

SKRIPSI

ANALISIS PEMANFAATAN AIR PADA BENDUNGAN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DAN DISIMULASIKAN DENGAN PERANGKAT LUNAK HOMER

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ANDRIAN TH SIMATUPANG
1907220081



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:


Nama : Andrian TH Simatupang
NPM : 1907220081
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pemanfaatan Air pada Bendungan sebagai
Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dan Disimulasikan
dengan Perangkat Lunak HOMER
Bidang ilmu : Energi Baru Terbarukan (EBT)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Mei 2026

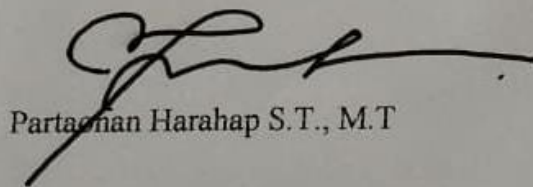
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



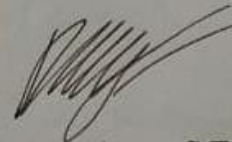
Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM

Dosen Pembanding I / Penguji



Partaoman Harahap S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji



Rahmat Fauzi Siregar S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Dr. Elyy Sahmur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Andrian TH Simatupang
Tempat /Tanggal Lahir: Medan / 03 Desember 1997
NPM : 1907220081
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

Analisis Pemanfaatan Air pada Bendungan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dan Disimulasikan dengan Perangkat Lunak HOMER

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Mei 2026



Saya yang menyatakan,

Andrian TH Simatupang

ABSTRAK

Energi listrik merupakan kebutuhan penting dalam mendukung aktivitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi, sementara ketersediaan energi fosil yang terbatas mendorong pemanfaatan energi terbarukan. Bendungan Sei Padang di Kota Tebing Tinggi memiliki potensi energi air yang dapat dikembangkan sebagai sumber pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi air dan merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menggunakan perangkat lunak HOMER. Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan data debit air sebesar 5,13 m³/s dan tinggi jatuh air (head) sebesar 4 meter untuk menghitung potensi daya yang dapat dihasilkan. Selanjutnya, dilakukan simulasi untuk menganalisis kinerja teknis dan kelayakan ekonomis sistem pembangkit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi daya PLTMH yang dapat dihasilkan sebesar 160 kW dengan produksi energi mencapai 1.095 MWh per tahun. Analisis ekonomi menunjukkan bahwa total biaya investasi selama 25 tahun sebesar Rp450.000.000 dengan biaya energi (COE) sebesar Rp300/kWh. Namun, berdasarkan parameter kelayakan ekonomi, diperoleh nilai Net Present Value (NPV) < 0 dan Benefit Cost Ratio (BCR) < 1, yang menunjukkan bahwa proyek belum layak secara ekonomi, meskipun memiliki payback period selama 24,27 tahun. Meskipun demikian, dari aspek strategis dan lingkungan, sistem PLTMH ini tetap memiliki potensi yang layak untuk dikembangkan karena mendukung pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT), mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, serta berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan ketahanan energi daerah. Dengan demikian, pemanfaatan Bendungan Sei Padang sebagai PLTMH memiliki potensi teknis yang cukup baik dan nilai strategis dalam mendukung pengembangan energi berkelanjutan, meskipun masih memerlukan optimasi dari sisi ekonomi agar dapat diimplementasikan secara optimal.

Kata kunci: energi terbarukan, PLTMH, PLTH, HOMER, Bendungan Sei Padang

ABSTRACT

Electrical energy is an essential requirement for supporting community activities and economic growth, while the limited availability of fossil energy encourages the utilization of renewable energy sources. The Sei Padang Dam in Tebing Tinggi City has hydropower potential that can be developed as a renewable-based electricity generation source. This study aims to analyze the hydropower potential and design a Micro Hydro Power Plant (MHPP) system using HOMER software. The research method was conducted using water discharge data of 5.13 m³/s and a head height of 4 meters to calculate the potential power generation capacity. Furthermore, simulations were carried out to analyze the technical performance and economic feasibility of the power generation system. The results showed that the MHPP has a potential power output of 160 kW with annual energy production reaching 1,095 MWh. Economic analysis indicated that the total investment cost over 25 years was IDR 450,000,000 with a Cost of Energy (COE) of IDR 300/kWh. However, based on economic feasibility parameters, the Net Present Value (NPV) was less than zero ($NPV < 0$) and the Benefit Cost Ratio (BCR) was less than one ($BCR < 1$), indicating that the project is not yet economically feasible, despite having a payback period of 24.27 years. Nevertheless, from strategic and environmental perspectives, the Micro Hydro Power Plant system still has significant potential for development because it supports the utilization of New and Renewable Energy (NRE), reduces dependence on fossil fuels, and contributes to reducing greenhouse gas emissions and improving regional energy resilience. Therefore, the utilization of the Sei Padang Dam as a Micro Hydro Power Plant has considerable technical potential and strategic value in supporting sustainable energy development, although further economic optimization is still required for optimal implementation.

Keywords: renewable energy, micro hydropower, HOMER, Sei Padang Dam

KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS PEMANFAATAN AIR PADA BENDUNGAN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DAN DISIMULASIKAN DENGAN PERANGKAT LUNAK HOMER”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendo'akan dan memberikan kasih sayang yang tidak ternilai kepada kami semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Istri saya tercinta Amelia Mardiah, yang senantiasa memberikan dukungan terbaiknya.
3. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Ibu Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
10. Dosen penguji yang juga senantiasa memberikan masukan yang terbaik dalam penulisan ini sehingga menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.
11. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Satu Angkatan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT , kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Mei 2026

Andrian TH Simatupang
1907220081

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Landasan Teori	6
2.1.1 Bendungan Sei Padang	8
2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	9
2.1.3 Perangkat Lunak HOMER	21
2.2. Kajian Pustaka Relevan	39
BAB 3 METODE PENELITIAN	43
3.1 Pendekatan Penelitian.....	43
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	43
3.3 Populasi dan Sampel.....	43
3.4 Teknik Pengumpulan Data	44
3.5 Teknik Analisis Data	44
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	45
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil Penelitian.....	49
4.1.1 Deskripsi Data	49
4.1.2 Hasil Uji Persyaratan Analisis.....	50
4.1.3 Perencanaan PLTMH	53

4.2 Pembahasan	60
BAB 5 PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan aspek penting dalam keberlangsungan hidup umat manusia. Ukuran tingkat kemakmuran manusia dapat diukur dari semakin banyaknya energi yang dapat dibutuhkan, oleh karenanya kebutuhan akan energi yang besar dapat menimbulkan masalah dalam penyediaannya. [1] Salah satu solusi ialah dengan menggunakan energi terbarukan untuk menangani ketersediaan energi fosil yang tidak dapat diperbarui. [2]

Pemakaian energi terbarukan harus dioptimalkan guna memenuhi kebutuhan energi listrik. Sejalan dengan sasaran Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 yang menargetkan bauran energi baru terbarukan 23% pada tahun 2025. Maka dilakukan upaya peningkatan pemanfaatan energi terbarukan. Kebijakan ini harus tetap memperhatikan aspek teknis, ekonomi. [3]

Pada tahun 2017, pusat penelitian dan pengembangan teknologi ketenagalistrikan energi baru, terbarukan dan konservasi energi (P3TKEBTKE), Kementerian ESDM bekerja sama dengan Puslitbang Sumber Daya Air, Badan Litbang, Kementerian PUPR, melakukan kajian bersama untuk mengidentifikasi potensi mikrohidro di jaringan irigasi. [4]

Potensi PLTMH diduga lebih besar apabila memanfaatkan jaringan irigasi, yaitu pada bendung, bangunan pengendali muka air, dan bangunan terjun/got miring. Menurut website resmi Kementerian PUPR tahun 2025, jaringan irigasi tersebar di seluruh Indonesia dengan luas 7.145.168 ha. Akan tetapi, belum ada

penelitian yang mengidentifikasi potensi dan teknologi PLTMH yang cocok digunakan. [4]

Salah satu sungai yang memiliki potensi PLTMH adalah Sungai Padang yang melintasi Kota Tebing Tinggi dan memiliki alur yang berkelok-kelok dengan Panjang aliran sungai utama sekitar 58,25 km [5]

Bendung Sei Padang merupakan bendungan yang dibangun khusus untuk 3 daerah irigasi yaitu Paya Lembang, Langgau dan Bajayu. Bendungan ini dibangun pada tahun 2014 dan selesai pada tahun 2017. Selain itu, Kementerian PUPR bekerja sama dengan Balai Wilayah Sungai Sumatera II, Pemerintah kota Tebing Tinggi dan Pemerintah Kabupaten Serdang Bedagai melakukan penataan Kawasan Bendungan Sei Padang guna menarik kunjungan wisatawan dan menjadi salah satu alternatif destinasi objek wisata air. [6]

Bendungan Sei Padang memiliki tinggi jatuh air/head mencapai 4 meter sehingga selain dimanfaatkan sebagai saluran irigasi Bendungan juga memiliki potensi besar untuk pembangunan PLTMH. [7]

Bendungan Sei Padang juga memiliki intensitas radiasi matahari sebesar 4,82 kWh/m²/hari dan berpotensi untuk diadakan pembangunan PLTMH menjadi pembangkit listrik tenaga air berskala mikro. [8]

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “ANALISIS PEMANFAATAN AIR PADA BENDUNGAN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DAN DISIMULASIKAN DENGAN PERANGKAT LUNAK HOMER” .

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana potensi teknis pemanfaatan air pada bendungan sebagai sumber energi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), ditinjau dari debit air, tinggi jatuh (head), dan daya yang dapat dihasilkan?
2. Bagaimana hasil perancangan dan simulasi sistem PLTMH menggunakan HOMER Pro dalam menentukan konfigurasi sistem yang optimal serta kinerja teknisnya?
3. Bagaimana kelayakan ekonomis sistem PLTMH berdasarkan hasil simulasi, ditinjau dari biaya investasi, biaya operasional, dan biaya energi (Cost of Energy/COE)?

1.3. Ruang Lingkup

Karena luasnya permasalahan, penulis merasa perlu untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam laporan ini, mengingat keterbatasan waktu, tempat, kemampuan dan pengalaman.

Adapun hal-hal yang akan dibatasi dalam tugas sarjana ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian di Bendungan Sei Padang Kota Tebing Tinggi
2. Data debit air Bendungan Sei Padang yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dan Perum Jasa Tirta Kota Tebing Tinggi
3. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak HOMER

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis aspek teknis sistem PLTMH, meliputi potensi debit air, tinggi jatuh (head), perhitungan daya yang dihasilkan, serta pemilihan dan kinerja komponen utama seperti turbin dan generator.
2. Mengevaluasi performa sistem melalui simulasi menggunakan HOMER Pro, termasuk efisiensi sistem, kestabilan suplai energi, dan hasil konfigurasi optimal.
3. Menganalisis aspek ekonomis sistem PLTMH, meliputi biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, serta perhitungan biaya energi (Cost of Energy/COE) untuk menilai kelayakan implementasi.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis adalah

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan referensi ilmiah dalam bidang sistem energi terbarukan, khususnya pemanfaatan tenaga air skala mikro serta penerapan simulasi menggunakan HOMER Pro dalam analisis teknis dan ekonomis.
2. Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pihak terkait, seperti pemerintah daerah, pelaku industri, maupun masyarakat, dalam memanfaatkan potensi bendungan sebagai sumber energi listrik alternatif yang efisien dan ramah lingkungan.

3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran, referensi tugas akhir, serta pengembangan penelitian lanjutan yang berkaitan dengan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air untuk menghasilkan energi listrik dalam skala kecil. PLTMH termasuk ke dalam kategori Energi Baru dan Terbarukan (EBT) karena menggunakan sumber energi alami yang dapat diperbarui secara terus-menerus, seperti aliran sungai, bendungan, atau saluran irigasi. Umumnya, PLTMH memiliki kapasitas daya kurang dari 100 kW hingga beberapa ratus kW tergantung pada debit air dan tinggi jatuh air (head) yang tersedia [9].

Prinsip kerja PLTMH dimulai dari aliran air yang dialirkan melalui saluran menuju turbin. Energi air tersebut digunakan untuk memutar turbin, kemudian putaran turbin diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Besarnya daya listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu debit air (Q), tinggi jatuh air (H), percepatan gravitasi (g), serta efisiensi sistem turbin dan generator (η). Secara umum, daya PLTMH dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = \rho g Q H \eta$$

dengan:

- P = daya listrik (Watt)
- ρ = massa jenis air (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- Q = debit air (m^3/s)

- H = tinggi jatuh air/head (m)
- η = efisiensi sistem

PLTMH memiliki beberapa keunggulan, di antaranya ramah lingkungan, biaya operasional relatif rendah, sumber energi tersedia secara kontinu, serta mampu menjangkau daerah terpencil yang belum teraliri listrik dari jaringan utama. Selain itu, PLTMH juga berkontribusi dalam mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca sehingga mendukung pembangunan energi berkelanjutan.

Namun, PLTMH juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap kondisi debit air dan musim, biaya investasi awal yang cukup besar, serta memerlukan lokasi dengan potensi aliran air yang memadai. Oleh karena itu, analisis potensi sumber air dan studi kelayakan ekonomi sangat diperlukan sebelum pembangunan sistem PLTMH dilakukan.

Dalam pengembangannya, PLTMH banyak digunakan pada daerah pedesaan, kawasan perbukitan, maupun bendungan yang memiliki aliran air stabil. Dengan memanfaatkan potensi sumber daya air lokal, PLTMH dapat menjadi solusi penyediaan energi listrik yang efisien, berkelanjutan, dan mendukung ketahanan energi nasional [9]. Dalam penelitian ini, analisa akan lebih ditekankan kepada potensi energi MIKROHIDRO yang dapat dihasilkan pada Bendungan Sei Padang Kota Tebing Tinggi.

2.1.1 Bendungan Sei Padang

Bendung merupakan bangunan yang terbuat dari pasangan batu kali, bronjong atau beton, tersusun melintang pada sebuah sungai. Selain untuk irigasi, bangunan ini juga dimanfaatkan untuk keperluan air minum, pembangkit listrik dan pengendalian banjir. Bendung terbagi menjadi dua, bendung tetap dan bendung sementara. Bendung tetap, sebagian besar konstruksi terdiri dari pintu yang dapat digerakkan untuk mengatur ketinggian muka air sungai, sedangkan bendung sementara dipergunakan untuk menaikkan muka air di sungai, sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke jaringan irigasi [10]

Bendung Sei Padang merupakan tipe bendung gerak yang mulai dibangun pada tahun 2014 dan selesai pada tahun 2017 atas kerja sama operasi (KSO) PT. Wijaya Karya dan PT. Brantas Abipraya. Bendungan ini memiliki lebar 70 meter dengan 9 pintu berukuran 6 meter dan tinggi 3,2 meter. Pasokan air dari bendungan Sei Padang ini akan menyuplai air 3 daerah irigasi yakni Paya Lombang, Langgau dan Bajayu yang memiliki luas lahan 7.558 ha.



