

**ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO (PLTMH) DI KRUENG BIDIN KABUPATEN
BENER MERIAH DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE
*RETScreen***

TUGAS AKHIR

**Disusun Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan Pada
Program Studi Teknik Lingkungan**

Diajukan Oleh:

M. Rian Ramadhan

NIM. 190702104

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik lingkungan**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM - BANDA ACEH
2026 M/ 1447 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
ANALISI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO (PLTMH) DI KRUENG BIDIEN KABUPATEN BENER
MERIAH DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE *RETSCREEN*

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam
Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1) Dalam
Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan Oleh:
M. Rian Ramadhan

190702104

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 23 Juli 2026 Disetujui Oleh:

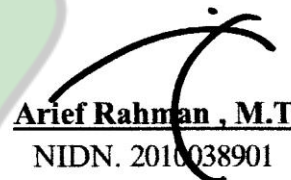
Pembimbing

Pembimbing I



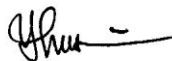
Suardi Nur, M.Sc., Ph.D
NIDN. 2009118301

Pembimbing II



Arief Rahman, M.T
NIDN. 2010038901

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI KRUENG BIDIN KABUPATEN BENER MERIAH DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE RETScreen*

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal : Jum'at/14 Agustus 2026
Jum'at 30 Shafar 1448 H

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua

Suardi Nur, M.Sc, Phd
NIP. 1981101020060441000

Sekretaris

Arief Rahman, M.T
NIP. 198903102019031012

Penguji I

Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
NIP. 197806162005122009

Penguji II

Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc
NUPTK. 4557773674130302

Mengetahui,
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Rian Ramadhan
NIM : 190702104
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah dengan Menggunakan Software RETScreen

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir/skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 28 Agustus 2026

Yang menyatakan



(M. Rian Ramadhan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah Swt, atas segala karunia yang tiada henti Allah SWT berikan kepada seluruh makhluknya yang tidak terhitung banyaknya. Shalawat beriring salam saya junjungkan kepada Nabi Muhammad Saw. Tak lupa pula terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada ayahanda dan ibunda tercinta, Zulmahdi Yahya dan Anidar T Hamid atas doa, motivasi, nasihat dan segala bentuk bantuan yang telah di berikan kepada penulis. Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas terselesainya proposal tugas akhir yang berjudul “Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah Dengan Menggunakan *Software RETScreen*”.

Adapun maksud dan tujuan penulisan ini sebagai syarat untuk memenuhi salah satu Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh untuk meraih gelar Sarjana. Penulis mengungkapkan rasa terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini. Untuk itu pada kesempatan ini terimakasih kepada:

1. Ibu Husnawati Yahya M.Sc. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan selaku dosen wali yang selalu memberikan arahan dan masukan di setiap permasalahan kuliah yang penulis alami.
2. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc selaku Sekertaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Suardi Nur, S.T., M.Sc, PhD selaku dosen pembimbing I telah berkenan membimbing, mengarahkan dan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap permasalahan dan kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
4. Bapak Arief Rahman, M.T, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan serta nasehat kepada penulis

5. Serta seluruh sahabat dan teman-teman yang telah membantu dalam keberlangsungan dan kelancaran dalam penelitian hingga penyusunan proposal tugas akhir.

Penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal tugas akhir. Serta penulis menyadari bahwa banyaknya kekurangan, oleh karena itu saran dan kritikan yang membangun sangat diharapkan.

Banda Aceh, 16 Juli 2026
Penulis

M. Rian Ramadhan



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Air	5
2.1.1 Sumber Energi Air.....	5
2.1.2 Potensi Energi Air di Indonesia	6
2.1.3 Potensi Energi Air di Aceh	7
2.2 Pembangkit Listrik.....	8
2.2.1 Pembangkit Listrik Mikrohidro	8
2.2.2 Potensi Mikrohidro di Indonesia	9
2.2.3 Potensi Mikrohidro di Aceh.....	11
2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH).....	12
2.4 Komponen Utama PLTMH	13
2.4.1 Bendungan (<i>Weir</i>) dan <i>Intake</i>	13
2.4.2 Saluran Penghantar.....	15
2.4.3 Bak Pengendap dan Penenang	16
2.4.4 Pipa Pesat/ <i>Penstock</i>	16
2.4.5 Turbin Air	17

2.5	<i>Software RETScreen</i>	21
2.5.1	Pengenalan	21
2.5.2	Modeling	22
BAB III	METODE PENELITIAN	24
3.1	Jenis Penelitian	24
3.2	Gambaran Wilayah	24
3.2	Lokasi Penelitian.....	25
3.4	Flow Chart Penelitian.....	26
3.5	Metode Pengumpulan Data dan Studi Literatur	26
3.6	Proses Perancangan PLTMH	27
3.6.1	Studi Literatur	27
3.6.2	Survei dan Pengumpulan Data	27
3.6.3	Perhitungan Debit dan Head	27
3.6.4	Analisa Kapasitas Daya	28
3.6.5	Penentuan Potensi	28
3.6.6	Perancangan PLTMH	28
3.6.7	Penstock.....	29
3.7	Analisa Ekonomi.....	30
3.7.1	Langkah Penggunaan <i>RETScreen</i>	30
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1	Input Parameter Teknis Pembangkit	32
4.2	Aspek Teknis	33
4.3	Hasil Simulasi Model Biaya	37
4.4	Analisis Finansial.....	38
4.5	Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)	40
4.6	Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin Menggunakan <i>Software RETScreen</i>	41
BAB V	KESIMPULAN DAN SARA	43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	13
Gambar 2. 2 Bendungan atau penampungan air	14
Gambar 2. 3 Bak pengendap dan penenang	16
Gambar 2. 4 Pipa pesat (<i>penstock</i>)	17
Gambar 2. 5 Turbin Pelton	18
Gambar 2. 6 Turbin <i>Cross Flow</i>	19
Gambar 2. 7 Turbin Kaplan	20
Gambar 2. 8 Turbin Francis	21
Gambar 2. 9 Tampilan Awal <i>RETScreen</i>	22
Gambar 2. 10 Tab Model Energi	22
Gambar 2. 11 Analisis Sumber Daya	23
Gambar 3. 1 Peta Administrasi Kabupaten Bener Meriah	24
Gambar 3. 2 Daerah Aliran Sungai Krueng Bidin	25
Gambar 3. 3 Flowcart Perencanaan pembangunan PLTMH	26
Gambar 4. 1 Klasifikasi Data	32
Gambar 4. 2 Input Parameter Model Energi <i>RETScreen</i>	35
Gambar 4. 3 Kurva Durasi Aliran dan Produksi Energi PLTMH	36
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Model Energi <i>RETScreen</i>	37
Gambar 4. 4 Hasil Finansial Model Energi <i>RETScreen</i>	39
Gambar 4. 6 Hasil Analisis Emisi Model Energi <i>RETScreen</i>	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Potensi energi terbarukan di Indonesia.....	7
Tabel 2. 2 Potensi PLTM Provinsi Aceh	7
Tabel 2. 3 Kapasitas Terpasang PLTA-PLTMH Tahun 2013-2021 (MW)	9
Tabel 2. 4 Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Mikro-Mini Hidro Tahun 2021 (MW)	10
Tabel 2. 5 Potensi Mikrohidro di Aceh.....	11
Tabel 4. 2 Spesifikasi Utama PLTMH Krueng Bidin.....	34



ABSTRAK

Nama : M. Rian Ramadhan
NIM : 190702104
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah dengan Menggunakan Software RETScreen
Tanggal Sidang : 14 Agustus 2026
Jumlah Halaman : 46 Halaman
Pembimbing I : Suardi Nur, M.Sc, Ph.D
Pembimbing II : Arief Rahman, M.T.
Kata kunci : PLTMH, Krueng Bidien, RETScreen, Kelayakan Teknis, Kelayakan Ekonomis, Energi Terbarukan

Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah memiliki potensi sumber daya air yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Penelitian ini bertujuan untuk merancang spesifikasi teknis PLTMH di Krueng Bidin serta mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis pembangunan PLTMH menggunakan perangkat lunak RETScreen Expert. Analisis dilakukan dengan memasukkan parameter hidrologi dan teknis ke dalam model energi RETScreen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan PLTMH menggunakan sistem Run-of-River dengan luas DAS sebesar 425 km², gross head 75 m, design flow 21,75 m³/s, firm flow 17,00 m³/s, dan residual flow 2,42 m³/s. Pembangkit dirancang menggunakan satu unit turbin Francis dengan efisiensi maksimum turbin 93% dan efisiensi generator 95%. Hasil simulasi RETScreen menunjukkan kapasitas pembangkit sebesar 12.490 kW, IRR terhadap ekuitas sebesar 40,6%, BCR sebesar 162. Dari aspek lingkungan, PLTMH berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca rata-rata sebesar 109.550 ton CO₂ per tahun. Berdasarkan hasil tersebut, pembangunan PLTMH di Krueng Bidin dinilai layak secara teknis dan ekonomis serta memiliki manfaat lingkungan dalam mendukung pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan.

ABSTRACT

Name : M. Rian Ramadhan
Student ID : 190702104
Study Program : Environmental Engineering
Faculty : Science and Technology
Title : Feasibility Analysis of a Micro-Hydropower Plant (PLTMH) in Krueng Bidin, Bener Meriah Regency, Using RETScreen Software
Defense Date : August 14, 2026
Number of Pages : 46 Pages
Supervisor I : Suardi Nur, M.Sc, Ph.D
Supervisor II : Arief Rahman, M.T.
Keywords : Micro-Hydropower Plant (PLTMH), Krueng Bidin, RETScreen, Technical Feasibility, Economic Feasibility, Renewable Energy

The Krueng Bidin area in Bener Meriah Regency possesses water resource potential suitable for the development of a micro-hydro power plant (PLTMH). This study aims to design the technical specifications for the PLTMH at Krueng Bidin and evaluate the technical and economic feasibility of its construction using RETScreen Expert software. The analysis was conducted by inputting hydrological and technical parameters into the RETScreen energy model. The results indicate a design based on a run-of-river system with a catchment area of 425 km², a gross head of 75 m, a design flow of 21.75 m³/s, a firm flow of 17.00 m³/s, and a residual flow of 2.42 m³/s. The plant is designed to utilize a single Francis turbine unit with a maximum turbine efficiency of 93% and a generator efficiency of 95%. RETScreen simulation results show a plant capacity of 12,490 kW, an IRR on equity of 40.6%, and a BCR of 162. From an environmental perspective, the PLTMH has the potential to reduce greenhouse gas emissions by an average of 109,550 tons of CO₂ per year. Based on these findings, the construction of the PLTMH at Krueng Bidin is deemed technically and economically feasible and offers environmental benefits in support of sustainable renewable energy development.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi baru terbarukan merupakan energi bersih yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami dan dimanfaatkan secara berkelanjutan (*International Energy Agency*, 2023). Sumber energi terbarukan meliputi energi angin, matahari, air (*hydropower*), gelombang laut, panas bumi, dan biomassa (*International Renewable Energy Agency*, 2023). Indonesia sebagai negara tropis maritim memiliki keuntungan geografis dalam pengembangan energi baru terbarukan karena ketersediaan sumber daya yang melimpah dan tersebar di berbagai wilayah (Kementerian ESDM, 2024). Selain itu, energi terbarukan bersifat lebih ramah lingkungan karena mampu menurunkan emisi gas rumah kaca dibandingkan penggunaan energi fosil serta mendukung transisi menuju sistem energi berkelanjutan (IRENA, 2023). Kondisi geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis dan cincin api dunia juga memberikan potensi besar dalam pemanfaatan energi surya, panas bumi, angin, dan tenaga air (Kementerian ESDM, 2024).

Potensi EBT yang besar ini diharapkan dapat menjadi solusi bagi pemerintah Indonesia dalam memenuhi kebutuhan energi secara nasional. Dimasa yang akan datang melalui pengembangan energi baru terbarukan. Selanjutnya dengan keluarnya UU No. 30 tahun 2007 tentang energi diharapkan sumber EBT di Indonesia dapat dimanfaatkan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Melalui Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang mengatur mengenai bauran energi nasional. Dapat dilihat kebijakan pemerintah pada pengembangan EBT ,dimana pada tahun 2030 di harapkan EBT berkontribusi dalam bauran energi nasional.(Al Hakim 2020)

Hingga saat ini, Indonesia masih bergantung pada sumber energi tidak terbarukan, berupa Batu Bara dan Bahan Bakar Minyak (BBM), yang diolah dari minyak bumi. BBM digunakan di berbagai sektor kehidupan seperti transportasi, industri, hingga rumah tangga. Total konsumsi BBM secara nasional mencapai

sekitar 1,63 juta barel tiap harinya. Diperkirakan, dengan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia dan meningkatnya produktivitas masyarakat konsumsi BBM akan terus naik seiring berjalannya waktu. Konsumsi minyak yang tidak diiringi dengan jumlah produksi secara nasional akan mengakibatkan ancaman kelangkaan BBM. Yang menyebabkan harga BBM naik, yang dapat menghambat aktivitas industri. Hal ini jika berlangsung dalam waktu yang lama dapat mengancam ketahanan energi nasional (Persia, 2018; Silitonga et al., 2020).

Energi alternatif baru terbarukan merupakan energi pengganti yang sifatnya dapat dimanfaatkan secara terus menerus yang tersedia di alam. Penggunaan energi alternatif baru terbarukan ini telah diatur oleh pemerintah melalui Perpres No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional tahun 2006-2025 yang menjelaskan bahwa dalam pasokan energi harus dipenuhi 17% energi terbarukan. Bentuk energi baru dan terbarukan (EBT) yang tersedia di Indonesia diantaranya panas bumi, air, biomassa, dan energi surya.

Energi air pada dasarnya memanfaatkan energi kinetik aliran air yang berasal dari energi potensial air dari hulu atau penampungan berupa danau dan bendungan yang memiliki ketinggian tertentu. Indonesia yang memiliki topografi bergunung dan berbukit memiliki peluang potensi energi air yang besar. Potensi energi air di Indonesia diperkirakan mencapai 94.449 MW. Potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTA 75.091 MW sementara yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTM dan PLTMH mencapai 19.358 MW (Harsoyo et al. 2015).

