis hasil simulasi yang dihasilkan.

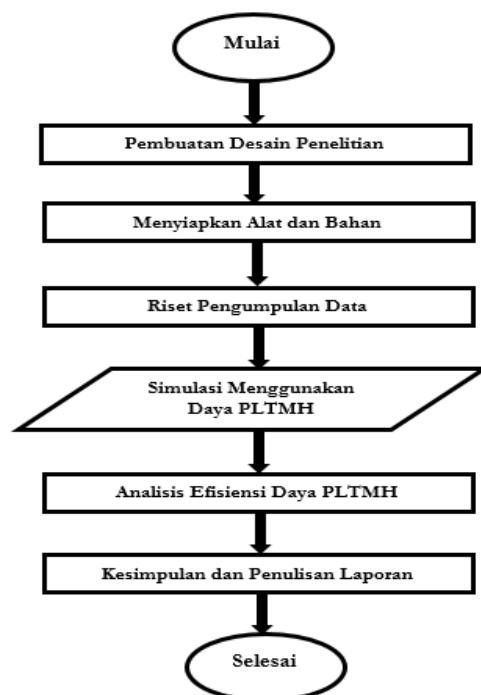
Pendekatan penelitian ini bersifat kuantitatif non-eksperimental dengan metode deskriptif, sehingga data yang digunakan dianalisis dalam bentuk angka dan hasil perhitungan, tanpa memberikan perlakuan langsung terhadap objek penelitian. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan studi literatur dari penelitian terdahulu yang relevan untuk memperkuat landasan teori.

Metode penelitian yang digunakan untuk analisis efisiensi daya pembangkit listrik tenaga

mikrohidro menggunakan homer adalah sebagai berikut:

2.1. Desain Penelitian

Desain penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian kuantitatif non-eksperimental dengan menggunakan metode deskriptif. Penelitian kuantitatif non eksperimen yaitu penelitian yang dilakukan dengan menggunakan pengolahan angka-angka, pengolahan statistik, struktur, percobaan terkontrol tanpa menggunakan *threatment-threatment* tertentu.



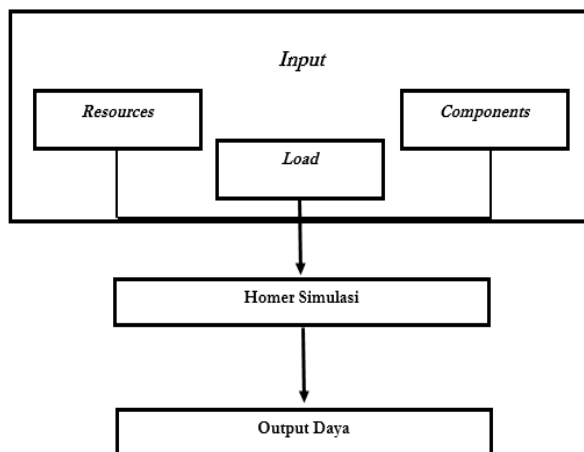
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik Pengumpulan data yaitu cara-cara yang dapat digunakan untuk mengumpulkan data. Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu studi literatur, pengukuran dan studi dokumentasi.

2.3. Simulasi Homer

Data-data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis dengan software Homer agar mempermudah proses analisis efisiensi daya karena hasil analisis akurat dan sesuai dengan teori analisis yang sudah ada

