

**ANALISIS OPTIMALISASI PERENCANAAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO
BENDUNGAN BANDAR SEI JEPANG
KOTA TANJUNGBALAI**

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik Elektro (MT)
Dalam Bidang Teknik Elektro

MUCHSIN HARAHAH
NPM : 1720080003



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

PENGESAHAN

ANALISIS OPTIMALISASI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BENDUNGAN BANDAR SEI JEPANG

“Tesis ini Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji
Yang Dibentuk Oleh MTE PPs. UMSU dan Dinyatakan Lulus Dalam Ujian,
Pada Hari, Tanggal.....”

Panitia Penguji

1. Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc 1.....
Ketua
2. Ir. Eddy Warman, MT 2.....
Sekretaris
3. Dr. Ir. Suwarno, M.T 3.....
Anggota
4. Dr. Ir. Surya Hadi, M.Sc 4.....
Anggota
5. Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc 5.....
Anggota

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : MUCHSIN HARAHAAP

Nomor Pokok Mahasiswa : 1720080003

Program Studi : MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

Judul Tesis : ANALISIS OPTIMALISASI PERENCANAAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO BENDUNGAN BANDAR SEI
JEPANG KOTA TANJUNGBALAI

Disetujui untuk disampaikan kepada

Panitia Ujian Sidang Tesis

Medan, 2019

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. SYAFRUDDIN HASAN, M.Sc

Ir. EDDY WARMAN, MT

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan pernyataan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya tulis dengan judul “ANALISIS OPTIMALISASI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BENDUNGAN BANDAR SEI JEPANG KOTA TANJUNGBALAI” adalah benar merupakan hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain da saya akui sebagai karya saya sendiri tanpa unsur plagiat. Semua sumber referensi yang dikutip dan yang dirujuk telah ditulis dengan lengkap pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari ditemukan judul penelitian yang sama maka dapat dipertanggungjawabkan sepenuhnya.

Medan, September 2019

Penulis

MUCHSIN HARAHAAP

ABSTRAK

Sungai Bandar Sei Jepang merupakan salah satu sungai yang ada di Kota Tanjungbalai dengan lebar 5,1 km dan lebar 6 meter. Sungai tersebut mengalir ke Sungai Asahan. Aliran sungai dapat digunakan sebagai sumber listrik dengan membangun bendungan di sungai. Bendungan merupakan bangunan air yang dibangun melintang di sungai untuk meninggikan elevasi muka air. Air sungai yang permukaan di naikan akan melimpas melalui puncak bendung (overflow). Bendungan dapat digunakan untuk irigasi, perikanan, pengendalian banjir, dengan pasokan air bisa dimanfaatkan menjadi energi potensial yang bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Hal inilah yang digunakan oleh penulis sebagai bentuk kajian riset. Teknik yang digunakan pada penelitian ini adalah 1) Mencari nilai reliabel debit air menggunakan metode M.J Mock dan Kurva Durasi Aliran untuk probabilitas debit air, 2) Analisis Ekonomi pada perencanaan PLTMH. Berdasarkan temuan penelitian, analisis perhitungan debit air yang dapat diandalkan menggunakan Metode J. Mock didapat dengan nilai 4.78 m³/detik dan Metode Flow Duration Curve didapat nilai bersih debit aliran pada setiap turbin dengan nilai 4.89 m³/detik, Nilai kapasitas daya output adalah 623,32 KW. Analisis Ekonomi pada perencanaan PLTMH ini NPV1 bernilai negatif sebesar Rp 427.215.296.- dan NPV2 sebesar Rp 124.346.924.- nilai capital cost pada perencanaan tersebut sebesar : Rp. 1.619.015.640,-. Nilai IRR hasil penelitian tersebut didapat dengan nilai 84,65% dengan PBP dengan masa 3.44 Tahun. Dengan nilai 84,65 % pembangunan PLMTH Bendungan Sei Jepang dianggap menguntungkan.

Kata kunci: Debit Air, Analisis Ekonomi, PLTMH, Sungai Bandar Sei Jepang

ABSTRACT

The Japanese Bandar Sei River is one of the rivers in Tanjungbalai City with a width of 5.1 km and a width of 6 meters. The river flows into the Asahan River. River flows can be used as a source of electricity by building dams on rivers. A dam is a water structure built across a river to raise the water level. River water that is raised will overflow through the top of the weir (overflow). Dams can be used for irrigation, fisheries, flood control, with the water supply being used as potential energy that can be used as a micro-hydro power plant. This is what the author uses as a form of research study. The techniques used in this research are 1) Finding a reliable value of water discharge using the M.J Mock method and the Flow Duration Curve for the probability of water discharge, 2) Economic analysis on MHP planning. Based on the research findings, a reliable analysis of water discharge calculations using the J. Mock Method was obtained with a value of 4.78 m³/second and the Flow Duration Curve method obtained a net flow rate value for each turbine with a value of 4.89 m³/second, the value of the output power capacity was 623, 32 kW. Economic analysis on this PLTMH planning NPV1 has a negative value of Rp. 427,215,296.- and NPV2 of Rp. 124,346,924.- The value of capital cost in the planning is: Rp. 1,619,015,640,-. The IRR value of the research results was obtained with a value of 84.65% with PBP with a period of 3.44 years. With a value of 84.65%, the construction of the PLMTH Sei Dam in Japan is considered profitable.

Keywords: Water Discharge, Economic Analysis, MHP, Bandar Sei River Japan

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum wr. Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia serta hidayah-Nya kepada umat-Nya Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun umatnya beserta keluarga, sahabat dan umat Islam di seluruh dunia ini. Amiin.

Tulisan ini dibuat sebagai tesis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kemagisteran pada Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tesis ini adalah **“ANALISIS OPTIMALISASI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BENDUNGAN BANDAR SEI JEPANG KOTA TANJUNGBALAI”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tesis ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Dari itu penulis haturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tesis.
2. Bapak Ir. Eddy Warman., MT. selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis.
3. Bapak Dr. M. Fitra Zambak, S.T, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

4. Ibu Rohana, ST, MT. selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro
5. Bapak Dr. Ir. Suwarno. MT, selaku Dosen Penguji I yang telah banyak memberikan sumbangsih pikiran dan masukan pada tesis
6. Bapak Dr. Ir.Surya Hadi, M.Sc, selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan sumbangsih pikiran dan masukan pada tesis.
7. Bapak Yuda selaku Kepala Proyek Lapangan Bendungan Sei Jepang.
8. Bapak Devi selaku Supervisor Proyek Lapangan Bendungan Sei Jepang
9. Bapak Alfarizi Kepala Tata Usaha – Drafter Proyek Bendungan Sei Jepang
10. Hj. Nurhayati dan Ibu Saidah orang tua yang memberikan motivasi luar biasa dan doa dalam menyelesaikan tesis ini.
11. Novita RidhaWahyuni, S.Sos memberikan motivasi luar biasa dan doa untuk menyelesaikan tesis ini
12. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Program Pascasarjana, khususnya Program Studi Magister Teknik Elektro yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Atas semua bantuan yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Semoga kita semua oleh Allah senantiasa diberi sehat selamat jasmani rohani dari terhindar dari segala penyakit dan musibah, lancar urusan, banyak dapat rizki yang halal, baik yang datangnyanya dari pintu yang tidak disangka-sangka, tercapai segala apa yang dicita-citakan dan inginkan, lulus dalam segala ujian, diberi kekayaan baik harta, ilmu dan pangkat

yang tinggi serta sukses dunia akhirat. Semoga Allah mengabulkan. *Amin ya rabbal 'alamin.*

Akhir kata, penulis sadar dengan sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang konstruktif dari pembaca tetap penulis harapkan demi perbaikan dan sebagai bekal pengetahuan dalam penyusunan-penyusunan berikutnya. Akhirnya, semoga tesis ini bermanfaat bagi semua, khususnya bagi para mahasiswa pascasarjana dan bagi penulis pribadi, Amin.

Medan, September 2019

Penulis,

Muchsin Harahap

1720080003

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah	4
1.4. Rumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Manfaat Penelitian	5

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori	7
2.1.1. Bendungan Bandar Sei Jepang	7
2.1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Air	9
2.1.3. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air	9
2.1.4. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	10
2.1.5. Prinsip Kerja Tenaga Mikrohidro	11
2.1.6. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	13
2.1.6.1. Perencanaan Sipil	13

2.1.6.2. Perencanaan Mekanikal Elektrikal	25
2.1.7. Analisis Ekonomi (finansial) PLMTH	35
2.1.8. Produksi Energi Per Tahun (KWH)	37
2.1.9. Analisa Harga Pokok Produktif (HPP) Per KWH)	37
2.1.10. Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	38
2.1.11. Analisa Ekonomis PLTMH	38
2.2. Kenjain Penelitian yang Relevan	42
2.3. Kerangka Berpikir / Konseptual.....	43
2.4. Hipotesis.....	46

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian	47
3.2. Tempat Dan Waktu Penelitian	47
3.3. Populasi dan Sampel	47
3.4. Defenisi Operasional Variabel	48
3.5. Teknik Pengumpulan Data	48
3.6. Teknik Analisis Data	49

BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian	50
4.1.1. Deksripsi Data	50
4.1.2. Hasil Uji Persyaratan Analisis.....	64
4.1.3. Hasil Uji Hipotesis	67

4.2. Pembahasan.....	67
----------------------	----

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan	70
-----------------------	----

5.2. Saran	71
------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air	10
Tabel 2.2.	Daftar Sungai Kota Tanjungbalai	17
Tabel 2.3.	Jenis Turbin air berdasarkan tekanan air	27
Tabel 2.4	Jenis turbin air berdasarkan variasi kejatuhan air	28
Tabel 2.5	Efisiensi Turbin Pelton	30
Tabel 2.6	Efisiensi tambahan Turbin Pelton	30
Tabel 2.7	Efisiensi Turbin Francis dan Kaplan	30
Tabel 2.8	Efisiensi tambahan Turbin Francis dan Kaplan	30
Tabel 4.1.	Data curah hujan Kota Tanjungbalai 2010 – 2017.....	50
Tabel 4.2.	Data hari hujan Kota Tanjungbalai 2010 – 2017.....	51
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Debit Air Andalan Metode J. Mock	52
Tabel 4.4.	Hasil laju kecepatan air dengan Rumus Manning	54
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan FDC hasil debit bulanan sungai silau	57
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan FDC hasil 1 tahun sungai silau	59
Tabel 4.8	Nilai Kapasitas Daya Listrik Rencana PLMTH.....	60
Tabel 4.9	Energi yang dibangkitkan secara keseluruhan	61
Tabel 4.9	Estimasi Perencanaan PLTMH	64
Tabel 4.10.	Nilai NPV – IRR pada Perencanaan PLMTH	66
Tabel 4.11	Hasil menunjukkan nilai Payback Period	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Bentuk kontruksi Bendungan Bandar Sei Jepang	7
Gambar 2.2.	Prinsip kerja Pembangkit Lisitrik Tenaga Air Mikrohidro	12
Gambar 2.3.	Mengukur kecepatan Laju Air Sungai	13
Gambar 2.4.	Bak Penenang Bendungn Bandar Sei Jepang	15
Gambar 2.5.	Penstock Bendungan Bandar Sei Jepang.....	15
Gambar 2.6.	Jenis – Jenis Air Impuls	26
Gambar 2.7.	Jenis Turbin Air Reaksi	27
Gambar 2.8.	Diagram Aplikasi Berbagai Jenis Turbin	28
Gambar 2.9.	Site Plant Bentuk Kontruksi Turbin pada bendungan	29
Gambar 2.10.	Site Plant bentuk Turbin pada bendungan	29
Gambar 2.11.	Bentuk Konstruksi dan Name Plat Generator	33
Gambar 2.12.	Bentuk Kondisi Optimal maksimal dan optimal minimum	39
Gambar 2.13.	Bentuk Konsep Kerangka Berpikir	45
Gambar 4.1.	Rata – rata curah huran Kota Tanjungbalai 2010 – 2017	51
Gambar 4.2.	Rata – rata evapotranspirasi Kota Tanjungbalai	52
Gambar 4.3.	Debit Air Andalan dengan Metode J.Mock	54
Gambar 4.4.	Grafik Laju Kecepatan Air	56
Gambar 4.5.	Karakteristik Nilai Daya Output dari PLTMH	59
Gambar 4.6.	Karakteristik Nilai NPV – IRR pada Project dan Equity	59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan satu keputusan tentang peraturan mengenai kebijakan energi listrik untuk menurunkan penggunaan bahan bakar fosil untuk penyediaan listrik[1]. Dalam membantu program pemerintah melalui sektor ketahanan energi nasional dengan menurunkan tingkat karbondioksida (CO₂)[2]. Pada kenyataannya kebutuhan listrik adalah merupakan elemen dasar dalam perkembangan suatu negara. Perkembangan tersebut dapat dilihat dengan tingkat pertumbuhan penduduk dan konsumsi energi semakin besar listrik dibutuhkan[3]. Solusi sebagai alternatifnya, perlu dilakukan pemanfaatan sumber energi baru melalui sumber daya alam yang tersedia. Salah satu memanfaatkan potensi sumberdaya alam berupa air sungai yang banyak terdapat di seluruh Indonesia merupakan peluang besar untuk mengembangkan pembangkit listrik skala kecil bagi masyarakat.

Selain itu, proyek pembangkit listrik tenaga air dapat digunakan untuk penggunaan multiguna, seperti irigasi, perikanan, pengendalian banjir dan pasokan air dan mendapatkan akses ke layanan energi modern yang mendasar dalam memenuhi sosial dasar kebutuhan dan mendorong pertumbuhan ekonomi, serta berdampak pada produktivitas, kesehatan, pendidikan, air bersih dan layanan komunikasi[4].

Kota Tanjungbalai berada di kawasan Pantai Timur Sumatera Utara. Letak geografis Kota Tanjungbalai yaitu diantara $2^{\circ}58'15''$ - $3^{\circ}01'32''$ LU dan $99^{\circ}48'00''$ - $99^{\circ}50'16''$ BT dan 0 – 3 m dari permukaan laut yang berada diantara dan Sungai Silau dan Sungai Asahan yang menuju muara ke Selat Malaka[5].

Sumber daya alam sebagai tenaga energi terbarukan adalah air sungai yang bisa di jadikan tenaga alternatif, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Teknologi mikrohidro merupakan teknologi dengan skala kecil dengan menggunakan sumber daya air untuk mengubah potensi air menjadi daya listrik. Pengembangan mikrohidro perlu diperhatikan sebagai pilihan yang tepat untuk penyediaan energi listrik. Mikrohidro merupakan salah satu solusi, sebagai sumber daya alternatif yang penting dan menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil. Bahkan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro mampu menghasilkan daya hingga 100 kW. Namun, beberapa PLTMH di Indonesia dan termasuk juga di Kota Tanjungbalai menghasilkan kurang dari yang diharapkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimalisasi pembangkit listrik mikrohidro untuk menghasilkan daya yang optimal. Dan bentuk potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Indonesia terletak di Kota Tanjungbalai, adalah Sungai Silau. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro menggunakan energi kinetik air yang mengalir dari Sungai Silau yang dinamakan Sistem Aliran Sungai atau istilah Run of River (ROR)[3].

Kota Tanjungbalai memiliki luas daerah $107,83 \text{ km}^2$ dan penduduknya mencapai 171,178 jiwa pada tahun 2017, dengan pertumbuhan penduduk setiap tahunnya mengalami kenaikan sebesar 1,24% dari tahun 2010 dengan jumlah

penduduk 154.455 jiwa ke tahun 2017 dengan jumlah penduduk 171.178. Untuk konsumsi energi listrik Kota Tanjungbalai mengalami kenaikan tiap tahunnya sebesar 2,10% dari tahun 2009 dengan nilai jual 8.291.516 KWH dan tahun 2017 dengan nilai jual 17.360.553 KWH[6].

Kota Tanjungbalai memiliki 17 sungai dan 4 bendungan dengan ini merupakan begitu banyak potensi yang bisa dijadikan sumber energi alternatif dan tentunya bisa dijadikan itu perlu dilakukan perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang optimal secara ekonomi dengan mengoptimalkan daya output dan biaya konstruksi/ investasi pada pembangkit tersebut. Hal ini dikarenakan pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang bergantung pada sistem aliran sungai dan sistem model pengoptimalannya yang yang sering timbul dengan masalah optimisasi sulit diterapkan karena kompleksitas sistem. Pada perencanaan pembangkit tersebut perlu di sajikan model metode untuk memaksimalkan manfaat rasio biaya yang di keluarkan dimana metode tersebut untuk mengembangkan analisis ekonomi dengan menggunakan data biaya dan teknik estimasi biaya.