Keberadaan potensi aliran air permukaan dapat menjadi salah satu sumber energi. Sumber energi yang berasal dari air memiliki dampak positif dan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak positif dari pemanfaatan energi air terhadap lingkungan menghasilkan energi yang bebas emisi, di karena bebas dari gas karbon dioksida. Sedangkan dampak negatif nya terhadap kualitas air yang rusak, habitat satwa liar yang rusak, aliran sungai yang menyimpang dan lain-lain (Yuvendius, 2017). Salah satu sumber lain energi bersih adalah Mikrohidro. Mikrohidro memanfaatkan juga potensi air dari sumber daya setempat tanpa merubah struktur bentang alam sehingga ramah lingkungan (Naimah et al., 2021).

Pemanfaatan sumber daya untuk menghasilkan listrik dari Mikrohidro diperlukan teknologi hidroelektrik yang terdiri dari turbin dan generator. Prinsip dasar dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah transformasi energi dari energi potensial yang ada pada aliran dan ketinggian menjadi energi mekanik dan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang dimiliki oleh aliran air. Aliran air yang memiliki beda ketinggian dapat diperoleh dari saluran irigasi, sungai ataupun dari air terjun. Energi mekanik dihasilkan melalui perputaran poros turbin oleh aliran air. (Prabowo et al., 2019).

Pembangunan infrastruktur energi terbarukan (EBT), khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro (PLTMH), telah menjadi prioritas dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang tidak ramah lingkungan. Bener Meriah, sebagai daerah yang kaya akan potensi sumber daya alam, termasuk potensi besar untuk pengembangan PLTMH. Salah satu lokasi penelitian adalah Krueng Bidin. Krueng Bidin dipilih sebagai lokasi studi karena memiliki aliran sungai yang cocok secara geografis, geologis dan hidrologis untuk pembangunan PLTMH dikarenakan ketersediaan air yang cukup stabil, kondisi geologi yang memadai, dan aspek terhadap lingkungan. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kelayakan pembangunan PLTMH di Krueng Bidin dengan memanfaatkan *Software RETScreen* untuk analisis teknis dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana spesifikasi teknis rancangan PLTMH di Krueng Bidin dengan menggunakan *Software RETScreen*?
2. Bagaimana spesifikasi teknis kelayakan teknis dan ekonomis dari pembangunan PLTMH di Krueng Bidin tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang spesifikasi teknis pembangunan PLTMH di Krueng Bidin, Kabupaten Bener Meriah, dengan memanfaatkan *Software RETScreen*.
2. Mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis dari pembangunan PLTMH menggunakan *Software RETScreen*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan khususnya Mikrohidro di Bener Meriah Kabupaten Aceh Besar.
2. Berkontribusi pada metode perencanaan pembangunan PLTMH dengan menggunakan *Software RETScreen*.
3. Menyediakan informasi yang berguna bagi pemangku kepentingan terkait dampak lingkungan dari pembangunan PLTMH.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini hanya membahas mengenai :

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang berada di Krueng Bidin, Kabupaten Bener Meriah.
2. Data debit air yang digunakan dalam penelitian diperoleh sekeunder yang telah didapatkan dari kedinasan terkait.
3. Analisis perancangan dan kelayakan PLTMH dilakukan dengan menggunakan *Software RETScreen* berdasarkan data teknis yang tersedia dan hasil pengukuran lapangan.
4. Kajian kelayakan dalam penelitian ini hanya mencakup aspek teknis dan aspek ekonomis, meliputi estimasi kapasitas pembangkit, produksi energi, biaya investasi, serta indikator kelayakan ekonomi yang dihasilkan oleh *Software RETScreen*.
5. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam aspek lingkungan, sosial, perizinan, dan analisis konstruksi rinci dari pembangunan PLTMH.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Air

2.1.1 Sumber Energi Air

Air sebagai salah satu elemen alami yang jumlahnya memenuhi 70% dari permukaan bumi, dapat dijadikan salah satu sumber daya pengganti fosil untuk kebutuhan energi. Energi air memiliki massa dan mampu mengalir, hal itulah yang memicu penggunaan gerakan air untuk memicu pergerakan turbin dan mengubahnya menjadi energi. Salah satu energi yang umum dan pasti dibutuhkan oleh setiap orang adalah energi listrik. Dimana juga air memiliki siklus yang berarti tidak akan berhenti dimana air menguap dan terkondensasi menjadi awan dan akhirnya turun hujan dan menghasilkan air lagi (Augustone and Pamungkas 2020).

Energi air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Air yang mengalir memiliki energi yang dapat memutar turbin yang terhubung dengan generator. Generator yang bergerak tersebut akan mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi air biasanya dikembangkan pada air terjun ataupun bendungan. Selain itu juga energi yang dihasilkan dari aliran air dapat pula bersumber dari mikrohidro dan pikohidro (aliran air yang debit airnya kecil).

Selain aliran dalam bentuk air terjun, aliran mikro dan piko hidro, Energi air itu dapat juga menggunakan energi mekanik pada ombak air laut dan tenaga ombak. Air pasang (naik) maupun surut (turun) dapat menggerakkan volume air laut yang jumlahnya sangat banyak. Proses ini terjadi di sepanjang garis pantai. Proses ini dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin yang didesain khusus pada kondisi gerakan air pada saat pasang dan surut. Desain tersebut mengakomodir perbedaan ketinggian air yang dibendung. Terdapat perbedaan air pasang yang ditahan di dalam bendungan dan air laut, dan air laut yang tertahan di belakang bendungan dapat mengalir melalui jalur yang

terhubung dengan turbin. Air tadi akhirnya dapat memutar turbin dan generator hingga akhirnya dapat menghasilkan listrik.

Selain aliran dari air terjun, mikro dan piko hidro, serta pasang surut air laut, pemanfaatan sumber air sebagai energi dapat dilakukan pada ombak laut. Ombak laut yang terjadi merupakan hasil tiupan angin di atas permukaan laut. Ombak laut nantinya ditangkap dan dinaikkan ke suatu ruang bilik yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat menggerakkan turbin dan generator untuk menghasilkan listrik (Rizal 2013).

2.1.2 Potensi Energi Air di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi yang hingga saat ini baru 5,55% potensi tersebar di manfaatkan. Indonesia memiliki potensi energi yang sangat besar, terutama dari sumber-sumber energi terbarukan seperti energi surya, energi angin, energi hidro, bioenergi, dan panas bumi. Meskipun demikian, pemanfaatan potensi energi ini masih relatif rendah.

Beberapa faktor yang menyebabkan rendahnya pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia antara lain:

1. Infrastruktur dan Teknologi: Keterbatasan infrastruktur dan teknologi yang memadai untuk eksplorasi dan pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan.
2. Investasi: Kebutuhan investasi yang tinggi untuk pembangunan fasilitas energi terbarukan seringkali menjadi kendala utama.
3. Regulasi dan Kebijakan: Regulasi dan kebijakan yang belum sepenuhnya mendukung pengembangan energi terbarukan.
4. Kesadaran dan Edukasi: Kurangnya kesadaran dan edukasi tentang manfaat dan pentingnya energi terbarukan baik di kalangan masyarakat maupun pemangku kepentingan.

Diantara potensi energi terbarukan energi air memiliki potensi terbesar, seperti terlihat pada Table 2.1

Tabel 2. 1 Potensi energi terbarukan di Indonesia

Sumber Energi	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang	Pemanfaatan
Air	75.670	4.200	5,55
Biomassa	49.810	302,4	0.607
Panas bumi	-	800	2,9
Mikro hidro	458.75	84	18,3
Energi cahaya	156.487	8	0,005
Energi angin	9.280	0,5	0,005
Total	318	5.391,90	27,427

(Sumber: *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*)

2.1.3 Potensi Energi Air di Aceh

Potensi energi air di Aceh cukup besar karena kondisi geologis dan hidrologis wilayah nya yang memiliki banyak sungai dan potensi untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Beberapa sungai besar di Aceh, seperti Sungai Aceh, Sungai Krueng Aceh, dan Sungai Krueng Meureubo, sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi hidroelektrik. Selain itu, terdapat juga potensi pembangkit listrik mikro hidro di daerah-daerah pedesaan yang terpencil. Data potensi energi air di Aceh dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Potensi PLTM Provinsi Aceh

No	Kabupaten	SUNGAI	Debit Pengam Bilan (M3/S)	HEAD (M)	DAYA HIDROLIK (MW)
1	Pidie	Krueng Tangse	-	-	1.20
2	Bireun	Krueng Samalanga	5.20	151.71	5.40
3	Aceh Timur	Wih Serbajadi 2	8.00	20.00	1.20
4	Aceh Tengah	Jambo Aye I	4.00	-	2.00
5	Aceh Tengah	Kalisampe	3.00	180.00	0.90
6	Bener Meriah	Wih Kalabidin 1	3.30	95.00	2.35
7	Bener Meriah	Wih Kalabidin 2	3.30	60.00	1.49
8	Bener Meriah	Kanis	4.00	125.00	3.75
9	Bener Meriah	Wih Kalabidin 3	5.00	125.00	4.69
10	Aceh Tenggara	Lawe Kisam	3.00	150.00	1.00
11	Aceh Tenggara	Lawe Kongker	7.00	25.00	1.31

12	Aceh Tenggara	Lawe Sempilang	7.00	30.00	1.58
13	Aceh Tenggara	Lawe Sikap	7.00	30.00	1.58
14	Gayo Lues	Arul Dalam	3.00	150.00	1.00

Untuk dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, satu potensi energi air harus memenuhi kriteria tertentu, baik kriteria kelayakan teknis, ekonomis dan juga harus memperhatikan dampak lingkungan dan sosial.

2.2 Pembangkit Listrik

Energi listrik yang umum digunakan saat ini merupakan energi listrik yang dihasilkan oleh PT. PLN yang menggunakan bahan bakar tidak terbarukan atau bahan bakar fosil. Air adalah salah satu sumber energi yang mudah didapatkan dan relatif ekonomis. Pemanfaatan aliran lepas pada jalur irigasi yang mengalir secara kontinu (terus-menerus) dapat digunakan sebagai penggerak turbin yang dapat menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan aliran air tersebut termasuk dalam energi yang ramah lingkungan atau dapat disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik ialah kondisi air yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu *flow capacity*, sedangkan beda ketinggian aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head* (Anwar,dkk, 2021).

2.2.1 Pembangkit Listrik Mikrohidro

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit berskala kecil, daya yang dihasilkan kurang dari 200kw. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan salah satu pemanfaatan energi baru dan terbarukan yang memiliki emisi atau dampak buruk terhadap lingkungan yang kecil. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki konstruksi, biaya perawatan dan suku cadang yang relatif murah dari segi ekonomi dan mampu diterima baik oleh Masyarakat.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro secara teknik bekerja dengan memanfaatkan ketinggian jatuh air, debit dan tekanan air. Energi potensial air jatuh dari ketinggian yang berbeda dan memiliki debit serta tekanan diubah menjadi energi mekanik dengan menggerakkan poros pada turbin kincir. Poros turbin kincir disambung dengan rotor generator sehingga rotor mendapatkan energi mekanik dari poros turbin untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro sangat berpotensi dan bermanfaat dibangun pada dataran tinggi atau daerah pegunungan, karena pada daerah-daerah tersebut memiliki ketersediaan air yang melimpah dan perbedaan ketinggian (Zaini,dkk 2020).

2.2.2 Potensi Mikrohidro di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi tenaga air yang besar. Menurut IESR (2021), kapasitas potensial tenaga air di Indonesia sekitar 75,091 MW, serta kapasitas potensial tenaga mikro-mini hidro sebesar 19,395 MW. Namun dari kapasitas tersebut baru sekitar 3,504.42 MW kapasitas PLTA yang terpasang pada tahun 2021. Sedangkan untuk tenaga mikro-mini hidro, kapasitas terpasangnya mencapai 83.3 MW. Kapasitas tersebut telah mengalami peningkatan yang sangat signifikan bila dibandingkan kapasitas terpasang pada tahun 2005 saat tenaga hidro baru mulai dikembangkan di Indonesia, yaitu sebesar 0,45 MW (Gokhale, *et al.*, 2017). Perkembangan pembangunan potensi tenaga air dan tenaga mikro-mini hidro, disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Kapasitas Terpasang PLTA-PLTMH Tahun 2013-2021 (MW)

No.	Tahun	PLTA	PLTMH
1	2013	3,519.49	-
2	2014	3,526.90	0,125
3	2015	3,566.15	-
4	2016	3,567.83	-
5	2017	3,583.15	-
6	2018	3,582.98	-
7	2019	3,583.98	-

8	2020	3,584.07	-
9	2021	3,504.42	83.03.00

Sumber PLN, (2022) dan Gokhale, et al., (2017)

Akibat beberapa hal, seperti kepunahan biodiversitas dan kerusakan lingkungan, pembangunan PLTA skala besar tidak dapat dilakukan. Bahkan beberapa PLTA tidak lagi beroperasi, sehingga terjadi penurunan kapasitas PLTA (pada tabel 2.4). Maka dalam hal ini, pembangunan pembangkit listrik tenaga minihidro dan mikrohidro bisa menjadi solusi terbaik. Terlebih, banyak kebanyakan sungai di Indonesia bisa menjadi sumber energi untuk mini/mikrohidro. Selain itu sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, bahwa energi air merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling matang. Bahkan di Indonesia sendiri, terdapat beberapa PLTMH yang dibangun sejak masa penjajahan Belanda (Gokhale, et al., 2017). Oleh karena itu, masyarakat cenderung lebih terbuka dengan adanya PLTMH dibandingkan PLTA. Hal tersebut merupakan beberapa faktor pendorong pengembangan PLTMH sehingga dapat berkembang dengan cukup signifikan (Tabel 2.4).

Tabel 2. 4 Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Mikro-Mini Hidro Tahun 2021 (MW)

Wilayah	2014	2021
Luar Jawa	2.56	77.47
Pulau Jawa	0.39	5.84
Total	2.60	83.31

Sumber PLN, (2022) dan Gokhale, et al., (2017)

Tabel 2.4 menunjukkan data kapasitas terpasang pembangkit tenaga mikro-mini pada tahun 2014 dan 2021. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa dalam 7 tahun terjadi penambahan energi listrik hasil PLTMH sebesar 80.71 MW. Selain itu terlihat bahwa sebagian besar pengembangan PLTMH terjadi di wilayah Luar Jawa. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan pada pengadaan listrik di Indonesia. Sesuai dengan pendapat Gokhale, et al., (2017) bahwa rasio penyediaan listrik di Indonesia mengalami peningkatan yang cukup signifikan akibat pengembangan PLTMH. Hal ini berkaitan dengan kesulitan akses untuk pengadaan listrik di daerah-daerah terpencil dan sulit terjangkau.