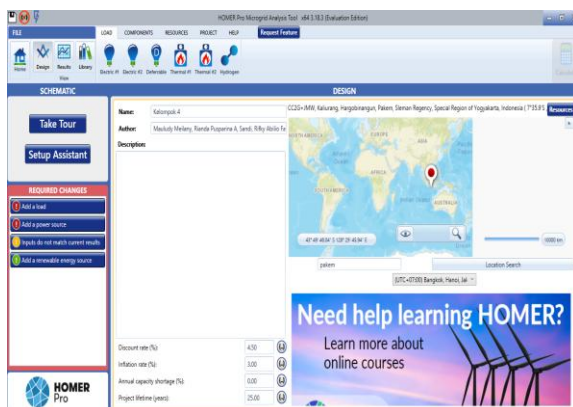


Gambar 2 Alur Software Homer

Pada Gambar 2. menjelaskan alur penggunaan software homer yaitu dengan memasukkan input berupa resources, load dan components. Setelah itu software homer dapat disimulasikan. Output software homer yang peneliti tampilkan pada penelitian ini berupa output daya dan skematik konfigurasi system.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi Homer Pro digunakan untuk melakukan simulasi dan optimasi sistem energi hybrid, yang mencakup berbagai sumber energi seperti energi terbarukan dan konvensional. Dalam penggunaannya, Homer Pro memandu pengguna melalui tahapan pengaturan awal, pemilihan komponen, hingga perhitungan hasil. Setiap langkah melibatkan penginputan data spesifik terkait beban listrik, jenis pembangkit, dan konfigurasi sistem, yang akan dianalisis untuk menentukan kinerja terbaik dan biaya operasional yang optimal. Berikut ini adalah tahapan penggunaan Homer Pro berdasarkan gambar yang tersedia.



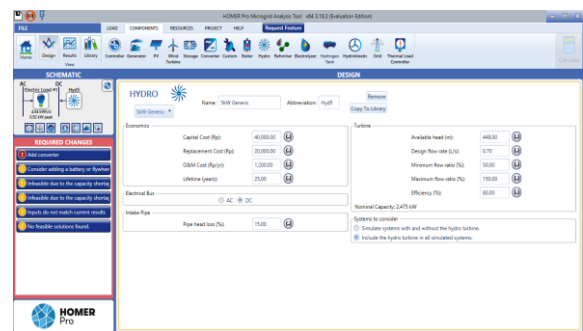
Gambar 3 Tahap ke-1

Tahapan pertama dalam penggunaan aplikasi Homer Pro dimulai dengan pengaturan awal. Pada tahap ini, dilakukan konfigurasi setting yang dibutuhkan sebelum melanjutkan simulasi atau analisis, seperti mengatur parameter dasar proyek, misalnya lokasi, mata uang, dan jenis sistem energi yang akan dianalisis. Langkah ini memastikan aplikasi disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pengguna.



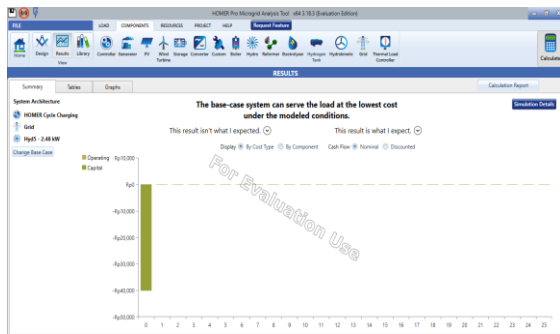
Gambar 4 Tahap ke-2

Setelah pengaturan awal, selanjutnya mengklik menu "Load". Pada tahap ini, input yang diberikan adalah data beban listrik (load) yang diharapkan atau diperlukan oleh sistem. Pengguna memasukkan data seperti kebutuhan energi harian, pola penggunaan listrik sepanjang hari, atau beban puncak yang diprediksi.



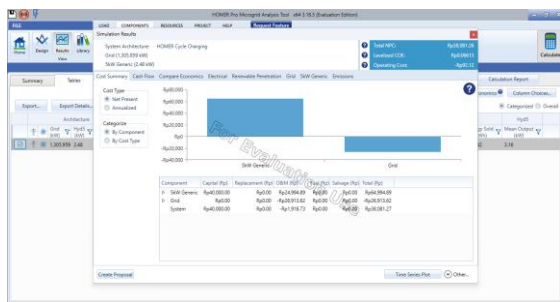
Gambar 5 Tahap ke-3

Pada tahap ke-3 masuk ke menu "Components" dan memilih opsi "Hydro". Pada tahap ini, pengguna menambahkan komponen pembangkit listrik tenaga air (hydro) ke dalam simulasi sistem energi. Parameter yang dimasukkan meliputi kapasitas pembangkit, potensi aliran air, dan data terkait efisiensi sistem.