Dilihat dari uraian diatas menjadi dasar bagi penulis melakukan penelitian untuk membahas tentang : ***“Analisis Optimalisasi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bendungan Bandar Sei Jepang “***.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis pada penelitian tesis ini akan menguraikan identifikasi masalah dalam sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan PLMTH perlu dilakukan menganalisa sistem elektrikal dengan menghitung daya potensial air yang dibangkitkan oleh perencanaan PLMTH untuk menghasilkan daya output yang optimal
2. Perlu dilaksanakan kajian studi kelayakan ekonomis pada perencanaan sebagai optimalisasi perencanaan PLTMH tersebut.

1.3. Pembatasan Masalah

Untuk tidak menyimpang dalam penelitian ini, perlu dilakukan pembatasan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Optimalisasi yang dilakukan pada perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.
2. Data yang diambil dari penelitian ini merupakan dari BPS dari tahun 2010 – 2017, berupa data pertumbuhan penduduk, data penjualan energi, data dari Pemerintah Kota Tanjungbalai.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam tesis ini adalah :

1. Bagaimanakah optimalisasi daya output pada perencanaan PLTMH tersebut?

2. Bagaimana dampak optimalisasi dari aspek ekonomis dengan analisa Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Melakukan optimalisasi daya output yang dibangkitkan oleh PLMTH sesuai dengan generator.
2. Analisis ekonomis pada perencanaan sebagai optimalisasi perencanaan PLTMH tersebut.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini bisa diambil dilihat dari beberapa sisi adalah sebagai berikut :

Bagi Penulis :

1. Untuk mengetahui bentuk hasil sistem optimalisasi perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan metode yang diambil.
2. Menambah ilmu pengetahuan dibidang sistem optimalisasi dan diharapkan diaplikasikan pada masyarakat.

Bagi Univeristas :

1. Diharapkan bisa menambah pemikiran di bidang optimasi PLMTH.
2. Menambah referensi perpustakaan di bidang Magister Teknik Elektro.

Bagi Pemerintah/Masyarakat Kota Tanjungbalai :

1. Dapat melihat lebih dalam lagi, potensi air di wilayah Kota Tanjungbalai begitu banyak sehingga dapat dipertimbangkan sebagai energi alternatif untuk masyarakat.
2. Para pelaku bisnis swasta dapat memanfaatkan potensi air di wilayah Kota Tanjungbalai dan bisa di kombinasikan dari potensi energi alternatif lainnya dengan tujuan membantu masyarakat.
3. Membantu Pemerintah Kota Tanjungbalai pemanfaatan efisiensi energi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Bendungan Bandar Sei Jepang

Pembangunan Bendungan Bandar Sei Jepang dibangun pada tahun 2018. Dimana project pembangunan tersebut dikerjakan oleh PT. Utama Karya dimana perusahaan tersebut salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) di bidang Kontruksi terbesar di Indonesia. Perusahaan ini dengan sfesifikasi dibidang jasa kontruksi. Salah satu sub bidang tersebut adalah bidang pembangunan kontruksi dibidang pengairan[7].

Kota Tanjungbalai merupakan salah satu kota yang menuju pembangunan yang lebih baik dengan perubahan yang meningkat. Salah satunya adalah pelaksanaan pembangunan prasarana pengendalian banjir sungai asahan[8]. Bentuk pembangunan tersebut salah satunya adalah Bendungan Bandar Sei Jepang. Adapun bentuk pembangunan tersebut pada Gambar 2.1.



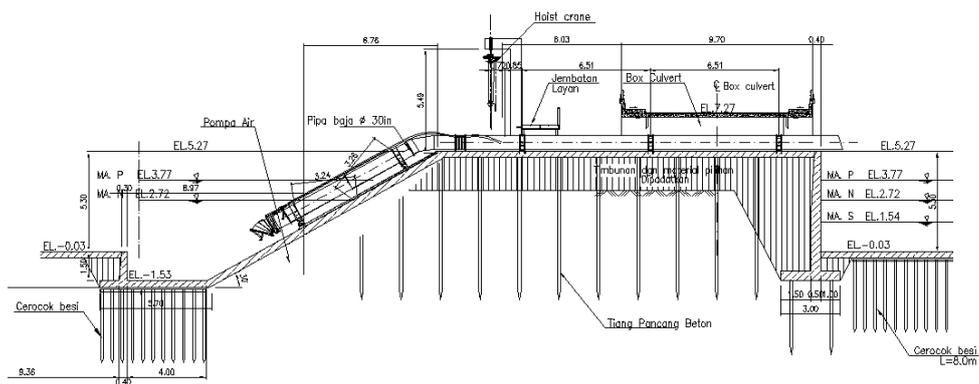
a. Lokasi Pembangunan Bendungan Bandar Sei Jepang Kota Tanjungbalai



b. Bendungan Bandar Sei Jepang Kota Tanjungbalai



c. Bentuk konstruksi bendungan Bandar Sei Jepang Kota Tanjungbalai



d. Bentuk site plant bendungan Bandar Sei Jepang Kota Tanjungbalai

Gambar 2.1. Bentuk konstruksi Bendungan Sei Jepang Kota Tanjungbalai

2.1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air banyak berkembang dalam berbagai jenis. Pada setiap proyek pembangunan pembangkit tenaga air, sudah tentu mempunyai sesuatu yang menarik perhatian, dan tidak biasanya didapati di proyek-proyek lain yang sama tipenya. Untuk itu untuk memudahkan pembahasannya mengenai pembangkit, perlu diadakan klasifikasi mengenai pembangkit dalam grup-grup yang berbeda. Dengan demikian suatu klasifikasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada aspek istimewa yang ditinjau klasifikasinya.

Dalam hal ini, pembangkit tenaga air dapat diklasifikasikan atas dasar lokasi, keadaan topografi, ada atau tidak adanya kolam penampungan, tinggi jatuh air, keadaan hidrolis pembangkitnya sendiri, dan sebagainya. Tentu saja untuk memberi pengertian yang lengkap dari setiap jenisnya, diperlukan berbagai keterangan dari setiap kategori. Suatu hal perlu di ingat, tidak seluruh klasifikasi mutlak dibutuhkan, misalnya ada atau tidak adanya kolam penampungan air, dan juga beberapa perhitungan dan analisis hidrolis mengenai pembangkit listrik tersebut. Sistem pengoperasian pembangkit ditentukan oleh sifat-sifat lainnya, sama halnya seperti ada atau tidak adanya kolam penampungan.

2.1.3. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Menurut Mosonyi, pembangkit listrik tenaga air mempunyai beberapa jenis klasifikasi. Tabel 2.1 menunjukkan bahwa klasifikasi hidro berdasarkan daya yang dihasilkannya klasifikasi pembangkit listrik tenaga air berdasarkan kapasitasnya adalah sebagai berikut [9]:

Tabel 2.1. Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air

Klasifikasi Pembangkit	Ketinggian Air	Daya yang di hasilkan
PLTA besar	> 250 Meter	> 100 MW
PLTA menengah	71 – 250 Meter	15 – 100 MW
PLTA kecil	50 – 70 Meter	1 – 15 MW
PLTM (mini hidro)	15 – 50 Meter	100 Kw - 1 MW
PLTMH (mikro hidro)	5 – 15 Meter	5 – 100 KW
Pico Hidro	< 5 meter	< 5 KW

2.1.4. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLMTH)

Sumber daya air berguna bagi manusia. Kegunaan air yang meliputi semua bidang kehidupan manusia baik itu bidang pekerjaan dan kehidupan. Jadi nilai kuantitas air yang tersedia merupakan hal yang penting. Ada juga sebagian manusia membutuhkan air pada waktu tertentu seperti dalam rumah tangga, dan ada juga penggunaan air lainnya membutuhkan air sepenuhnya salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga air. Energi listrik juga sangat penting peranannya dalam kehidupan manusia. Hal ini perlu adanya peranan dari pemerintah ataupun pihak swasta membangun untuk memanfaatkan sumber potensi air sebagai energi alternatif dengan menciptakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro .

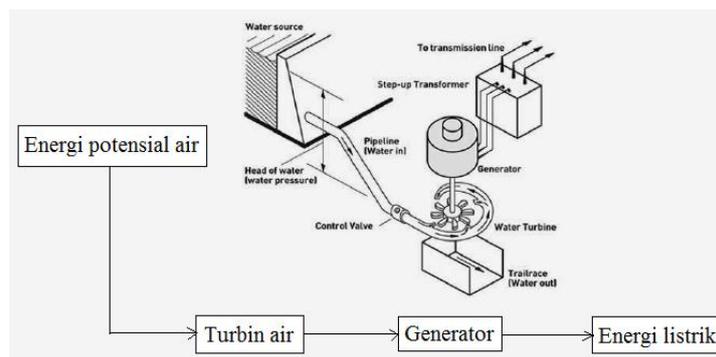
Pembangunan mikrohidro berdasarkan adanya air yang mengalir disuatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah tersebut dinamakan *flow capacity – head* [10]. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan jenis pembangkit listrik dengan kategori sumber Energi Baru Terbarukan. PLTMH bersumber energi listrik di luar energi berbasis fosil bagi masyarakat. Banyak keuntungan dari PLTMH memberikan bagi masyarakat Kota

Tanjungbalai, seperti contoh masyarakat yang tinggal di pinggir sungai atau bagian pelosok pedalaman. PLTMH bagi lingkungan tidak mengganggu kelestarian alam serta tidak mengeluarkan polusi udara ke lingkungan yang berdampak pada lingkungan sekitar[11].

Pembangunan mikrohidro tertuju kepada debit dan kecepatan air yang mengalir pada suatu tempat dengan ketinggian dan kapasitas tertentu. Ketinggian dan kapasitas yang dimaksud mengacu head dan flow pada daerah aliran sungai (DAS) tersebut. Secara pengertian dasar bahwa mikro artinya kecil dan hydro/hidro artinya air. Dalam prakteknya, bahwa PLTMH merupakan sumber energi baru terbarukan yang layak disebut sebagai *clean energy*[12]. Artinya bahwa PLTMH merupakan pembangkit dengan skala kecil (5 – 100 KW), dengan memanfaatkan aliran air sumber penghasil energi

2.1.5. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pada prinsipnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per/deti pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator yang akan menghasilkan energi listrik. Pada Gambar 2.2 merupakan sebuah skema 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].



Gambar 2.2. Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro

Keuntungan PLTMH mempunyai beberapa keuntungan diantaranya adalah :

- a. Sumber energi yang efisien :

Hanya dibutuhkan sedikit aliran untuk membuatnya untuk menghasilkan listrik dengan mikrohidro, listrik yang dihasilkan dapat digunakan kepada masyarakat

- b. Sumber listrik yang andal :

Terdapat pasokan energi listrik yang konstan dan berkelanjutan dari PLTA dibandingkan dengan teknologi energi terbarukan skala kecil lainnya.

- c. Tidak diperlukan reservoir :

Mikrohidro dianggap berjalan sebagai sistem 'run-of-river', ini berarti bahwa ketika air melewati turbin, ia dialihkan kembali ke sungai / aliran dengan dampak yang relatif rendah pada ekologi sekitarnya.

- d. Daya untuk negara-negara berkembang:

Memiliki keserbagunaan berbiaya rendah dan umur yang panjang, mikrohidro dapat digunakan oleh negara-negara berkembang dalam memberikan listrik ke desa-desa kecil dan masyarakat lewat mikro hidro.

- e. Integrasikan dengan jaringan listrik lokal:

Jika ada surplus produksi listrik, beberapa perusahaan dapat membeli listrik dan mengintegrasikannya ke jaringan. Mungkin juga ada kemungkinan menambah tingkat daya mikro hidro dengan asupan dari grid PLN.

f. Dampak lingkungan:

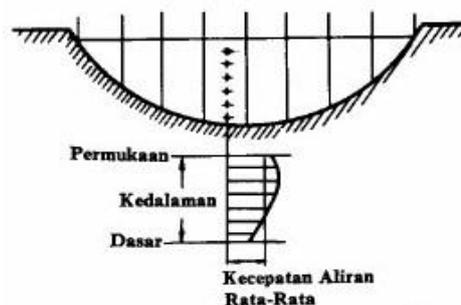
Dampak terhadap lingkungan diminimalkan dibandingkan dengan pembangkit listrik tradisional yang menggunakan bahan bakar fosil[14].

2.1.6. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

2.1.6.1. Perencanaan Sipil

1. Weir dan Intake (Dam/Bendungan Pengalih dan Intake)

Bendungan berfungsi sebagai pembatas yang dibangun melintas air sungai untuk mengubah karakteristik aliran sungai. Bendungan merupakan sebuah konstruksi yang lebih kecil yang berfungsi menggenangkan air dengan bentuk kolam. Air meluap akan melewati bagian atas pembatas sehingga mengalir kebawah dan aliran air pada bendungan tersebut tetap ada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung. Pada Gambar 2.3. merupakan laju kecepatan air pada bendungan dapat dilakukan dengan Metode Wier dengan menggunakan Rumus Manning.



Gambar 2.3. mengukur kecepatan laju air sungai

Adapun pada pengukuran kemiringan dari permukaan air; kemudian kecepatan aliran dihitung sebagai berikut :

$$V_m = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

V : Kecepatan air (aliran) rata-rata (m³/dtk)

R : Kari - jari hidrolis = A / P (m)

A : Luas penampang (m)

P : Tinggi kemiringan penampang (m)

I : kemiringan (gradient) permukaan air sungai

n : koefisien kekasaran (roughness)

2. Settling Basin (Bak Pengendap)

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.

3. Headrace (Saluran Pembawa)

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan

4. Headtank (Bak Penenang)

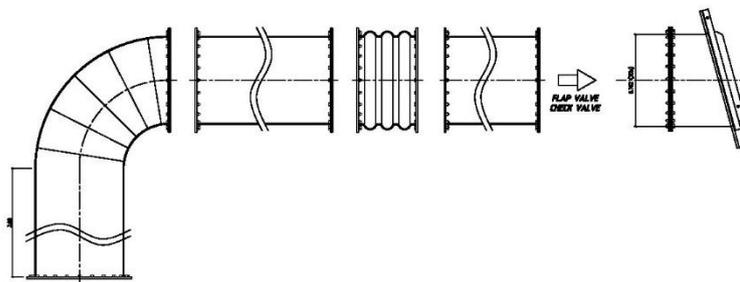
Gambar 2.4 merupakan bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah penstock dan *headrace*, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan.



Gambar 2.4. Bak Penenang Bendungan Bandar Sei Jepang

5. Penstock (Pipa Pesat/Penstock)

Gambar 2.5. berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau kolam tando menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin



(a). Bentuk konstruksi penstock dengan layout plant



(b). Bentuk fisik penstock

Gambar 2.5. Penstock Bendungan Bandar Sei Jepang

6. Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang adanya air dan gerakan air yang meliputi berbagai bentuk air yang menyangkut perubahan antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah[15]. Secara definisinya bahwa hidrologi dapat diartikan sebagai ilmu yang berkaitan dengan proses yang menyangkut masalah penyusutan dan penambahan sumber tenaga air di dan pada permukaan air. Dengan adanya uraian di atas selama proses hidrologi terjadi berubah menjadi siklus hidrologi.

Siklus hidrologi adalah rangkaian proses perpindahan air yang berada di permukaan bumi dari satu tempat berpindah ke tempat lainnya dan kembali ke tempat asal. Di dalam proses tersebut bersifat kondensasi. Dimana uap air berubah menjadi embun dan berubah kembali menjadi hujan atau salju. Curahan hujan (*precipitation*) turun ke bawah, ke daratan atau langsung ke laut. Air yang tiba di daratan kemudian mengalir di atas permukaan sebagai sungai, terus kembali ke laut. Curah hujan pada suatu wilayah, terdapat di dalam daerah aliran sungai (DAS), dalam hal ini sangat diperlukan untuk mengetahui mengenai informasi tentang pengaturan air irigasi, mengetahui neraca/debit air dalam suatu lahan dan untuk mengetahui besarnya aliran permukaan sungai tersebut (*run off river*)[16].