Gambar 2.1 Bendung Sei Padang tampak depan



Gambar 2.2 Bendung Sei Padang tampak belakang

Bendungan ini dibangun khusus untuk irigasi. Dari 3 daerah irigasi sederhana dijadikan satu hamparan sistem irigasi teknis dengan suplai air dari Bendungan Sei Padang. Jaminan pasokan air dari irigasi akan mendorong peningkatan luas area tanam padi dari 8.300 hektare per tahun dengan intensitas tanam 110% menjadi 15.116 hektare per tahun dengan intensitas tanam 200% [6].

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Menurut Bostan (2014) dalam Bayu Suryo (2018), ada 6 macam pembangkit listrik tenaga air, yaitu pikohidro, mikrohidro, mini hidro, PLTA skala besar [11]

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan penghasil energi terbarukan yang bebas polusi dan ramah lingkungan. PLTA mengonversi energi mekanis dengan menggunakan turbin yang memutar generator sehingga menghasilkan listrik. PLTA merupakan teknologi konversi energi tertua. PLTA skala kecil mulai digunakan secara umum sejak awal abad ke-20. Penggunaan

teknologi hidroelektrik yang pertama adalah dengan menggunakan kincir air di Sungai Fox Wisconsin pada tahun 1882 untuk 2 pabrik kertas dan rumah [12]

Kelebihan dari sumber energi air adalah :

1. Teknologi air cukup handal
2. Memiliki efisiensi relatif tinggi
3. Harga energi listrik cukup terjangkau antara 3-5 sen US/kWh.
4. Investasi awal cukup besar namun umur penggunaan panjang dan biaya operasional sangat rendah.

Potensi PLTMH di Asia dapat mencapai 7681 TWh/tahun atau sekitar 27,65% dari total potensi di dunia dengan nilai realisasi hanya sebesar 20%. Indonesia memiliki potensi sebesar 75.000 MW dan baru termanfaatkan 10,1% [4]. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan batasan kapasitas antara 5 kW-1 MW per unit. Potensi PLTMH diperkirakan sekitar 450 MW dengan tingkat pemanfaatan baru sebesar 53,5% [4].

PLTMH layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan aliran sungai kecil atau danau yang dibendung pada ketinggian tertentu serta debit yang diatur untuk menggerakkan turbin. Semakin besar tinggi jatuh air maka semakin besar energi potensial air yang diperoleh [13].

PLTA dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan kemampuan produksi energi listrik. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kategori PLTA berdasarkan hasil produksi listrik [11]

Kategori PLTA	Kemampuan Produksi Listrik
PLTA skala besar	>100 MW

Kategori PLTA	Kemampuan Produksi Listrik
PLTA skala sedang	15 – 100 MW
PLTA skala kecil	1 – 15 MW
Minihidro	100 kW – 1 MW
Mikrohidro	5 kW – 100 Kw
Pikohidro	<0,05 MW

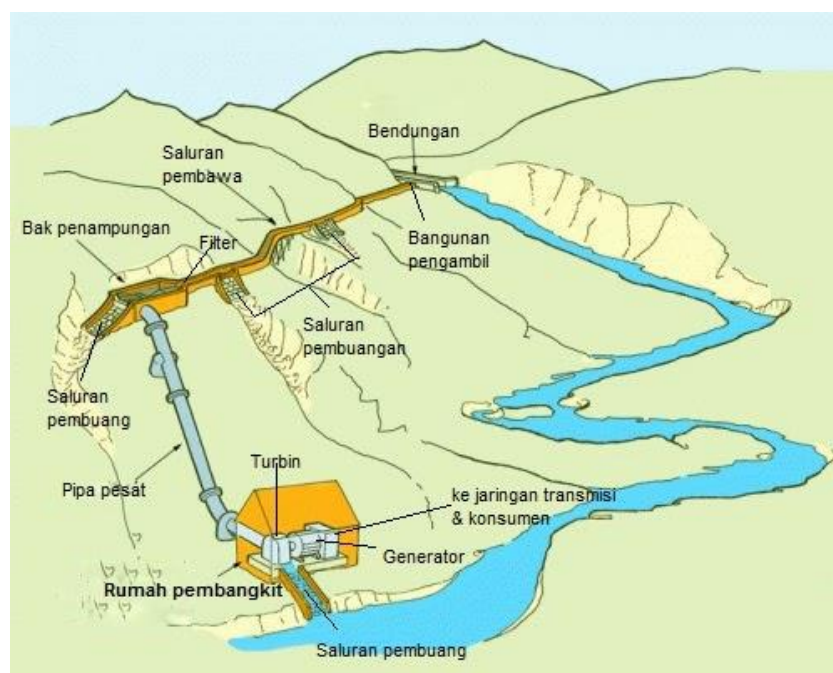
(Sumber : Bayu Suryo, 2018)

2.1.2.1 Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit listrik tenaga air skala mikro pada dasarnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air pada saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi gerak (mekanik). Energi mekanik akan menggerakkan generator dan generator akan menghasilkan listrik. Sebuah sistem mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik [13]

Aliran sungai dibendung agar mendapatkan debit air (Q) dan tinggi jatuh air (h), kemudian air yang dihasilkan disalurkan saluran penghantar air menuju kolam penenang, Kolam penenang dihubungkan dengan pipa pesat, dan turbin air. Turbin air akan berputar setelah mendapat tekanan air, dan perputaran turbin dimanfaatkan untuk memutar generator. Setelah mendapat putaran yang constan maka generator akan menghasilkan tegangan listrik, yang dikirim kekonsumen melalui saluran kabel distribusi (JTM atau JTR) [14]

Prinsip kerja dari PLTMH adalah memanfaatkan air sungai yang diarahkan ke dalam saluran pembawa kemudian dialirkan melalui pipa pesat menuju turbin. Setelah itu air dikembalikan lagi ke aliran semula, sehingga hal ini tidak banyak mempengaruhi lingkungan atau mengurangi air untuk keperluan lain. Air akan dialirkan ke dalam turbin melalui sudu-sudu runner yang akan memutar poros turbin. Putaran inilah yang akan memutar dan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik [15]. Skema PLTMH dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema PLTMH

2.1.2.2 Kelebihan dan Kekurangan PLTMH

Terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari PLTMH. Adapun kelebihan PLTMH adalah sebagai berikut [16]:

1. Sumber energi bersih

PLTMH tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca yang merupakan penyebab utama masalah terhadap lingkungan. PLTMH tidak melalui proses pembakaran, sehingga tidak menghasilkan pulosi karbon dioksida.

2. Sumber energi efisien

Hanya dibutuhkan sejumlah kecil aliran air bahkan debit air hanya beberapa liter/menit dan perbedaan ketinggian 1 meter. Merupakan sumber energi yang terdesentralisasi terletak dekat dengan konsumen sehingga mudah dan terjangkau

3. Sumber listrik yang andal

Terdapat pasokan energi listrik yang keberlangsungannya sebagai energi listrik lebih handal dibandingkan dengan teknologi energi terbarukan skala kecil lainnya.

4. Cocok untuk negara-negara berkembang

Dengan biaya operasional rendah dan umur yang panjang, mikrohidro dapat digunakan oleh negara-negara berkembang untuk memenuhi kebutuhan listrik desa-desa kecil dan masyarakat

5. Terkoneksi dengan jaringan

Jika terdapat kelebihan energi listrik, dapat dijual dengan mengintegrasikannya ke jaringan PLN. Sehingga ada kemungkinan menambah tingkat daya mikrohidro dengan asupan dari grid PLN.

6. Dampak lingkungan

Dampak terhadap lingkungan relatif minimal atau tidak berdampak sama sekali pada ekologi dan sekitarnya dikarenakan fungsi PLTMH sebagai *run-of-river-system* yaitu air yang melewati turbin diarahkan kembali ke sungai.

Adapun kelemahan PLTMH adalah sebagai berikut [16]:

a. Teknologi bersifat spesifik pada tiap lokasi

Faktor-faktor spesifik yang berbeda setiap lokasi seperti jarak sumber listrik ke lokasi dimana energi digunakan, inverter, baterai, *controller*, saluran transmisi dan pipa.

b. Tidak dimungkinkan untuk melakukan ekspansi energi

Output daya maksimal bergantung pada musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau.

2.1.2.3 Komponen PLTMH

Komponen utama dalam perencanaan dan pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah sebagai berikut [17]:

1. *Intake* atau bangunan pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah bak terbuka dari aliran sungai ke bak pengendap.
2. Bak Pengendap digunakan untuk memfilter pasir dari air. Bak ini berperan penting untuk melindungi komponen-komponen lain dari pasir.
3. *Headrace* atau saluran pembawa berfungsi untuk menjaga elevasi air yang disalurkan.
4. *Forebay* atau bak penenang yang berfungsi untuk mencegah guncangan air sebelum dialirkan ke pipa pesat.
5. *Penstock* atau Pipa Pesat mengalirkan air dari *forebay* menuju turbin.

6. Turbin Air

Turbin air banyak ditemukan di bendungan, irigasi, dan air terjun. Turbin air bekerja dengan menggunakan prinsip konversi energi potensial ke energi mekanik pada turbin, yang dihubungkan pada generator dan menghasilkan daya listrik. Turbin air terbagi 2 jenis yaitu:

a. Turbin Impuls:

Turbin bekerja dengan memanfaatkan kecepatan aliran air yang diperoleh dari beda tinggi jatuh air. Jenis-jenis turbin impuls dapat dilihat pada Tabel

2.2

Tabel 2.2 Jenis Turbin Air Menurut Variasi Head [18]

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Kaplan dan Propeller	< 50
Francis	$40 < h < 600$
Pelton	$50 < h < 1000$
Crossflow	$6 < h < 100$
Turgo	$50 < h < 250$
Archimedes Screw	< 10

(Sumber : Arash Yoosef Dost, 2022)

b. Turbin Reaksi :

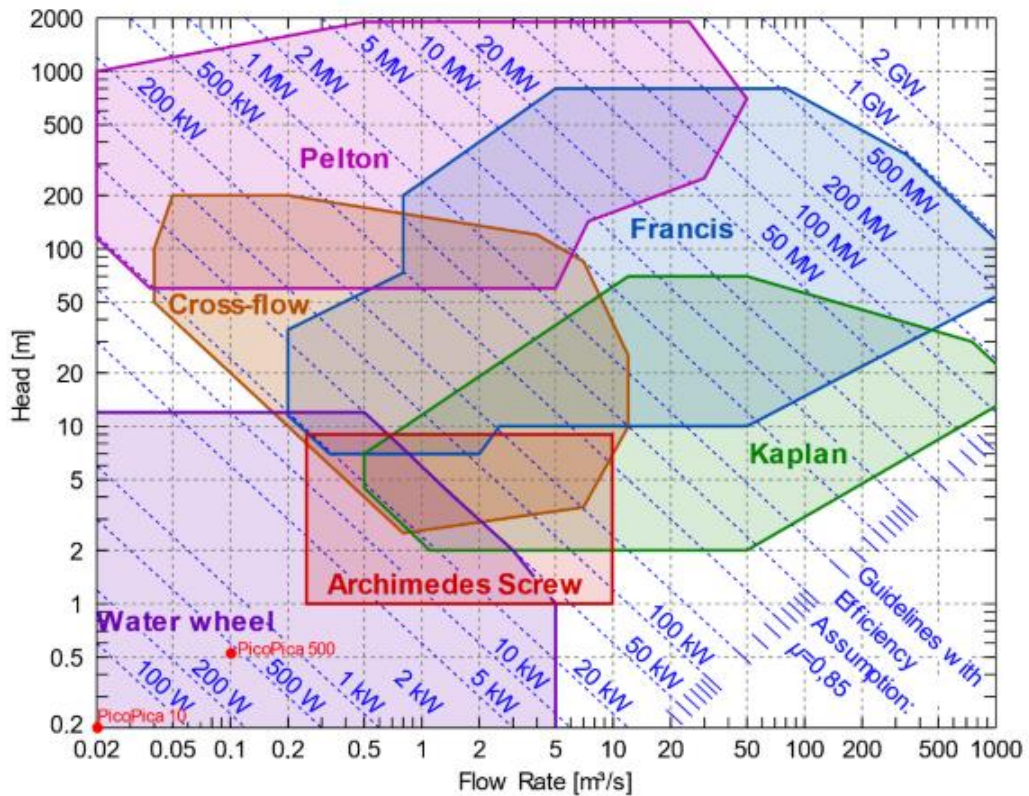
Turbin ini bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun yang memiliki perbedaan tekanan. Adapun yang termasuk jenis turbin ini tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis Turbin Air Berdasarkan Tekanan Air [18]

Jenis Turbin	Head Pressure		
	High	Medium	Low

Jenis Turbin	Head Pressure		
	High	Medium	Low
Impulse	Pelton Turgo Multi-jet Pelton	Crossflow (Michel/Banki) Turgo Multi-jet Pelton	Crossflow (Michel/Banki)
Reaction		Francis Pump As Turbine (PAT)	Propeller Kaplan
Quasistatic Pressure			Archimedes Screw

(Sumber : Arash Yoosef Dost, 2022)



(Sumber : Arash Yoosef Dost, 2022)

Gambar 2.4 Jenis turbin berdasarkan head dan debit air

7. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
8. Panel kontrol berfungsi untuk mengatur tegangan output sistem .