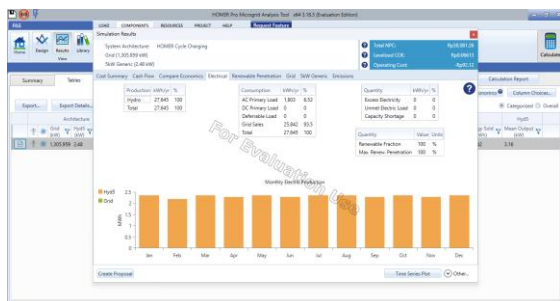
Gambar 6 Tahap ke-4

Setelah semua komponen ditambahkan, selanjutnya ke bagian "Calculate" dan memilih opsi "Summary". Ini adalah langkah untuk melakukan perhitungan agar mendapatkan hasil ringkasan dari simulasi yang dilakukan. Hasilnya menampilkan gambaran umum kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 7 Tahap ke-5

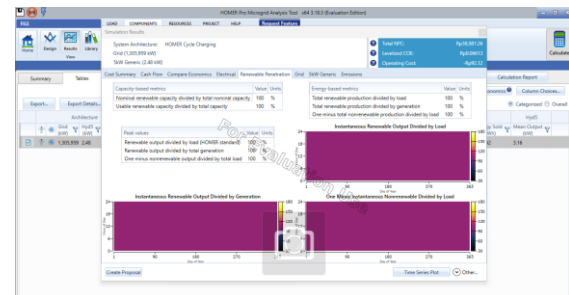
Langkah selanjutnya yaitu mengakses hasil yang lebih rinci dengan mengklik fitur "Tables". Tahap ini menampilkan hasil dalam format tabel, seperti output energi dari masing-masing komponen, biaya yang terlibat, dan data rinci lainnya terkait operasional sistem energi.



Gambar 8 Tahap ke-6

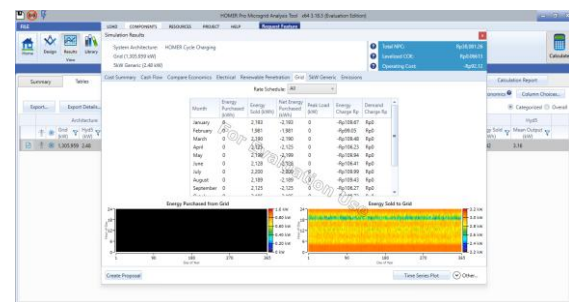
Pada tabel yang lebih spesifik dapat mengakses hasil terkait komponen listrik dengan memilih "Electrical". Di sini ditampilkan data tentang produksi listrik,

konsumsi energi, dan efisiensi sistem kelistrikan yang digunakan dalam simulasi.



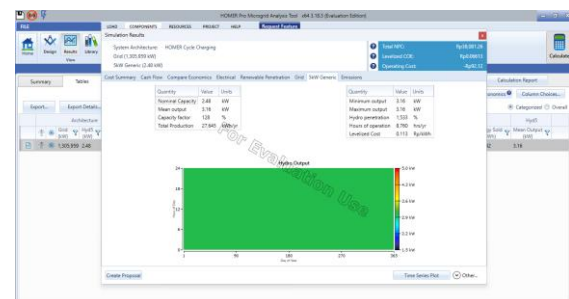
Gambar 9 Tahap ke-7

Pada langkah ini dapat melihat hasil tentang kontribusi energi terbarukan dalam sistem dengan memilih "Renewable Penetration". Tabel ini menampilkan seberapa besar penetrasi energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan energi secara keseluruhan.



Gambar 10 Tahap ke-8

Tahap selanjutnya menunjukkan analisis grid atau jaringan listrik dengan memilih "Grid". Di sini, dapat melihat bagaimana sistem terintegrasi dengan jaringan listrik umum, termasuk potensi ekspor atau impor energi dari dan ke grid.



Gambar 11 Tahap ke-9

Pada tahap terakhir, memilih dan menambahkan komponen pembangkit listrik dengan kapasitas 5 kW yang bersifat generik,

yaitu model pembangkit listrik yang umum digunakan dalam simulasi tanpa spesifikasi merek atau tipe tertentu. Komponen ini biasanya digunakan untuk mengestimasi kinerja sistem secara keseluruhan dengan kapasitas yang lebih kecil. Pengguna dapat memasukkan parameter terkait efisiensi, biaya, serta output energi dari pembangkit 5 kW ini, yang kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan total untuk mengevaluasi kontribusinya dalam memenuhi kebutuhan energi sistem.