Kedepannya, jika PLTMH terus dikembangkan, maka akan ada lebih banyak lagi desa/kampung terpencil susah yang akhirnya mendapatkan akses listrik. Terutama pada daerah terpencil yang terletak di pegunungan yang dekat dengan sumber air yang mengalir, seperti wilayah Gunung Kidul (Rekinagara, et al., 2018) atau daerah terpecil dengann akses jalan yang susah namun dekat dengan sungai kecil.

Karena itulah PLTMH cocok untuk daerah di luar Jawa yang akibat kondisi topografinya mengakibatkan pemukiman penduduk di Indonesia terpencar-pencar. Karena itulah teknologi minihidro dan mikro perlu dikembangkan lagi di wilayah-wilayah tersebut.

PLTMH yang saat ini ada di Indonesia, tidak semuanya berada di bawah naungan PLN. Sebagian dari PLTMH tersebut, merupakan kepemilikan pribadi suatu unit usaha, atau merupakan milik suatu desa. Dan karena itu tidak semua listrik yang dihasilkan PLTMH didistribusikan melalui jaringan PLN. Listrik yang didistribusikan melalui jaringan PLN disebut sebagai listrik on grid. Sedangkan listrik yang tidak melalui jaringan PLN merupakan listrik off grid. Tentu saja teknologi yang digunakan pada keduanya juga akan berbeda. Perbedaan teknologi ini akan mempengaruhi output listrik yang dihasilkan (Tria Melati *et al.*, 2022).

2.2.3 Potensi Mikrohidro di Aceh

Tabel 2. 5 Potensi Mikrohidro di Aceh

NO.	NAMA PROYEK	SUNGAI	KAPASITAS (MW)
1	Jambuaye-3	Wih Jambu Air	37.02.00
2	Jambuaye-5	Kr. Jambuaye	181.08.00
3	Ramasan-1	Kr. Ramasan	171.06.00
4	Bidin/Jambuaye	Kr. Jambuaye	246
5	Peureulak	Kr. Peureulak	34.08.00
6	Tampur	W. Tampur	428
7	Peusangan	Kr. Peusangan	90
8	Jambo Papeun-2	Kr. Jambo Papeun	95.02.00
9	Kluet	Kr. Kluet	141

10	Sibubung-2	Kr. Sibubung	121.01.00
NO.	NAMA PROYEK	SUNGAI	KAPASITAS (MW)
11	Teripa-3	Kr. Teripa	172.06.00
12	Teripa-4	Kr. Teripa	306.04.00
13	Meureubo-1	Kr. Meulaboh	82.01.00
14	Pameu	Kr. Pameu	160.06.00
15	Woyla-2	Kr. Woyla	274
16	Dolok-1	Kr. Dolok	32.02.00
17	Teunom-2	Kr. Teunom	288.02.00
TOTAL			2561.01.00

Sumber: Data Potensi dan Sumber Daya Mineral Provinsi NAD, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral

2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH)

Media utama yang menggerakkan turbin dan generator pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah energi potensial yang dibawa oleh tenaga air yang mengalir. Pada umumnya daya yang dapat dibangkitkan oleh tenaga mikrohidro berkisar 5 sampai 10 kilo watt.

Energi listrik yang dihasilkan pada PLTMH melalui perubahan energi kinetik yang diberikan air yang berupa kecepatan dan tekanan air yang menggerakkan turbin dan generator listrik. Komponen utama dalam sistem pembangkit listrik mikrohidro terdiri dari air sebagai sumber tenaga, turbin dan generator. Secara teknis, mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator. Air sebagai sumber tenaga mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu dialirkan melalui pipa pesat ke rumah instalasi yang menabrak turbin dengan kecepatan tertentu sehingga poros turbin bergerak untuk menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Skema PLTMH dapat dilihat pada Gambar 2.6.

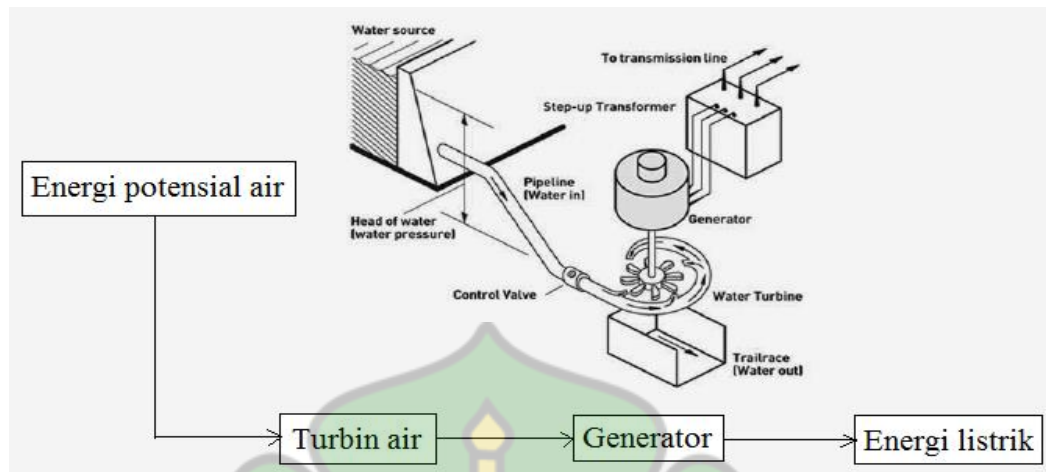
Potensi daya pada mikro hydro dapat dihitung dengan Persamaan:

$$P = 9.8 \times Q \times H \times \text{eff} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

P = Daya (kW)
 Q = Debit aliran (m³ /s)
 H = Head (m)

9.8 = Konstanta gravitasi
 h = Efisiensi keseluruhan



Gambar 2. 1 Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
 (Sumber : Dunia Elektro)

Daerah pedesaan terutama yang berada di daerah pegunungan merupakan daerah dengan potensi pengembangan pembangkit listrik mikrohidro karena memiliki sumber air dan potensi kecepatan aliran yang sangat baik, sehingga sangat diharapkan pengembangannya untuk memenuhi pasokan listrik di daerah pedesaan. Pembangkit listrik mikrohidro sangat ramah lingkungan sehingga dapat mewujudkan green energi yang bersih, sehat, dan terkontrol dalam suatu sistem (Aiyub, *et al.*, 2021).

2.4 Komponen Utama PLTMH

Pada dasarnya fungsi komponen adalah untuk mengambil dan mengalirkan debit air menuju turbin sehingga dapat menghasilkan energi listrik pada suatu unit PLTMH dengan memiliki memiliki keandalan sistem baik secara teknis maupun ekonomis. Dalam perencanaan PLTMH ini mengacu pada Peraturan Pemerintah Energi dan Sumber Daya Mineral NO:08 Tahun 2011.

2.4.1 Bendungan (Weir) dan Intake

Bendungan berfungsi untuk menaikkan/mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga memiliki jumlah air yang cukup untuk dialihkan ke dalam intake pembangkit mikro hidro di bagian sisi sungai ke

dalam sebuah bak pengendap (*Settling Basin*). Sebuah bendung dilengkapi dengan pintu air untuk membuang kotoran/lumpur yang mengendap. Perlengkapan lainnya adalah penjebak/saringan sampah. PLTMH umumnya merupakan pembangkit tipe run off river sehingga bangunan bendung dan intake dibangun berdekatan. Dengan pertimbangan dasar stabilitas sungai dan aman terhadap banjir, dapat dipilih lokasi untuk bendung (*Weir*) dan *intake* (Wisnaningsih dan Tarmizi 2021).

Tujuan dari intake adalah untuk memisahkan air dari sungai atau kolam untuk dialirkan ke dalam saluran, penstock atau bak penampungan. Tantangan utama dari bangunan intake adalah ketersediaan debit air yang penuh dari kondisi debit rendah sampai banjir. Juga sering kali adanya lumpur, pasir dan kerikil atau puing-puing dedaunan pohon sekitar sungai yang terbawa aliran sungai. Berikut gambar sari dam/intake pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 2 Bendungan atau penampungan air
(Sumber: <https://resashogi.blogspot.com>)

Pintu pengambilan intake di desain sebesar 1,2 x debit operasional PLTMH, dengan kecepatan air di pintu sebesar 1,5 m/det, dengan persamaan berikut :

$$v = \sqrt{(2 \cdot g \cdot z)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Q = v \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

Q = debit

V = kecepatan air di pintu(m/det)

m = koefesien (= 0.80 pengambilan tenggelam)

g = percepatan grafitasi(=9.8 m/det²)

a = tinggi bersih bukaan (m)

b = lebar bersih bukaan (m)

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan (m)

2.4.2 Saluran Penghantar

Saluran penghantar berfungsi untuk mengalirkan air dari intake sampai ke kolam penenang. Selain itu, saluran ini juga berfungsi untuk mempertahankan kestabilan debit air. Saluran air untuk sebuah pembangkit skala kecil cenderung untuk memiliki bangunan yang terbuka.(Naim dan Ichsan 2018).

Rumus umum untuk perencanaan saluran adalah rumus Manning sebagai berikut :

$$v = \frac{kR^2}{3l1} / 2 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$R = A/P \dots\dots\dots (2.5)$$

$$A = (B + mh)h \dots\dots\dots (2.6)$$

$$P = b + 2h \sqrt{(m^2 + 1)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (2.8)$$

$$b = m \cdot h \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

Q = debit (m/det³)

V = kecepatan aliran (m/det)

A = potongan melintang aliran

R = jari jari hidrolis

P = Keliling basah

B = lebar saluran

h = tinggi air

l = kemiringan energi

k = koefisien kekasaran strickler

m = kemiringan talut

2.4.3 Bak Pengendap dan Penenang

Kolam penenang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin. Selain itu, kolam penenang ini juga berfungsi untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat.



Gambar 2. 3 Bak pengendap dan penenang
(Sumber: <https://resashogi.blogspot.com>)

2.4.4 Pipa Pesat/*Penstock*

Penstock dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah turbin air. Kondisi topografi dan pemilihan skema PLTMH mempengaruhi tipe pipa pesat (*penstock*). Umumnya sebagai saluran ini harus didesain/dirancang secara benar sesuai kemiringan (*head*) sistem PLTMH.

Pipa penstock merupakan salah satu komponen yang mahal dalam pekerjaan PLTMH dan bahan yang digunakan harus dipertimbangkan juga, oleh karena itu desainnya perlu dipertimbangkan terhadap keseimbangan

antara kehilangan energi dan biaya yang diperlukan. Parameter yang penting dalam desain pipa penstock terdiri dari material yang digunakan, diameter dan ketebalan pipa serta jenis sambungan yang digunakan, gambar dari pipa pesat (penstock) dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 4 Pipa pesat (penstock)
(Sumber : Buku PLTMH Universitas Sumatra Utara Hal : 38)

Untuk persamaan diameter pipa pesat dapat di hitung dengan :

$$D = 2,69 \left(n^2 \times Q^2 \frac{L}{Hg} \right)^{0,1875} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

D = Diameter pipa

n = kekasaran

Q = Debit

L = Panjang pipa

Hg = Heaad

2.4.5 Turbin Air

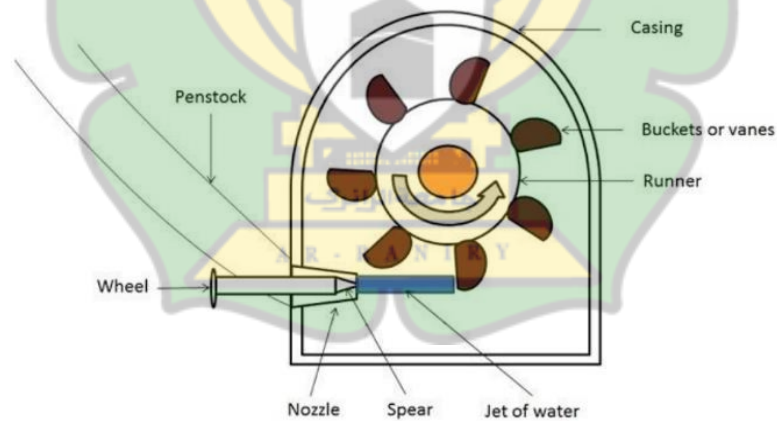
Turbin air merupakan komponen utama dalam sistem PLTMH yang berfungsi mengubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Turbin air merupakan pengembangan dari kincir air yang telah digunakan sejak lama. Secara umum, turbin air dibedakan menjadi dua tipe, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls adalah turbin yang perputaran rotornya terjadi akibat tumbukan fluida bertekanan yang diarahkan

ke sudu turbin. Jenis turbin impuls antara lain turbin Pelton dan turbin Cross-flow. Turbin Pelton ditampilkan pada Gambar 2.5, sedangkan turbin Cross-flow ditampilkan pada Gambar 2.6. Sementara itu, turbin reaksi adalah turbin yang perputaran rotornya dihasilkan oleh tekanan dan momentum aliran air yang bekerja pada sudu turbin. Jenis turbin reaksi meliputi turbin Francis, turbin Kaplan, dan turbin Propeller (Coe dan Coe, 2015).

1. Jenis-jenis Turbin

a. Turbin Pelton

Turbin pelton disebut juga dengan turbin impuls atau turbin tekanan rata atau turbin pancaran bebas karena tekanan air yang keluar nozzle sama dengan tekanan atmosfer. Turbin jenis ini biasanya digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik berkapasitas besar pada pusat tenaga air tekanan tinggi. Turbin Pelton ini dilengkapi dengan 4 sampai 6 buah nozzle sedangkan penggunaan pipa saluran penghantar tergantung dari keadaan sumber pembangkit.