Pada dasarnya hidrologi berupa data yang diamati dan diukur mengenai semua segi pencurahan, pelimpasan, dan penelusan, pengaliran sungai, penguapan dan seterusnya yang akan menjadi peristiwa alam dan diteliti oleh ahli hidrologi dalam hubungannya dengan perencanaan teknik bangunan air.

Disisi lain Kota Tanjungbalai memiliki banyak sungai selain sungai besar silau dan asahan yang termasuk dalam wilayah, dan dapat Tabel 2.2 :

Tabel 2.2. Daftar Sungai Kota Tanjungbalai [5]

Nama Sungai	Panjang (Km)	Lebar (m)
Sungai Bandar Jaksa	8,2	10
Sungai Bandar Jepang	5,1	6,1 s/d 5,6
Sungai Bandar Sipoyong	6	6
Sungai Kanal Sultan	4	10,15
Sungai Giam I	6,5	6
Sungai Aek Noto	1,75	20
Sungai Parit Kangkung	1,5	20
Sungai Sei Giam II	2,35	6
Sungai Pantai Burung	4,25	25
Sungai Kapias	4,2	35
Sungai Tanjung Medan	6	30
Sungai Sarap	2,1	25
Sungai Daun Besar	1,5	25
Sungai Merbau	4,5	25
Sungai Rintis	2	25
Sungai Mata Halasan	1,2	3
Sungai Silau	7	125
Sungai Asahan	7,5	700

Seiring dengan perkembangan Kota Tanjungbalai, pemerintah kota membangun bendungan sungai untuk mengatasi banjir/ air pasang pasang pada sungai. Salah satunya Bendungan Bandar Sei Jepang yang aliran air sungai menuju ke sungai asahan.

7. Curah Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm. Curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah sebagai berikut.

a. Cara rata-rata aljabar

Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan. Adapun persamaan rumus :

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

di mana:

R : curah hujan daerah (mm)

n : jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan

R_1, R_2, \dots, R_n : curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

b. Cara Thiessen

Jika titik-titik pengamatan didalam daerah itu tidak tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan rata-rata itu dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Curah hujan daerah itu dapat dihitung dengan persamaan rumus :

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 \dots\dots\dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + A_3 \dots\dots\dots + A_n} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

R : curah hujan daerah (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n : curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n : Bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan (mm)

8. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah gabungan dari kata evaporasi dan transpirasi. Dalam hal ini maksud dari evaporasi adalah penguapan suatu proses perubahan dari air dalam keadaan cair atau padat menjadi gas (bentuk uap) dan membaur ke dalam atmosfer. Penguapan merupakan fungsi dari suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, satinitas air dan luas permukaan. Suhu dan kecepatan angin yang lebih tinggi cenderung meningkatkan laju penguapan, sedangkan kelembapan dan kadar garam. Sedangkan makna transpirasi adalah proses dimana air didalam permukaan tanah dipompa ke atas oleh perakaran tanaman dan selanjutnya di uapkan.

Kombinasi dari kata evaporasi dan transpirasi (ET) menyatakan tingkat kehilangan air pada sistem perakaran terlarut yang lebih besar cenderung menurunkannya. Rumus untuk menghitung banyaknya evapotranspirasi pada persamaan sebagai berikut[17] :

Blaney - Criddle

$$U = k . f \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

U : Banyaknya evapotranspirasi pada tiap bulan

- k : Koefesien jenis tanaman
- f : $\frac{(t + p)}{1000}$
- t : Suhu udara pada tiap bulan

9. Debit Air Andalan

Dalam ilmu hidrologi bahwa debit air sungai adalah tinggi permukaan sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Secara sederhana bahwa debit air sungai dapat diperoleh dari permukaan air sungai itu[17]. Untuk pengukuran debit air sungai sangat diperlukan untuk seberapa besar potensi sumber daya air disuatu wilayah. Untuk pengukuran debit air dilakukan tiap hari, dalam arti perubahan kondisi permukaan air sungai memakan waktu yang panjang untuk dapat mengetahui laju aliran sungai.

Debit sungai, yang merupakan data pokok untuk perencanaan pusat listrik tenaga air, harus diukur secara teliti dan dalam jangka waktu yang sepanjang mungkin. Ada beberapa cara untuk mengukur debit sungai:

- a. Kecepatan rata-rata dari aliran sungai pada suatu bagian dari penampangnya diukur, kemudian dikalikan dengan luas penampang pada bagian itu. Hasil perkalian luas penampang dengan kecepatan tersebut adalah debit sungai.
- b. Debit sungai diperoleh dari pengamatan tinggi permukaan air, dengan mempergunakan lengkung debit-tinggi-air di gardu pengukur.

Ada beberapa cara untuk mengukur kecepatan air yaitu :

- a. Pengukuran Debit Air dengan *Current Meter* atau Pelampung.

Pengukuran debit air dengan *current meter* atau pelampung disebut juga pengukuran dengan metoda kecepatan dan luas penampang aliran, karena yang diukur dalam metoda ini adalah kecepatan dan luas penampang aliran air. Debit air dapat dihitung dengan rumus[18] :

$$Q = (A \times V) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

Q : debit (m³/detik)

A : luas bagian penampang basah (m²)

V : kecepatan aliran air pada luas bagian penampang basah (m/detik)

Kecepatan aliran air diperoleh dengan meletakkan pelampung pada aliran air dan mencatat waktu (t) serta jarak (d) tempuh pelampung masing-masing dalam satuan detik dan meter. Kecepatan aliran air dihitung dengan rumus:

$$v = c \cdot (d / t) \dots \dots \dots (2.6)$$

Di mana:

v : kecepatan aliran air (m/dtk)

d : jarak tempuh pelampung (m)

t : waktu tempuh pelampung (dtk)

c : faktor koreksi, 0,75 atau 0,95 masing-masing untuk pelampung pada permukaan air atau cukup dalam di bawah permukaan air.

Metode F.J. Mock

Untuk menghitung debit andalan digunakan Metode. F.J. Mock. Untuk menggunakan metode ini perlu adanya data curah hujan, bentuk hidrologi daerah

pengaliran air sungai dan evapotranspirasi dihitung. Konsep dasar metode ini adalah air hujan yang jatuh pada daerah tertentu (*catchment area*) sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian lagi akan masuk kedalam tanah (*infiltrasi*), di mana infiltrasi pertamamata akan menjenuhkan *top soil*, kemudian menjadi perkolasi membentuk air bawah tanah (*ground water*) yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai aliran dasar (*base flow*). Sehingga dapat di artikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_n = \frac{A \cdot TRO \cdot 1000}{H \cdot 24 \cdot 3600} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

Q_n : Debit yang tersedia bulan n (m^3/s)

TRO : Total Limpasan (mm/bulan)

A : Luas DAS (km^2)

H : Jumlah hari dalam satu bulan perhitungan

Total Limpasan (TRO) dihitung dengan rumus :

$$TRO : BSF + DRO + SRO \dots \dots \dots (2.8)$$

$$BSF : i - (GWS - IGWS) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$GWS = 0,5 \times (1+k) \times i + k \times IGWS \dots \dots \dots (2.10)$$

$$DRO : WS - i \dots \dots \dots (2.11)$$

$$WS : (P - ET_o) - SS \dots \dots \dots (2.12)$$

$$SS : SM_n - SM_{n-1} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$SM : SMC \text{ jika } (ISM + (P - ET_o)) > SMC \dots \dots \dots (2.14)$$

$$SM : (ISM + (P - ET_o)) \text{ jika } (ISM + (P - ET_o)) < SMC$$

$$i : WS \times if \dots\dots\dots (2.15)$$

$$SRO : P \times PF \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

TRO : *total runoff* / aliran total (mm/bln)

BSF : aliran dasar (mm/bln)

DRO : aliran langsung (mm/bln)

SRO : *storm run off* (mm/bln)

GWS : *ground water storage* (mm/bln)

IGWS : *initial ground water storage* (mm/bln))

K : koefisien resesi air tanah

WS : *water surplus* (mm/bln)

SS : tampungan tanah (*soil storage*)

P : hujan (mm/bln)

Eto : evapotranspirasi potensial (mm/bln)

SMn : *soil Moisture* (mm)

SMn-1 : *soil Moisture* bulan sebelumnya (mm)

10. Flow Duration Curve

Menurut Searcy (1959), kurva durasi aliran (*flow duration curve*) atau disingkat denan FDC merupakan kurva frekuensi komulatif yang menunjukkan persen waktu dimana suatu debit dapat melampaui atau menyamai periode yang digunakan. Data yang digunakan dalam perhitungan FDC tidak selalu data harian tetapi bisa menggunakan data mingguan ataupun bulanan. *Flow duration curve*

(FDC) merupakan grafik hubungan antara debit dan frekuensi terlampaui, dengan mengurutkan data *complete duration series* atau data harian dari terbesar sampai terkecil sehingga diperoleh frekuensi terlampaui pada setiap nilai.

Flow Duration Curve (FDC) merupakan suatu teknik plot untuk menunjukkan hubungan antara nilai dari sebuah besaran dengan terjadinya frekwensi. Pada penelitian ini FDC di lakukan untuk memperlihatkan bentuk hasil dari debit air pada sungai silau.

Untuk membuat Flow Duration Curve menggunakan rumus persamaan Weibull sebagai berikut :

$$P (X \geq x) = \frac{m}{n + 1} 100 \% \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

P : Probabilitas proses terjadinya variabel X (debit) yang sama

m : Peringkata data

n : Jumlah Data

($X \geq x$) : Debit andalan jika probabilitas sesuai dengan peruntukan nilai 0.8

11. Tinggi Kejatuhan Air (Head)

Pengukuran tinggi jatuh air diantara lokasi air dengan lokasi turbin di lakukan secara pengukuran manual mengguakan meteran dengan metode *spirit level and string* (papan water pass). Sebuah metode yang lebih sederhana dari pada ini disebut survei tiang. Dalam hal ini pengambilan data untuk pengukuran head secara langsung karena tidak memakan jarak yang cukup panjang[19].

2.1.6.2. Mekanikal Elektrikal

1. Turbin Air

a. Klasifikasi

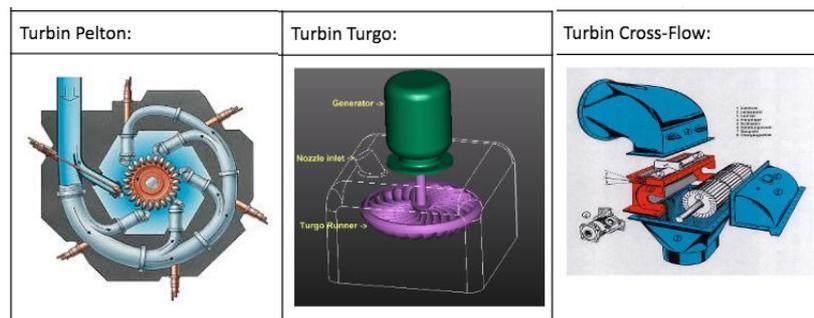
Turbin air dikembangkan pada abad ke-19 dan banyak digunakan untuk tenaga industri sebelum jaringan listrik. Sekarang mereka sebagian besar digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air banyak ditemukan di bendungan, irigasi, air terjun. Prinsip dasar turbin air adalah konversi energi potensial pada air kedalam energi mekanik pada turbin, yang dihubungkan pada generator yang menghasilkan daya listrik. Turbin air terbagi 2 jenis turbin yaitu :

a. Turbin Impuls :

Turbin ini dibuat sedemikian sehingga rotor (runner) bekerja karena aliran air; di sini beda tinggi diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi. Yang khas dari jenis ini adalah turbin Pelton, dengan pasangan buckets pada keliling luar rotor yang bekerja karena pancaran air (jet discharge) dari mulutnya (nozzle).

Cara Kerja Turbin Impuls :

Turbin yang digerakkan oleh jet berkecepatan tinggi (atau beberapa jet) air. Turbin impuls biasanya lebih murah daripada turbin reaksi karena tidak perlu casing khusus. Tidak juga untuk jarak bebas yang direkayasa dengan hati-hati, tetapi mereka juga hanya cocok untuk kepala yang relatif tinggi. Turbin impuls ini dibagi atas tiga jenis yaitu turbin *Pelton* , *Turgo* , dan *Crossflow* yang terlihat pada Gambar 2.6 .



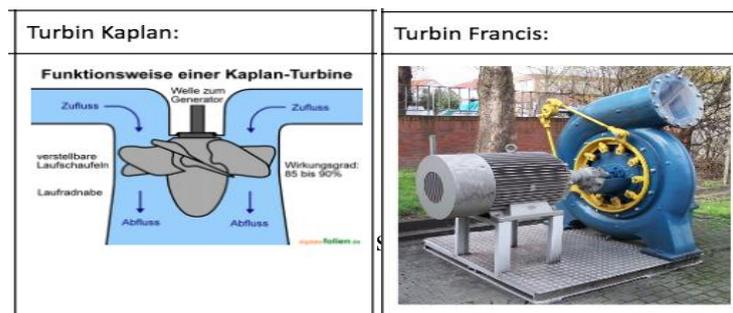
Gambar 2.6 Jenis Turbin Air Impuls

b. Turbin Reaksi :

Turbin jenis ini dibuat sedemikian sehingga rotor bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun karena tekanan. Yang termasuk jenis ini adalah turbin Francis, turbin aliran diagonal (diagonal flow), dan turbin baling-baling (propeller)

Cara Kerja Turbin Reaksi :

Turbin reaksi berputar lebih cepat daripada turbin impuls dengan kondisi head dan aliran yang sama. Dimana rotor dari turbin reaksi sepenuhnya berada didalam air dan ditutup dalam selubung bertekanan. Ini memiliki konsekuensi yang sangat penting bahwa turbin reaksi sering dapat dikompilasi langsung ke alternator tanpa memerlukan sistem penggerak yang meningkatkan kecepatan. Dua jenis turbin reaksi utama adalah turbin propeller (dengan varian Kaplan) dan Turbin Francis menggunakan energi kinetik dan tekanan dikonversikan di geraknya (runner) yang terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jenis Turbin Air Reaksi

Tekanan air pada turbin air juga diperhatikan, untuk pemilihan tersebut agar tidak salah pilih. Jenis turbin air berdasarkan tekanan air pada Tabel 2.3

Tabel 2.3. Jenis Turbin air berdasarkan tekanan air

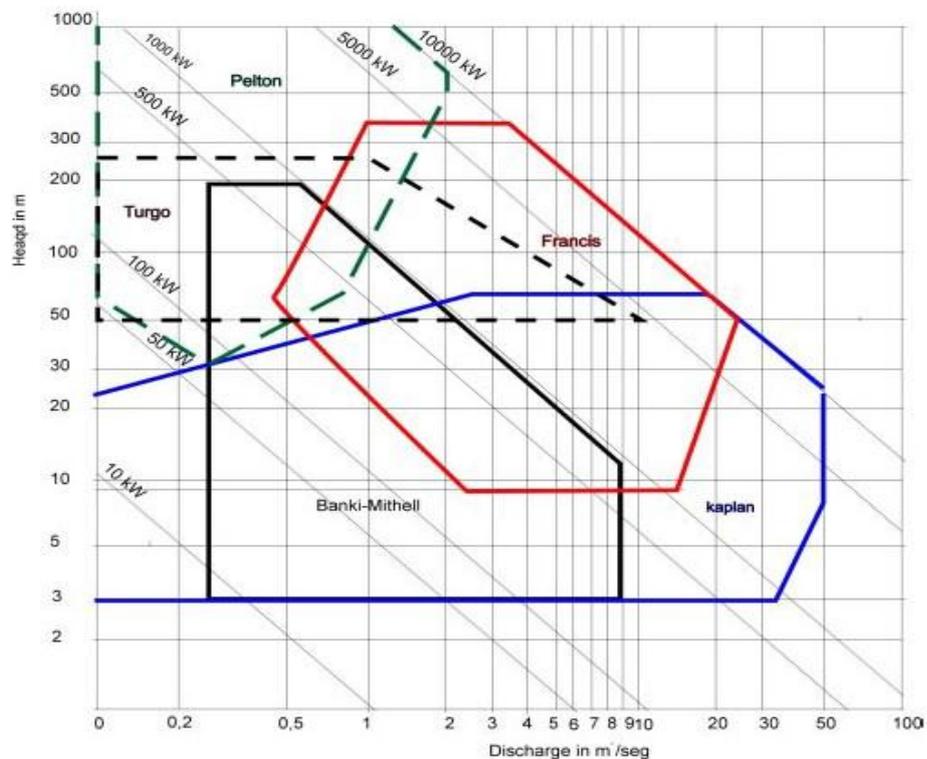
Jenis Putaran Turbin	Head Preasure		
	High	Medium	Low
Impulse	Pelton Turgo Multi-Jet Pelton	Crossflow (Michel/Banki) Turgo Multi-Jet Pelton	Crossflow (Michel/Banki)
Reaction		Francis Pump As Turbine (PAT)	Propeller Kaplan

Pemilihan dan pengaturan turbin secara optimal sangat penting untuk nilai operasional dan ekonomisnya. Pada Tabel 2.4 merupakan jenis pemilihan turbin air berdasarkan kejatuhan air (head), dan Gambar 2.8 merupakan grafik pemilihan jenis turbin berdasarkan variasi kejatuhan air dan daya yang di bangkitkan. Sedangkan Gambar 2.9, Gambar 2.10 merupakan bentuk site plant dan kontruksi turbin.