TABEL I
PERIODE KEBUTUHAN AIR DI DAERAH LAYANAN PAKEM

Daerah Layanan	2009	2012	2017	2027
Pakem	7.83	9.75	12.09	15.61

Rata-rata debit air di wilayah Pakem dari Januari hingga Desember adalah 1,76 liter/detik, yang menjadi sumber energi utama bagi PLTMH untuk menghasilkan listrik. Jadi analisis efisiensi daya dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di wilayah Pakem menggunakan perangkat lunak HOMER, dengan memperhitungkan kebutuhan air dan debit air sebagai faktor utama. Berdasarkan data yang diperoleh, kebutuhan air di wilayah ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2009, kebutuhan air tercatat sebesar 7,83 liter/detik dan meningkat menjadi 9,75 liter/detik pada tahun 2012. Angka ini terus naik hingga mencapai 12,09 liter/detik di tahun 2017, dan diprediksi akan mencapai 15,61 liter/detik pada tahun 2027. Mengingat peningkatan yang signifikan ini, debit air yang tersedia menjadi faktor penting dalam analisis efisiensi daya PLTMH, karena ketersediaan air yang konsisten akan memengaruhi output listrik yang dihasilkan. Debit air yang stabil memungkinkan sistem bekerja dengan efisiensi optimal sepanjang tahun, namun penurunan debit air pada musim kemarau dapat mempengaruhi jumlah energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, ketersediaan debit air yang konstan sangat krusial dalam memastikan PLTMH dapat beroperasi pada tingkat optimal.

Simulasi menggunakan HOMER menunjukkan bahwa PLTMH mampu

menghasilkan 27.645 kWh listrik per tahun, dengan 100% energi tersebut berasal dari tenaga air, kebutuhan energi listrik dihasilkan secara eksklusif dari sumber air. Dari total energi yang dihasilkan, sekitar 1.803 kWh atau 6,52% digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban primer di wilayah pakem, sementara 25.842 kWh atau 93,5% dari energi yang dihasilkan dijual ke jaringan listrik (grid). Hal ini menunjukkan bahwa PLTMH tidak hanya mencukupi kebutuhan listrik lokal, tetapi juga menghasilkan surplus energi yang signifikan yang dapat dijual, memberikan potensi pendapatan tambahan.

Dari sisi operasional, kapasitas nominal PLTMH adalah 2,48 kW, namun hasil simulasi menunjukkan output rata-rata yang dihasilkan mencapai 3,16 kW, yang berarti pembangkit bekerja melebihi kapasitas desainnya. Faktor kapasitas yang tercatat sebesar 128% menunjukkan efisiensi tinggi dalam pemanfaatan sumber daya air. Namun, tingkat operasi yang melebihi kapasitas ini bisa mempengaruhi umur pakai komponen pembangkit seperti turbin dan generator jika digunakan secara terus-menerus tanpa perawatan yang memadai. Dari aspek ekonomi, hasil simulasi menunjukkan *Net Present Cost* (NPC) sebesar Rp 38.081,26, yang mencakup seluruh biaya pengoperasian, pemeliharaan, dan investasi selama masa hidup proyek. Sementara itu, *Levelized Cost of Energy* (COE) tercatat sebesar Rp 0,06613/kWh, menjadikan PLTMH ini sebagai alternatif sumber energi yang sangat kompetitif, terutama dibandingkan dengan sumber energi lain yang lebih mahal. COE yang rendah ini menunjukkan bahwa investasi awal cukup besar, biaya operasional yang rendah serta potensi pendapatan dari penjualan energi ke jaringan listrik memungkinkan pengembalian modal dalam waktu yang relatif cepat.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTMH di Pakem mampu beroperasi dengan efisiensi yang sangat baik, baik dari segi teknis maupun ekonomi. Namun, proyeksi peningkatan kebutuhan air hingga 15,61 liter/detik pada tahun 2027 dapat menjadi tantangan tersendiri bagi pembangkit. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas sistem atau pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif mungkin diperlukan untuk

menjaga efisiensi pembangkit dan memastikan bahwa PLTMH dapat terus memberikan kontribusi maksimal bagi masyarakat setempat dan jaringan listrik secara luas. PLTMH di wilayah Pakem menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam memanfaatkan sumber daya air untuk menghasilkan energi listrik, dengan sebagian besar energi yang dihasilkan dijual ke jaringan listrik. Dalam menghadapi peningkatan kebutuhan air di masa mendatang, optimasi lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memastikan bahwa sistem ini tetap efisien dan mampu memberikan manfaat jangka panjang baik dari sisi energi maupun finansial.