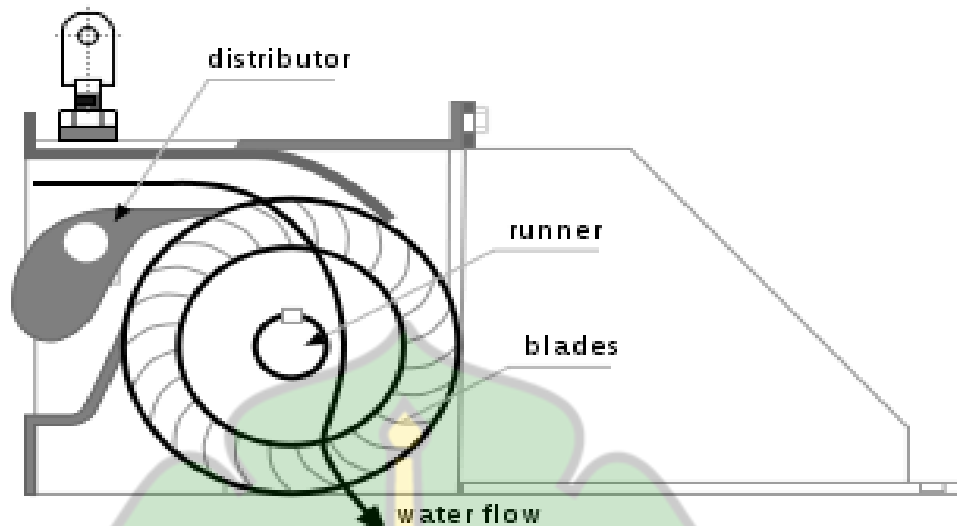


Gambar 2. 5 Turbin Pelton
(Sumber : Dunia Elektro)

b. Turbin Cross-flow

Turbin ini bekerja dengan sistem radial. Air yang dialirkan melewati sudu-sudu jalan yang berbentuk silinder. Air yang masuk dari luar menghantam sudu-sudu silinder sehingga silinder berputar

kemudian air keluar dari sudu silinder yang berputar dengan membalikkan arah aliran air.

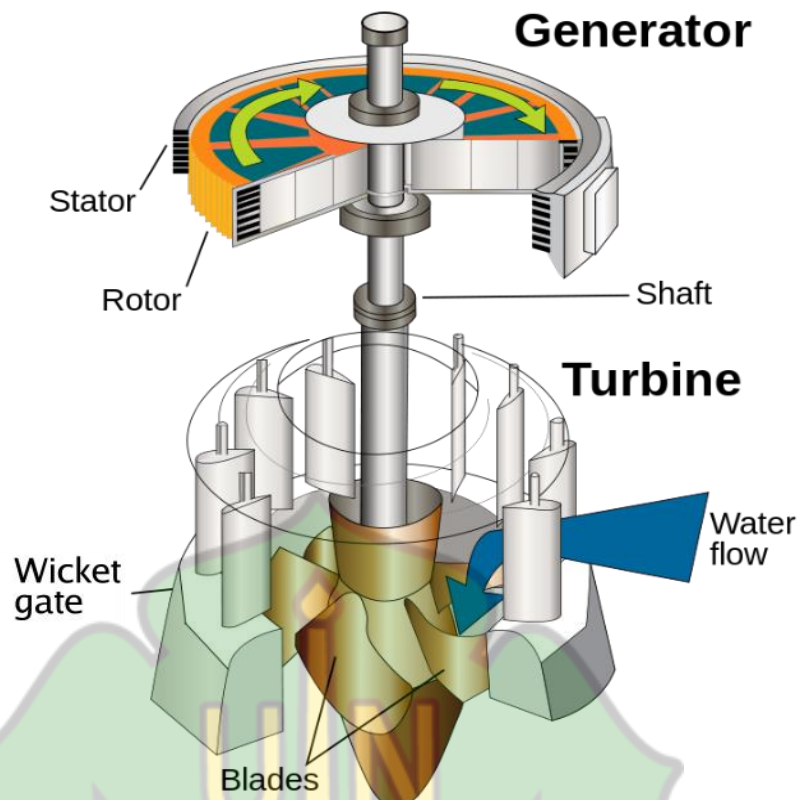


Gambar 2. 6 Turbin *Cross Flow*
(Sumber : Dunia Elektro)

c. Turbin Kaplan

Turbin kaplan merupakan turbin tekanan lebih yang special. Sudu jalannya kemurniannya kecil dan pada saluran sudu jalan belokannya kecil. Sudu jalan dapat diatur ketika bekerja, kedudukannya dapat diatur dan disesuaikan dengan tinggi jatuh air sehingga sesuai untuk pusat tenaga air pada aliran sungai. Turbin jenis ini bekerja pada tekanan yang lebih special. Sudu jalan turbin ini ada yang sangat kecil dan belokan saluran pada sudu jalan sangat sedikit. Pada saat bekerja, posisi sudu jalan dapat diatur sesuai dengan tinggi jatuh air.

Turbin ini sesuai untuk pusat tenaga air disungai dengan tinggi jatuh air mencapai 80 m dan daya yang dihasilkan lebih dari 100.00 kW. Dengan bertambahnya kapasitas air yang masuk maka akan bertambah besar pula luas penampang saluran yang dilewati air dan kecepatan putaran turbin bisa ditentukan lebih tinggi.

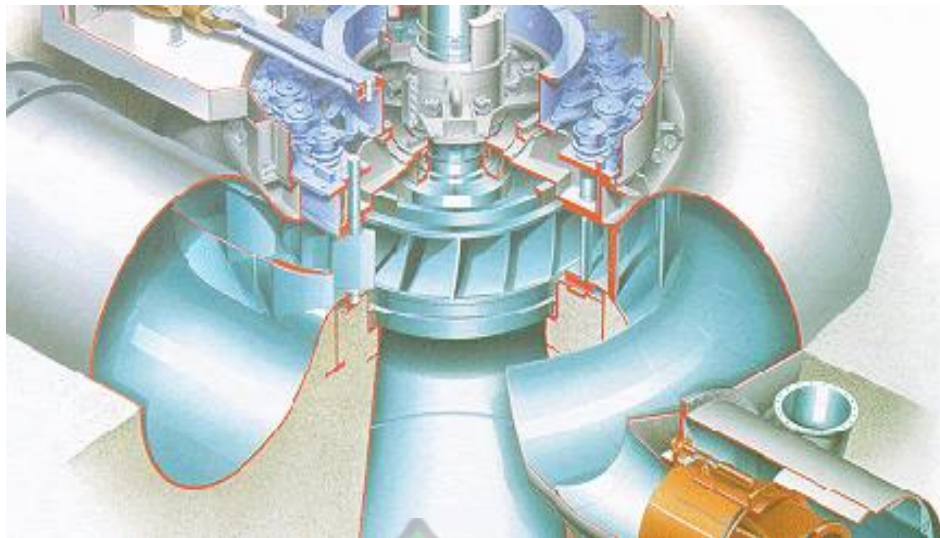


Gambar 2. 7 Turbin Kaplan
(Sumber : Dunia Elektro)

d. Turbin Francis

Turbin francis merupakan jenis turbin tekanan lebih. Sudutnya terdiri atas sudu pengarah dan sudu jalan yang kedua nyaterendam oleh air. Perubahan energy terjadi seluruhnya dalam sudu pengarah dan sudu gerak dengan mengalirkan air kedalam sebuah terusan atau dilewatkan kedalam sebuah cincin yang berbentuk spiral atau rumah keong. Turbin jenis ini bekerja dengan menggunakan proses tekanan lebih.

Proses kerja nya yaitu ketika air yang masuk menuju runner, sebagian energi tinggi jatuh air telah bekerja didalam sudu pengarah dan diubah menjadi kecepatan aliran air masuk. Sisi energy tnggi jatuh air dimanfaatkan dan bekerja didalam sudu jalan diperoleh dengan bantuan pipa isap yang memungkinkan energi jatuh air bekerja dengan maksimal. Pada sisi sebelah keluar tedapat tekanan kerendahan ($- 1 \text{ atm}$) dan kecepatan aliran air yang tinggi.

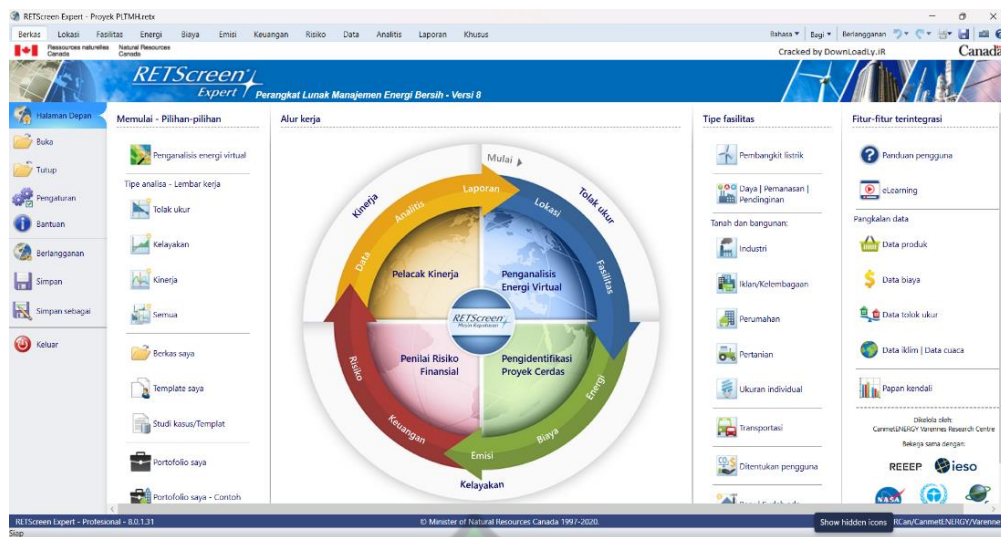


Gambar 2. 8 Turbin Francis
(Sumber : Dunia Elektro)

2.5 Software RETScreen

2.5.1 Pengenalan

Terdapat berbagai metode dalam menganalisis potensi energi terbarukan, salah satunya adalah dengan memanfaatkan perangkat lunak atau aplikasi pendukung. Salah satu aplikasi yang umum digunakan untuk menganalisis potensi energi terbarukan di suatu wilayah adalah RETScreen. RETScreen merupakan perangkat lunak yang dikembangkan untuk membantu menyusun peta visual potensi energi terbarukan serta melakukan analisis kelayakan proyek energi dengan mengacu pada standar internasional. Aplikasi ini mencakup berbagai tahapan analisis, seperti penilaian kondisi lokasi proyek, pemilihan teknologi energi terbarukan yang tepat, estimasi potensi energi yang dihasilkan, perhitungan biaya investasi dan operasional, perhitungan emisi, serta analisis risiko proyek. RETScreen dikembangkan oleh RETScreen International, Kanada, dan mendukung studi kelayakan untuk berbagai jenis energi terbarukan, termasuk energi angin, surya, air (hidro), biomassa, dan panas bumi (geothermal). Output dari perangkat lunak ini mencakup estimasi kapasitas energi yang dapat dihasilkan, potensi pengurangan emisi gas karbon dioksida (CO_2), analisis finansial, serta penilaian risiko yang terkait dengan proyek energi tersebut (Arif *et al.*, 2021).



Gambar 2. 9 Tampilan Awal RETScreen

2.5.2 Modeling

Pada tab model energi, ada tiga subkategori: Bahan Bakar & Jadwal, Teknologi dan Ringkasan (lihat pada Gambar 2.10).

Turbin hidro		Tingkat	eLearning
Deskripsi	Small Hydro 50 Mw	Tingkat 1	Tingkat 2
Catatan			
Turbin hidro - Tingkat 2			
Analisa sumberdaya			
Proyek diusulkan			
Metode hidrologi			
Tekanan bruto	m	80	
Efek air larian maksimum	m	2	
Aliran residual	m ³ /s	10	
Persentase waktu tersedianya aliran kuat	%	95%	
Aliran pasti	m ³ /s	6	
Turbin hidro			
Aliran rancangan	m ³ /s	70	
Tipe		Aliran silang	
Efisiensi turbin		Standar	
Jumlah turbin		2	
Perusahaan manufaktur		Canyon Hydro	
Model		Aliran Silang	
Pengaturan efisiensi	%	0%	
Efisiensi puncak turbin	%	0%	
Aliran pada efisiensi puncak	m ³ /s	0	
Efisiensi turbin pada aliran rancangan	%	79%	

Gambar 2. 10 Tab Model Energi

Dalam Teknologi, metode produksi tenaga dipilih, yang merupakan turbin hidro dalam hal yang dipelajari ini. Ada dua tingkat detail yang tersedia. Di Level 2 pengguna memasukkan kapasitas daya, jumlah turbin, dan faktor kapasitas. Kapasitas daya dapat ditambahkan secara manual atau oleh database perangkat lunak. Model ini mengembalikan listrik tahunan yang diekspor ke jaringan.

Level 2 dibagi menjadi 6 subbagian: Aliran Rancangan, Efisiensi Turbin Hidro, Efek air larian maksimum, Kerugian, Ringkasan dan Informasi Lainnya.

Kerugian			
Kerugian hidrolik maksimum	%	6%	
Kerugian lainnya	%	2%	
Efisiensi generator	%	96%	
Ketersediaan	%	95%	
Ringkasan			Pasti
Kapasitas daya	MW	38,4	2.361
Faktor pengaturan aliran tersedia		1	
Faktor kapasitas	%	54,8%	
Biaya awal	IDR/kW	4.100	
	IDR	157.359.564	
Biaya O&M (penghematan)	IDR/kW-tahun	90	
	IDR	3.454.234	
Harga ekspor listrik		Harga ekspor listrik - tahunan	
	IDR/kWh	0,10	
Listrik yang diekspor ke jaringan	MWh	184.145	
Pendapatan ekspor listrik	IDR	18.414.493	

Gambar 2. 11 Analisis Sumber Daya



BAB III

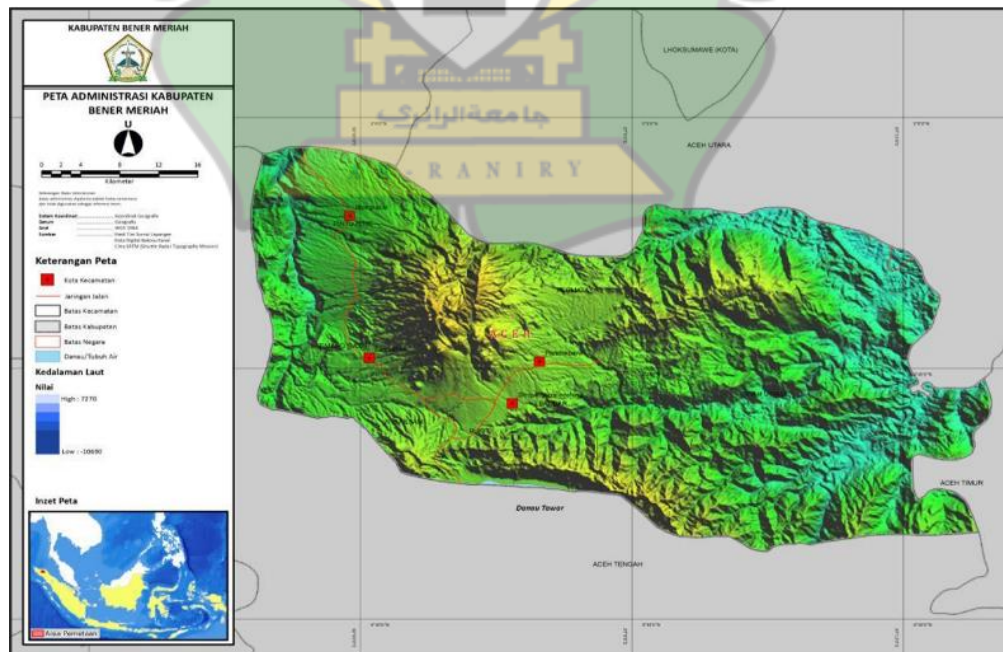
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Tipe kajian ini merupakan kajian kuantitatif yang menggunakan metode deskriptif. Penelitian kuantitatif adalah jenis penelitian yang menggunakan data angka dan analisis statistik untuk menguji hipotesis dan menjawab pertanyaan penelitian secara objektif. Tujuan utamanya adalah untuk mengukur hubungan antar variabel, menjelaskan fenomena, atau membandingkan kelompok secara numerik.