2.1.2.4 Perhitungan Teknis Perencanaan PLTMH

Dalam perencanaan PLTMH ada beberapa perhitungan teknis yang perlu dilakukan, yaitu sebagai berikut :

1. Pengukuran Tinggi Jatuh Air

Dalam perhitungan, debit air dan tinggi jatuh air memiliki peran penting dalam menentukan daya output yang dihasilkan [19]. Pada tinggi jatuh air terdapat 3 bentuk energi, yaitu energi kinetik, energi tekan, dan energi potensial. Pada energi potensial, ketinggian menjadi penentu besarnya daya yang dihasilkan. Ada 3 jenis PLTA berdasarkan tinggi jatuh air, yakni ketinggian tinggi, ketinggian menengah, dan ketinggian rendah [19]. Ketinggian tinggi memiliki tinggi jatuh air lebih dari 100 m, sementara ketinggian menengah memiliki tinggi jatuh air sebesar 30 hingga 100 m, dan ketinggian rendah memiliki tinggi jatuh air lebih kecil dari 30 m. Dikarenakan PLTMH bukanlah pembangkit listrik dengan kapasitas besar, maka PLTMH termasuk pada bagian pembangkit listrik tenaga air dengan ketinggian rendah. Pengukuran dapat dilakukan dengan pengukuran secara manual maupun dengan bantuan *google maps coordinate*. Penggunaan *google map coordinate* cukup akurat untuk mengetahui ketinggian suatu tempat [20]

2. Pengukuran Debit Air

Debit air merupakan volume air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai tertentu per satuan waktu [21]. Penampang sungai adalah volume, sedangkan satuan waktu adalah kecepatan aliran sungai. Satuan debit air yaitu m^3/s . Debit air dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti curah hujan, keadaan geologi, flora, temperatur. Ketika curah hujan tinggi, maka nilai debit

akan besar. Semakin tinggi temperatur di hulu sungai, maka semakin kecil nilai debitnya. Perihal flora, jika ada banyak flora di daerah pinggir sungai, maka nilai debit cenderung stabil. Debit puncak (banjir) diperlukan untuk merancang bangunan pengendali banjir, sedangkan data debit aliran kecil diperlukan untuk perencanaan alokasi (pemanfaatan) air untuk berbagai macam keperluan, terutama pada musim kemarau panjang. Debit aliran rata-rata tahunan dapat memberikan gambaran potensi sumber daya air yang dapat dimanfaatkan dari suatu daerah aliran sungai [22]. Ada dua metode yang dapat dilakukan untuk mengetahui debit air, yakni metode wadah atau penampang (*container method*), dan *weir method* [23]. Metode wadah, memerlukan sebuah wadah seperti ember yang telah memiliki takaran presisi layaknya gelas ukur. Wadah ini kemudian menerima air dari sumber, lalu diperhatikan seberapa lama kapasitas ember terpenuhi oleh aliran sumber air. Untuk metode kedua, yaitu *weir method*, dengan mengukur sampel dari panjang sebuah sungai, kedalaman rata-rata di 10 (sepuluh) titik, dan kecepatan air saat melalui jarak yang ditentukan. Dalam *weir method*, dibutuhkan pengukur satuan panjang, dan pengukur satuan waktu. Selain menggunakan kedua metode diatas, data debit air juga dapat diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Kemenerian PUPR. Adapun metode dalam mengukur debit air menggunakan alat ukur seperti *current meter* tipe baling- baling dan alat ukur pelampung adalah sebagai berikut [21]

a. Pengukuran dengan menggunakan *current meter* [21]:

- 1) Catat tinggi air muka (TMA) pada pos duga air sebelum dan setelah selesainya pekerjaan pengukuran.

- a) Bila perbedaan TMA pada saat permulaan dan akhir kurang dari 10 cm, maka digunakan persamaan 2.1

$$H_{rata2} = \frac{H_a + H_z}{2} \quad (2.1)$$

- b) Bila perbedaan TMA pada saat permulaan dan akhir pengukuran lebih besar 10 cm, dipakai persamaan 2.2

$$H_{rata2} = \frac{q_1 h_1 + q_2 h_2 + \dots + q_n h_n}{Q} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$H_{rata-rata}$ = rata-rata TMA pengukuran (m)

H_a = TMA saat mulai pengukuran (m)

H_z = TMA saat akhir pengukuran (m)

q_n = debit interval waktu ke n (m^3/det)

h_n = TMA rerata interval waktu ke n (m)

Q = debit seluruh penampang (m^3/det)



(Sumber : Tokopedia, 2022)

Gambar 2.5 Currentmeter

- b. Pengukuran dengan alat ukur pelampung [21] :

- 1) Hitung kecepatan aliran pada setiap lintasan pelampung dengan cara mengalikan koefisien pelampung dengan hasil dari pembagian antara panjang lintasan dengan waktu tempuh seperti pada persamaan 2.3

$$v = k_p \times \frac{L}{t} \quad (2.3)$$

$$k_p = 1 - 0.116\{(1 - \alpha)^{0.5} - 0.1\}$$

$$\alpha = \frac{d}{h}$$

Penggunaan alat ukur arus *current* meter merupakan metode yang umum dipakai dikarenakan faktor kesalahan pengamatannya kecil. Faktor koreksi diabaikan bila memakai *currentmeter* seperti pada persamaan 2.4

$$Q = A \times V \quad (2.4)$$

$$A = l \times d$$

$$V = \frac{s}{t}$$

Keterangan :

s = jarak botol dialirkan (m)

l = lebar aliran air (m)

h = kedalaman air (m)

t = waktu (s)

A = luas penampang air (m²)

V = kecepatan air (m/s)

Q = debit air (m³/s)

3. Perhitungan Potensi Daya Listrik

Potensi PLTMH dapat dikonversikan menjadi energi mekanik yang dapat memutar turbin dengan debit dan titik jatuh air untuk menggerakkan generator yang menghasilkan tenaga listrik. Potensi PLTMH dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 [17]:

$$P = \rho \times g \times Q \times H_n \times \eta_T \quad (2.5)$$

Keterangan :

P = daya yang dihasilkan (W)

ρ = massa jenis air (1000/kg/m³)

g = gravitasi (9,8m/s²)

Q = debit aliran (m³/s)

H_n = head net (m)

η_T = efisiensi turbin (%)

2.1.3 Perangkat Lunak HOMER

HOMER merupakan singkatan dari *Hybrid Optimization Model for Energy Renewable* adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *U.S National Renewable Energy Laboratory* (NREL) bekerjasama dengan *Mistaya Engineering*, yang dilindungi hak ciptanya oleh *Mildwest Research Institute* (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE) [32].

HOMER memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan perangkat lunak lainnya, seperti Hybrid2, RetScreen, PV*SOL, PVSyst, dll yaitu :

1. Dapat mengetahui hasil yang optimal dari konfigurasi sistem (melakukan simulasi dari beberapa konfigurasi sistem berdasarkan *Net Present Cost*)
2. Dapat menunjukkan analisa nilai sensitifitas

3. Dapat memodelkan sistem jaringan listrik
4. Komponen-komponen *hybrid* yang akan digunakan lengkap
5. Dapat memodelkan sumber daya alam yang tersedia
6. Parameter-parameter input sangat terperinci, seperti sumber daya alam, emisi, harga bahan bakar, faktor ekonomi, dll.

HOMER dapat dikatakan sebagai model optimisasi tenaga mikro, yang berfungsi untuk mempermudah dalam merancang, mensimulasikan dan menganalisa berbagai macam aplikasi sistem tenaga listrik, baik yang terhubung dengan jaringan transmisi listrik maupun tidak. HOMER mengizinkan pengguna untuk membandingkan beberapa rancangan sistem yang berbeda berdasarkan faktor sumber daya alam, ekonomi/biaya, dan komponen peralatan yang digunakan.

Hal-hal yang harus dipertimbangkan ketika ingin merancang sebuah sistem tenaga listrik adalah besarnya biaya, konfigurasi dari sistem, komponen apa saja yang harus digunakan, berapa jumlah dan ukuran kapasitas komponen yang akan digunakan, dan sumber daya alam yang tersedia. HOMER dapat menyelesaikan masalah parameter-parameter masukan yang tidak menentu dan berubah-ubah, seperti ukuran beban yang digunakan, harga bahan bakar dimasa yang akan datang, besarnya sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti kecepatan angin, intensitas sinar matahari, kecepatan air sungai, dll [32]

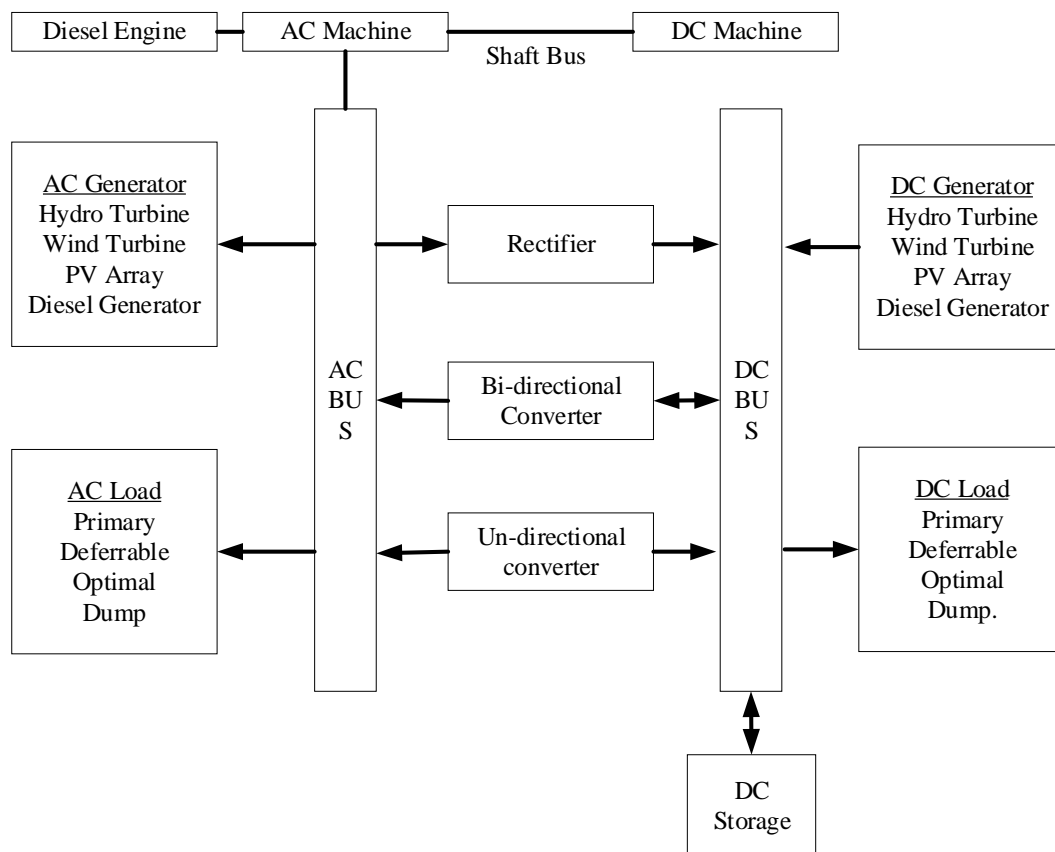
2.1.3.1 Prinsip Kerja HOMER

HOMER bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimisasi, dan analisa sensitifitas seperti tampak pada gambar 2.11. Ketiga hal tersebut bekerja secara

berurutan, dan memiliki fungsi masing-masing, sehingga didapatkan hasil yang optimal [32]

2.1.3.2 Optimasi HOMER Untuk Perencanaan Sistem PLMH

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang berisikan beberapa kombinasi dari surya, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, konverter, dll. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan transmisi ataupun terpisah, digunakan untuk melayani beban AC ataupun DC dan beban termal. Gambar 2.12 menunjukkan beberapa diagram skematik contoh dari tenaga hibrida [33]

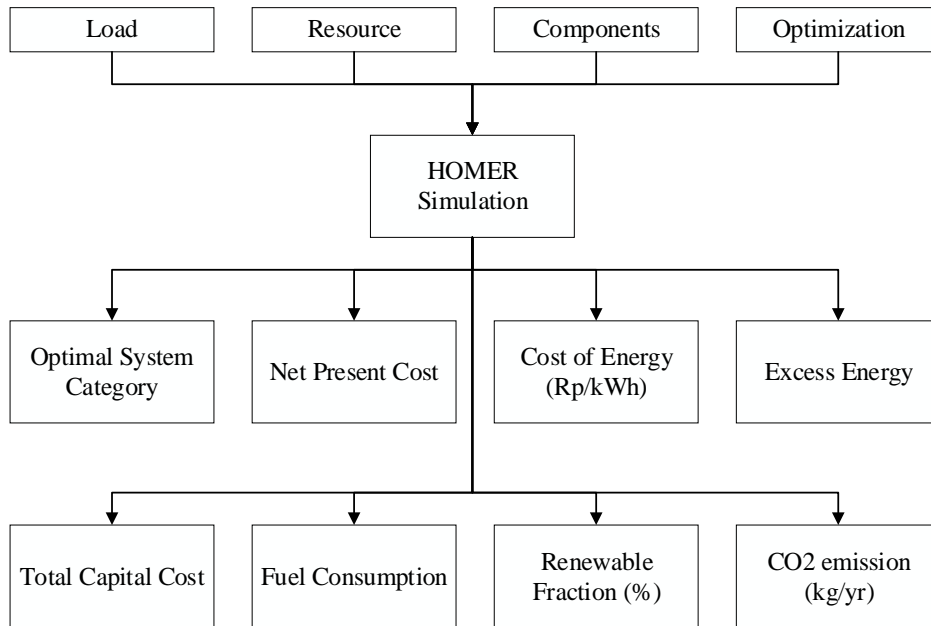


(Sumber : Sabhan Kanata, 2015)

Gambar 2. 6 Skema Pembangkit Listrik

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energi *balance* untuk setiap 8,760 jam dalam setahun. HOMER juga dapat menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama pengoperasiannya (*life cycle cost*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen, biaya operasional dan perawatan, serta biaya bahan bakar dll [34]. Sumber energi tak terbarukan dan sumber energi terbarukan memiliki karakteristik biaya yang berbeda. Sumber energi terbarukan memiliki biaya modal yang tinggi dan biaya operasi yang rendah, sedangkan sumber energi tak terbarukan konvensional memiliki biaya modal yang rendah dan biaya operasi yang tinggi [33]. Dalam proses optimasi ini akan diperhitungkan semua biaya

termasuk siklus hidup peralatan dan biaya lain-lainnya seperti tampak pada gambar 2.13



(Sumber : Sabhan Kanata, 2015)

Gambar 2. 7 Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER

1. Total Net Present Cost (NPC)

Total *net present cost* (NPC) adalah seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya O & M, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. Sedangkan yang termasuk pendapatan adalah nilai sisa dan pendapatan dari penjualan daya ke jaringan listrik ke jaringan listrik termasuk pendapatan [33].

$$C_{npc} = \frac{C_{ann,tot}}{RF(i,R_{proj})} \quad (2.15)$$

$$C_{npc} = C_{rep} - C_{O\&M} - C_s \quad (2.16)$$

Dimana :

$C_{ann,tot}$ = Total biaya tahunan (Rp/tahun)

CRF	= faktor pemulihan modal
i	= suku bunga (%)
R	= umur/ masa manfaat proyek (tahun)
C_{rep}	= biaya total penggantian (Rp)
$C_{O\&M}$	= biaya total operasi dan perawatan (Rp)
C_s	= total <i>salvage</i> (Rp)

2. Total *annualized cost* ($C_{ann,tot}$)

Merupakan penjumlahan dari semua biaya-biaya tahunan dari masing-masing komponen sistem, ditambah dengan biaya-biaya tahunan lainnya. Hal ini perlu dilakukan dikarenakan HOMER menggunakan nilai ini untuk menghitung biaya *cost of energy* (COE) dan *net present cost* (NPC).