4 KESIMPULAN

PLTMH di Pakem menunjukkan kinerja efisiensi yang sangat baik, dengan seluruh energi listrik yang dihasilkan berasal dari tenaga air dan faktor kapasitas mencapai 128%, melebihi kapasitas nominalnya. Dari total energi yang dihasilkan, sebagian besar, yakni 93,5%, dijual ke jaringan listrik, sementara hanya 6,52% digunakan untuk kebutuhan lokal, menunjukkan adanya potensi pendapatan tambahan dari penjualan energi.

PLTMH ini beroperasi dengan biaya yang sangat rendah, yaitu Rp 92,12 per tahun, dengan Net Present Cost (NPC) sebesar Rp 38.081,26 dan Levelized Cost of Energy (COE) yang kompetitif, yaitu Rp 0,06613/kWh. Hal ini membuktikan bahwa PLTMH dapat menjadi salah satu solusi energi terbarukan yang layak secara teknis maupun ekonomis.

Jika dibandingkan dengan penelitian serupa pada energi terbarukan lain, seperti prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala kecil, masih terdapat keterbatasan kinerja terutama pada kondisi berbeban, di mana tegangan dan arus cenderung menurun seiring peningkatan beban [35]. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun setiap teknologi EBT memiliki tantangan masing-masing, PLTMH relatif lebih stabil dalam menghasilkan energi listrik.

Dengan proyeksi peningkatan kebutuhan air yang diperkirakan mencapai 15,61 liter/detik pada tahun 2027, diperlukan optimasi dan pengelolaan air yang lebih efisien agar PLTMH tetap berkelanjutan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia, serta mendukung

pencapaian bauran energi nasional melalui pemanfaatan potensi lokal yang tersedia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada institusi dan pihak terkait yang telah menyediakan data, referensi, serta fasilitas yang menunjang kegiatan penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rekan-rekan yang telah memberikan masukan, diskusi, serta bantuan teknis selama proses penyusunan penelitian berlangsung. Seluruh bentuk dukungan tersebut sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gunawan, A. Oktafeni, and W. Khabzli, "Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 4, pp. 202–206, 2014, doi: 10.17529/jre.v10i4.1113.
- [2] A. S. Hidayat and E. P. Hidayat, "Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Padat pada Kondisi Lembab," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 9–18, 2004.
- [3] R. R. Aprilianto, A. Funkas, and S. E. Wahyuni, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro untuk Desa Terpencil," *J. Tek. Sipil dan Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2013.
- [4] D. E. Fauziah, "Kajian Potensi Sumber Daya Air Kabupaten Lampung Barat," *J. Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2015.
- [5] M. B. Isnaeni, "Evaluasi Jaringan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Cokro Tulung Kabupaten Klaten," *Media Elektr.*, vol. 6, no. 1, pp. 13–34, 2013.
- [6] M. Zaini, S. Safrudin, and M. Bachrudin, "Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Frekuensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 139–145, 2020, doi: 10.24912/tesla.v0i0.9081.
- [7] S. S. Murni and A. Suryanto, "Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Parakandowo Kabupaten Pekalongan)," *J. List. Instrum. dan Elektron. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 34–38, 2021, doi: 10.22146/juliet.v1i2.61282.

- [8] T. A. Akbar, “Analisa Pengaruh Ketinggian dan Debit Air Terhadap Energi Listrik pada PLTMH Desa Girikerto,” *J. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–29, 2018.
- [9] Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Jawa Tengah, *Profil Sektor ESDM di Jawa Tengah Tahun 2018*, Semarang: ESDM Jateng, 2018.
- [10] A. Nugroho, “Daya Terserap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Karangtalun yang Digabung dengan PT PLN (Persero),” *E-Journal Undip*, vol. 17, no. 1, pp. 25–33, 2015.
- [11] S. Sukamta, H. Ananta, and M. K. Aini, “Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring, Kecamatan Petungkriyono, Kabupaten Pekalongan,” *Edu Elektrikal J.*, vol. 7, no. 1, pp. 27–33, 2018.
- [12] N. Kurniasih, “Analisa Mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Mikrohidro–Photovoltaic Array,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 55–62, 2015.
- [13] D. P. Cahyani, A. Rizaldi, and T. Hidayat, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Skala Kecil dengan Menggunakan Generator Sinkron Magnet Permanen,” *J. Inform. Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 1, pp. 59–66, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.6395.