3.2 Gambaran Wilayah

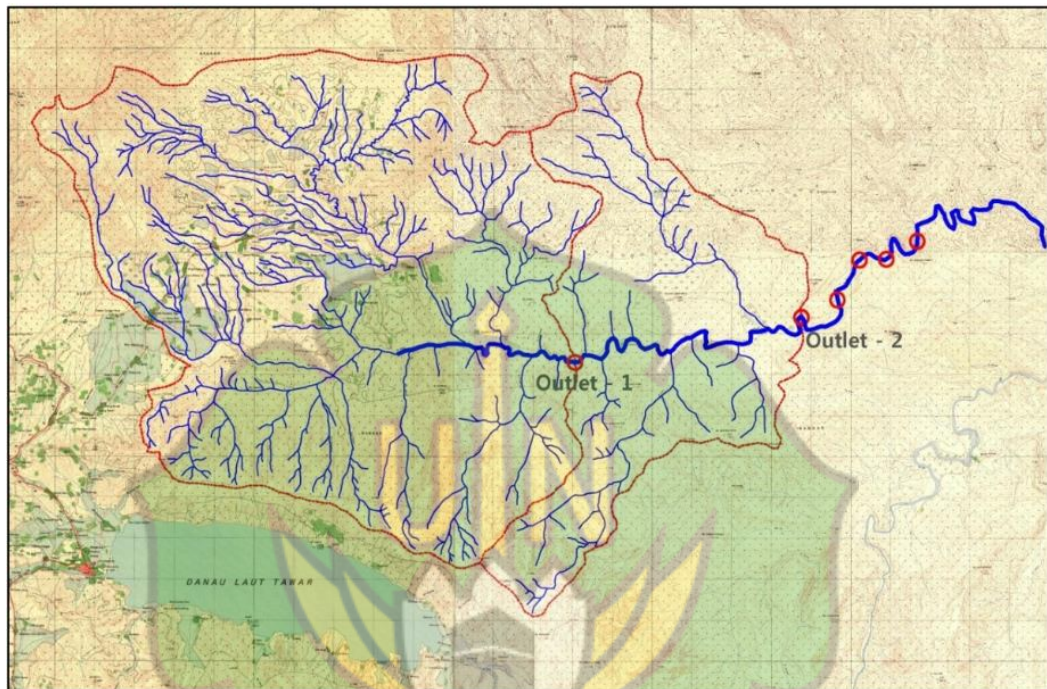
Kabupaten Bener Meriah merupakan salah satu kabupaten baru di Provinsi Aceh. Ibu kota kabupaten ini adalah Simpang Tiga Redelong. Kabupaten ini merupakan hasil dari pemekaran kabupaten Aceh Tengah, berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No. 41 Tahun 2003 tentang Pembentukan Kabupaten Bener Meriah.



Gambar 3. 1 Peta Administrasi Kabupaten Bener Meriah

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian berlokasi di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah. Dari hasil observasi lokasi yang direncanakan sebagai lokasi Pembangunan PLTMH ini cocok untuk kebutuhan energi listrik dengan skala kecil.

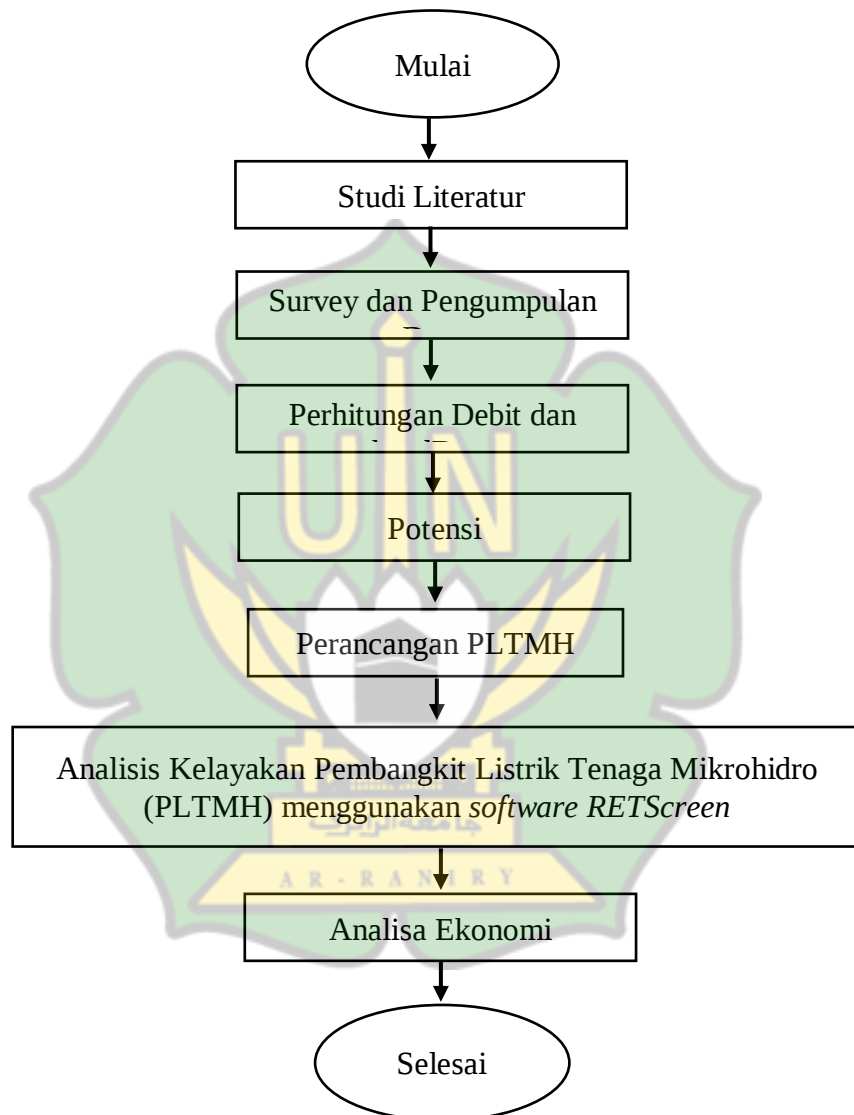


Gambar 3. 2 Daerah Aliran Sungai Krueng Bidin

DAS Krueng Bidin dalam studi ini dibagi 2 (dua) bagian, yaitu DAS PLTM - 1 (Desa Tembolon) dan DAS PLTM - 2 (Desa Rusip), sudah termasuk di dalamnya seluruh sub-DAS masing-masing DAS tersebut.

3.4 Flow Chart Penelitian

Penelitian Lokasi Penelitian terletak di Mata ie Kabupaten Aceh Besar. Pada penelitian ini, peneliti menguraikan langkah langkah penelitian yang diperlihatkan di flow chart pada gambar 3.2



Gambar 3. 3 Flowcart Perencanaan pembangunan PLTMH

3.5 Metode Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian dengan metode pengumpulan data dan studi literatur. Pengumpulan data dilakukan dengan cara meninjau atau mensurvei langsung kelapangan. Selain itu juga dilakukan

pengumpulan data dengan mendatangi beberapa pihak terkait. Kemudian data yang diperlukan yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer merupakan data yang didapat langsung dari lapangan dengan cara peninjauan langsung ke lokasi penelitian. Data primer yang dibutuhkan berupa data air terjun (Debit, head dan kedalaman sungai). Sedangkan data sekunder merupakan data yang didapat dari sumber-sumber lain yang berhubungan dengan materi penelitian dan bukan merupakan hasil langsung penelitian itu sendiri. Data sekunder yang diperlukan yaitu data klimatologi dan peta tentang lokasi penelitian.

3.6 Proses Perancangan PLTMH

3.6.1 Studi Literatur

Dalam penelitian ini, studi literatur memiliki peran yang sangat penting. Karena studi literatur ini dilakukan untuk mengumpulkan bahan-bahan yang diperlukan dan berhubungan dengan masalah yang akan dibahas. Studi ini dilakukan dengan mempelajari dan mengkaji buku, jurnal ilmiah, skripsi terdahulu dan sumber-sumber literatur yang relevan dengan topik yang akan diteliti. Studi literatur ini berguna sebagai dasar dalam pembahasan masalah sebagai acuan untuk ketahap penelitian selanjutnya.

3.6.2 Survei dan Pengumpulan Data

Dalam Penelitian ini, peneliti langsung turun ke lapangan untuk mensurvei tempat lokasi penelitian. Lokasi penelitian ini terletak di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah. dan peneliti mengumpulkan data kependudukan di daerah tempat penelitian. Peneliti langsung meminta data yang dibutuhkan ke kantor kepala desa.

3.6.3 Perhitungan Debit dan Head

Sebelum mengadakan pengukuran debit, peneliti terlebih dahulu memilih lokasi yang tepat karena pemilihan lokasi merupakan hal penting yang harus diperhatikan karena kesesuaian lokasi akan berpengaruh terhadap akurasi hasil pengukuran. Dengan melakukan pengukuran profil sungai, maka luas penampang sungai dapat diketahui. Setelah luas penampang sungai

diketahui maka peneliti mengukur kecepatan aliran sungai. Kecepatan aliran sungai diperoleh dari rata-rata kecepatan aliran pada tiap bagian penampang sungai. Biasanya pengukuran kecepatan aliran rata-rata diukur dengan mempergunakan '*flow probe*' atau '*current meter*'. Namun karena peneliti tidak memiliki alat tersebut, maka peneliti mengukurnya dengan metode apung. Kecepatan aliran merupakan hasil bagi antara jarak lintasan dengan waktu tempuh. Peneliti mengukur debit air pada musim hujan dan musim panas dilokasi penelitian. Untuk mengukur head, peneliti langsung mengukur langsung kelapangan dengan mengukur secara manual.

3.6.4 Analisa Kapasitas Daya

Dalam penelitian ini, analisa kapasitas daya diperlukan untuk mengetahui untuk mengetahui besarnya daya yang direncanakan. Setelah peneliti mengetahui besarnya debit dan ketinggian jatuh air di Krueng Bidin maka peneliti langsung membuat perkiraan daya yang dihasilkan dan membuat rancangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

3.6.5 Penentuan Potensi

Dalam menentukan potensi perencanaan pembangunan PLTMH di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah, peneliti melakukan pengamatan langsung dilapangan mengenai lokasi Krueng Bidin. Peneliti melakukan studi mengenai perhitungan potensi daya yang dihasilkan jika dibangun PLTMH dengan memanfaatkan air terjun Krueng Bidin. Peneliti juga melakukan pengamatan terhadap jarak antara sungai dengan lokasi yang akan dialiri listrik di Krueng Bidin. Selain itu, peneliti mempertimbangkan akses jalan ketempat tersebut agar jika dibangun PLTMH tidak mengalami kendala yang mengganggu kelancaran pembangunan PLTMH.

3.6.6 Perancangan PLTMH

Dalam perancangan PLTMH, peneliti membuat rancangannya sesuai dengan potensi daya yang dibangkitkan dari air sungai. Dalam perancangan ini peneliti merancang komponen utama pada PLTMH seperti bendungan dan

intake, saluran pembawa, bak pengendap, bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, turbin generator dan saluran transmisi.

3.6.7 Penstock

Adapun menentukan kecepatan aliran pada pipa PVC (pipa penstock) menggunakan persamaan:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

A = Luas rata rata

d^2 = Diameter pipa

Adapun cara mencari kecepatan pada pipa pesat yang Pipa pesat menggunakan pipa besi dengan panjang 9m yang terbagi menjadi dua ukuran luas penampang yang berbeda menggunakan persamaan:

$$Q = V.A \dots\dots\dots (3.2)$$

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

Q : Debit air (m^3/s).

v : Kecepatan rata-rata aliran air (m/s).

A : Luas penampang aliran air (m^2).

3.6.7.1 Kincir Air/Turbin

Berdasarkan spesifikasi teknis kincir air dan mempertimbangkan ketersediaan kincir air yang sudah ada maka dipilih jenis breast-shot sebagai desain pembangunan menggunakan persamaan:

$$N_t = \frac{862 \times H}{D_1} 1/2 \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

N_t = Putaran kincir (rpm)

862 = Ketetapan rumus

H = Tinggi jatuh (m)

D_1 = Diameter pipa (m)

3.5.7.2 Potensi Daya Terbangkitkan

Kapasitas debit air mempengaruhi terhadap kapasitas daya listrik yang mampu dihasilkan oleh PLTMH. Untuk mencari potensi daya terbangkitkan dengan menggunakan batas efisiensi terendah adalah seperti pada persamaan:

$$\text{daya (p)} = 9.81 \times H \times np \times nt \times ng \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan :

P = Daya (W)

9.81 = Konstanta gravitasi

Q = Debit aliran (m³/s)

H = Head (m)

np = Efisiensi pipa 90%

nt = Efisiensi turbin 70%

ng = Efisiensi generator 80%

3.5.7.4 Transmisi Mekanik

Transmisi mekanik berfungsi untuk menyalurkan daya mekanik pada poros turbin ke poros generator tipe flat belt pulley dengan kombinasi plummer blockflexible coupling pada pulley generator. Adapun pemilihan jenis transmisi mekanik berdasarkan data sheet atau katalog turbin crossflow T-15 D500, untuk debit air dan head efektif pembangkit tersebut.