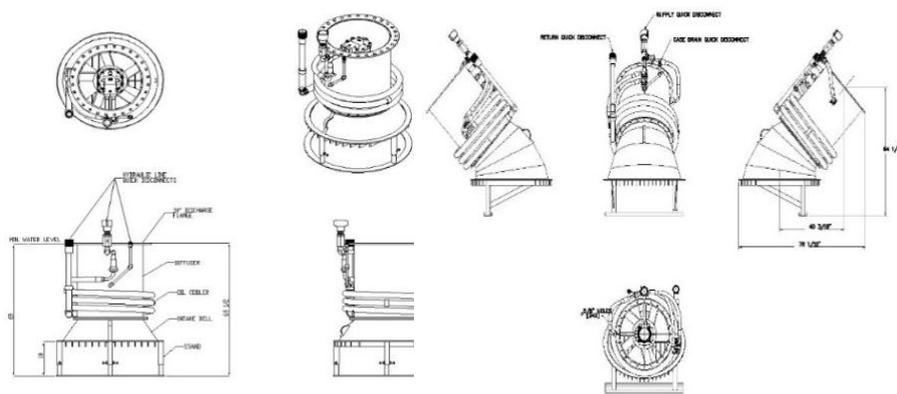
Tabel 2.4 Jenis turbin air berdasarkan variasi kejatuhan air

JENIS TURBIN	VARIASI HEAD (M)
Kaplan dan Propeller	$2 < h < 20$
Francis	$10 < h < 350$
Pelton	$50 < h < 1000$
Crossflow	$6 < h < 100$
Turgo	$50 < h < 250$

Turbin air yang digunakan berdasarkan variasi head serta disesuaikan dengan jenis kapasitas daya yang mampu di bangkitkan oleh turbin tersebut.



Gambar 2.8 Grafik diagram aplikasi berbagai jenis turbin pemilihan turbin



Gambar 2.9 Site Plant bentuk konstruksi turbin pada bendungan



Gambar 2.10 Site Plant bentuk konstruksi turbin pada bendungan

b. Efisiensi

Setiap jenis turbin dan setiap kecepatan jenis masing-masing mempunyai lengkung efisiensi yang berbeda-beda. Untuk turbin Pelton, perubahan kecepatan tidak akan mempengaruhi debitnya. Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran pada nozle pancaran akan berubah sesuai dengan berubahnya kecepatan. Pada turbin Francis, perubahan kecepatan akan sedikit mempengaruhi debitnya. Perubahan debit yang sangat kecil ini sesuai dengan kecepatan jenis dari turbin yang terlihat pada Tabel 2.5 sampai Tabel 2.8.

Tabel 2.5 Efisiensi Turbin Pelton

Diameter Total / Diameter Pacaran	8	10	12	16
Daya Maksimum (%)	85	85	87,5	87,5
Efisiensi Maksimum (%)	86	88,5	89,5	89,5

Tabel 2.6 Efisiensi tambahan Turbin Pelton

Daya Maksimum (%) / Nozle	500	1000	2500	10000	30000
Efisiensi Tambahan (%)	-1,0	-0,5	0,5	1,0	1,5

Tabel 2.7 Efisiensi Turbin Francis dan Kaplan

η	60	90	120	150	190	250	300	350	400
Daya Maksimum (%)	85,5	88	89	89,2	89,2	88,5	87,5	88	88,8
Efisiensi Maksimum (%)	89	90	91	91,2	91,2	91	90,5	90,5	90,8

Tabel 2.8 Efisiensi tambahan Turbin Francis dan Kaplan

Daya Maksimum (kW)	1000	2500	5000	10000	30000	60000	100000
Efisiensi Tambahan (%)	-2,5	-1,5	-0,5	0	0,5	1,0	1,5

2. Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan pada desain PLTMH ini adalah:

1. Generator sinkron, sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) dengan penggunaan dua tumpuan bantalan (*two bearing*)
2. *Induction Motor as Generator* (IMAG) sumbu vertikal, yang umumnya digunakan bersama turbin PAT dan turbin propeller *open flume*.

Spesifikasi generator adalah putaran 1500 rpm, 50 Hz, 3 fasa dengan keluaran tegangan 220 V/380 V. Efisiensi generator secara umum adalah:

1. Aplikasi < 10 kVA, efisiensi 0,7 – 0,8
2. Aplikasi 10 – 20 kVA, efisiensi 0,8 – 0,85
3. Aplikasi 20 – 50 kVA, efisiensi 0,85
4. Aplikasi 50 – 100 kVA, efisiensi 0,85 – 0,9
5. Aplikasi > 100 kVA, efisiensi 0,9 – 0,95.

a. Generator Sinkron

Generator Sinkron kutub-kutub pembangkit medan magnet (rotor) berputar terhadap jangkar (stator). Selama rotor berputar terjadi perubahan fluks medan magnet yang membangkitkan energi listrik yang dikenal sebagai gaya gerak listrik (GGL). Arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan dialirkan oleh kawat-kawat yang dihubungkan langsung dengan lilitan (kumparan) jangkar. Untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan magnet dapat diperoleh dengan 2 cara :

1. Rotor generator sinkron merupakan magnet permanen.
2. Mengalirkan arus searah (DC) ke rotor untuk membangkitkan medanmagnet pada kumparan medan, biasanya diberikan oleh mesin penguat yang terpisah ke rotor melalui cincin.

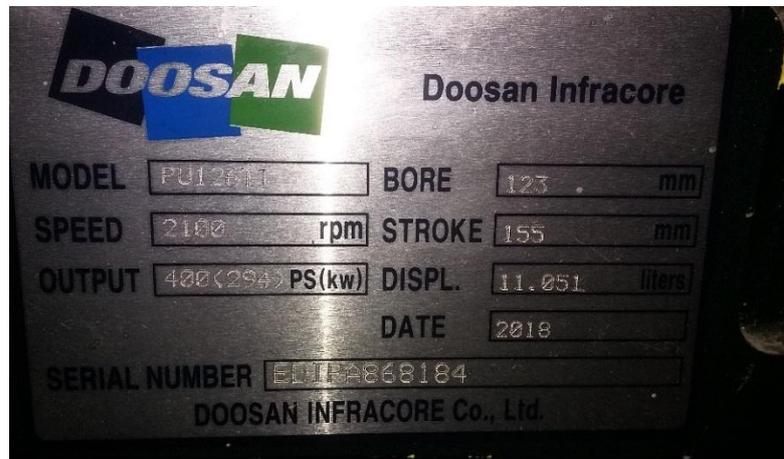
Kapasitas sebuah generator dinyatakan dalam Volt-Ampere atau VA. Sebuah generator harus memiliki kapasitas (Volt-Ampere) yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pada saat beban maksimum. Efisiensi generator sinkron umumnya meningkat sebanding dengan kapasitasnya, dari 65% untuk daya 1 KVA sampai 90% untuk daya 20 KVA. Generator yang dipakai disesuaikan dengan sistem arus bolak-balik yang dipilih, apakah sistem satu fasa atau tiga fasa.

b. Generator Asinkron

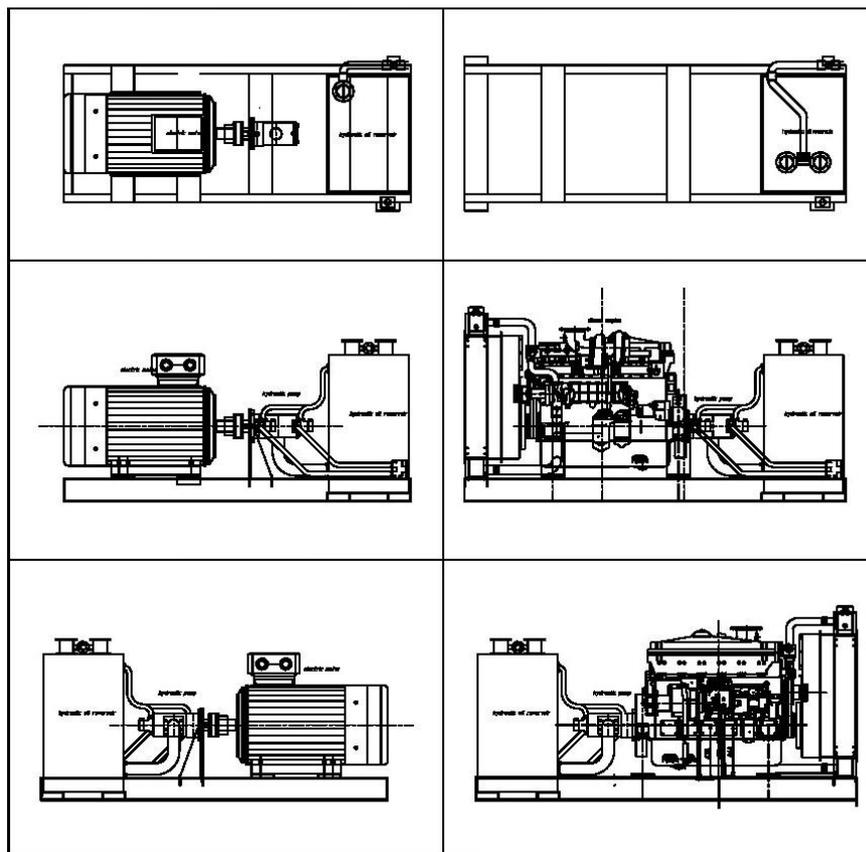
Penggunaan generator asinkron (generator induksi) sebagai pembangkit listrik pada PLTMH dengan kapasitas yang kecil lebih *reliable* (handal) dibandingkan bila menggunakan generator sinkron. Biasanya sebagai generator asinkron digunakan motor induksi. Motor induksi sebagai generator sebenarnya merupakan teknologi yang sudah tidak asing lagi didunia PLTMH. Biasanya sistem ini di sebut "*Induction Motor as Generator*" atau IMAG. Di Indonesia kemungkinan pengembangan teknologi ini terbuka lebar setelah adanya sistem kontrol beban elektronik IGC (*Induction Generator Controller*). Sistem IMAG (*asynchronous*) jika dibandingkan dengan sistem *synchronous* (generator sinkron) memiliki beberapa keunggulan yang sangat berarti untuk proyek-proyek PLTMH, terutama dengan kapasitas sampai 30 KW. Keunggulan utamanya antara lain [13]:

1. Harga lebih murah dibanding generator sinkron
2. Produk memenuhi standar industri sehingga daya tahan lebih terjamin
3. Tersedia dalam beberapa ukuran mulai dari 1 KW - 100 KW
4. Tersedia dengan tiga ukuran putaran (1000, 1500, dan 3000 rpm)
5. sehingga lebih mudah untuk disesuaikan dengan putaran turbin
6. Motor tiga fasa dapat dipasang dengan sistem satu fasa tanpa perubahan apapun pada motor.

Generator yang pada pembangunan bendungan tersebut terdapat ruang power house dengan tempat generator terlihat pada Gambar 2.11.



a. Bentuk Name Pleate Generator



b. Bentuk site plant generator

Gambar 2.11. Denah ruangan generator dan bentuk konstruksi generator

2.1.6.3. Potensi Daya Yang Dibangkitkan PLTMH

Pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (power) yang pada potensi daya mikrohidro didukung dengan komponen pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yaitu :

- a. Potensi debit air yang cukup (Q liter/detik)
- b. Beda Tinggi Head (meter)
- c. Gravitasi (9,8 m/detik)

Dengan prinsip pembangkit tenaga air mikrohidro adalah perubahan energi mekanik menjadi tenaga listrik yang dihasilkan dari turbin dan generator. Pada penelitian ini tinggi kejatuhan air dengan nilai maksimum adalah H (head) satuan meter (m), maka dengan debit air maksimum pada turbin adalah Q (m³/s). Untuk itu diperlukan nilai efisiensi turbin (η_T) dan efisiensi generator (η_G) maka dengan diketahui :

Jika ketiga kebutuhan sudah didapat maka, sudah bisa menghitung daya output generator PLTMH tersebut dengan rumus dibawah ini :

$$\text{Daya Teoritis} = 9.8 \times Q \times H \times \eta; \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{Daya Turbin} = 9.8 \times Q \times H \times \eta_T; \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Daya Genertator} = 9.8 \times Q \times H \times \eta_G; \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

P : Daya (kW)

- Q : Debit aliran (m^3/s)
- H : Head net (m)
- 9.8 : Konstanta gravitasi
- η : Efisiensi keseluruhan
- η_G : Efisiensi Generator
- η_T : Efisiensi Turbin

2.1.7. Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pada dasarnya, perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini berkerja dengan sistem aliran sungai atau Run-of-River (RoR). Dimana pembangkit ini mempunyai peranan penting untuk membantu kebutuhan masyarakat. Selain itu pembangkit ini ramah lingkungan dan bentuk investasinya tidak terlalu besar. Untuk itu diperlukan optimalisasi perencanaan pada pembangkit[4].

Optimalisasi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan salah satu masalah dalam analisa daya output belum optimal pada pembangkit yang berperan penting dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro atau pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang telah ada. Optimalisasi perencanaan pembangkit memberikan banyak informasi yang antara besar daya pembangkitan dan analisa ekonomi pada perencanaan pembangkit tersebut[20].

Banyak model metode optimalisasi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Namun dalam penelitian ini penulis menggunakan model dan metode

Maksud dan tujuan metode yang digunakan untuk dikembangkan berdasarkan analisis ekonomi menggunakan data biaya dan teknik estimasi biaya.

Regresi Linier Berganda

Regresi Linier Berganda menjelaskan sebuah model yang digunakan menganalisis hubungan antar variable dalam bentuk persamaan yang menghubungkan variabel terikat (Y) dengan beberapa variabel bebas (X). Tujuan dari uji regresi linier berganda adalah untuk memprediksi nilai variable tak bebas/ response (Y) apabila nilai-nilai variabel bebasnya/ predictor (X_1, X_2, \dots, X_n) diketahui[21]. Adapun rumus persamaan (2.21) regresi linier berganda secara matematik sebagai berikut

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

Y = Variable tak bebas (nilai variabel yang akan diprediksi)

β_0 = Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ = Nilai koefisien regresi

X_1, X_2, \dots, X_n = Variable bebas

Pada penelitian ini menggunakan regresi linier berganda 3 variabel. Jadi dengan ini menggunakan rumus persamaan (2.22)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \dots\dots\dots (2.22)$$

2.1.8. Produksi Energi per tahun (KWH)

Produksi energi per tahun dapat dihasilkan dari perhitungan hasil perkalian jumlah daya dibangkitkan (kW) dengan waktu yang diperlukan (t) selama satu tahun (8760 jam) dengan factor daya PF. Hal ini dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut [22]:

$$\text{Energi/tahun} = P_{net} \times 8760 \times PF \quad (kWh) \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

P_{net} : Daya yang di hasilkan (kW)

8760 : Jumlah Jam dalam 1 tahun

PF : Faktor daya (0,96)

2.1.9. Analisis Harga Pokok Produksi (HPP) per Kwh

Harga pokok produksi per kWh dapat dihasilkan dengan menghitung semua biaya modal (Cannual) per tahun, biaya operasi dan pemeliharaan (O+M) per tahun suatu pembangkit dibagi dengan produksi energi per tahun (8760 jam) kWh. Hal ini dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut [22]:

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{\frac{C_{annual}}{th} + (O + M)}{P_{net} \times 8760 \times PF} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

HPP : Harga Pokok Produksi

Cannual : Biaya Modal (Investasi)

Th : Tahun

M : Biaya Operasi dan Perbaikan

2.1.10. Analisis Ekonomi PLMTH

Analisis ekonomi MHP berupaya untuk menilai dampak keseluruhan proyek terhadap peningkatan kesejahteraan ekonomi dalam konteks nasional. Ini mengukur semua dampak positif dan negatif proyek, yang mungkin berwujud dan tidak berwujud. Pembangunan berkelanjutan juga memperhatikan masalah distribusi seperti penerimaan sosial. Analisis risiko dan sensitivitas diterapkan ketika menguji proyek untuk efisiensi yang produktif dan yang dialokasikan. Untuk membangun suatu proyek, penting dilakukan analisa untuk investasi proyek tersebut, sehingga diketahui kelayakan suatu proyek dilihat dari sisi analisa ekonomi. Diaman investasi pada proyek pembangkit, membutuhkan biaya investasi yang cukup besar, untuk itu diperlukan anggaran untuk mengetahui komponen – komponen penting pada pembangkit.