3. *Annualized capital cost*

Memperhitungkan modal awal setiap komponen selama masa proyek untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan. HOMER menghitung biaya modal tahunan setiap komponen menggunakan persamaan 2.17 [33]:

$$C_{acap} = C_{cap} \cdot CRF(i, R_{proj}) \quad (2.17)$$

Dimana :

C_{acap}	= biaya modal awal komponen (Rp)
CRF	= faktor pemulihan modal
i	= tingkat suku bunga (%)
R_{proj}	= umur proyek (tahun)

4. *Annualized replacement cost*

Merupakan nilai tahunan dari semua biaya penggantian yang terjadi selama masa pakai dari sistem dikurangi dengan nilai sisa pada persamaan 2.18 [33]:

$$C_{rep} = C_{rep} \cdot f_{rep} \cdot SFF(I, R_{comp}) - S \cdot SSF(I, R_{proj}) \quad (2.18)$$

$$f_{rep} \begin{cases} CRF(i, R_{proj}) / CRF(i, R_{rep}) & , R_{rep} > 0 \\ 0 & \end{cases}$$

$$R_{rep} = R_{com} \cdot INT(R_{proj} / R_{comp}) \quad (2.19)$$

Dimana :

f_{rep} = faktor yang ditimbulkan akibat masa pakai komponen

R_{rep} = biaya selama penggantian (Rp)

$INT()$ = fungsi integer

HOMER mengansumsikan bahwa nilai sisa dari komponen pada akhir umur proyek sebanding dengan umur pakainya. Oleh karena itu, S diperoleh dari :

$$S = C_{rep} \cdot (R_{rem} / R_{comp}) \quad (2.20)$$

dengan R_{rem} adalah sisa umur komponen pada akhir masa proyek yang diperoleh dari :

$$R_{rem} = R_{comp} \cdot (R_{proj} - R_{rep}) \quad (2.21)$$

Dengan :

C_{rep} = biaya pengganti komponen (Rp)

SFF = faktor dana sinking

R_{comp} = masa pakai komponen (Rp)

R_{proj} = proyek seumur hidup

5. *Capital recovery factor*

Biaya penggantian tahunan adalah nilai tahunan dari semua biaya penggantian yang terjadi selama umur sistem dikurangi nilai sisa pada akhir periode proyek.

Capital recovery factor adalah rasio yang digunakan untuk menghitung nilai

sekarang dari suatu anuitas (serangkaian arus kas tahunan). Tingkat bunga yang menjadi masukan di HOMER adalah tingkat Bunga tahunan riil. Ini adalah tingkat diskon yang digunakan untuk mengkonversi antara biaya satu waktu dan biaya tahunan. Persamaan yang digunakan HOMER adalah persamaan 2.22 [33]:

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2.22)$$

Dimana :

N = jumlah tahun

i = real interest rate.

Tingkat bunga yang menjadi masukan di HOMER adalah tingkat bunga tahunan riil (disebut juga tingkat bunga riil atau hanya suku bunga). Ini adalah tingkat diskon yang digunakan untuk mengkonversi antara biaya satu waktu dan biaya tahunan. Tingkat bunga tahunan riil berkaitan dengan tingkat bunga nominal dengan persamaan 2.23

$$i = \frac{i^{\wedge} - f}{1 + f} \quad (2.23)$$

Dimana :

f = laju inflasi tahunan

i^{\wedge} = tingkat bunga nominal (tingkat bunga pinjaman).

Dengan mendefinisikan tingkat bunga dengan cara ini, inflasi adalah faktor diluar analisis ekonomi. Asumsinya adalah tingkat inflasi adalah sama untuk semua biaya.

6. Biaya operasi dan perawatan (O&M)

Biaya *Operational and Maintenance* (O&M) merupakan biaya tahunan yang disesuaikan dengan ukuran atau konfigurasi sistem pembangkit. Biaya ini pada

umumnya diambil dari 1-2% total biaya investasi awal untuk komponen sistem [35] Biaya ini digunakan untuk menghitung biaya modal tahunan lainnya, yang juga mempengaruhi total biaya bersih dari tiap sistem. Sedangkan biaya O&M lainnya adalah jumlah dari biaya tetap O&M sistem, pinalti untuk kekurangan kapasitas dan pinalti untuk emisi. HOMER menggunakan persamaan 2.24 untuk menghitung biaya O&M [33]:

$$C_{om,other} = C_{om,fixed} + C_{c3} + C_{emissions} \quad (2.24)$$

Keterangan :

C_{om} = biaya operasi perawatan (Rp/tahun)

$C_{om,fixed}$ = biaya tetap operasi dan perawatan sistem (Rp/tahun)

C_{e3} = pinalti untuk kekurangan kapasitas (Rp/tahun)

C_{emisi} = Denda emisi (Rp/tahun)

7. Levelized cost of energy (LCOE)

Levelized Cost of Energy diartikan sebagai biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. LCOE dihitung dengan persamaan 2.25 [33]:

$$LCOE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} - E_{thermal}}{E_{prime,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{gridsales}} \quad (2.25)$$

Dimana :

$C_{ann,tot}$ = biaya total sistem tahunan (Rp/tahun)

C_{boiler} = marjin biaya boiler (Rp/kWh)

$E_{thermal}$ = total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{prim,AC}$ = beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{prim,DC}$ = beban DC utama terpenuhi (kWh/tahun)

E_{def} = beban deferrable yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{gridsales}$ = total penjualan jaringan listrik (kWh/tahun)

8. *Net Present Value* (NPV)

NPV digunakan sebagai parameter dalam memproyeksikan pendapatan di masa yang akan datang dengan dengan menghitung selisih antara nilai investasi dengan nilai kas bersih di masa mendatang. Jika selisih kas bernilai positif maka proyek dinyatakan layak, namun apabila sebaliknya maka proyek dinyatakan tidak layak. Pendekatan NPV ini bersifat kuantitatif untuk menunjukkan kelayakan suatu proyek. Kelayakan proyek dengan pendekatan NPV dilihat dari laba bersih yang diperoleh di akhir masa pengerjaan proyek [35]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NPC}{(1-i)^t} - II \quad (2.26)$$

Dimana :

NPC = *Net Present Cost*

II = Investasi awal (*initial investment*)

i = tingkat suku bunga

n = periode dalam tahun (umur investasi)

9. *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Metode ini merupakan metode tambahan yang digunakan pada tahap evaluasi awal perencanaan investasi yang bertujuan untuk memvalidasi hasil evaluasi yang sudah dihitung dengan metode yang lainnya [35]

$$BCR = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} \quad (2.27)$$

Jika : $BCR \geq$ maka investasi layak

$BCR <$ maka investasi tidak layak

10. *Payback Period*

Merupakan waktu dimana pendapatan dari proyek dapat mengembalikan nilai investasi. Analisis *payback period* digunakan untuk mengetahui lama waktu yang dikerjakan untuk mengembalikan investasi. Analisis ini menggunakan cara dengan menghitung waktu yang dibutuhkan pada saat total arus kas masuk sama dengan total arus kas keluar [36]

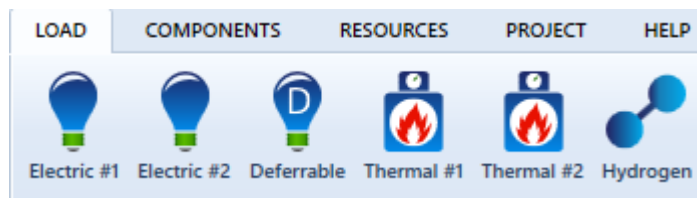
$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Pendapatan per tahun}} \times \text{periode waktu} \quad (2.28)$$

2.1.3.3 Perencanaan PLTMH dengan HOMER

Suatu rancangan sistem tenaga listrik dengan HOMER harus berisikan kurang lebih satu sumber tenaga listrik (turbin angin, generator, jaringan transmisi, panel surya), dan kurang lebih harus memiliki tujuan untuk apa energi tersebut digunakan (beban listrik, beban thermal). Di dalam HOMER juga terdapat perlengkapan untuk konversi seperti AC-DC konverter, elektrolizer, dan peralatan untuk penyimpanan energi seperti baterai bank atau tangki hidrogen.

1. Beban

Pada HOMER permintaan beban terdiri dari beban listrik, dan beban panas. Sistem tenaga listrik dibuat untuk melayani beban, jadi proses perancangan dengan HOMER dapat dimulai dari menentukan beban yang harus dilayani berdasarkan data yang nyata. Beban utama (*primary load*) adalah permintaan energi listrik yang harus dilayani berdasarkan keterangan data per jam setiap tahun. Beban tunda (*deferrable load*) adalah permintaan energi listrik yang dapat dilayani setiap waktu dalam jangka waktu tertentu. Beban panas (*thermal load*) adalah permintaan beban energi panas.



Gambar 2. 8 Jenis beban

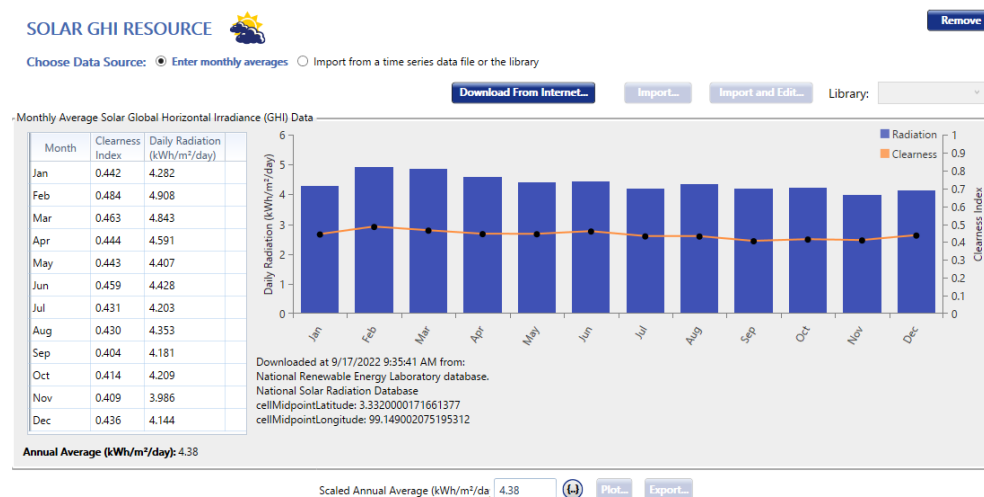
2. Sumber Daya Alam (SDA)

Sumber daya alam adalah faktor pendukung yang berasal dari luar sistem yang digunakan sistem untuk menghasilkan energi listrik atau panas. Di dalam HOMER terdapat 4 macam jenis SDA, yaitu matahari, angin, hidro, biomasa. SDA dapat diperbarui sangat bergantung pada lokasi. Sumber matahari besarnya tergantung pada garis lintang & bujur, dan iklim, sumber angin tergantung pola sirkulasi atmosfer dan pengaruh geografi. Sumber hidro tergantung dari pola curah hujan dan topografi, dan sumber biomasa tergantung produktifitas biologi. Kondisi alam dari sumber daya yang tersedia mempengaruhi proses dan masalah ekonomi dari sistem energi listrik diperbarui, karena sumber daya menentukan jumlah dan besarnya dari produksi tenaga diperbarui.

a. Sumber Energi Matahari (*Solar Resource*)

Sumber energi yang harus ditentukan ketika perencana menggunakan sel surya/PV. Perencana harus memasukkan data sumber daya matahari dari lokasi yang telah ditentukan sebelumnya. Sumber daya solar mengindikasikan jumlah rata-rata dari radiasi matahari (pancaran radiasi sinar matahari yang mengarah secara langsung) yang mengarah langsung pada permukaan bumi selama setahun. Data radiasi ini terdiri dari data rata-rata radiasi matahari per jam pada permukaan horisontal (kW/m^2), rata-rata

bulanan radiasi matahari pada permukaan horizontal ($\text{kWh/m}^2/\text{day}$), dan index clearness bulanan. *Clearness index* adalah perbandingan radiasi matahari yang mengarah pada permukaan bumi terhadap radiasi matahari yang mengarah pada lapisan atmosfer teratas. Besarnya antara 0-1, *clearness index* pengukuran tingkat kecerahan dari atmosfer.