3.7 Analisa Ekonomi

Sesudah peneliti merancang komponen utama PLTMH maka peneliti membuat analisa ekonomi dalam pembagunan PLTMH tersebut. Hal ini dilakukan peneliti akan mengetahui kelayakan dalam pembangunan PLTMH di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan menggunakan *software RETScreen*.

3.7.1 Langkah Penggunaan RETScreen

Pengguna dapat memasukkan data secara manual setiap saat. Meskipun teknologi masing-masing memiliki model analisis sendiri, lima langkah prosedur analisis standar umum untuk semua teknologi ini. (RETScreen International, 2001-2004).

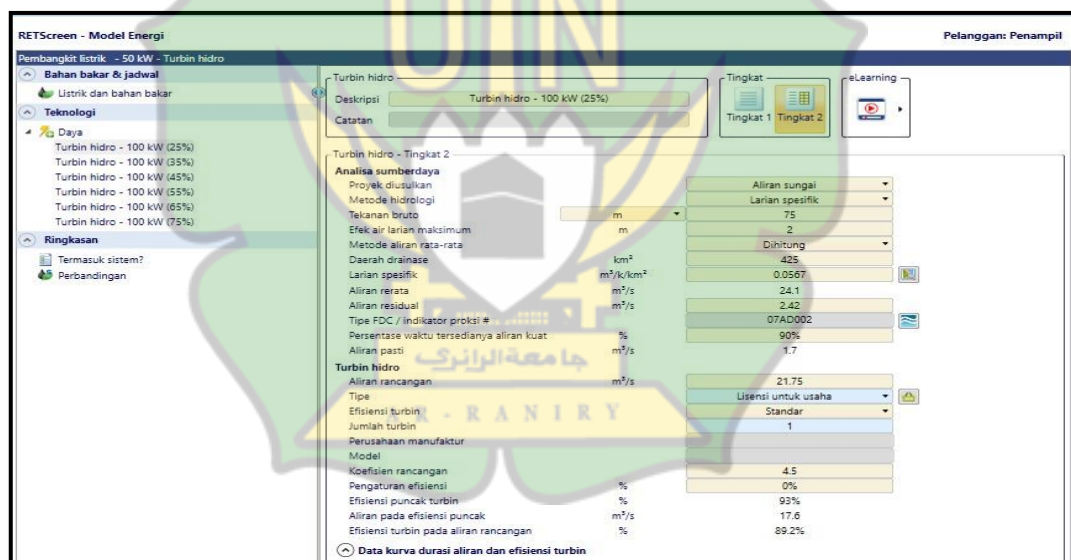
1. Langkah 1 - Energi Model: Pada lembar kerja ini, beberapa parameter yang menggambarkan tata letak proyek, peralatan dan teknologi yang akan digunakan dan beban atau sumber daya (hidrologi dalam kasus tenaga air) yang dimasukkan oleh pengguna. Perangkat lunak kemudian menghitung beberapa nilai lain seperti produksi energi tahunan dan kapasitas daya pembangkit.
2. Langkah 2 - Analisis Biaya: Ada dua alternatif untuk melakukan analisis biaya. Dalam lembar kerja analisis biaya, perangkat lunak memungkinkan pengguna untuk memasukkan biaya awal, tahunan dan periodik. Dalam lembar analisis biaya, semua biaya yang dimasukkan oleh pengguna. Alternatif kedua untuk analisis biaya yang disebut "hydro formula costing method". Metode ini didasarkan pada rumus biaya empiris;
3. Langkah 3 - Analisis Emisi Gas Rumah Kaca atau Green House Gas (GHG). Kedua analisis ini adalah lembar kerja opsional. Hal ini dapat digunakan untuk menentukan pengurangan emisi gas rumah kaca sebagai hasil dari menggunakan teknologi terbarukan atau bersih daripada teknologi konvensional.
4. Langkah 4 - Analisis Keuangan: Pada lembar kerja ini, pengguna memasukkan parameter keuangan yang diperlukan untuk analisis keuangan. Parameter ini meliputi inflasi, tingkat diskon, utang, pajak, dll. Menggunakan parameter ini bersama dengan biaya dan harga listrik, RETScreen menghitung beberapa indikator keuangan untuk mengevaluasi kelayakan proyek yang diusulkan. Beberapa indikator ini yaitu Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV) dan Benefit Cost Ratio (BCR). Kas tahunan mengalir bersama-sama dengan diagram arus kas kumulatif juga disajikan dalam lembar kerja analisis keuangan.
5. Langkah 5 - Sensitivitas & Analisis Risiko: Ini adalah lembar kerja opsional. Ini membantu pengguna menentukan bagaimana ketidakpastian dalam beberapa parameter input dapat mempengaruhi kelangsungan hidup keuangan secara keseluruhan proyek. (RETScreen International, 2001-2004).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Input Parameter Teknis Pembangkit

Pada penelitian ini, perangkat lunak *RETScreen Expert* digunakan sebagai alat analisis untuk mengevaluasi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin, Kabupaten Bener Meriah. Analisis dilakukan dengan memanfaatkan data hidrologi, karakteristik lokasi, dan parameter teknis pembangkit sehingga dapat diperoleh estimasi potensi energi listrik yang dihasilkan serta kelayakan proyek dari aspek teknis dan ekonomi. Seluruh parameter yang digunakan dalam simulasi dimasukkan ke dalam *Energy Model* pada *RETScreen* sesuai dengan karakteristik lokasi penelitian dan data hasil survei lapangan.



Gambar 4. 1 Klasifikasi Data
 Sumber : Pengolahan Data (2026)

Adapun parameter teknis yang di input sebagai berikut :

<i>Facility Type</i> / Jenis fasilitas	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
<i>Project Type</i> / Jenis proyek	Aliran sungai (<i>Run-of-River</i>)
<i>Hydrology Method</i> / Metode hidrologi	Average Flow (<i>User-defined</i>)
Gross Head / Tinggi jatuh air bruto	75 m

<i>Maximum Tailwater Effect</i> / Pengaruh maksimum muka air hilir	2 m
<i>Drainage Area</i> / Luas daerah aliran sungai (DAS)	425 km ²
<i>Specific Run-off</i> / Limpasan spesifik	0,05687 m ³ /s/km ²
<i>Residual Flow</i> / Debit sisa (debit ekologis)	2,42 m ³ /s
<i>Time Firm Flow Available</i> / Persentase ketersediaan debit andalan	90%
<i>Firm Flow</i> / Debit andalan	17,00 m ³ /s
<i>Design Flow</i> / Debit rencana	21,75 m ³ /s
<i>Turbine Type</i> / Jenis turbin	Francis
<i>Turbine Efficiency</i> / Efisiensi turbin	Standard
<i>Number of Turbines</i> / Jumlah turbin	1 Unit
<i>Efficiency Adjustment</i> / Penyesuaian efisiensi	0%

Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam menghitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTMH Krueng Bidin. Parameter hidrologi, seperti debit rancangan (*design flow*), debit residu (*residual flow*), luas daerah aliran sungai (*drainage area*), dan tinggi jatuh bruto (*gross head*), berpengaruh langsung terhadap besarnya daya yang dihasilkan. Selanjutnya, RETScreen memanfaatkan parameter-parameter tersebut untuk menghitung kapasitas pembangkit, produksi energi listrik tahunan, faktor kapasitas, serta indikator kelayakan ekonomi yang meliputi biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, nilai sekarang bersih (*Net Present Value/NPV*), tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return/IRR*), rasio manfaat terhadap biaya (*Benefit Cost Ratio/BCR*), dan periode pengembalian investasi (*Payback Period*).

4.2 Aspek Teknis

Analisis aspek teknis dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pembangkitan energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga *Mikrohidro* (PLTMH) di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah berdasarkan karakteristik hidrologi sungai dan parameter teknis pembangkit yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak *RETScreen*. Parameter utama yang dianalisis meliputi debit rancangan (*design flow*), tinggi jatuh air (*gross head*), jenis turbin, efisiensi sistem, faktor kapasitas, serta estimasi produksi energi listrik tahunan. Hasil analisis teknis ini menjadi dasar dalam menentukan kemampuan pembangkit

menghasilkan energi listrik secara optimal sekaligus menjadi acuan dalam analisis kelayakan ekonomi pada tahap selanjutnya.

Adapun rancangan spesifikasi teknis dari PLTMH Krueng Bidin di tampilkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Utama PLTMH Krueng Bidin

Komponen	Spesifikasi
<i>Power Plant Type / Jenis pembangkit</i>	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
<i>Project Type / Tipe proyek</i>	Run-of-River
<i>Drainage Area / Luas DAS</i>	425 km ² (PLTMH Krueng Bidin)
<i>Gross Head / Tinggi jatuh air bruto</i>	75 m (PLTMH Krueng Bidin)
<i>Design Flow / Debit rencana</i>	21,75 m ³ /s (PLTMH Krueng Bidin)
<i>Residual Flow / Debit sisa (debit ekologis)</i>	2,42 m ³ /s
<i>Firm Flow / Debit andalan</i>	17,00 m ³ /s
<i>Turbine Type / Jenis turbin</i>	Francis
<i>Number of Turbines / Jumlah turbin</i>	1 Unit
<i>Generator Efficiency / Efisiensi generator</i>	95%
<i>Maximum Turbine Efficiency / Efisiensi turbin maksimum</i>	93%

Sumber : Data Diolah (2026)

Berdasarkan data hidrologi dan parameter teknis yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak RETScreen, diperoleh hasil simulasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2.

The screenshot displays the RETScreen Model Energi software interface. The left sidebar shows a tree view with categories like 'Bahan bakar & jadwal', 'Teknologi', and 'Ringkasan'. The main window is titled 'Turbin hidro - Tingkat 2' and contains a table of input parameters and simulation results.

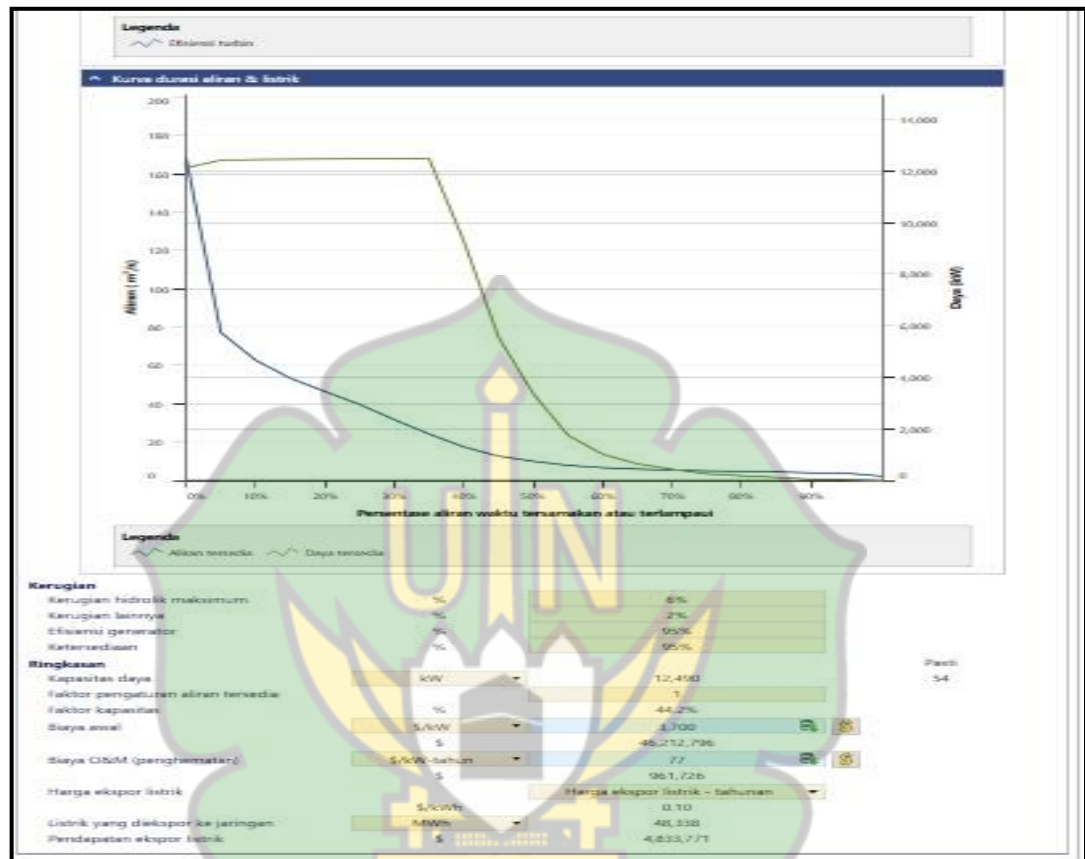
Parameter	Unit	Value
Analisa sumberdaya		
Proyek diusulkan		
Metode hidrologi		
Tekanan bruto	m	75
Efek air larian maksimum	m	2
Metode aliran rata-rata		
Daerah drainase	km ²	425
Larian spesifik	m ³ /km ²	0.0567
Aliran rerata	m ³ /s	24.1
Aliran residual	m ³ /s	2.42
Tipe FDC / indikator proksi		07AD002
Persentase waktu tersedianya aliran kuat	%	90%
Aliran pasti	m ³ /s	1.7
Turbin hidro		
Aliran rancangan	m ³ /s	21.75
Tipe		Lisensi untuk usaha
Efisiensi turbin		Standar
Jumlah turbin		1
Perusahaan manufaktur		
Model		
Koefisien rancangan		4.5
Pengaturan efisiensi	%	0%
Efisiensi puncak turbin	%	93%
Aliran pada efisiensi puncak	m ³ /s	17.6
Efisiensi turbin pada aliran rancangan	%	89.2%

Gambar 4. 2 Input dan Hasil Simulasi
 Sumber : Pengolahan Data (2026)

Hasil simulasi *RETScreen* menunjukkan bahwa PLTMH Krueng Bidin memiliki karakteristik teknis sebagai berikut.