1. Konsep Efisiensi, Efektivitas Dan Optimalisasi

Memahami konsep efisiensi, efektivitas, dan optimalisasi dengan baik sangat dibutuhkan dalam melakukan analisis dari suatu rancangan teknik, karena pemahaman konsep yang salah tidak akan memberikan hasil analisis yang tajam dan bermanfaat. Adapun pengertian dari masing-masing konsep tersebut adalah sebagai berikut.

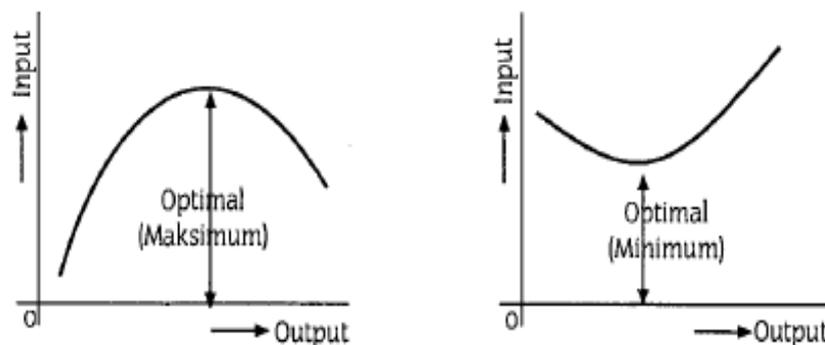
1. Efektivitas adalah ukuran tingkat keberhasilan dalam mencapai suatu tujuan. Semakin sempurna atau baik pencapaian tujuan, artinya semakin efektif proses tersebut dilakukan.

2. Efisiensi adalah ukuran tingkat penghematan pemakaian sumber daya (input) dalam suatu proses, di mana semakin hemat memakai sumber daya, maka akan semakin efisien proses tersebut dilakukan.
3. Produktivitas adalah suatu ukuran yang menjelaskan seberapa besar rasio antara tingkat pencapaian tujuan dengan pemakaian sumber daya. Hal ini dapat di artikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Produktivitas = \frac{Efektivitas}{Efisiensi} = \frac{Out - Put}{In - Put} \dots \dots \dots (2.26)$$

4. Optimal adalah suatu nilai yang terbesar ataupun terkecil akibat adanya hubungan yang tidak linear antara dua variabel yang berpengaruh.

Kondisi yang optimal ini selalu menjadi tujuan diperbaikinya sistem produksi secara terus-menerus dengan berbagai variabel tinjauan. Pada Gambar 2.12 salah satu bentuk contoh hampir dalam semua sistem industri akan menghasilkan hubungan Output – Input tidak selalu linear sehingga akan menghasilkan kondisi optimal.



Gambar 2.12. Bentuk kondisi optimal maksimal dan optimal minimum

Suatu rancangan teknik yang baik seharusnya memperhatikan prinsip-prinsip efisiensi, efektivitas, dan produktivitas rancangannya dengan mencari kondisi yang optimal dari setiap variabel yang berpengaruh terhadap rancangan[23].

2. Cash Flow

Cash flow adalah tata aliran uang masuk dan keluar per periode waktu pada suatu perusahaan. Cash flow terdiri dari:

- a. Cash-In (uang masuk), umumnya berasal dari penjualan produk atau manfaat terukur (benefit);
- b. Cash-Out (uang keluar), merupakan.kumulatif dari biaya-biaya (cost) yang dikeluarkan.

Cash flow yang dibicarakan dalam ekonomi teknik adalah cash flow investasi yang bersifat estimasi/prediktif. Karena kegiatan evaluasi investasi pada umumnya dilakukan sebelum investasi tersebut dilaksanakan, jadi perlu dilakukan estimasi atau perkiraan terhadap cash flow yang akan terjadi apabila rencana investasi tersebut dilaksanakan. Dalam suatu investasi secara umum, cash flow akan terdiri dari empat komponen utama, yaitu:

- a. investasi;
- b. operational cost;
- c. maintenance cost;
- d. benefit/manfaat.

3. Net Present Value (NPV)

NPV adalah nilai jumlah keseluruhan dari biaya total atau pendapatan total proyek dilihat dengan nilai sekarang (nilai pada awal proyek). Rumus dari NPV dapat di tulis sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - COF \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

- k : Suku bunga (*Discount rate*)
- COF : *Cash ou tflow*/ Dana Investasi
- CIF_t : *Cash in flow*/ Dana Aliran Masuk
- N : Tahun

4. Internet Rate Of Return (IRR)

IRR merupakan metode untuk mencari tingkat suku bunga untuk membandingkan nilai sekarang dari arus kas yang di harapkan di masa yang akan datang atau penerima kas, dengan mengeluarkan innvestasi awal. Rumus IRR dapat ditulis sebagai berikut :

$$IRR = I_r + \frac{NPV_r}{NPV_r - NPV_t} \times (I_t - I_r) \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

- I_r : Bunga Rendah
- I_t : Bunga Tinggi
- NPV_r : NPV Bunga rendah
- NPV_t : NPV Bunga tinggi

5. Payback Periode (PBP)

Payback period dapat diartikan dengan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biaya investasi. Penilaian investasi dengan metode ini di dasarkan dengan lamanya investasi tersebut dapat tertutup dengan kas masuk.

Rumus PBP dapat ditulis sebagai berikut:

$$PBP = \frac{\text{Investement Cost}}{\text{Cash In Flow}} \dots\dots\dots (2.29)$$

dimana :

Investment Cost : Besarnya investasi Awal Proyek

Cash In Flow : Dana Aliran Masuk

2.2. Kajian Penelitian Yang Relevan

Analisis ekonomis menjadi peran penting pada pembangkit listrik. Pada PLTMH biaya untuk listrik ditentukan pada analisis biaya siklus tahunan yaitu sebagai parameter utama dalam sistem tenaga mikrohidro.

KH. S. Karimov, M. Abid[24] dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa biaya energi listrik dari pembangkit mikro yang terpasng di Tajikistan dan Pakistan dengan rata – rata 3 – 10 cent/kwh. Biaya pembangkit listrik tenaga mikro dapat dikurangi dengan menggunakan teknologi canggih, generator dan turbin yang hemat biaya karena ini adalah bagian yang paling mahal di MHP dan dengan mengendalikan biaya konstruksi. Demikian pula biaya dapat dikendalikan dengan menggunakan motor induksi sebagai generator dan pompa sebagai turbin. Perhitungan biaya listrik yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dianggap sebagai biaya internal. Perhitungan listrik tenaga air juga harus mencakup biaya

eksternal termasuk lingkungan (biaya risiko kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia akibat pencemaran) dan biaya non-lingkungan (biaya terkait dengan pekerjaan, aspek keamanan dll)

António Roque, Duarte M. Sousa[25] dalam penelitiannya menyatakan bahwa aspek ekonomi dari pembangkit listrik mikrohidro yang diusulkan dianalisis untuk berkontribusi untuk cara menghubungkan pembangkit mikro-hidro ke jaringan listrik AC mempertimbangkan dua skenario yang berbeda; investasi berdasarkan pada solusi teknis yang efisien, akurat dan tersedia yang memungkinkan produksi energi listrik untuk konsumsi sendiri atau untuk dimasukkan ke dalam jaringan AC konvensional. Analisis yang dilakukan jelas menunjukkan aspek kuat dan lemah dari solusi yang diusulkan, tidak hanya dari sudut pandang teknologi, tetapi juga, mempertimbangkan masalah ekonomi dan evolusi dan perubahan yang dapat terjadi di pasar energi di tahun-tahun mendatang.

Mohammad Umar dan Anwar Hussain[26] dalam penelitiannya menyatakan ini didasarkan pada data primer yang dikumpulkan melalui kuesioner. Studi ini penting karena melakukan analisis keuangan dan ekonomi dan analisis lingkungan tenaga mikrohidro untuk pertama kalinya di Pakistan. Untuk mengetahui kelayakan proyek MHP, NPV, IRR, BCR, dan Pay Pay Period digunakan dan semua ini disukai proyek yang sedang dipertimbangkan. Pengeluaran bulanan untuk minyak tanah adalah Rs 525 untuk rumah tangga yang terhubung dengan WAPDA sedangkan hanya Rs 350 untuk rumah tangga yang terhubung dengan MHP. Pengeluaran bulanan untuk LPG adalah Rs 1462 untuk WAPDA dan Rs 1000 untuk rumah tangga yang terhubung dengan MHP. Selain

itu, pengeluaran bulanan untuk sumber energi alternatif adalah Rs 1750 untuk WAPDA dan Rs 532 untuk rumah tangga yang terhubung dengan MHP. Diperkirakan bahwa listrik yang disediakan oleh MHP untuk rumah tangga lebih murah daripada listrik WAPDA.

R. Carimi dan J.D Lima[27] mengemukakan bahwa analisis kelayakan ekonomi yang ditingkatkan menjadi sangat diperlukan untuk proyek investasi dengan nilai implantasi yang tinggi pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Kecil (SHPP). Untuk analisis ini digunakan metodologi patuh dengan pendekatan stokastik, oleh Simulasi Monte Carlo, yang disebut Extended Multi-Index Methodology (MMIA). Terutama, SHPP ini akan memiliki kapasitas 7 MW terpasang, yang produksinya akan dijual dengan model kontrak ACR dan terkait dengan MRE, sebagai pengukuran penahanan risiko. Simulasi menggunakan angka acak menginformasikan bahwa dengan investasi awal antara R \$ 28 juta dan R \$ 35 juta, probabilitasnya adalah 81,50% untuk NPV antara R \$ 10 juta dan R \$ 15 juta dan 10,80% dari kemungkinan mencapai NPV lebih besar dari R \$ 15 juta. NPV terbesar memiliki nilai kemungkinan mendekati R \$ 22,58 juta. Mengenai risiko, probabilitas NPV lebih kecil dari atau sama dengan R \$ 1,46 juta adalah 1%, sementara itu, untuk probabilitas yang sama ini, kerugian yang berlebihan dapat mencapai R \$ 0,95 juta. Indikator ekonomi lain dari proyek ini adalah: ROIA sama dengan 0,99%, IBC adalah R \$ 1,3492 dan IRR rata-rata adalah 14,13%.

Singh Rana Pratap[28] penelitian menyebutkan, pembangkit mikro-hidro Agretar, yang terintegrasi dengan fasilitas irigasi, adalah investasi yang lebih menarik secara ekonomi. Analisis risiko ENPV proyek menunjukkan bahwa proyek akan

menghasilkan ENPV lebih atau sama dengan Rs. 436778 dengan energi 100% sementara itu tidak akan melebihi Rs 3.151.645 dalam hal apapun. ENPV yang paling mungkin dilihat dari analisis adalah hampir Rs 2.100.000. Indikator ekonomi nilai sekarang bersih (ENPV), tingkat pengembalian internal ekonomi (EIRR), periode pengembalian dan rasio manfaat dan biaya (BC) ditemukan dapat diterima.

2.3. Kerangka Berpikir / Konseptual

Dalam penyusunan penelitian pada tesis ini, untuk itu perlu dilengkapi dengan konsep kerangka berpikir dengan tahapannya. Dimana konsep kerangka ini merupakan langkah-langkah untuk melakukan mendapatkan penyelesaian pada penelitian tesis yang dibahas. Berikut adalah kerangka berpikir pada Gambar 2.13 pada penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 2.13 Konsep Kerangka berpikir

2.4. Hipotesis

Hipotesis penelitian berdasarkan uraian diatas, maka dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Merancang perencanaan PLTMH di Bendungan Bandar Sei Jepang
2. Mengoptimalkan PLMTH dengan bentuk optimasi daya output dan analisis ekonomi pada perencanaan PLMTH tersebut.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan penelitian kuantitatif dikarenakan data penelitian berupa angka-angka. Kuantitatif deskriptif adalah jenis penelitian yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya. Penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai optimasi pada perencanaan PLTMH.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian pada tesis ini penulis melakukan beberapa penelitian yang dilakukan di Bendungan Bandar Sei Jepang Kota Tanjungbalai, Jalan Mesjid Lingkungan I, Kelurahan Pulau Simardan, Kecamatan Datuk Bandar Timur, Kota Tanjungbalai Sumatera Utara – 21366. Adapun penelitian dilaksanakan pada tanggal 07 Mei 2019 – 07 Juni 2019

3.3. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Menurut beberapa pendapat populasi sama dengan wilayah keseluruhan yang terdiri dari objek/subjek yang memiliki kuantitas serta karakteristik yang di teliti untuk di ketehau dan di pelajari.

Dalam penelitian pada tesis ini, populasi yang dimaksud adalah daerah/wilayah pembangunan Bendungan Bandar Sei Jepang yang memiliki

potensi air bisa digunakan dalam pemanfaatan energi listrik sebagai energi listrik. Dengan adanya bendungan tersebut sudah merupakan perangkat tambahan untuk perencanaan PLTMH di bendungan tersebut.

2. Sample

Sampel adalah sebagian dari beberapa jumlah karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut, ataupun bagian kecil dari populasi tersebut.

Dalam penelitian ini, digunakan sampel data dengan mengambil data Mengukur debit air selama 07 Mei 2019 – 07 Juli 2019, dimana selama pengambilan data ada perubahan iklim curah hujan.

3. Sampling

Sampling atau teknik sampling merupakan cara pengambilan sample. Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampling non probability melalui teknik sampling sistematis. Sampling sistematis merupakan teknik pengambilan sampel secara berurutan dari populasi tersebut.

3.4. Defenisi Operasional Variabel

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Teknik Pengumpul data merupakan suatu langkah yang paling menentukan dari suatu penelitian, karena analisa data berfungsi untuk menyimpulkan hasil penelitian. Tahapan dalam pengambilan pengumpulan data berikut :

1. Observasi.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi dimana melihat kawasan sungai dan potensi air. Pengambilan data tersebut di dokumentasi berupa data data di lapangan selama penelitian.

2. Wawancara.

Wawancara dilakukan langsung dengan operator bendungan, kepala seksi dan Kepala Project yang berkaitannya dengan project bendungan bandar sei jepang tersebut.

3. Analisis Data.

Analisis dilakukan dengan data kedalam bentuk metode formulasi dengan bantuan piranti lunak Ms. Excell.

3.6. Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini, teknik analisa data diperlukan sebagai langkah menyatukan dan meyimpulkan data penelitian. Tahapan analisa data seabagai berikut:

- a. Pada tahap pengambilan data, peneliti mengambil data untuk kebutuhan data dari populasi yang dijadikan sampel.
- b. Pada tahap perencanaan, peneiliti melakukan pendataan rencana rancangan penelitian.
- c. Pada tahap evaluasi, peneliti menganalisis hasil dari rencana rancangan tersebut dalam analisis ekonomi.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendidikan Penelitian

4.1.1. Deskripsi Data

4.1.1.1. Data Hujan

Pada penelitian ini data awal untuk menentukan debit air menggunakan data curah hujan dan data hari hujan Kota Tanjungbalai. Pada Tabel 4.1 merupakan data curah hujan yang diambil merupakan data dari 7 tahun terakhir dari tahun 2010 – 2017. Pada Tabel 4.2 data hari hujan yang diambil dari 7 tahun terakhir dari tahun 2010 – 2017. Data ini merupakan data komulatif hari hujan Kota Tanjungbalai pada tiap tahunnya.