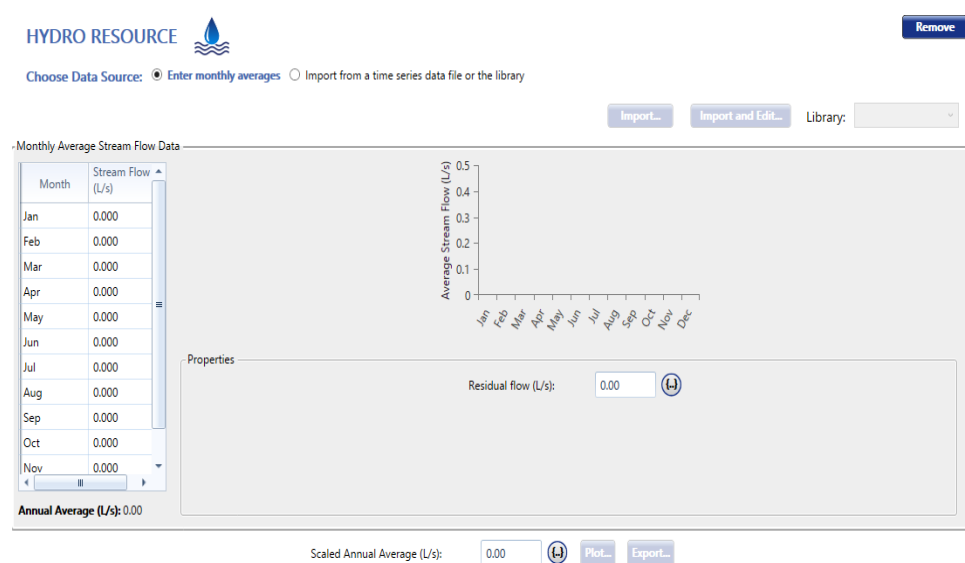
Gambar 2. 9 Parameter masukan dari radiasi matahari

Pada gambar diatas dilihat bahwa data dapat ditentukan berdasarkan lokasi (*latitude & longitude*) dan time zone, atau *Get Data Via Internet*, dengan cara terhubung dengan internet dan mengambil data radiasi matahari langsung dari situs NASA.

b. Sumber Energi Air (*Hydro Resource*)

Untuk memodelkan sistem yang terdapat turbin air, perencana harus menyediakan data aliran sungai yang mengindikasikan jumlah air yang tersedia untuk menggerakkan turbin selama setahun. Perencana dapat menyediakan pengukuran data aliran sungai per jam jika tersedia. Sebaliknya, HOMER dapat menggunakan data rata-rata aliran air per bulan. Perencana juga menentukan aliran sisa, yang mana adalah jumlah minimum

aliran sungai yang harus dilewatkan ke turbin air. HOMER mengurangi aliran sisa dari data aliran sungai untuk menentukan apakah aliran sungai tersedia untuk turbin atau tidak.



Gambar 2. 10 Parameter masukan dari aliran air

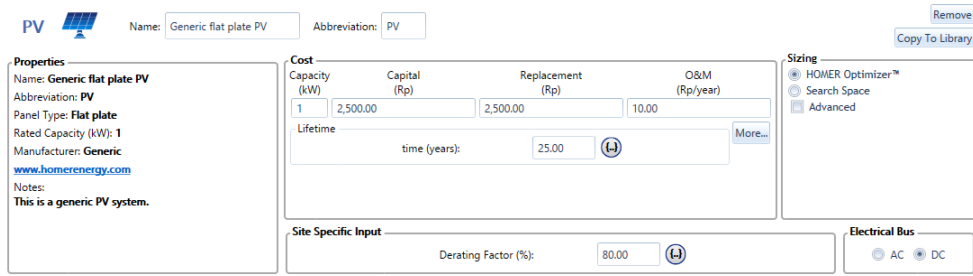
3. Komponen Utama Sistem

HOMER memodelkan 10 tipe komponen. Tiga diantaranya menghasilkan listrik dari sumber daya alam: Sel surya (PV), turbin angin, dan turbin air. Sel surya mengubah radiasi matahari menjadi tegangan listrik DC. Turbin angin mengubah energi angin menjadi tegangan listrik DC. Turbin air mengubah energi air menjadi tegangan listrik AC atau DC. Tiga komponen lainnya seperti generator, jaringan transmisi, boiler (uap) adalah energi yang dapat diatur atau di kontrol sesuai dengan yang dibutuhkan. Generator mengkonsumsi bahan bakar untuk menghasilkan tegangan ac atau dc. Jaringan transmisi mengirim tegangan ac ke sistem dan menerima kelebihan energi listrik dari sistem. Boiler mengkonsumsi bahan bakar untuk menghasilkan energi panas. Dua tipe komponen lainnya, konverter dan elektrolizer, mengubah energi listrik menjadi

bentuk lain. Konverter mengubah listrik dari AC menjadi DC atau sebaliknya. Elektrolizer mengubah kelebihan energi listrik AC atau DC menjadi hidrogen melalui proses elektrolisis air. Sistem dapat menyimpan hidrogen, dan menggunakannya sebagai bahan bakar untuk satu atau lebih generator. Dua tipe komponen penyimpanan lainnya, baterai dan tangki penyimpanan hydrogen. Baterai menyimpan energi listrik DC. Tangki penyimpanan hydrogen menyimpan dari elektrolizer ke bahan bakar atau generator.

a. Panel Surya (PV Array)

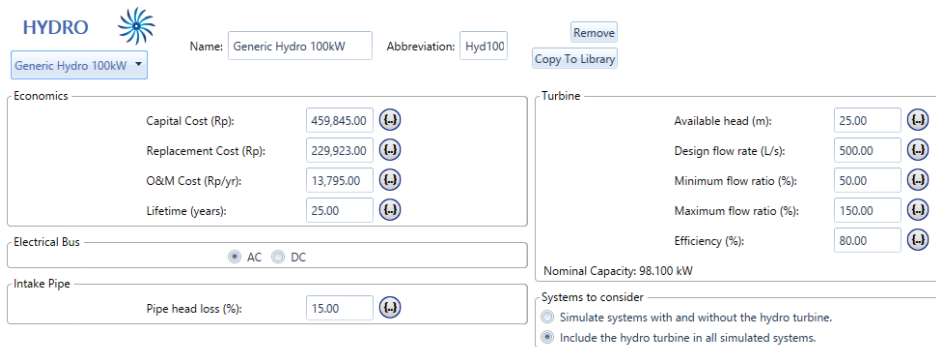
HOMER memodelkan PV *Array* sebagai peralatan yang memproduksi energi DC. Unit satuan Watt-peak (Wp) adalah satuan daya (Watt) yang dihasilkan oleh modul surya dalam *Standard Test Condition* (STC) atau jumlah energi yang diproduksi dibawah kondisi standar pemancaran 1kW/m^2 dan temperatur panel sebesar 25°C . Dalam HOMER ukuran PV Array ditentukan pada bagian kapasitas daya yang diizinkan. *Deracting factor* adalah faktor skala untuk menghitung dari efek debu pada panel, rugi-rugi kawat, suhu atau semua faktor-faktor yang menyebabkan keluaran dari panel surya berkurang dari kondisi yang diharapkan. HOMER tidak menghitung besarnya keluaran panel surya menurun dengan bertambahnya suhu panel, tetapi perencana dapat mengurangi *deracting factor* untuk memperbaiki keadaan itu, ketika membuat sistem untuk iklim yang panas seperti terlihat pada gambar 2.17



Gambar 2. 11 Parameter masukan dari PV

b. Turbin Air (*Hydro Turbine*)

HOMER memodelkan turbin air sebagai peralatan yang dapat mengubah energi air menjadi energi listrik AC atau DC pada efisiensi yang tetap. HOMER memungkinkan anda memasukkan informasi biaya dan turbin serta ukuran komponen pada sistem. HOMER hanya dapat mempertimbangkan satu ukuran sistem, dan tidak berisi tabel biaya atau ukuran.



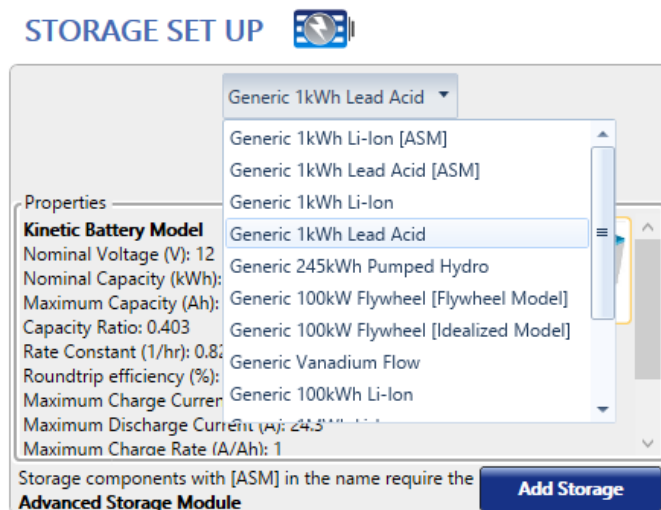
Gambar 2. 12 Parameter masukan dari turbin air

Gambar 2.18 menunjukkan bahwa data turbin terdiri dari *available head* (m) yaitu jarak vertikal antara pipa terhadap turbin. *Design flow rate* (L/s) yaitu rata-rata aliran air per detik. *Minimum flow ratio* (%) yaitu rata-rata minimum dari aliran air turbin. *Maximum flow ratio* (%) yaitu efisiensi rata-rata dari sistem hidro ketika mengubah energi air menjadi listrik.

c. Baterai

Perencana dapat melihat berbagai model bank baterai dari perpustakaan, detail teknis dan biaya baterai. Adapun beberapa jenis bank baterai pada HOMER adalah :

- 1) *Idealized Battery* : memungkinkan pengguna untuk mengukur energi dan daya secara mandiri
- 2) *Kinetic Battery* : menggunakan sistem dua tanki yang memisahkan energi yang tersedia untuk pembangkitan energi listrik dari energi terikat yang tidak dapat digunakan
- 3) *Modify Kinetic Battery* : Memperhitungkan kerugian yang bergantung pada laju, suhu, dan efek suhu pada masa pakai.
- 4) *Supercapacitor* : Super kapasitor didasarkan pada model penyimpanan ideal yang mereplikasi model penyimpanan sederhana dengan kurva pelepasan datar karena sebagian besar tegangan suplai tetap konstan selama siklus pelepasan
- 5) *Flywheel* : Menyediakan cadangan operasi pada bus AC membantu menyerap kenaikan mendadak atau menebus penurunan mendadak dalam output daya terbarukan
- 6) *Pumped Hydro* : Sistem *Pumped Hydro* membangun energi potensial dengan menyimpan air di reservoir pada ketinggian tertentu ketika ada kelebihan energi dan mengubah energi potensial menjadi listrik dengan melepaskan energi potensial untuk memutar turbin generator ketika ada permintaan seperti terlihat pada gambar. 2.19



Gambar 2. 13 Parameter masukan dari baterai

d. Jaringan Transmisi

HOMER memodelkan jaringan transmisi sebagai komponen dimana sistem membeli energi listrik AC dan bagaimana sistem dapat menjual listrik AC. Biaya pembelian energi listrik dari jaringan dapat berisikan muatan energi berdasarkan jumlah pembelian energi pada periode waktu dan permintaan muatan berdasarkan permintaan puncak dalam jangka waktu tertentu. HOMER menggunakan jangka waktu *grid power price* (\$/kwh) sebagai harga pembelian energi listrik dari jaringan, dan *demand rate* adalah harga dimana listrik yang diperlukan pada saat permintaan beban puncak. *Sellback rate* adalah harga yang harus dibayar untuk energi yang dijual pada jaringan. Perencana yang menggunakan HOMER dapat menetapkan dan menjadwalkan hingga 16 nilai yang berbeda, beberapa diantaranya mempunyai nilai yang berbeda dari harga jaringan, nilai permintaan, nilai jual. Penjadwalan dari besarnya nilai energi dapat bervariasi menurut bulan, hari, akhir pekan.

e. Konverter

Konverter adalah peralatan yang mengubah energi listrik dari DC ke AC, disebut *inversion*, dan dari AC ke DC disebut *rectification*. HOMER memodelkan dua tipe konverter, yaitu *solid state* dan *rotary*. Ukuran konverter atau kapasitas daya konverter adalah jumlah maksimal tegangan AC, sehingga peralatan dapat menghasilkan listrik dengan membalik listrik AC menjadi DC. Perencana menentukan kapasitas rectifier, jumlah energi DC, dimana peralatan dapat menghasilkan energi dengan cara membalik tegangan AC, sesuai dengan persentase dari kapasitas inverter. HOMER mengasumsikan bahwa kapasitas inverter dan rectifier bukan kapasitas yang bergelombang, dimana hanya dapat bekerja pada waktu tertentu, tetapi konverter adalah kapasitas yang bekerja terus menerus sehingga peralatan AC/DC dapat bekerja selama dibutuhkan

2.2 Kajian Pustaka Relevan

Bimo Bagaskoro, Jaka Windarta dan Denis [37] dalam penelitiannya di Pulau Cemara yang merupakan kawasan wisata yang belum teraliri energi listrik, menyatakan bahwa dengan menggunakan PV, dapat dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga surya yang akan menjadi solusi permasalahan di Pulau Cemara. Namun, dibutuhkan analisis secara teknis dan ekonomi dalam pembangunannya. Dengan menggunakan HOMER, dapat diketahui jumlah daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 1746kWh/tahun. Dengan investasi awal sebesar \$3745, pada skenario menggunakan bunga sebesar 6 %, di dapat nilai NPC sebesar \$6354 , nilai COE sebesar \$1,06/kWh, dan BEP terjadi pada tahun ke-11. Sedangkan biaya yang perlu ditanggung oleh 11 pengelola Pulau Cemara adalah \$3,76 per

bulan. Pada skenario tanpa menggunakan bunga didapat nilai NPC sebesar \$8848, nilai COE sebesar 0,755\$/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke-25. Sedangkan biaya yang perlu ditanggung oleh 11 pengelola adalah \$2,68 per bulan.

Taufik C. Wijaya, M. Facta dan Yuningtyastuti [30] dalam penelitiannya di Desa Margajaya yang merupakan salah satu desa transmigrasi yang berada di Provinsi Bengkulu dengan 260 kepala keluarga, daerah tersebut kaya akan sinar matahari dengan rata-rata pertahun 4,79 kWh/m²/hari, sungai dengan debit yang cukup tinggi, yaitu pada Sungai Simpang Kebun dengan debit rata-rata pertahun sebesar 8,57 m³/dt, dan juga terdapat penghasil komoditi perkebunan berupa kelapa sawit seluas 400 hektar, yang setiap minggunya menghasilkan limbah berupa pelepah kelapa sawit, yang apabila limbah tersebut merupakan potensi biomassa yang apabila dimanfaatkan dapat menghasilkan energi listrik. Sistem pembangkit listrik tenaga hibrid yang bersumber dari energi terbarukan berupa energi matahari, energi mikrohidro, dan energi biomassa menjadi solusi yang tepat untuk membantu pemenuhan kebutuhan energi masyarakat di desa tersebut.. Hasil dari simulasi dan optimasi HOMER menunjukkan bahwa secara keseluruhan sistem yang optimum untuk diterapkan di area studi di atas dalam jangka waktu proyek 25 tahun adalah integrasi PLTMH, PLTS dan Biomassa dengan nilai bersih sekarang (*net present cost*, NPC) sebesar \$ 241.217, biaya pembangkitan listrik (*cost of energy*, COE) sebesar \$ 0,143 per kWh, dan kelebihan energinya pertahun sebesar 302.241 kWh

Lambertus Sinaga, Hermawan dan Agung Nugroho [3] dalam penelitiannya di Pulau Nyamuk yang selama ini mengalami ternyata memiliki potensi energi Matahari yang bersinar selama 12 jam per hari, sumber tenaga angin dengan

intensitas kecepatan angin rata-rata 4,74 m/s, serta ketersediaan bahan bakar pembangkit listrik biomassa berupa serbuk kayu yang didapat dari pabrik kayu sebanyak 6 ton per hari. Sistem pembangkit listrik tenaga hibrida berupa energi matahari, energi angin, dan energi biomassa menjadi solusi yang tepat untuk membantu pemenuhan kebutuhan energi masyarakat di Pulau Nyamuk. Integrasi pada sistem PLH menunjukkan bahwa sistem yang optimum untuk diterapkan di Pulau Nyamuk dalam jangka waktu proyek 15 tahun adalah integrasi PV, turbin angin, gasifikasi biomassa, dan generator diesel dengan nilai bersih sekarang (*net present cost*, NPC) sebesar \$1,856,472, biaya pembangkitan listrik (*Cost of Energy*, COE) sebesar \$0,273 per kWh, dan mengurangi emisi CO₂ sebesar 651.630 kg per tahun atau sebesar 95,5 % per tahun.