- Kapasitas daya pembangkit : 12.490 kW
- Faktor kapasitas (*Capacity Factor*) : 44,2%
- Produksi energi listrik tahunan : 46.212.796 kWh/tahun
- Biaya investasi awal : USD 37.000/kW
- Biaya operasi dan pemeliharaan : USD 961,726/kW/tahun

Kurva durasi aliran (*Flow Duration Curve*) dan kurva efisiensi turbin yang dihasilkan *RETScreen* menunjukkan hubungan antara persentase ketersediaan debit sungai terhadap kemampuan turbin dalam menghasilkan energi listrik. Berdasarkan kurva tersebut, efisiensi turbin meningkat seiring bertambahnya debit hingga mencapai efisiensi maksimum sekitar 93% pada kisaran debit operasi mendekati debit rancangan. Setelah mencapai titik optimum, efisiensi turbin relatif stabil sehingga pembangkit mampu beroperasi secara efektif pada kondisi debit normal.



Gambar 4. 3 Kurva Durasi Aliran dan Model Energi PLTMH

Sumber : Pengolahan Data (2026)

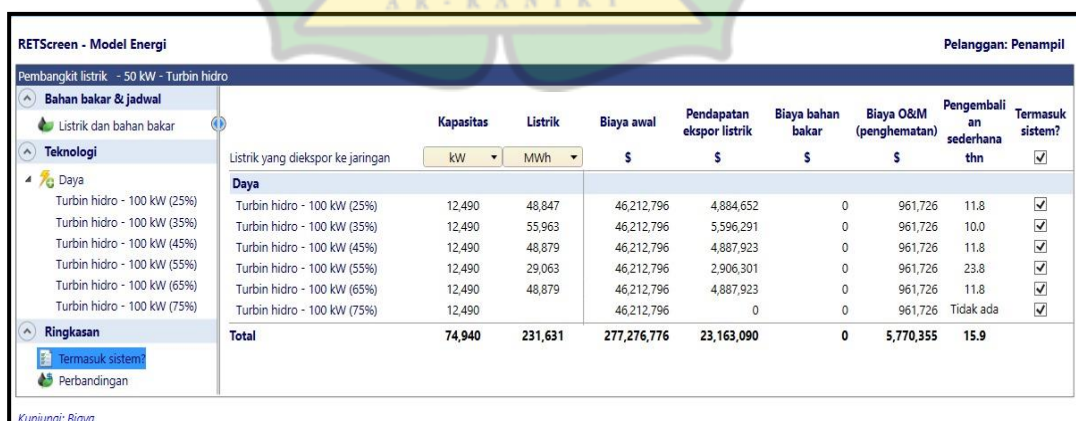
Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTMH Krueng Bidin memiliki faktor kapasitas sebesar 44,2%, yang menunjukkan bahwa pembangkit mampu beroperasi secara efektif hampir setengah dari kapasitas maksimumnya sepanjang tahun. Nilai faktor kapasitas tersebut tergolong baik untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe *run-of-river*, mengingat besarnya energi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh fluktuasi debit sungai sepanjang tahun. Semakin tinggi faktor kapasitas yang diperoleh, maka semakin besar pula tingkat pemanfaatan potensi energi air sehingga pembangkit menjadi lebih efisien dalam menghasilkan listrik.

Produksi energi listrik tahunan yang mencapai 46,21 GWh/tahun menunjukkan bahwa potensi energi air di Krueng Bidin cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Besarnya produksi energi tersebut dipengaruhi oleh kombinasi antara debit rancangan sebesar 21,75 m³/s, *gross head* 75 m, serta penggunaan turbin *Francis* yang memiliki efisiensi tinggi pada kondisi *head* menengah hingga tinggi.

Selain itu, kurva durasi aliran menunjukkan bahwa debit sungai di Krueng Bidin masih mampu memenuhi kebutuhan debit operasi turbin selama sebagian besar waktu dalam satu tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa kontinuitas suplai air cukup baik sehingga risiko penurunan produksi energi akibat kekurangan debit relatif kecil.

4.3 Hasil Simulasi Model Biaya

Simulasi model energi dilakukan menggunakan perangkat lunak *RETScreen Expert* untuk mengetahui besarnya potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah. Simulasi dilakukan berdasarkan parameter hidrologi yang telah ditentukan sebelumnya, meliputi debit rancangan (*design flow*) sebesar 21,75 m³/s, tinggi jatuh bruto (*gross head*) sebesar 75 m, jenis turbin *Francis*, serta efisiensi sistem sesuai standar *RETScreen*. Hasil simulasi model energi disajikan pada Gambar 4.4.



Pembangkit listrik - 50 kW - Turbin hidro		Pelanggan: Penampil							
Bahan bakar & jadwal		Kapasitas	Listrik	Biaya awal	Pendapatan ekspor listrik	Biaya bahan bakar	Biaya O&M (penghematan)	Pengembalian sederhana	Termasuk sistem?
Listrik yang diekspor ke jaringan		kW	MWh	\$	\$	\$	\$	thn	☒
Daya									
Turbin hidro - 100 kW (25%)	Turbin hidro - 100 kW (25%)	12,490	48,847	46,212,796	4,884,652	0	961,726	11.8	☒
Turbin hidro - 100 kW (35%)	Turbin hidro - 100 kW (35%)	12,490	55,963	46,212,796	5,596,291	0	961,726	10.0	☒
Turbin hidro - 100 kW (45%)	Turbin hidro - 100 kW (45%)	12,490	48,879	46,212,796	4,887,923	0	961,726	11.8	☒
Turbin hidro - 100 kW (55%)	Turbin hidro - 100 kW (55%)	12,490	29,063	46,212,796	2,906,301	0	961,726	23.8	☒
Turbin hidro - 100 kW (65%)	Turbin hidro - 100 kW (65%)	12,490	48,879	46,212,796	4,887,923	0	961,726	11.8	☒
Turbin hidro - 100 kW (75%)	Turbin hidro - 100 kW (75%)	12,490		46,212,796	0	0	961,726	Tidak ada	☒
Total		74,940	231,631	277,276,776	23,163,090	0	5,770,355	15.9	

Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Model Biaya

Sumber : Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan hasil simulasi *RETScreen* diperoleh bahwa kapasitas daya terpasang pembangkit mencapai 12.490 kW atau sekitar 12,49 MW untuk setiap konfigurasi turbin yang dianalisis. Energi listrik yang dapat diekspor ke jaringan berkisar antara 29.063 MWh hingga 55.963 MWh per tahun, bergantung pada konfigurasi faktor kapasitas turbin yang digunakan. Nilai produksi energi terbesar diperoleh pada konfigurasi turbin dengan faktor kapasitas 35%, yaitu sebesar 55.963 MWh/tahun, sedangkan produksi energi terendah diperoleh pada konfigurasi faktor kapasitas 55%, yaitu sebesar 29.063 MWh/tahun.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa biaya investasi awal pembangkit diperkirakan sebesar USD 46.212.796, sedangkan biaya operasi dan pemeliharaan (*Operation and Maintenance/O&M*) sebesar USD 961.726 per tahun. Pendapatan dari ekspor energi listrik diperkirakan berkisar antara USD 2.906.301 hingga USD 5.596.291 per tahun, bergantung pada besarnya energi listrik yang dihasilkan dan dijual ke jaringan. Secara keseluruhan, simulasi *RETScreen* menunjukkan bahwa PLTMH Krueng Bidin memiliki potensi energi yang besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan yang mampu memberikan produksi listrik secara berkelanjutan.

4.4 Analisis Finansial

Analisis finansial dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan investasi pembangunan PLTMH di Krueng Bidin berdasarkan indikator ekonomi yang dihasilkan oleh perangkat lunak *RETScreen*. Analisis ini mempertimbangkan biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, pendapatan dari penjualan energi listrik sebesar USD Q10/kwH, serta parameter finansial lainnya sehingga dapat diketahui tingkat keuntungan dan periode pengembalian investasi.

RETScreen - Analisa Finansial				Pelanggan: Penampil		
Parameter finansial				Arus kas tahunan		
Umum				Tahun	Sebelum pajak	Kumulatif
Tingkat kenaikan biaya bahan bakar		2%		#	\$	\$
Tingkat inflasi	%	2%		0	-1,131,864	-1,131,864
Tarif diskonto	%	9%		1	17,450,621	16,318,758
Laju reinvestasi	%	9%		2	17,805,433	34,124,191
Masa proyek	thn	20		3	18,167,341	52,291,532
				4	18,536,487	70,828,019
				5	18,913,017	89,741,036
				6	19,297,076	109,038,112
				7	19,688,817	128,726,930
				8	20,088,393	148,815,323
				9	20,495,960	169,311,283
				10	20,911,679	190,222,962
				11	21,335,712	211,558,673
				12	21,768,225	233,326,899
				13	22,209,389	255,536,288
				14	22,659,376	278,195,664
				15	23,118,363	301,314,028
				16	23,676,499	325,190,527
				17	24,354,029	349,544,556
				18	24,841,110	374,385,666
				19	25,337,932	399,723,598
				20	25,844,691	425,568,289
Keuangan						
Insentif dan hibah	\$					
Rasio hutang	%	70%				
Hutang	\$	2,641,016				
Ekuitas	\$	1,131,864				
Tingkat bunga hutang	%	7%				
Persyaratan hutang	thn	15				
Pembayaran hutang	\$/thn	289,969				
Analisa pajak pendapatan						
Pendapatan tahunan						
Pendapatan ekspor listrik						
Listrik yang diekspor ke jaringan	MWh	231,631				
Harga ekspor listrik	\$/kWh	0.10				
Pendapatan ekspor listrik	\$	23,163,091				
Tingkat kenaikan ekspor listrik	%	2%				
Pendapatan dari pengurangan GRK						
Pengurangan emisi bruto GRK	tCO ₂ /thn	109,550				
Pengurangan emisi bruto GRK - 20 thn	tCO ₂	2,190,991				
Pendapatan dari pengurangan GRK	\$	0				
Pendapatan (biaya) lain-lain						
Pendapatan produksi Energi Bersih (EB)						
Biaya Simpanan Pendapatan						
Biaya awal						
Studi kelayakan	0%	\$	2			
Pembangunan	0.008%	\$	302			
Sistem pembangkit	100%	\$	3,772,575			
Total biaya awal	100%	\$	3,772,879			
Arus kas tahunan - Tahun 1						
Biaya dan pembayaran hutang tahunan						
Operasi & Perawatan	\$	5,770,355				
Pembayaran hutang - 15 thn	\$	289,969				
Total biaya tahunan	\$	6,060,324				
Penghematan dan pendapatan tahunan						
Pendapatan ekspor listrik	\$	23,163,090				
Pendapatan dari pengurangan GRK	\$	0				
Pendapatan (biaya) lain-lain	\$	0				
Pendapatan produksi Energi Bersih	\$	0				
Total pendapatan dan penghematan tahunan	\$	23,163,090				
Arus kas tahunan bersih - Tahun 1						
Kelayakan keuangan						
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	1,544%				
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	40.6%				
IRR sebelum pajak - aset	%	465%				
MIRR sebelum pajak - aset	%	32.4%				
Pengembalian sederhana	thn	0.22				
Balik modal ekuitas	thn	0.06				
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	182,771,780				
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	20,022,004				
Rasio manfaat-biaya (B-C)		162				
Kemampuan pengembalian hutang		61.2				
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO ₂	-183				
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.031				

Gambar 4. 5 Hasil Finansial Model Energi RETScreen
 Sumber : Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan hasil simulasi *RETScreen*, total biaya investasi awal pembangunan PLTMH diperkirakan sebesar USD 3.772.879. Komponen biaya terbesar berasal dari pembangunan sistem pembangkit yang mencapai 100% dari total investasi, sedangkan biaya studi kelayakan dan pembangunan awal relatif kecil dibandingkan dengan biaya konstruksi utama.

Biaya operasi dan pemeliharaan tahunan diperkirakan sebesar USD 5.770.355, sedangkan pembayaran hutang tahunan sebesar USD 289.969. Dengan produksi energi listrik yang dihasilkan, proyek diperkirakan memperoleh pendapatan dari ekspor listrik sebesar USD 23.163.090 per tahun. Setelah dikurangi biaya operasi, proyek masih menghasilkan arus kas bersih tahunan sebesar USD 12MW.

Hasil evaluasi finansial menunjukkan bahwa proyek memiliki *Net Present Value* (NPV) sebesar USD 182.771.780, yang menunjukkan bahwa nilai manfaat proyek lebih besar dibandingkan dengan total biaya investasi selama umur proyek. Selain itu, nilai *Internal Rate of Return* (IRR) terhadap ekuitas mencapai 40,6%,

sedangkan IRR terhadap aset sebesar 32,4%, yang menunjukkan tingkat pengembalian investasi berada jauh di atas tingkat diskonto yang digunakan.

Indikator kelayakan lainnya menunjukkan *Benefit Cost Ratio* (BCR) sebesar 162, yang mengindikasikan bahwa setiap satu satuan biaya investasi mampu menghasilkan manfaat ekonomi yang jauh lebih besar. Periode pengembalian investasi (*Simple Payback Period*) diperkirakan sekitar 0,22 tahun, sedangkan kemampuan pengembalian hutang (*Debt Service Coverage Ratio*) mencapai 61,2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara ekonomi pembangunan PLTMH di Krueng Bidin sangat layak untuk dikembangkan karena mampu memberikan keuntungan finansial yang tinggi dalam jangka panjang.

4.5 Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Analisis emisi gas rumah kaca dilakukan untuk mengetahui besarnya manfaat lingkungan yang diperoleh dari pemanfaatan energi air sebagai sumber energi terbarukan dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil. Pada penelitian ini, sistem pembanding (*baseline*) yang digunakan dalam *RETScreen* adalah pembangkit listrik berbahan bakar gas alam, dengan faktor emisi sebesar 0,473 tCO₂/MWh.