Tabel 4.1. Data curah hujan Kota Tanjungbalai 2010 – 2017

No.	Bulan	Jumlah Curah Hujan setiap bulan di Kota Tanjungbalai (mm3)						
		2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017
1	Januari	97	139	50	99	64	59	193
2	Pebruari	25	35	60	63	123	149	73
3	Maret	74	163	171	27	105	130	141
4	April	117	100	124	82	93	31	33
5	Mei	60	177	86	82	64	181	405
6	Juni	164	182	68	135	109	126	25
7	Juli	182	67	192	75	258	137	81
8	Agustus	104	402	207	337	258	194	188
9	September	178	142	126	49	112	164	173
10	Oktober	134	244	195	240	53	256	157
11	Nopember	321	227	193	225	248	128	223
12	Desember	135	63	265	218	114	186	69

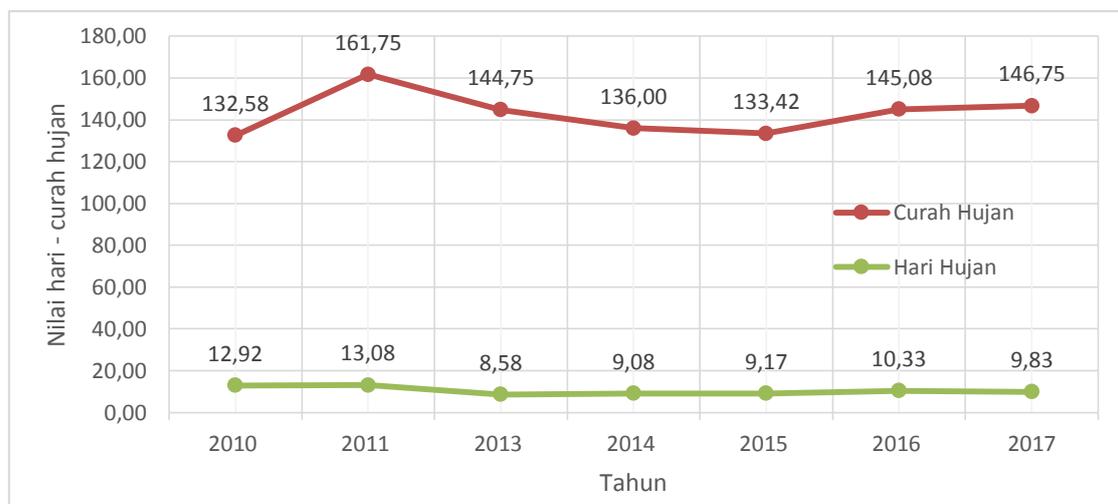
Sumber : BPS Kota Tanjungbalai

Tabel 4.2. Data hari hujan Kota Tanjungbalai 2010 – 2017

No.	Bulan	Jumlah Hari Hujan setiap bulan di Kota Tanjungbalai (mm3)						
		2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017
1	Januari	10	7	11	8	8	9	11
2	Pebruari	3	5	12	6	6	8	13
3	Maret	18	6	8	7	7	4	9
4	April	16	9	8	11	11	5	3
5	Mei	13	16	8	8	8	11	16
6	Juni	9	11	8	5	5	10	4
7	Juli	8	27	8	14	14	11	11
8	Agustus	15	17	8	14	14	10	11
9	September	19	15	8	5	5	13	15
10	Oktober	16	12	8	5	6	13	9
11	Nopember	16	21	8	22	22	14	10
12	Desember	12	11	8	4	4	16	6

Sumber : BPS Kota Tanjungbalai

Untuk mengetahui hasil dari nilai rata rata dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, maka perlu dilakukan penggabungan data dari nilai rata – rata tersebut dalam 1 grafik pada Gambar 4.1. Hal ini dilakukan untuk memudahkan mengambil langkah selanjutnya yaitu proses debit air dan debit andalan air sungai.



Gambar 4.1 Rata – rata curah hujan dan hari hujan Kota Tanjungbalai 2010 – 2017

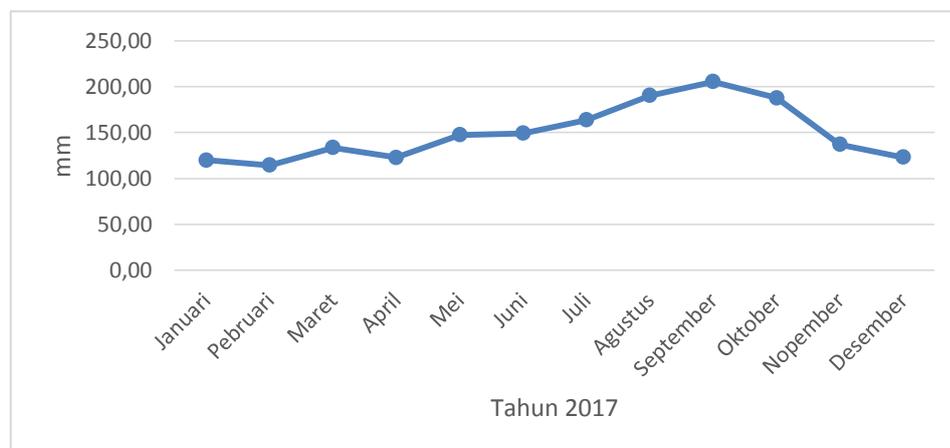
Hasil dari Gambar 4.1, dapat dilakukan analisa bahwasanya data curah hujan yang dan hari hujan tinggi terjadi pada tahun 2011 dengan nilai maksimum curah hujan adalah 161,75 mm³ dan nilai maksimum hari hujan adalah 13,08 mm³. Sedangkan nilai minimum dari data curah hujan 132,58 dan nilai minimum data hujan 8,58. Untuk tahun 2011 – 2017 nilai curah hujan dan data hujan bersifat fluktuasi (naik-turun) bahwasanya jarak antara nilai maksimum dan nilai minimum tidak begitu jauh dari tahun berikutnya. Dari uraian tersebut, penulis menganalisa bahwasannya potensi air sungai Kota Tanjungbalai bisa dijadikan sumber energi listrik dengan bersumber dari tenaga air.

4.1.1.2. Data Evapotransporasi

Untuk nilai evapotranspirasi, Tabel 4.3 data ini merupakan hasil perhitungan dari persamaan (2.4). Gambar 4.2 merupakan bentuk grafik hasil dari Tabel 4.3. Perhitungan tersebut merupakan data evapotranspirasi pada tahun 2017.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan data evapotranspirasi

Bulan	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
ETO	119,93	114,25	133,46	122,71	147,45	149,13	163,52	190,25	205,35	187,65	136,99	123,12



Gambar 4.2 Rata – rata evapotranspirasi Kota Tanjungbalai tahun 2017

Penjelasan Tabel 4.3 dan Gambar 4.2 dapat dianalisa bahwa nilai evaporasi dan transpirasi terjadi kenaikan pada bulan agustus – oktober 2017 dan nilai maksimum data evapotranspirasi terjadi pada bulan september adalah 205,35 mm. Dan sebelum bulan agustus, antara januari – juli dan setelah oktober yakni nopember dan desember data evapotranspirasi dalam kondisi rata rata 100 -150 mm. Dalam hal ini bisa ditarik kesimpulan bahwa tahun 2017 proses penguapan (evaporasi) air terjadi kenaikan dibulan agustus – oktober dan curah hujan tinggi.

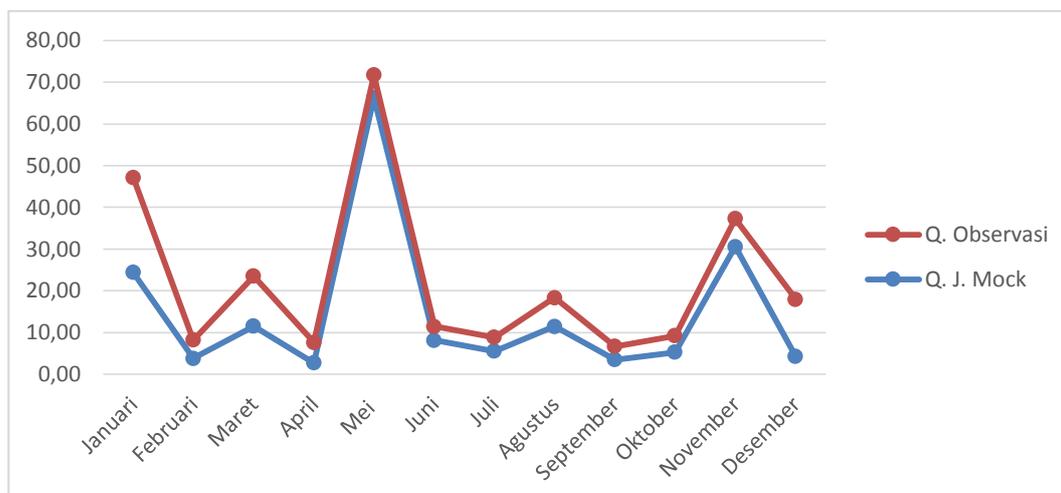
4.1.1.3. Data Debit Air Andalan

Debit air sangat diperlukan untuk menentukan nilai debit air. Perhitungan dalam penelitian ini ditentukan nilai debit air andalan dengan Metode J. Mock. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan rumus 2.7 sampai dengan 2.18. Tabel 4.4 dan Gambar 4.3 menunjukkan hasil perhitungan Metode J. Mock didapat nilai debit air bulanan pada tahun 2017 .

Pada Tabel 4.4 menerangkan bahwa jumlah debit air andalan pada perhitungan ini adalah 177,42 m³/detik. Untuk nilai minimum debit air andalan adalah 2,70 m³/detik. Untuk nilai maksimum debit air andalan tahun 2017 sebesar 66,31 m³/detik. Sedangkan untuk rata – rata nilai debit air andalan sebesar 14,78 m³/detik.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Debit Air Andalan Metode J. Mock

No	URAIAN	Hitungan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
I DATA HUJAN															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/Ttl hr	193,0	73,0	141,0	33,0	405,0	25,0	81,0	188,0	173,0	157,0	223,0	69,0
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	11	13	9	3	16	4	11	11	15	9	10	6
II EVAPOTRANSPIRASI TERBATAS (E_t)															
3	Evapotranspirasi Potensial (E _p)	E _t	mm	119,93	114,25	133,46	122,71	147,45	149,13	163,52	190,25	205,35	187,65	136,99	123,12
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	Tentukan	%	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
5	(m/20) * (18 - h)	Hitungan	-	0,18	0,13	0,23	0,38	0,05	0,35	0,18	0,18	0,08	0,23	0,20	0,30
6	E = (E _p) * (m/20) * (18 - h)	(3) * (5)	mm	20,99	14,28	30,03	46,02	7,37	52,20	28,62	33,29	15,40	42,22	27,40	36,94
7	E _t = (E _p) - (E)	(3) - (6)	mm	98,94	99,97	103,43	76,69	140,08	96,94	134,90	156,96	189,95	145,43	109,59	86,19
III KESIMPANGAN AIR															
8	D _s = P - E _t	(1) - (7)	mm	94,06	-26,97	37,57	-43,69	264,92	-71,94	-53,90	31,04	-16,95	11,57	113,41	-17,19
9	Kandungan Air Tanah	mm	mm	0,00	-26,97	0,00	-43,69	0,00	-71,94	-53,90	0,00	-16,95	0,00	0,00	-17,19
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	SMC	mm	200,00	173,03	200,00	156,31	200,00	128,06	74,16	200,00	183,05	200,00	200,00	182,81
11	Kelebihan Air (WS)	(8) - (9)	mm	94,06	0,00	37,57	0,00	264,92	0,00	0,00	31,04	0,00	11,57	113,41	0,00
IV ALIRAN DAN PENYIMPANAN AIR TANAH															
12	Infiltrasi (I)	(11) * (1)	mm	28,22	0,00	11,27	0,00	79,48	0,00	0,00	9,31	0,00	3,47	34,02	0,00
13	0.5 (I + k) In	Hitungan	-	23,99	0,00	9,58	0,00	67,55	0,00	0,00	7,92	0,00	2,95	28,92	0,00
14	k * V (n - 1)	Hitungan	-	10,86	24,39	17,08	18,66	13,06	56,43	39,50	27,65	24,90	17,43	14,26	30,23
15	Volume Penyimpanan (V _n)	(13) + (14)	mm	34,85	24,39	26,66	18,66	80,62	56,43	39,50	35,57	24,90	20,38	43,18	30,23
16	Perubahan Volume Air (DV _n)	V _n - V _(n-1)	mm	19,33	-10,45	2,26	-8,00	61,96	-24,18	-16,93	-3,94	-10,67	-4,52	22,81	-12,96
17	Aliran Dasar (BF)	(12) - (16)	mm	8,89	10,45	9,01	8,00	17,52	24,18	16,93	13,25	10,67	7,99	11,22	12,96
18	Aliran Langsung (DRO)	(11) - (12)	mm	65,84	0,00	26,30	0,00	185,44	0,00	0,00	21,73	0,00	8,10	79,39	0,00
19	Aliran (TRO)	(17) + (18)	mm	74,73	10,45	35,31	8,00	202,96	24,18	16,93	34,98	10,67	16,09	90,60	12,96
V DEBIT ALIRAN SUNGAI															
21	Debit Aliran Sungai	A * (19)	m ³ /dtk	24,414	3,781	11,535	2,700	66,305	8,164	5,531	11,426	3,486	5,255	30,586	4,232
22	Debit Aliran Sungai	lit/det	lit/det	24413,66	3781,40	11534,84	2699,61	66305,23	8164,24	5530,61	11426,32	3485,77	5255,39	30585,89	4232,30
23	Jumlah hari	hari	hari	31	28	31	30	31	30	31	31	31	31	30	31
24	Debit Aliran (dibaca : l0E ⁶)	m ³ /10hr	m ³ /10hr	65,39	9,15	30,89	7,00	177,59	21,16	14,81	30,60	9,34	14,08	79,28	11,34



Gambar 4.3 Debit air andalan dengan Metode J. Mock dan Observasi

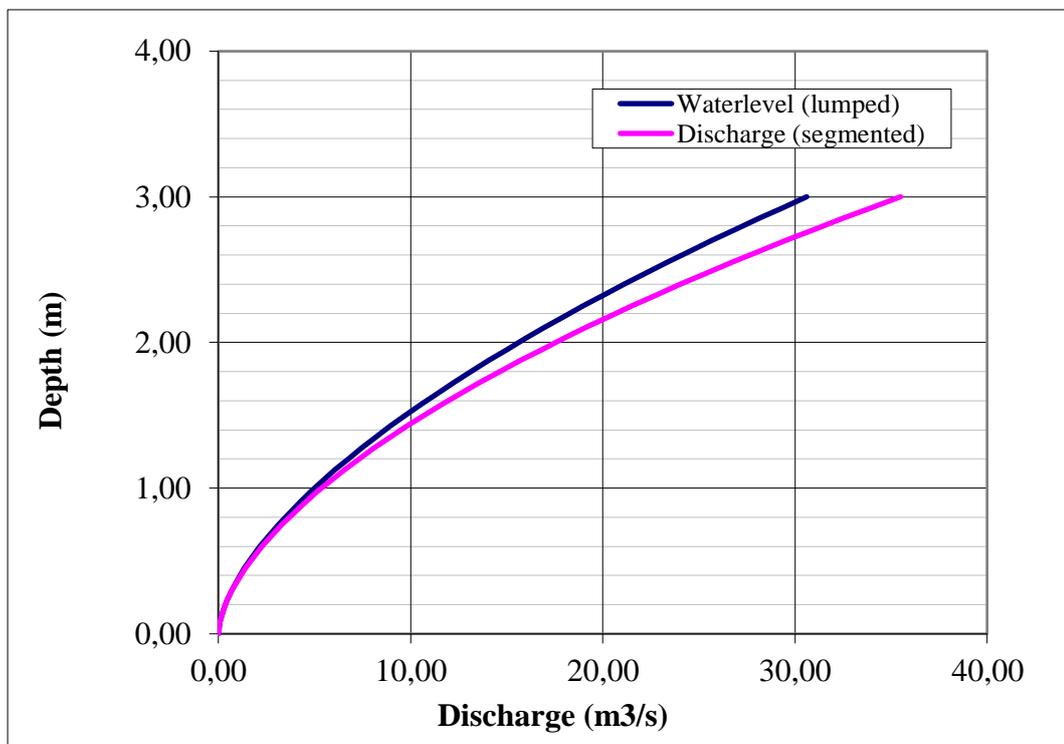
Penjelasan Gambar 4.3 bahwa analisa debit andalan air dilakukan dengan menggunakan 2 tahapan, yaitu dengan observasi dan data, dimana data yang diambil dengan menggunakan metode J. Mock. Pada grafik tersebut hasil observasi dan hasil perhitungan dengan metode J.Mock tidak jauh berbeda nilainya yang terjadi pada bulan mei. Nilai maksimum debit air andalan hasil observasi adalah $16,37 \text{ m}^3/\text{detik}$ sedangkan nilai maksimum debit air andalan menggunakan Metode J. Mock adalah $66,31 \text{ m}^3/\text{detik}$. Nilai minimum hasil observasi sebesar $3,18 \text{ m}^3/\text{detik}$ sedangkan nilai minimum hasil Metode J.Mock adalah $2,17$ yang terjadi pada bulan februari 2017