Kunaifi [34] membahas tentang penggunaan program HOMER untuk merancang sistem pembangkit listrik hibrida (PLH) di sebuah desa terpencil di Propinsi Riau. Desain sistem dilakukan di sebuah desa referensi bernama Saik yang akan memiliki sekitar 25 kW beban puncak dan konsumsi energi 180 kWh per hari, jika memiliki suplai listrik. Sistem yang direkomendasikan HOMER terdiri dari surya 5 kW, dua *Darrieus Hydrokinetic Turbine* (DHT) 3 kW, baterai 14.400 Ah, inverter 20 kW, dan generator diesel 18 kW sebagai back-up, yang dikonstruksi dalam konfigurasi paralel hybrid. Sistem tersebut mampu melayani 100% beban sepanjang tahun ditambah sekitar 21% kapasitas lebih untuk mengantisipasi pertumbuhan beban. Dengan arus sungai yang relatif lambat, kontribusi DHT pada energi output mencapai 55%. Biaya Operasi dan Perawatan (O&M) sistem ini rendah, namun biaya awal tinggi. Biaya energi (COE) lebih tinggi daripada tarif listrik di Riau, namun lebih rendah dari pada COE jika

menggunakan generator diesel saja. Sistem ini melepaskan sekitar 19,7 ton CO² per tahun, jauh di bawah emisi sistem jika hanya menggunakan generator diesel (580% lebih tinggi).

Novi, K dan R. Nazri [24] melakukan penelitian terhadap permasalahan kelistrikan di Kampung Bayang Janiah, Nagari Koto Ranah, Kecamatan Bayang Utara, Kabupaten Pesisir Selatan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN. Dari analisa yang telah dilakukan, diperoleh ketersediaan debit bulanan air sungai Bayang Janiah dengan menggunakan metode F.J. Mock yaitu debit andalan 90% sebesar 102 L/s dengan head efektif 14 m mampu menggerakkan *hydro turbine* sehingga menghasilkan daya sekitar 11,3 kW. Sementara itu, untuk sistem *surya array* menghasilkan daya sebesar 8,4 kW dengan jumlah modul surya sebanyak 84 modul dan jumlah battery 6 V 1.091 Ah yang dibutuhkan sebanyak 8 unit serta *bidirectional converter* dengan total kapasitas sebesar 10 kW, berjumlah 2 unit. Hasil simulasi HOMER menunjukkan sistem PLTH yang paling optimal untuk diterapkan di Kampung Bayang Janiah berdasarkan Total NPC terendah adalah integrasi antara *microhydro-pv array-battery bank-bidirectional converter*. Pada konfigurasi sistem yang optimal tersebut, kontribusi mikrohidro sebesar 78.945 kWh/yr, *surya array* sebesar 11.404 kWh/yr, dengan total NPC sebesar \$ 146.041, Levelized COE sebesar \$ 0,525/kWh, sedangkan untuk konsumsi energi listrik per tahun sebesar 30.668 kWh dan kelebihan energinya sebesar 59.608 kWh/yr, sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga sebanyak 56 KK termasuk juga sarana sosial yang ada di kampung tersebut.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan penelitian kuantitatif digunakan karena data pada penelitian ini berupa angka-angka. Kuantitatif deskriptif digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi energi listrik yang dapat dihasilkan pada Bendungan Sei Padang.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Untuk menyelesaikan penelitian pada skripsi ini, penulis melakukan penelitian di Bendung Sei Padang Kota Tebing Tinggi. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2022 – Januari 2023.

3.3 Populasi dan Sampel

Populasi dan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Populasi

Dalam penelitian ini, populasi yang digunakan adalah daerah/wilayah Bendung Sei Padang yang memiliki potensi air dan potensi energi matahari yang bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik. Dengan adanya bendungan tersebut sudah merupakan perangkat tambahan untuk perencanaan PLTMH dan PLTS di bendungan tersebut.

2. Sampel

Dalam penelitian ini, sampel data berupa data bangunan Bendung, data debit air dan data intensitas penyinaran matahari di Kawasan Bendung Sei Padang.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Adapun data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Data intensitas radiasi matahari

Pada penelitian ini data radiasi matahari diperoleh dari NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) dengan melalui perangkat lunak HOMER yang menghubungkan ke satelit NASA.

b. Data teknis bangunan bendung

Data teknis bangunan bendung seperti luas atap bangunan bendung diperoleh dari hasil wawancara yang dilakukan langsung dengan operator bendung Sei Padang. Sedangkan data tinggi jatuh air (*head*) diperoleh melalui *Google Earth*.

c. Data debit air

Data debit air diperoleh dari hasil pengukuran Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan Balai Wilayah Sungai (BWS) II Sumatera Kementerian PUPR.tahun 2021.

3.5 Teknik Analisis Data

Adapun tahapan dalam analisa data adalah sebagai berikut :

1. Analisis Teknis

Berikut ini merupakan tahapan dalam analisa teknis PLTMH :

a. Perhitungan potensi PLTMH

Penentuan data debit air yang diperoleh dari BWS Sumatera II dan pengukuran *head* (*google earth*) untuk menghitung kapasitas dan jenis turbin yang akan digunakan.

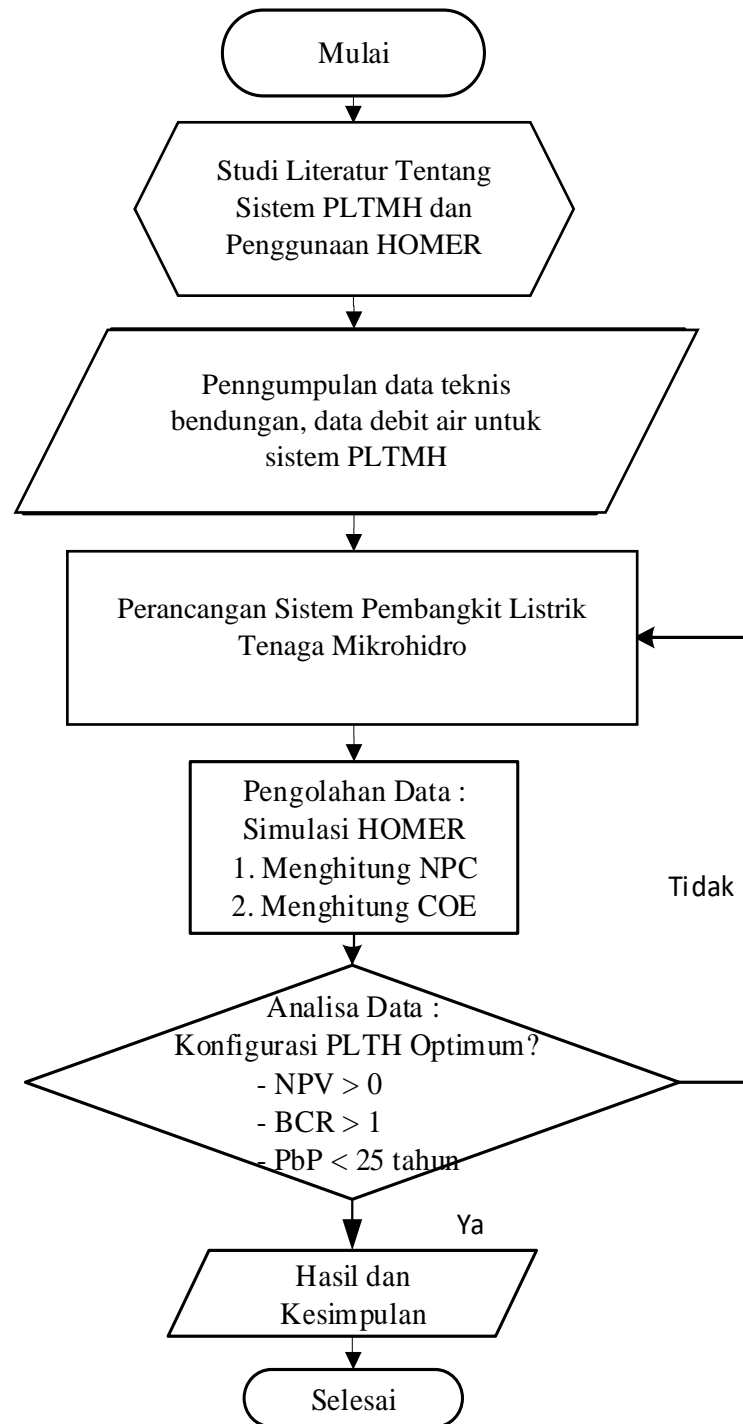
2. Teknik Perancangan Ekonomis

Adapun tahapan dalam perancangan ekonomis PLTH di Bendung Sei Padang, yaitu :

- a. Menghitung *Net Present Cost* (NPC) yaitu total keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan PLTH
- b. Menghitung *Cost of Energy* (CoE) yaitu biaya rata-rata per kWh yang dihasilkan oleh sistem PLTH.
- c. Menentukan *Payback Periode* (PBP) yaitu lama waktu balik modal yang telah dikeluarkan (NPC).

3.6. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, sistem dibuat mengikuti diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dari gambar 3.1 dapat diketahui langkah dan alur penelitian yaitu :

1. Studi Literatur

Studi literatur ini berfungsi untuk mengkaji dan mempelajari semua hal yang berhubungan dengan teori untuk mendukung dalam analisa sistem PLTMH

2. Pengumpulan Data

Adapun data yang akan digunakan adalah :

- a. Data teknis bendungan

- b. Data debit air

3. Perancangan Sistem

Langkah awal dari perancangan PLTMH adalah merancang sistem PLTMH. Setelah itu kedua sistem pembangkit dikombinasikan untuk membentuk sistem PLTMH

4. Pengolahan Data

Setelah perancangan sistem PLTMH diperoleh, maka selanjutnya adalah mengolah data menggunakan perangkat lunak HOMER. Data yang diolah menggunakan perangkat lunak HOMER akan menunjukkan hasil berupa nilai total investasi awal/NPC (*net present cost*) dan harga energi per kWh/COE (*cost of energy*).

5. Konfigurasi PLTMH Optimum

Pada tahap ini, konfigurasi PLTMH akan ditentukan apakah optimum atau tidak menggunakan parameter investasi kelayakan seperti *Net Present Value* (NPV) atau keuntungan bersih, *Benefit Cost Ratio* (BCR) atau rasio jumlah arus kas bersih dengan nilai investasi awal dan *Payback Period* (PbP) atau lama waktu balik modal.

6. Hasil dan Kesimpulan

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah pengambilan kesimpulan dari perancangan PLTMH yang telah dilakukan dengan mempertimbangkan sisi teknis dan ekonomis.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian diperoleh melalui pengamatan dan studi literatur yang dianalisis sesuai dengan kebutuhan penelitian. Adapun hasil penelitian meliputi tujuan penelitian yaitu perhitungan potensi PLTMH dan perencanaan PLTMH. Lokasi untuk simulasi ini diambil pada bendung Sei Padang Kota Tebing Tinggi

4.1.1 Deskripsi Data

Pada penelitian ini data diperoleh dengan melakukan observasi langsung di lapangan dan dengan melakukan studi literatur berdasarkan data-data yang ada pada perangkat lunak HOMER dan data yang dihimpun dari BWS Wilayah II Sumatera. Perancangan PLTH pada penelitian ini menggunakan 3 jenis data utama, yaitu data teknis bangunan bendung, data radiasi intensitas matahari, dan data debit air.

Data teknis bendungan diperoleh dari data operasional pengelola bendung Sei Padang. Data intensitas radiasi matahari diambil dari NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (POWER) yang disediakan oleh perangkat lunak HOMER dengan lama pengamatan selama 22 tahun sejak 1983. Data debit air diperoleh dari hasil pengukuran Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan Balai Wilayah Sungai (BWS) II Sumatera Kementerian PUPR.tahun 2021 dan data analisis pada tahun 2020.

4.1.2 Hasil Uji Persyaratan Analisis

Data-data yang telah terkumpul akan digunakan sebagai referensi dalam menghitung potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan yaitu PLTMH

4.1.2.1 Perancangan PLTMH

Perencanaan PLTMH pada bendung Sei Padang memanfaatkan saluran intake primer pada sisi sebelah kiri dan kanan bendung seperti pada gambar 4.1. Saluran intake ini berfungsi sebagai bak penenang dalam perencanaan PLTMH.



Gambar 4.1 Saluran intake menuju Desa Paya Pasir

Terdapat 2 saluran di sisi sebelah kanan dan kiri bendung yaitu saluran intake primer dan saluran penguras. Saluran intake primer berfungsi untuk mengalirkan air menuju desa Paya Pasir dan desa Paya Lombang sedangkan saluran penguras berfungsi untuk mengendapkan lumpur dan mengalirkan kembali air ke sungai. Bangunan saluran penguras pada gambar 4.2 akan dimanfaatkan sebagai *power house* dan lokasi instalasi turbin.