RETScreen - Analisa Emisi							Pelanggan: Penampil
Sistem kelistrikan kasus acuan (Baseline)							
Jenis bahan bakar	Bauran bahan bakar %	Faktor emisi CO ₂ kg/GJ	Faktor emisi CH ₄ kg/GJ	Faktor emisi N ₂ O kg/GJ	Efisiensi pembangkit listrik %	Susut T&D %	Faktor emisi GHG tCO ₂ /MWh
Gas alam	100.0%	49.6	0.0010	0.0009	40.8%	7.0%	0.473
Gabungan listrik:	100.0%	130.7	0.0025	0.0024		7.0%	0.473
☐ Perubahan baseline sepanjang masa proyek							
Ringkasan sistem GHG kasus acuan (Baseline)							
Jenis bahan bakar	Bauran bahan bakar %	Faktor emisi CO ₂ kg/GJ	Faktor emisi CH ₄ kg/GJ	Faktor emisi N ₂ O kg/GJ	Konsumsi bahan bakar MWh	Faktor emisi GHG tCO ₂ /MWh	Emisi GHG tCO ₂
Listrik	100.0%	130.7	0.0025	0.0024	50.440	0.473	23.855.6
Total	100.0%	130.7	0.0025	0.0024	50.440	0.473	23.855.6
Ringkasan sistem GHG yang diusulkan							
Jenis bahan bakar	Bauran bahan bakar %	Faktor emisi CO ₂ kg/GJ	Faktor emisi CH ₄ kg/GJ	Faktor emisi N ₂ O kg/GJ	Konsumsi bahan bakar MWh	Faktor emisi GHG tCO ₂ /MWh	Emisi GHG tCO ₂
Hidro	95.8%	0.0	0.0000	0.0000	48.338	0.000	0.0
Hidro	0.8%	0.0	0.0000	0.0000	394	0.000	0.0
Hidro	1.0%	0.0	0.0000	0.0000	482	0.000	0.0
Hidro	1.1%	0.0	0.0000	0.0000	569	0.000	0.0
Hidro	1.3%	0.0	0.0000	0.0000	657	0.000	0.0
Total	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	50.440	0.000	0.0
Susut T&D							
Listrik yang diekspor ke jaringan	MWh	50.440			0	0.473	0.0
Ringkasan pengurangan emisi GHG							Total 0.0

Gambar 4. 6 Hasil Analisis Emisi Model Energi RETScreen
Sumber : Pengolahan Data (2026)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pembangkit berbasis gas alam menghasilkan konsumsi energi listrik sebesar 50.440 MWh dengan total emisi gas rumah kaca mencapai 23.855,6 ton CO₂. Sebaliknya, PLTMH sebagai pembangkit energi terbarukan tidak menghasilkan emisi karbon secara langsung selama proses pembangkitan listrik sehingga faktor emisi yang digunakan dalam simulasi adalah 0,000 tCO₂/MWh.

Produksi energi listrik PLTMH sebesar 50.440 MWh per tahun mampu menggantikan pembangkitan listrik berbasis bahan bakar fosil sehingga berpotensi mengurangi emisi karbon secara signifikan. Berdasarkan hasil simulasi *RETScreen*, total pengurangan emisi gas rumah kaca selama umur proyek diperkirakan mencapai 2.190.991 ton CO₂, sedangkan rata-rata pengurangan emisi tahunan mencapai sekitar 109.550 ton CO₂. Hasil ini menunjukkan bahwa pembangunan PLTMH di Krueng Bidin tidak hanya memberikan manfaat dari aspek penyediaan energi listrik, tetapi juga berkontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi gas rumah kaca.

Secara keseluruhan, hasil analisis energi, finansial, dan emisi menunjukkan bahwa pemanfaatan potensi energi air di Krueng Bidin memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik energi terbarukan. Selain mampu menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang besar, proyek ini juga memberikan manfaat ekonomi yang tinggi serta mendukung pengurangan emisi karbon, sehingga sejalan dengan upaya pengembangan energi bersih dan berkelanjutan di Indonesia.

4.6 Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin Menggunakan Software *RETScreen*

Rancangan PLTMH pada penelitian ini disusun menggunakan perangkat lunak *RETScreen Expert* dengan memanfaatkan data hidrologi, karakteristik topografi, serta parameter teknis yang diperoleh dari hasil survei lapangan dan data sekunder. Model pembangkit yang digunakan adalah *Run-of-River* (RoR) atau pembangkit listrik tenaga air aliran sungai, yaitu sistem pembangkitan yang memanfaatkan debit alami sungai tanpa memerlukan waduk berkapasitas besar. Pemilihan sistem *Run-of-River* didasarkan pada karakteristik Krueng Bidin yang

memiliki kontinuitas debit sepanjang tahun sehingga lebih sesuai untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Parameter hidrologi yang digunakan dalam simulasi terdiri atas luas daerah aliran sungai (DAS) sebesar 425 km², *specific run-off* sebesar 0,05687 m³/s/km², *gross head* sebesar 75 meter, *maximum tailwater effect* sebesar 2 meter, *residual flow* sebesar 2,42 m³/s, *firm flow* sebesar 17,00 m³/s, serta *design flow* sebesar 21,75 m³/s. Nilai-nilai tersebut menjadi parameter utama dalam menentukan potensi energi air yang tersedia untuk diubah menjadi energi listrik.

Rancangan pembangkit menggunakan turbin *Francis* dengan jumlah 1 unit turbin. Pemilihan turbin *Francis* didasarkan pada karakteristik lokasi penelitian yang memiliki tinggi jatuh air (*head*) menengah sebesar 75 meter dan debit rancangan yang relatif besar, sehingga sesuai dengan daerah operasi turbin *Francis* yang umumnya digunakan pada pembangkit listrik tenaga air dengan head menengah hingga tinggi. Efisiensi turbin menggunakan standar *RETScreen* dengan efisiensi maksimum sebesar 93%, sedangkan efisiensi generator sebesar 95%. Kombinasi kedua parameter tersebut menghasilkan efisiensi sistem yang tinggi sehingga energi potensial air dapat dikonversi menjadi energi listrik secara optimal.

Kurva durasi aliran (*Flow Duration Curve/FDC*) yang dihasilkan *RETScreen* menunjukkan bahwa debit sungai mampu memenuhi kebutuhan debit operasi turbin selama sebagian besar waktu dalam satu tahun. Pada kondisi tersebut turbin mampu beroperasi mendekati efisiensi maksimum sehingga kontinuitas produksi energi listrik tetap terjaga. Selain itu, penetapan *residual flow* sebesar 2,42 m³/s bertujuan menjaga keberlangsungan aliran sungai untuk kebutuhan ekosistem dan penggunaan air di hilir sehingga pembangunan PLTMH tetap memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan.

Berdasarkan hasil perancangan tersebut, diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 12.490 kW (12,49 MW) dengan produksi energi listrik yang dapat diekspor ke jaringan berkisar antara 29.063 MWh hingga 55.963 MWh per tahun, bergantung pada konfigurasi operasi turbin. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter hidrologi Krueng Bidin memiliki potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik berbasis energi terbarukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Krueng Bidin Kabupaten Bener Meriah menggunakan perangkat lunak *RETScreen*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Spesifikasi teknis rancangan PLTMH di Krueng Bidin menggunakan sistem *Run-of-River* (RoR) dengan metode hidrologi *User-defined*. Parameter utama yang digunakan meliputi luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar 425 km², *gross head* sebesar 75 m, *design flow* sebesar 21,75 m³/s, *firm flow* sebesar 17,00 m³/s, dan *residual flow* sebesar 2,42 m³/s. Rancangan pembangkit menggunakan satu unit turbin Francis dengan efisiensi maksimum turbin sebesar 93% dan efisiensi generator sebesar 95%. Berdasarkan hasil simulasi *RETScreen*, diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 12.490 kW atau 12,49 MW, faktor kapasitas sebesar 44,2%, serta estimasi produksi energi listrik sebesar 46.212.796 kWh/tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Krueng Bidin memiliki potensi sumber daya air yang dapat dimanfaatkan untuk perancangan PLTMH.
2. Kelayakan teknis dan ekonomis pembangunan PLTMH di Krueng Bidin berdasarkan hasil simulasi *RETScreen* menunjukkan bahwa proyek layak untuk dikembangkan. Dari aspek teknis, kelayakan didukung oleh kondisi hidrologi, *gross head* sebesar 75 m, *design flow* sebesar 21,75 m³/s, serta penggunaan turbin Francis yang sesuai dengan karakteristik lokasi. Dari aspek ekonomi, proyek menghasilkan nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar USD 182.771.780, *Internal Rate of Return* (IRR) terhadap ekuitas sebesar 40,6%, *Benefit Cost Ratio* (BCR) sebesar 162, dan *Simple Payback Period* sebesar 0,22 tahun. Selain itu, dari aspek lingkungan, pembangunan PLTMH berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca rata-rata sebesar 109.550 ton CO₂ per tahun. Dengan demikian, berdasarkan parameter dan asumsi yang digunakan dalam *RETScreen*, pembangunan PLTMH di

Krueng Bidin dinilai layak secara teknis dan ekonomis serta memberikan manfaat lingkungan dalam mendukung pengembangan energi terbarukan.

5.2 Saran

1. Untuk pengembangan rancangan teknis PLTMH, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data hidrologi dengan periode pengamatan yang lebih panjang dan lebih lengkap, terutama data debit harian selama minimal 10–20 tahun. Selain itu, perlu dilakukan survei lapangan yang lebih rinci meliputi pengukuran topografi, geologi, hidraulik, dan kondisi lokasi untuk memperoleh data yang lebih akurat. Penyusunan *Detailed Engineering Design* (DED) juga diperlukan agar spesifikasi komponen PLTMH, seperti intake, saluran pembawa, penstock, turbin, generator, dan sistem transmisi, dapat dirancang secara lebih detail sesuai kondisi aktual Krueng Bidin.
2. Untuk evaluasi kelayakan teknis dan ekonomis, penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan debit sungai, biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, tarif penjualan listrik, serta tingkat suku bunga. Penggunaan data biaya dan tarif listrik yang paling aktual juga diperlukan agar hasil analisis finansial menggunakan RETScreen menjadi lebih realistis. Pemerintah daerah dan pemangku kepentingan terkait dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai referensi awal dalam pengembangan potensi energi air di Krueng Bidin, dengan tetap melakukan kajian lanjutan terhadap aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan sebelum pembangunan PLTMH direalisasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, U., Anwar, S., & Wijaya, N. Q. (2021). Pengaruh Job Insecurity Terhadap Turnover Intention Dengan Komitmen Organisasi Sebagai Variabel Intervening Pada Karyawan Pt. Mitra Madura Dharma Abadi. *Jurnal Manajemen dan Bisnis Indonesia*, 7(2), 01-09.
- Aiyub, Said, Yaman Yaman, and Sayuti Sayuti. 2021. "Studi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Kampung Tingkem Kecamatan Blang Jerango Gayo Lues." *Jurnal Teknologi* 21(2):70. doi: 10.30811/teknologi.v21i2.2431.
- Anwar, Syaiful, Muhamad Taufiq Tamam, and Itmi Hidayat Kurniawan. 2021. "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Menggunakan Konsep Hydrocat." *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)* 4(1):7. doi: 10.24853/resistor.4.1.7-10.
- Augustone, Nelson, and Pujo Pamungkas. 2020. "Potensi Perencanaan Aliran Air Bendungan Sei Gong Sebagai Sumber Energi Terbarukan Melalui Pltmh." *Journal of Civil Engineering and Planning* 1(1):1–6. doi: 10.37253/jcep.v1i1.714.
- Al Hakim, Rosyid Ridlo. 2020. "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Di Indonesia: Literatur Review." *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 1(1):1–11.
- Aiyub, A., Yusuf, E., Bintan, R., Adnan, A., & Azhar, A. (2021). The Effect of Employee Engagement on Employee Performance with Organizational Commitment as Intervening Variable and Percieved Organization Support as a Moderating Variable at The Regional Secretariat of Bireuen District. *Jurnal Visioner & Strategis*, 10(2).
- Arif, N., Suaedi, S., Rahmadi, M., & Siregar, F. M. (2021). Potensi Energi Surya sebagai Energi Listrik Alternatif berbasis RETScreen di Kota Palopo, Indonesia. *Dewantara Journal* <https://doi.org/10.59563/djtech.v1i1.23> of Technology, 1(1), 38–42.
- Coe, B., & Coe, C. (2015). *The renewable energy handbook: A guide to rural energy independence, off-grid and sustainable living*. Aztext Press.
- Naim, Muhammad, and Ristiawan Ichsan. 2018. "Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Kampung Dongi Kecamatan Nuha." *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 9(2).
- Rizal, Masagus S. 2013. *Konversi Energi*.

- Tria Melati, Lena, Imam Supriyadi, and Yusuf Ali. 2022. "Strategi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini/Mikro Hidro Di Indonesia." *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan* 6(2):91–99. doi: 10.33379/gtech.v6i2.1319.
- Wisnaningsih, Wisnaningsih, and Achmad Tarmizi. 2021. "Daya Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Terhadap Studi Kelayakan Dan Perancangan Turbin Pada Proyek Mikrohidro." *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik* 6(2):58–65. doi: 10.24967/teksis.v6i2.1409.
- Zaini, Muhammad, Safrudin Safrudin, and Moh. Bachrudin. 2020. "Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis Iot." *TESLA: Jurnal Teknik Elektro* 22(2):139. doi: 10.24912/tesla.v0i0.9081.
- Naim, Muhammad, and Ristiawan Ichsan. 2018. "Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Kampung Dongi Kecamatan Nuha." *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 9(2).
- Gokhale, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Mainil, A. K., Nuramal, A., & Ahmad, M. R. (2017). A review on micro hydropower in Indonesia. *Energy Procedia*, 110, 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.146>
- Institute for Essential Services Reform. (2021). *Indonesia energy transition outlook 2021: Tracking progress of energy transition in Indonesia*. Institute for Essential Services Reform.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024). *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2024*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Karki, S., Rizal, G., & Quick, W. P. (2013). Improvement of photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) by inserting the C4 pathway. *Rice*, 6(1), 28.
- Lestari, A., Melati, L. T., Kasim, K., Jupriyanto, J., & Deksino, G. R. (2023). Ceramic Armor as Protective Material in Defense Industry Product: A Literature Review. *MOTIVATION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 101-112.
- Johnson, P., Arif, A. A., Lee-Sayer, S. S., & Dong, Y. (2018). Hyaluronan and its interactions with immune cells in the healthy and inflamed lung. *Frontiers in immunology*, 9, 2787.
- Wisnaningsih, W., & Tarmizi, A. (2021). Daya Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Terhadap Studi Kelayakan dan Perancangan Turbin pada Proyek Mikrohidro. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 6(2), 58-65.
- Zaini, M., Safrudin, S., & Bachrudin, M. (2020). Perancangan sistem monitoring tegangan, arus dan frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro

berbasis IoT. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 139–150.
<https://doi.org/10.24912/tesla.v22i2.9081>