4.1.1.4. Optimasilasi Laju Kecepatan Air

Langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah mencari laju kecepatan air kecepatan air dalam penelitian. Metode yang di lakukan dalam menghitung kecepatan air pada persamaan Rumus 2.1. Hasil perhitungan laju kecepatan air dengan Rumus Manning Tabel 4.5 dan Gambar 4.4 sebagai berikut

Tabel 4.4. Hasil perhitungan optimalisasi kecepatan air dengan Rumus Manning

No	H	Q lumped	Q segmented	No	H	Q lumped	Q segmented	No	Q lumped	Q segmented
	m	m ³ /s	m ³ /s		m	m ³ /s	m ³ /s		m ³ /s	m ³ /s
1	0	0	0	16	1,05	5,42	5,82	31	16,92	19,08
2	0,08	0,07	0,07	17	1,13	6,06	6,55	32	17,93	20,27
3	0,15	0,22	0,22	18	1,20	6,74	7,31	33	18,97	21,5
4	0,23	0,43	0,44	19	1,28	7,45	8,10	34	20,02	22,76
5	0,3	0,69	0,71	20	1,35	8,18	8,93	35	21,11	24,04
6	0,38	1,00	1,03	21	1,43	8,94	9,80	36	22,21	25,37
7	0,45	1,34	1,39	22	1,50	9,72	10,7	37	23,34	26,72
8	0,53	1,73	1,80	23	1,58	10,54	11,63	38	24,49	28,1
9	0,60	2,16	2,26	24	1,65	11,37	12,59	39	25,67	29,52
10	0,68	2,62	2,76	25	1,73	12,24	13,59	40	26,87	30,96
11	0,75	3,12	3,29	26	1,8	13,12	14,62	41	28,09	32,44
12	0,83	3,65	3,87	27	1,88	14,04	15,69	42	29,33	33,95
13	0,9	4,21	4,48	28	1,95	14,97	16,79	43	30,6	35,49
14	0,98	4,8	5,13	29	2,03	15,94	17,92	44		



Gambar 4.4. Grafik Optimalisasi Laju Kecepatan air

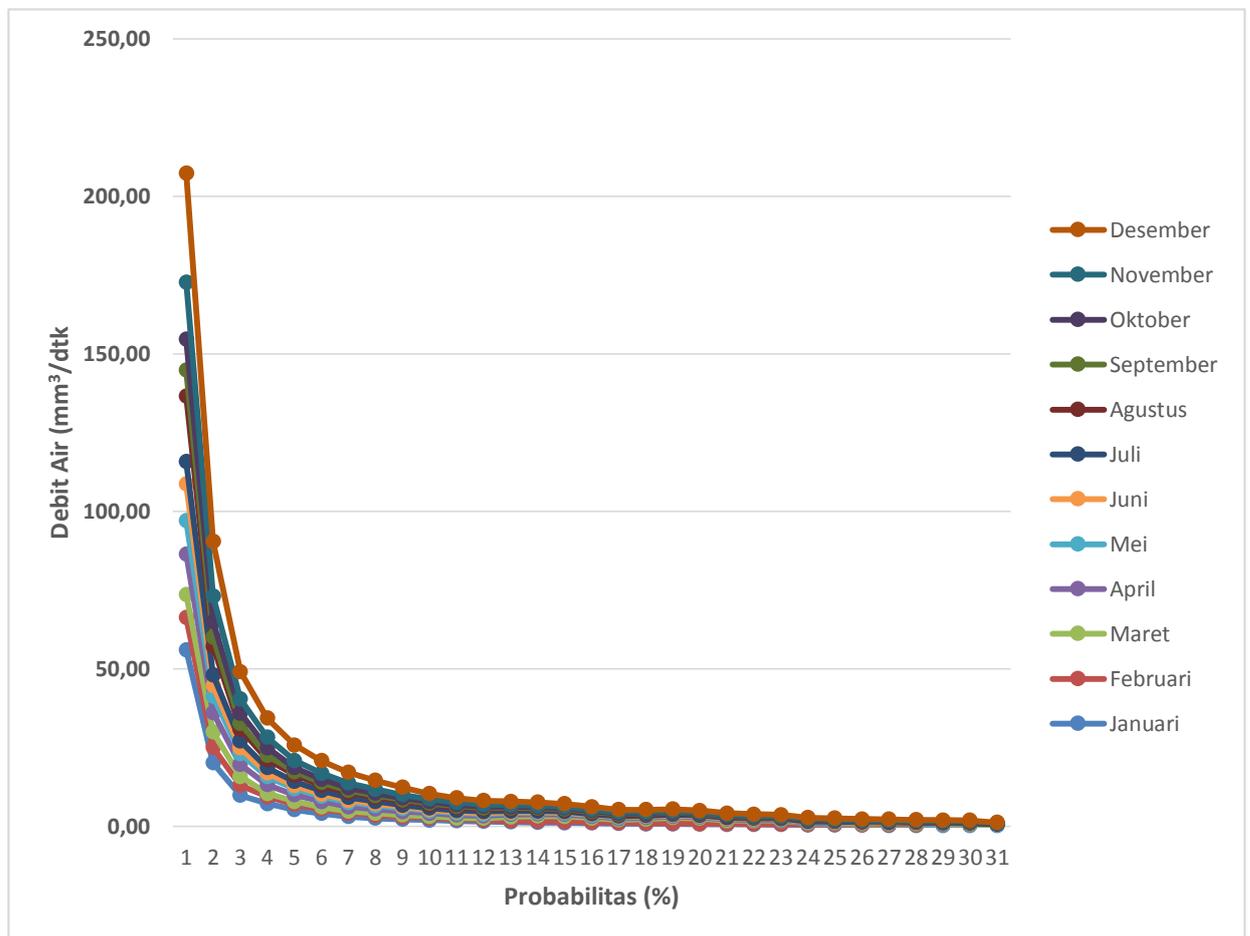
4.1.1.5. Flow Duration Curve (Kurva Durasi Beban)

Flow Duration Curve (kurva durasi beban) dilakukan untuk dapat memperlihatkan bentuk hasil dari debit air pada sungai, dimana sungai yang dimaksud adalah sungai silau. Untuk membuat Flow Duration Curve menggunakan persamaan rumus 2.17.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Flow Duration Curve debit bulanan sungai silau

Date	Jan	Feb	Mar	April	Mei	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
1	56,00	10,16	7,40	12,80	10,60	11,60	7,10	20,90	8,18	9,80	18,20	34,60
2	20,10	4,88	4,90	6,18	5,25	3,27	3,46	9,10	2,89	4,90	8,15	17,30
3	9,77	3,20	2,82	3,79	3,50	1,78	2,18	3,77	1,80	3,27	4,50	8,73
4	7,18	2,15	1,01	2,83	2,58	1,17	1,63	2,64	1,30	2,45	3,25	6,08
5	5,20	1,68	0,94	2,15	1,95	0,94	1,31	2,11	1,01	1,31	2,26	4,86
6	4,05	1,35	0,69	1,78	1,60	0,78	1,03	1,76	0,82	1,09	1,88	3,95
7	3,00	1,10	0,58	1,51	1,36	0,67	0,88	1,51	0,69	0,88	1,51	3,39
8	2,55	0,93	0,65	1,30	1,06	0,59	0,76	1,32	0,59	0,72	1,23	2,83
9	2,14	0,81	0,58	1,13	0,94	0,52	0,56	1,17	0,48	0,62	1,03	2,32
10	1,92	0,70	0,51	1,01	0,65	0,47	0,50	1,05	0,42	0,54	0,87	1,63
11	1,65	0,51	0,46	0,87	0,59	0,43	0,44	0,96	0,37	0,47	0,74	1,48
12	1,52	0,44	0,56	0,79	0,51	0,39	0,39	0,88	0,34	0,42	0,59	1,28
13	1,33	0,36	1,25	0,72	0,47	0,35	0,28	0,71	0,31	0,37	0,50	1,18
14	1,16	0,33	1,69	0,66	0,41	0,32	0,24	0,62	0,29	0,33	0,44	1,10
15	1,09	0,31	1,75	0,59	0,38	0,29	0,22	0,55	0,27	0,31	0,40	0,96
16	0,99	0,29	1,31	0,54	0,35	0,23	0,20	0,40	0,25	0,28	0,37	0,90
17	0,86	0,22	0,91	0,47	0,33	0,22	0,19	0,36	0,24	0,27	0,35	0,82
15	0,75	0,19	1,32	0,44	0,29	0,20	0,18	0,33	0,22	0,21	0,32	0,78
19	0,71	0,17	1,82	0,41	0,27	0,18	0,17	0,30	0,21	0,19	0,30	0,65
20	0,62	0,16	1,73	0,37	0,25	0,17	0,16	0,29	0,20	0,17	0,25	0,60
21	0,57	0,15	1,08	0,35	0,24	0,16	0,15	0,27	0,19	0,16	0,23	0,55
22	0,55	0,15	1,10	0,21	0,22	0,15	0,15	0,25	0,15	0,15	0,22	0,52
23	0,52	0,14	1,06	0,20	0,21	0,14	0,14	0,23	0,14	0,14	0,21	0,49
24	0,44	0,13	0,30	0,20	0,20	0,13	0,13	0,22	0,13	0,14	0,20	0,47
25	0,42	0,13	0,29	0,19	0,19	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,19	0,45
26	0,30	0,12	0,28	0,18	0,18	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,18	0,41
27	0,28	0,12	0,27	0,17	0,17	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,17	0,39
28	0,26	0,11	0,28	0,17	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,37
29	0,26		0,32	0,16	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,35
30	0,21		0,31	0,16	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,15	0,33
31	0,14		0,33		0,11		0,10	0,10		0,10	0,03	0,28

Hasil perhitungan dari Tabel 4.5 berdasarkan hari pada tiap bulannya. Untuk mendapatkan nilai Flow Duration Curve (FDC) pada setiap bulannya, harus diurutkan dari nilai maksimum ke nilai minimum. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pembuatan nilai grafik Flow Duration Curve (FDC) pada setiap bulannya. Pada gambar 4.5 merupakan hasil urutan nilai Flow Duration Curve (FDC) setiap bulan dalam 1 tahun.

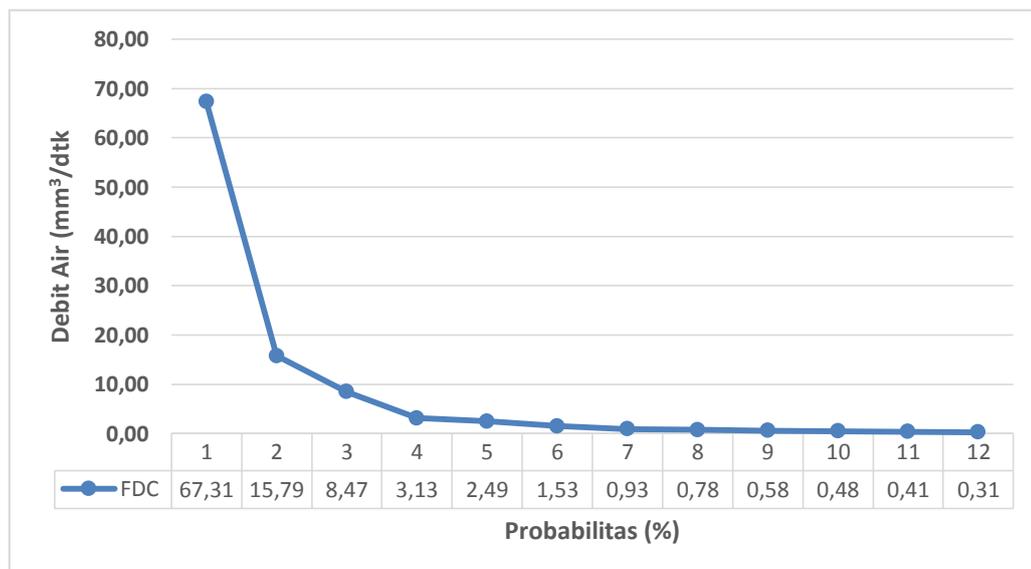


Gambar 4.5. Flow Duration Curve Sungai Silau debit air bulanan

Untuk mendapatkan nilai Flow Duration Curve dalam 1 tahun akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan rumus 2.17. Tabel 4.6 adalah hasil perhitungan FDC dengan menggunakan persamaan rumus 2.17 dalam 1 tahun. Pada Gambar 4.6 adalah grafik yang dibuat dari hasil perhitungan FDC dari Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Flow Duration Curve dalam 1 tahun

Debit air	Descending Debit air	Rank (m)	$P=m/(n+1)$ (p)	Return/Period $P=1/P$
24,414	66,31	1	0,015	67,31
3,781	30,59	2	0,063	15,79
11,535	24,41	3	0,118	8,47
2,700	11,53	4	0,319	3,13
66,305	11,43	5	0,402	2,49
8,164	8,16	6	0,655	1,53
5,531	5,53	7	1,072	0,93
11,426	5,26	8	1,279	0,78
3,486	4,23	9	1,720	0,58
5,255	3,78	10	2,091	0,48
30,586	3,49	11	2,452	0,41
4,232	2,70	12	3,244	0,31



Gambar 4.6. Flow Duration Curve Sungai Silau Tahun 2017

4.1.1.6. Hasil sistem perencanaan dan kapasitas Daya dari PLMTH

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, dapat dihasilkan daya dibangkitkan pada rencana pembangunan PLMTH dengan rincian pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai Kapasitas Daya Listrik Rencana PLMTH Bandar Sei Jepang

No	Uraian	Simbol	Nilai
1	Debit Desian Air	Q_m	14,67 m ³ /dtk
2	Debit Terukur / Unit	Q_d	4,890 m ³ /dtk
3	Tinggi Kejatuhan Air (Head)	H_{net}	5 m
5	Efisiensi Turbin	η_T	90 %
6	Efisiensi Generator	η_G	96,3 %
7	Konstanta		9,81

Dengan menggunakan persamaan rumus 2.18 sampai dengan 2.20 diperoleh nilai daya yang di keluarkan dari generator adalah 207,44 KW pada 1 pembangkit Sementara jumlah turbin dan generator pada bendungan sebanyak 3 unit pembangkit, jadi jumlah keseluruhan daya yang dikeluarkan adalah 623,32 KW. Generator yang digunakan pada unit pembangkit tersebut dengan daya output sebesar 400 KW sebanyak 3 unit.

Dari uraian diatas penulis menjelaskan bahwa generator yang terpasang sudah sesuai dengan perhitungan, dimana generator yang digunakan memiliki nilai yang lebih besar dari daya yang dikeluarkan pembangkit. Sistem pengoperasian unit pembangkit tersebut digunakan secara bergantian sehingga perawatan dan pemeliharaan mudah dilakukan.