Gambar 4.2 Saluran penguras

1. Penentuan debit air

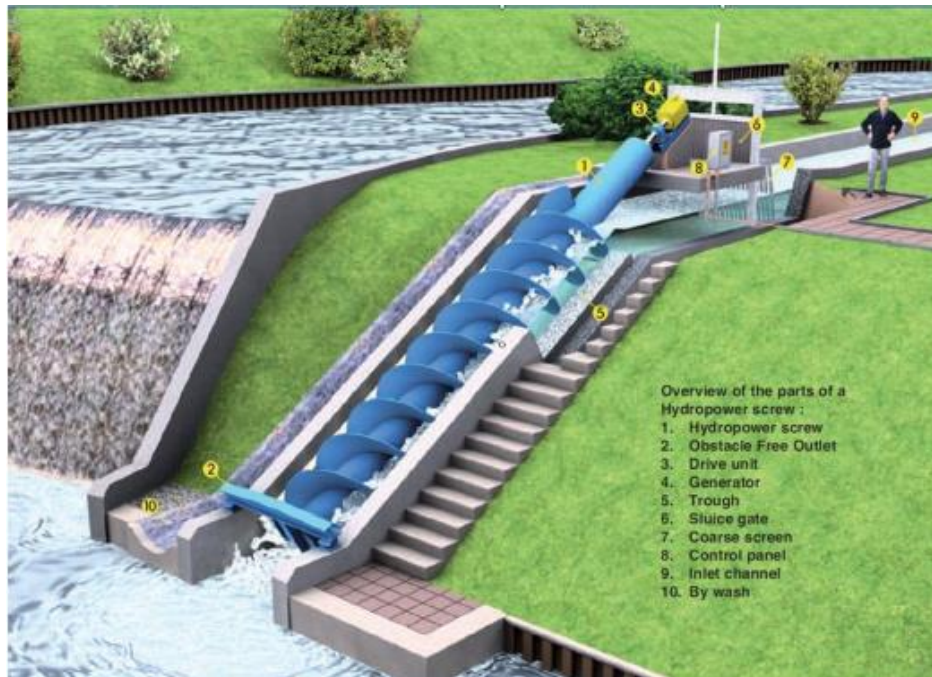
Grafik data debit air yang diperoleh dari BWS Sumatera II pada tahun 2021 pada gambar 3.4 menunjukkan perbedaan setiap bulannya. Oleh karena itu digunakan rata-rata debit air untuk menentukan besar debit air yang akan digunakan. Rata-rata debit air Sungai Padang adalah $5,13 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Pengukuran tinggi jatuh air (*head*)

Tinggi jatuh air didapat dari pengukuran melalui google earth dan google maps coordinate. Dimana hasil pengukuran dari keduanya menunjukkan angka yang sama yaitu 4 meter.

3. Pemilihan Turbin

Berdasarkan gambar 2.4 tentang jenis turbin, maka untuk turbin dengan *head* 4 meter dan debit air $5,13 \text{ m}^3/\text{s}$ dipilih turbin ulir (*Archimedes Screw Turbine*) seperti tampak pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Bagian-bagian Archimedes Screw Turbine

4. Perhitungan Daya Output

Potensi daya yang dihasilkan dihitung menggunakan persamaan (2.5) dengan melihat head, debit dan efisiensi komponen yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$P = \rho \times g \times Q \times H_n \times \text{Eff}$$

$$P = 1000 \text{ /kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s} \times 5,13 \text{ m}^3/\text{s} \times 4 \text{ m} \times 0,8$$

$$= 160.878 \text{ W} \approx 160 \text{ kW}$$

Adapun potensi PLTMH pada bendung Sei Padang dengan daya sebesar 160 kW yang dihasilkan PLTMH

4.1.3 Perencanaan PLTMH

4.1.3.1 Perencanaan Teknis PLTMH

Perencanaan teknis PLTM menggunakan software HOMER. Dengan menambahkan kapasitas turbin kedalam software HOMER.

The screenshot shows the 'HYDRO' configuration window in HOMER software. It includes the following sections and parameters:

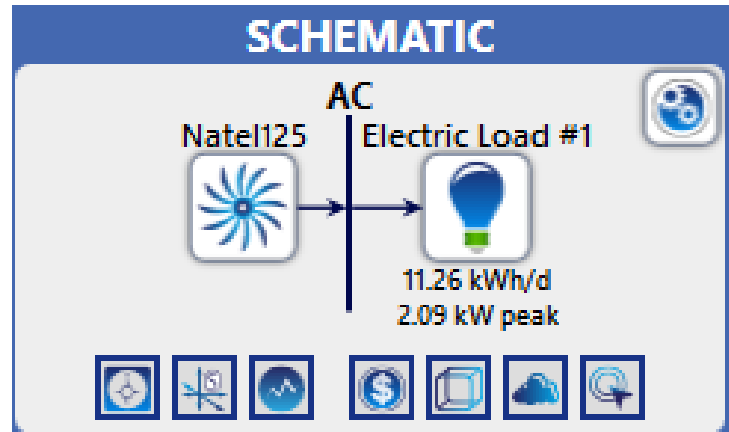
- Header:** Name: Generic Hydro 100kW, Abbreviation: Hyd100, Buttons: Remove, Copy To Library.
- Economics:** Capital Cost (Rp): 300,000,000; Replacement Cost (Rp): 300,000,000; O&M Cost (Rp/yr): 3,000,000.0; Lifetime (years): 25.00.
- Electrical Bus:** Radio buttons for AC (selected) and DC.
- Intake Pipe:** Pipe head loss (%): 15.00.
- Turbine:** Available head (m): 4.00; Design flow rate (L/s): 5,130.00; Minimum flow ratio (%): 75.00; Maximum flow ratio (%): 150.00; Efficiency (%): 80.00; Nominal Capacity: 161.041 kW.
- Systems to consider:** Radio buttons for 'Simulate systems with and without the hydro turbine.' (selected) and 'Include the hydro turbine in all simulated systems.'

Gambar 4.4 Input kapasitas turbin

Dari gambar 4.4 dapat diketahui spesifikasi turbin sebagai berikut :

Tipe	Archimedes Screw Turbine
Harga satuan	Rp. 300.000.000,-
Kapasitas	161,041 kW
Biaya pemeliharaan	Rp. 6.000.000,-/tahun

Terdapat perbedaan antara perhitungan daya manual (160.878W) dengan perhitungan di HOMER (161.041). Biasanya perbedaan kecil ini terjadi karena perbedaan pembulatan efisiensi atau faktor head loss di perangkat lunak. Sehingga konfigurasi sistem PLTMH tampak seperti gambar dibawah ini. Konfigurasi sistem PLTMH ini menggunakan konfigurasi AC.



Gambar 4.5 Konfigurasi PLTM

4.1.3.2 Perencanaan Ekonomis PLTMH

Selain untuk menentukan konfigurasi sistem PLTMH, HOMER juga menyediakan hasil simulasi berupa total biaya yang digunakan (NPC), harga energi per kWh (COE) dan lama waktu balik modal/*Payback Periode*.

1. Perhitungan Investasi Awal PLTMH

Biaya investasi awal untuk perencanaan PLTMH terdiri dari biaya komponen sistem. Informasi mengenai biaya investasi ini didapat dari berbagai sumber di internet. Adapun Tabel 4.2 mencakup keseluruhan biaya sistem PLTMH.

Tabel 4.1 Input harga komponen PLTMH pada HOMER

Komponen	Jumlah	Kapasitas Terpasang	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1 Set PLTMH dengan Turbin Archimedes Screw Turbine	1	160.000 W	300.000.000	300.000.000
Total				300.000.000

Pada Tabel 4.2 diketahui acuan harga satu set komponen yang diinput untuk perencanaan sistem PLTMH. Total perencanaan investasi awal PLTMH ini memerlukan biaya sebesar Rp. 300.000.000,-

2. Biaya O&M Sistem PLTH

Biaya operasional dan pemeliharaan (*maintenance*) untuk sistem PLTMH setiap tahun merupakan 1-2% dari total keseluruhan biaya investasi awal seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Biaya O&M komponen PLTH pada HOMER

Komponen	Jumlah	Harga Total (Rp)	Biaya O&M Total (Rp)
1 Set PLTMH dengan Turbin <i>Archimedes Screw Turbine</i>	1	300.000.000	6.000.000
Total			6.000.000

3. Perhitungan *Capital Recovery Factor* (CRF)

CRF merupakan nilai tahunan dari total biaya penggantian yang terjadi selama masa proyek dikurangi dengan nilai sisa pada akhir proyek. Dimana dalam perhitungannya menggunakan tingkat suku bunga dengan mengasumsikan tingkat inflasi sama untuk semua biaya. Adapun tingkat suku bunga tahunan yang digunakan adalah rata-rata besarnya suku bunga selama tahun 2023 yaitu sebesar 8% [39] dengan nilai umur proyek (N) 25 tahun. Maka dapat dihitung CRF menggunakan persamaan 2.22

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$CRF(i, N) = \frac{0,08(1+0,08)^{25}}{(1+0,08)^{25} - 1}$$

$$CRF = 0,0936$$

4. Total biaya modal/*net present cost* (NPC)

Untuk konfigurasi sistem PLTMH tanpa pinjaman didapatkan hasil NPC seperti tampak pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Total NPC tanpa pinjaman

Komponen	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Generic Hydro 100kW	300.000.000	0.00	150.000.000	0.00	450.000,000

Dengan menggunakan persamaan 2.16, maka diperoleh jumlah nilai NPC PLTH sebesar :

$$\text{NPC} = \text{Rp}300.000.000 + \text{Rp}0 + \text{Rp}150.000.000 + \text{Rp}0$$

$$\text{NPC} = \text{Rp} 450.000.000,-$$

5. Total *Annualized cost*

Dari konfigurasi sistem PLTMH didapatkan hasil total *annualized cost* sebesar Rp 18.000.000 dengan rincian seperti tampak pada Tabel 4.7

Tabel 4.5 Total annualized cost tanpa pinjaman

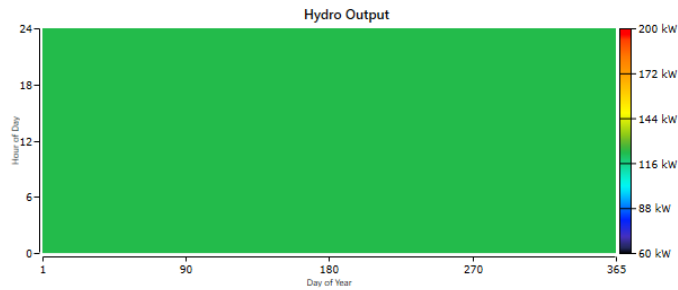
Komponen	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Generic Hydro 100kW	12.000.000	0.00	6.000.000	0.00	18.000.000

7. Biaya energi (COE)

Total beban yang dapat dipenuhi berdasarkan simulasi PLTH pada HOMER ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Quantity	Value	Units
Nominal Capacity	98.1	kW
Mean output	125	kW
Capacity factor	128	%
Total Production	1,095,679	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	125	kW
Maximum output	125	kW
Hydro penetration	124	%
Hours of operation	8,760	hrs/yr
Levelized Cost	26.7	Rp/kWh



Gambar 4.8 Hydro Output

Pada Gambar 4.8 total beban yang dapat dipenuhi oleh sistem adalah sebesar 1.095.679 kWh/tahun atau 1.095 MW per tahun.

Dengan menggunakan persamaan 2.25, maka nilai COE tanpa pinjaman adalah

$$COE = \frac{C_{acap}}{E_{prime,AC}}$$

$$COE = \frac{Rp.18.000.000}{1.095.679} = Rp. 300,016 \text{ per kWh}$$

8. Net Present Value (NPV)

Dari hasil simulasi HOMER tanpa pinjaman diperoleh total nilai NPC sebesar Rp. 450.000.000,- dengan biaya investasi awal sebesar Rp.300.000.000,-. Sehingga didapat nilai NPV dengan menggunakan persamaan 2.26 sebagai berikut

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NPC}{(1-i)^t} - II$$

$$NPV = \frac{Rp. 450.000.000}{(1 + 8\%)^{25}} - Rp. 300.000.000$$

$$NPV = - Rp. 234.306.569, -$$

Hasil perhitungan memiliki nilai lebih kecil dari 0 (< 0).

9. *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Dari hasil simulasi HOMER dengan menggunakan pinjaman diperoleh total nilai NPC sebesar Rp. 450.000.000,- dengan biaya investasi awal sebesar Rp.300.000.000. Sehingga didapat nilai BCR dengan menggunakan persamaan 2.27 sebagai berikut :

$$BCR = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}}$$

$$BCR = \frac{Rp. 300.000.000}{Rp. 450.000.000} = 0.667$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai BCR kurang dari 1 (BCR < 1), yang menunjukkan bahwa investasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada Bendung Sei Padang belum memenuhi kriteria kelayakan ekonomi. Hal ini berarti secara finansial proyek ini belum mampu memberikan keuntungan yang optimal apabila dilihat dari perbandingan antara manfaat dan biaya yang dikeluarkan.

Namun demikian, apabila ditinjau dari perspektif energi baru dan terbarukan (EBT), sistem PLTMH ini tetap memiliki potensi yang layak untuk dikembangkan. Pemanfaatan energi air sebagai sumber energi bersih memberikan kontribusi positif terhadap pengurangan ketergantungan pada energi fosil, penurunan emisi gas rumah kaca, serta peningkatan keberlanjutan sistem energi.

Selain itu, keberadaan PLTMH juga dapat memberikan manfaat non-ekonomis, seperti peningkatan ketersediaan energi listrik di daerah sekitar, mendukung program pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan, serta meningkatkan ketahanan energi lokal. Oleh karena itu, meskipun secara ekonomi proyek ini belum layak, namun dari aspek lingkungan dan keberlanjutan energi, sistem ini tetap memiliki nilai strategis untuk dipertimbangkan, terutama jika didukung oleh kebijakan, subsidi, atau skema insentif dari pemerintah..

10. *Payback Periode*

Total harga komponen adalah sebesar Rp. 300.000.000,- dengan total produksi energi per tahun pada Tabel 4.9 yaitu sebesar 1.095.000 kWh/tahun atau 1.095 MW per tahun.

Dengan menggunakan skema harga jual listrik ke PLN [40] dimana harga yang digunakan adalah harga jual tertinggi yaitu 6,536 cent USD atau setara dengan Rp. 978,30 (Kurs 1 Dollar = Rp. 14.698). Oleh karena itu nilai *Payback Period* dapat diperoleh digunakan persamaan 2.25

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Pendapatan per tahun}} \times \text{periode waktu}$$

$$\text{BEP} = \frac{300.000.000}{1.095.000 \times 978,3} = 24,27$$

Dari hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa lama *payback period* adalah 24,27 tahun setara dengan 24 tahun 4 bulan atau lebih kecil dari umur proyek (<25 tahun).

4.2 Pembahasan

Debit air Sei Padang sebesar $5,13 \text{ m}^3/\text{s}$ dapat menghasilkan potensi daya PLTMH sebesar 160 kW. Pada sistem PLTMH yang dirancang digunakan turbin *Archimedes screw turbine* berkapasitas 160 kW. Hal ini berkaitan dengan pemanfaatan saluran penguras sebagai lokasi *power house* dan tidak membutuhkan adanya pipa pesat seperti pada PLTMH pada umumnya. Produksi energi yang dihasilkan oleh PLTMH mencapai 866.925 kWh/tahun dengan persentase 93,8%.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan sistem PLTMH dengan memanfaatkan *head* 4 meter dan debit air Sei Padang sebesar 5,13 m³/s dapat menghasilkan potensi PLTMH sebesar 160 kW.
2. Potensi PLTMH pada bendung Sei Padang dapat mensuplai kebutuhan energi sebesar 1.095 MWh per tahun Total biaya perencanaan PLTH selama masa 25 tahun tanpa menggunakan pinjaman sebesar Rp 450.000.000 dan nilai COE sebesar Rp. 300 per kWh.
3. Dari hasil secara ekonomis, nilai NPV kedua metode lebih kecil dari 0 (<0) dan nilai BCR kedua sistem lebih kecil dari 1 (<1), sedangkan dengan menggunakan parameter *payback period* diperoleh waktu selama 24,27 tahun.

5.2.Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah :

1. Perlunya skema subsidi atau insentif pemerintah untuk menaikkan BCR hingga > 1.
2. Perlunya dibuat analisis menggunakan sistem on-grid
3. Untuk penelitian kedepan, perlu perencanaan beban secara spesifik sebelum merancang sistem pada HOMER.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. T. Gultom, “Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *J. Mudira Indure*, vol. 1, no. 3, pp. 33–42, 2015, [Online]. Available: <http://www.jurnalmudiraindure.com/pemanfaatan-photovoltaic-sebagai-pembangkit-listrik-tenaga-surya/>
- [2] S. Setiawan, S. H. Siahaan, and R. Manalu, “Studi Model Bisnis dan Kemampuan Teknologi Industri PLTS Menuju Kemandirian Energi,” *Lap. Tek. Penelit. No 2015-01-01-08*, 2015.
- [3] N. A. Sinaga. Lambertus, Hermawan, “Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Surya , Jawa Tengah Dengan Menggunakan Perangkat Lunak,” *Transient*, vol. 4, no. 4, pp. 1029--1037, 2015.
- [4] B. PUPR, “Identifikasi Potensi Mikro hidro di Jaringan Irigasi,” p. 124, 2025.
- [5] F. P. Siregar, “Analisis Pengendalian Debit Banjir Sungai Padang Di Kota Tebing Tinggi,” Universitas Medan Area, 2017. [Online]. Available: <http://repository.uma.ac.id/handle/123456789/8526>
- [6] I. Agustine, “Bendung Sei Padang di Sumatera Utara Rampung, Ini Manfaatnya,” *Bisnis.com*, 2018. [Online]. Available: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20180125/45/730295/bendung-sei-padang-di-sumatra-utara-rampung-ini-manfaatnya>
- [7] “Bendungan Sei Padang.” <https://earth.google.com/web/search/bendungan+sei+padang/@3.35296529,99.19583037,6.90097077a,653.17381467d,34.99997952y,354.41123794h,0t,0r/data=CigiJgokCVW9gl3CYUJAET4LbmxPkyRAGSbE4evYwVJAIdKtIbAglxjA> (accessed Sep. 01, 2022).
- [8] L. Alliance for Sustainable Energy, “PV Watt Calculator,” 2022. <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
- [9] Herlina, “Analisis Dampak Linkungn dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan,” Universitas Indonesia, 2009.
- [10] V. R. Mangore, E. M. Wuisan, L. Kawet, and H. Tangkudung,

- “Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu,” *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 7, pp. 533–541, 2013.
- [11] B. S. Wiranto, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Studi kasus di Curug Cigeuntis, Kecamatan Tegalwaru, Kabupaten Karawang, Jawa Barat,” Universitas Negeri Jakarta, 2018.
- [12] B. Pranoto, S. N. Aini, H. Soekarno, A. Zukhrufiyati, H. Al Rasyid, and S. Lestari, “Potensi Energi Mikrohidro di Daerah Irigasi (Studi Kasus di Wilayah Sungai Serayu Opak),” *J. Irig.*, vol. 12, no. 2, p. 77, 2018, doi: 10.31028/ji.v12.i2.77-86.
- [13] V. Dwiyanto, D. Indriana K., and S. Tugiono, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai),” *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 4, no. 3, pp. 407–422, 2016, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/127987/analisis-pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro-pltmh-studi-kasus-sungai-air-anak>
- [14] S. Sukamta and A. Kusmantoro, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur,” *J. Tek. Elektro Unnes*, vol. 5, no. 2, pp. 58–63, 2013.
- [15] M. Dwiyanto, T. Sogen, V. N. Van Harling, S. Si, M. Pd, and L. Belakang, “Sawiat Kabupaten Sorong Selatan,” 2003.
- [16] T. Santika, “Dampak Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat (Studi kasus: Desa Rantau Suli, Kecamatan Jangkat Timur, Kabupaten Merangin,” Universitas Islam Negeri Sulthan Thaha Saifuddi Jambi, 2020.
- [17] I. P. E. A. Yanto, I. A. D. Giriantari, and W. G. Ariastina, “Perencanaan Sistem Kelistrikan PLTMH Banjar Dinas Mekar Sari,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 20, no. 1, p. 37, 2021, doi: 10.24843/mite.2021.v20i01.p04.
- [18] A. YoosefDoost and W. D. Lubitz, “Archimedes screw turbines: A sustainable development solution for green and renewable energy generation-a review of potential and design procedures,” *Sustain.*, vol. 12, no. 18, 2020, doi: 10.3390/SU12187352.
- [19] M. D. A.K Raja, Amit Prakash Srivastava, *Power Plant Engineering*, vol.

- 1999, no. December. New Delhi: New Age International Publishers, 2006.
- [20] A. R. I. Susanto, “Analisi Potensi Sumber Daya Air Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Bendung Lodoyo Blitar, Skripsi S1,” *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1–19, 2019, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/75631/>
- [21] Departemen Pekerjaan Umum, “Prosedur dan Instruksi Kerja Pengukuran Debit Sungai dan Saluran Terbuka,” no. 20, 2009.
- [22] I. Staddal, O. Haridjaja, and Y. Hidayat, “Analisis debit aliran sungai DAS Bila, Sulawesi Selatan,” *J. Sumber Daya Air*, vol. 12, no. 2, pp. 117–130, 2017, doi: 10.32679/jsda.v12i2.56.
- [23] C. L. Scott Davis, *Microhydro: Clean Power from Water (Wise Living)*. Canada: New Society Publishers, 2003. [Online]. Available: <https://en.id1lib.org/book/2288399/193f8c>
- [24] N. Kurniasih and R. Nazir, “Analisis Mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Microhydro - Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Kampung Bayang Janiah, Kabupaten Pesisir Selatan),” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, p. 30, 2015, doi: 10.25077/jnte.v4n1.114.2015.
- [25] T. Inc, Tech ES, “Studi kelayakan pembangkit listrik tenaga surya (plts) terpusat,” no. November, Jakarta Selatan, 2018.
- [26] M. S. ing, Bagus Ramadhani, *Dos & Don ' ts*. Jakarta: GIZ, 2018.
- [27] Sollarcellsurya.com, “perbedaan panel surya monocrystalline polycrystalline.” <https://www.sollarcellsurya.com/perbedaan-panel-surya-monocrystalline-polycrystalline/>
- [28] D. Dedisukma, W. Sunanda, and R. F. Gusa, “PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID DIESEL GENERATOR DAN PHOTOVOLTAIC ARRAY MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HOMER (Studi Kasus di Pulau Semujur Kabupaten Bangka Tengah),” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.,* vol. 2, no. 2, pp. 10–17, 2015, doi: 10.33019/ecotipe.v2i2.35.
- [29] Z. Syamsudin, S. Hidayat, M. N. Effendi, and T. Elektro, “Perencanaan penggunaan plts di stasiun kereta api cirebon jawa barat,” vol. 9, no. 15, pp.

- 70–83, 2017.
- [30] Taufik C. Wijaya; M. Facta; Yuningtyastuti, “Optimasi Potensi Energi Terbarukan Untuk Sistem Pembangkit Listrik Hibrid di Desa Margajaya Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak HOMER,” *TRANSIENT J. Ilm. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 3, 2014.
- [31] Kunaifi, “Program HOMER untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Propinsi Riau,” *Semin. Nas. Informatika 2010 (SemnasIF 2010)*, vol. B, no. semnasIF, pp. B18–B27, 2010.
- [32] A. R. Priyatmo, “Analisa Hasil Simulasi Homer Untuk Perancangan Sistem Energi Terbarukan Pada Bts (Base Tra Sceiver Station) Pecatu Bali,” Universitas Indonesia, 2009. [Online]. Available: [http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Doc/Overview of Arc Hydro terrain preprocessing workflows.pdf](http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Doc/Overview%20of%20Arc%20Hydro%20terrain%20preprocessing%20workflows.pdf) <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.003> <http://sites.tufts.edu/gis/files/2013/11/Watershed-and-Drainage-Delineation-by-Pour-Point.pdf> www
- [33] S. Kanata, “Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 2, 2015, doi: 10.17529/jre.v11i2.2288.
- [34] Kunaifi, “Program HOMER untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Propinsi Riau,” *Semin. Nas. Informatika 2010 (SemnasIF 2010)*, vol. B, no. semnasIF, pp. B18–B27, 2010.
- [35] A. D. Budiarta, S. Handoko, and A. Zahra, “TENAGA SURYA SISTEM HYBRID PADA ATAP KANDANG AYAM CLOSED HOUSE DI TUALANG KABUPATEN SERDANG BEDAGAI,” vol. 10, no. 2, pp. 345–353, 2021.
- [36] Aditya Pratama, Kharisma Bani Adam, Jangkung Raharjo, “Simulasi Optimasi Pembangkit Listrik,” vol. 9, no. 5, pp. 2429–2435, 2022.
- [37] B. Bagaskoro, J. Windarta, and Denis, “Perancangan Dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Offgrid Menggunakan Perangkat Lunak Homer Di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara,” *TRANSIENT J. Ilm. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 8, no. 2, pp. 152–

157, 2019.

- [38] LONGi Solar. 2020. Spesifikasi Modul Surya LR6-72HBD. China: LONGi Solar Technology Co., Ltd.
- [39] O. J. Keuangan, “SBDK Juli 2018 - Oktober 2021.”
- [40] R. Indonesia, T. L. Negara, and P. Pemerintah, *Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*, no. 135413. 2022.



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jl. Kapt. Mochtar Basri Street No.3 Medan - 20230, Telp. (061) 6619056

Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rector@umsu.ac.id

NAMA : ANDRIAN TH SIMATUPANG

NPM : 1907220081

JUDUL : ANALISIS PEMANFAATAN AIR PADA BENDUNGAN
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HYDRO
DAN DISIMULASIKAN DENGAN PERANGKAT LUNAK
HOMER

No	Keterangan	Tanggal	Paraf
1.	Evaluasi hasil Skripsi	16/10 - '23	
2.	Ass. Bab II	17/6 - '25	
3.	Ass. & evaluasi Bab II	11/10 - '25	
4.	Ass. Draft, Bab IV	15/11 - '25	
5.	Penyempurnaan Bab IV	9/12 - '25	
6.	Penyempurnaan Bab IV	10/1 - '26	
7.	Ass Bab I & Bab V	10/2 - '26	
8.	Penyempurnaan Bab V	14/3 - '26	
9.	Ass magister Semulas	2/4 - '26	
10.			

DOSEN PEMBAMPING/PEMBIMBING,

(Ir. Abdul Aziz M.M.)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab buri ni agar diketahui nomor dan tanggalnya

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

Nomor : 792/ II.3-AU/ UMSU-07/ F/2025
Lamp : -
Hal : Undangan Sidang Tugas Akhir
Jurusan Teknik Elektro
Medan, 27 Syawal 1447 H
15 April 2026 M

Kepada: Yth.Sdr.

1. Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM (Dosen Pembimbing)
 2. Partaonan Harahap S.T, M.T (Dosen Penguji – I)
 3. Rahmat Fauzi Siregar S.T,M.T (Dosen Penguji – II)
- di-
Medan.

Bismillahirrahmanirrahim.
Assalamu'alaikum Wr.Wb

Dengan hormat,sesuai dengan Rekomendasi Ka. Prodi Teknik Elektro Tanggal 14 April 2026 tentang dosen Pembimbing Tugas Akhir maka melalui surat ini kami mengundang Saudara untuk menghadiri SIDANG Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas nama mahasiswa yang tersebut di bawah ini:

Nama : Andrian TH Simatupang
NPM : 1907220081
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : **Analisis Pemanfaatan Air Pada Bendungan Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro Dan Disimulasikan Deangan Perangkat Lunak Homer**

Insyallah akan dilaksanakan pada :

Hari / tanggal : **Jumat /17 April 2026**
Waktu : 09.30 WIB s/d Selesai
Tempat : Fakultas Teknik UMSU
Jalan Muktar Basri No.: 03 Medan.

Demikian undangan ini kami sampaikan atas perhatian saudara kami ucapkan terima kasih. Akhirnya selamat dan sejahteralah kita semua Amin.



Wassalam,
Dekan



Ir. Ade Faisal S.T., M.Sc., Ph.D
NIDN: 0123097203



DAFTAR RIWAYAT HIDUP**DATA DIRI PENULIS**

Nama : Andrian TH Simatupang
NPM : 1907220081
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 03 Desember 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Karya Sari Gg. Pribadi No. 42C
Kel. Pangkalan Mansyur Kec. Medan Johor
Medan, Sumatera Utara
Agama : Islam
Pekerjaan : Karyawan Swasta
No. Telp : 081270106003
Email : athsimatupang@gmail.com

DATA DIRI ORANG TUA

Nama Ayah : A. Tua Marihot Simatupang
Agama : Islam
Nama Ibu : Sulastri Br. Bukit
Agama : Islam
Alamat : Jl. Karya Sari Gg. Pribadi No. 42C
Kel. Pangkalan Mansyur Kec. Medan Johor
Medan, Sumatera Utara

RIWAYAT PENDIDIKAN

2004 - 2010 : SD Negeri 067690 Medan
2010 - 2013 : SMP Negeri 28 Medan
2013 - 2016 : SMK Negeri 2 Medan
2019 - 2026 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara (UMSU)