4.1.1.7. Produksi Energi per tahun (KWH)

Produksi energi per tahun dapat dihasilkan dari perhitungan hasil perkalian jumlah daya dibangkitkan (kW) dengan waktu yang diperlukan (t) selama satu tahun (8760 jam) dengan factor daya PF pada persamaan 2.24 adalah

$$\text{Energi/tahun} = P_{net} \times 8760 \times PF \text{ (kWh)}$$

$$\text{Energi/tahun} : P_{net} \times 8760 \times PF \text{ (kWh)}$$

$$: 623,32 \times 8760 \times 0,2$$

$$: \mathbf{1.092.060 \text{ Kwh}}$$

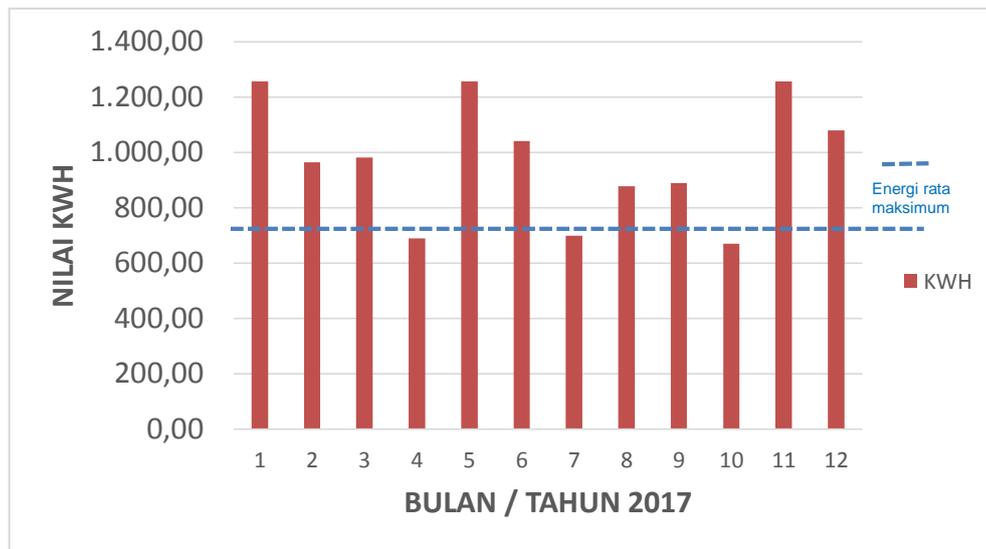
$$: \mathbf{1.093 \text{ MWH}}$$

Sistem perawatan dan pemeliharaan pembangkit sangat diperlukan Dengan 3 unit pembangkit tidak dapat digunakan secara keseluruhan maka dibuat suatu sistem pembagian jadwal pemeliharaan dan perawatan. Pada Tabel 4.9 tersebut bahwa perhitungan energy yang dibangkitkan selama 1 tahun .

Tabel 4.9. Energy yang dibangkitkan secara keseluruhan

No	Item	Simbol	Value	Qty
1	Design Discharge	QD	14,67	m ³ /sec
2	Environmental Flows	QE	0	m ³ /sec
3	No. & Type of Units		3	FRANCIS
4	Design Discharge (single unit)	Qunit	4,89	m ³ /sec
5	Net Head	Hn	5	m
6	Turbine Efficiency at QD	hT	0,9	
7	Generator Efficiency	hG	0,9625	
8	Transformer Efficiency	hTr	0,98	
9	Annual Shutdown	TAS	10	days
10	Flushing Period	TFL	0	days
11	Konstanta	g	9,81	
12	Time Work		8760	Hours
13	Power Faktor		0,96	
14	Power Output	Debit total	623,32	KW
15	Power Output	Debit unit	207,77	KW
16	Energy Output Annual		10.639,11	KWH

Dari hasil total energi pada Tabel 4.9, akan dilakukan pembuatan grafik untuk mendapatkan energy rata rata nilai maksimum. Gambar 4.7 merupakan grafik nilai maksimum daya yang diangkitkan dalam 1 tahun.



Gambar 4.7. Karakteristik energy yang dibangkitkan dari PLTMH

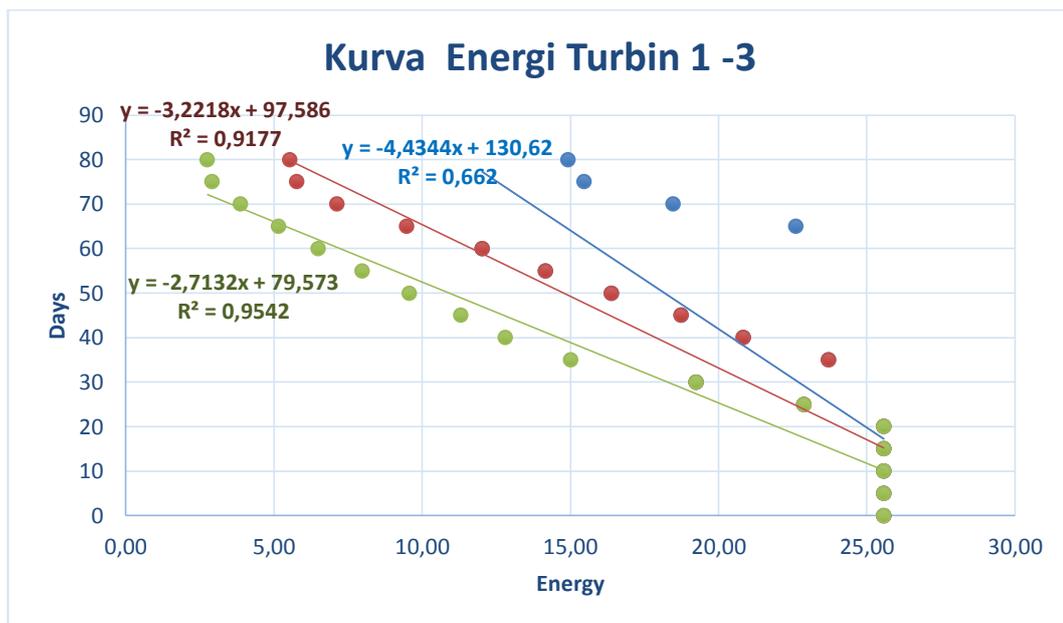
4.1.1.8. Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Perhitungan optimalisasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dilakukan dengan menggunakan Metode Regresi Linier Berganda yang di jabarkan pada persamaan 2.21 sampai dengan persamaan 2.23 sebagai berikut :

No	Days	Turbin -1	Turbin -2	Turbin -3
	Y	X ₁	X ₂	X ₃
1	0	25,58	25,58	25,58
2	5	25,58	25,58	25,58
3	10	25,58	25,58	25,58
4	15	25,58	25,58	25,58
5	20	25,58	25,58	25,58
6	25	22,89	22,89	22,89
7	30	19,25	19,25	19,25
8	35	23,73	23,73	15,02
9	40	20,84	20,84	12,81

10	45	18,74	18,74	11,32
11	50	16,40	16,40	9,58
12	55	14,16	14,16	7,97
13	60	12,03	12,03	6,50
14	65	22,61	9,48	5,17
15	70	18,46	7,14	3,88
16	75	15,47	5,78	2,92
17	80	14,93	5,54	2,76

Pada Gambar 4.8. merupakan hasil optimasi perencanaan PLMTH. Metode Regresi Linier Berganda yang diambil berdasarkan jumlah variable yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.8 Grafik hasil optimalisasi perencanaan PLMTH

Penjelasan dari gambar 4.8 dimana nilai x dan nilai y adalah nilai plot yang digunakan dalam function dan ditentukan dengan hasil sebagai berikut :

$$Y_1 = - 4,4344x + 130,62 \quad R^2 = 0,662$$

$$Y_2 = - 3,2218x + 97,586 \quad R^2 = 0,9177$$

$$Y_3 = -2,7132x + 79,573 \quad R^2 = 0,9542$$

4.1.2. Hasil Uji Persyaratan Analisis

4.1.2.1. Biaya Rencana Pembangunan PLTMH

Biaya langsung adalah biaya yang langsung digunakan untuk perencanaan pembangunan PLTMH. Biaya langsung dalam hal ini merupakan Capital Investment. Pekerjaan perencanaan PLTMH meliputi biaya pekerjaan sipil, mekanikal dan elektrikal serta pekerjaan jaringan distribusi. Penyusunan unit biaya dibuat berdasarkan standart dari pekerjaan umum. Detailnya perhitungan biasa perencanaan PLMTH tersebut ada pada Tabel 4.9 :

Tabel 4.9 Estimasi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

NO	U R A I A N KEGIATAN	JUMLAH HARGA	Prosen %
		[Rp]	
A	Detail disain sistem pltmh	Rp 174.925.000	7,52%
B	Pekerjaan tanah	Rp 41.194.000	1,93%
C	Pekerjaan pasang batu	Rp 69.179.000	21,55%
D	Pekerjaan rumah turbin	Rp 272.310.000	5,90%
E	Pekerjaan pintu air, saringan, dan pipa pesat	Rp 75.619.000	5,44%
F	Pekerjaan turbin, mesin pembangkit & panel	Rp 368.300.000	20,26%
G	Pekerjaan tiang listrik/jaringan dan termis	Rp 225.000.000	37,41%
H	Biaya perbaikan dan perawatan	Rp 269.835.940	
JUMLAH		Rp 1.226.527.000	100%
PPN 10%		Rp 122.652.700	
Jumlah harga		Rp 1.349.179.700	
Total keseluruhan		Rp 1.619.015.640	

4.1.2.2. Analisis Harga Pokok Produksi (HPP) per Kwh

Harga pokok produksi per kWh dapat dihasilkan dengan menghitung semua biaya modal (Cannual) per tahun, biaya operasi dan pemeliharaan (O+M) per tahun suatu pembangkit dibagi dengan produksi energi per tahun (8760 jam) kWh [22]. Dengan menggunakan persamaan 2.25 diperoleh nilai Harga Pokok Produksi sebagai berikut :

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{\frac{C_{annual}}{th} + (O + M)}{P_{net} \times 8760 \times PF}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{\frac{1.619.015.640}{10} + (0 + 269.835.940)}{2.640.940}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{(161.901.564) + (0 + 269.835.940)}{2.640.940}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{(431737504)}{2.640.940}$$

$$HPP \text{ per kWh} = 158,86 \text{ kWh}$$

4.1.2.3. Analisis Ekonomi

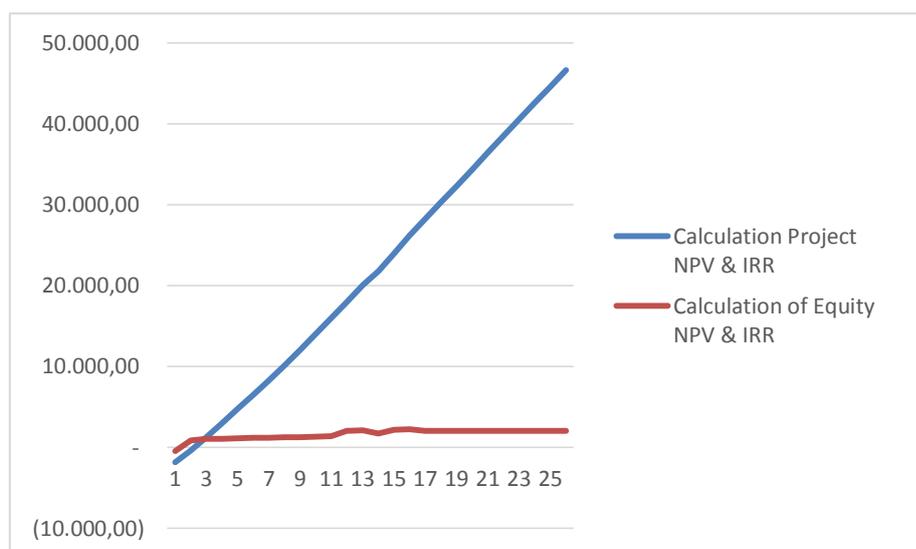
a. Net Present Value (NPV) - Internal Rate Of Return (IRR)

Hasil perhitungan analisis ekonomis pada perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro, dengan memperhitungkan nilai dari NPP dan IRR pada Tabel 4.10. Menjelaskan bahwa nilai Project NPV dan IRR pada uraian dari project NPV – IRR pada persamaan rumus 2.27 dan persamaan rumus 2.28

Tabel 4.10. Nilai NPV – IRR pada Perencanaan PLMTH

Period (n)	Calculation Project NPV & IRR	Calculation of Equity NPV & IRR	Period (n)	Calculation Project NPV & IRR	Calculation of Equity NPV & IRR
0	(1.885,89)	(485,70)	13	21.764,12	1.724,13
1	(427,22)	821,89	14	23.926,95	2.162,83
2	1.243,47	1.033,90	15	26.139,22	2.212,27
3	2.948,83	1.068,58	16	28.187,29	2.048,07
4	4.689,91	1.104,30	17	30.240,10	2.052,81
5	6.467,78	1.141,09	18	32.291,99	2.051,89
6	8.283,54	1.178,98	19	34.342,93	2.050,94
7	10.138,34	1.218,01	20	36.392,89	2.049,96
8	12.033,33	1.258,21	21	38.441,85	2.048,96
9	13.969,73	1.299,62	22	40.489,77	2.047,92
10	15.948,78	1.342,27	23	42.536,63	2.046,85
11	17.971,76	2.022,98	24	44.582,38	2.045,75
12	20.039,99	2.068,23	25	46.627,00	2.044,62

Penjelasan dari Tabel 4.10 ini bahwa periode yang dilakukan pada pembangunan selama 25 tahun dengan suku bunga bank dari 13 % - 16 %. Dari Tabel 4.10 dapat digambarkan melalui sebuah grafik pada Gambar 4.7 untuk menunjukkan hasil kenaikan pada project tersebut.



Gambar 4.7. Karakteristik Nilai NPV – IRR pada Project dan Equity

Penjelasan dari Gambar 4.7 bahwa nilai dari Calculation Project NPV dan IRR mengalami kenaikan sedangkan nilai calculation of equiaty mengalami kenaikan secara bertahap dan lambat. Pertemuan antara nilai NPV – IRR project dan Equaty merupakan nilai payback periode.

b. Payback Periode (PBP)

Payback period dapat diartikan dengan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biaya investasi. Pada Tabel 4.11 ini ditentukan dengan perhitungan seagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil menunjukkan nilai Payback Period

Calculation of Project NPV & IRR	
NPV (Rp. 1.000.00)	14.828
IRR (%)	84,65%
Payback Period (Years)	3,44
WACC	10
Calculation of Equity NPV & IRR	
NPV on Equity	7.935
Equity IRR	18,59%
Market Hurdle Rate	15%

4.1.3. Hasil Uji Hipotesis

4.2. Pembahasan

1. Sistem Management Perencanaan Mikrohidro

PLTMH telah merubah pola hidup masyarakat karena sebelum adanya PLTMH, penerangan yang digunakan masyarakat untuk wilayah sekitar tersebut, yakni wilayah persisir sungai silau bandar sei jepang tersebut. Lampu jalan dan

lampu pada pembatas jalan – sungai sangat membantu masyarakat. Sistem pendanaannya yang dibantu dengan anggaran pemerintah pusat dibawah naungan Dinas PU, untuk menambah pendapatan daerah.

2. Debit air

Dari hasil penelitian dengan dapat dihasilkan debit air dengan menggunakan Metode J. Mock didapat dengan nilai $4.78 \text{ m}^3/\text{detik}$ dari persamaan 2.7 sampai dengan 2.16 (hal 53) dan Metode Flow Duration Curve didapat nilai bersih debit aliran pada setiap turbin dengan nilai $4.89 \text{ m}^3/\text{detik}$ dari persamaan 2.17 (hal 60)

3. Daya Output

Nilai kapasitas daya output secara keseluruhan rencana PLMTH Bandar Sei Jepang adalah 623,32 KW dengan menggunakan persamaan 2.18 sampai dengan 2.20 (hal 62). Pengoperasian 3unit pembangkit dengan secara bergantian dengan waktu yang telah di tentukan. Untuk Generator yang digunakan pada pembangunan PLMTH tersebut sesuai dengan gambar 2.11 dengan nilai kapasitas 400 KW.

4. Energi yang dihasilkan

Energi yang di hasilkan dalam 1 tahun sebesar **1.093 MWH**. Tarif dasar listrik pada PLMTH dengan perhitungan Rp. 158.67 (Rp. 159,-) /

5. Analisis Ekonomi

Untuk nilai estimasi kelayakan PLTMH diperoleh dengan analisis biaya dan manfaat yaitu perhitungan NPV (*net present value*). Pembangunan PLTMH

Bandar Sei Jepang merupakan proyek pemerintah dengan umur ekonomis proyek yang diasumsikan (depresiasi) 15 tahun. *Discount rate* yang digunakan adalah pada tingkat discount 10%. Hasil perhitungan yang diperoleh adalah NPV1 bernilai negatif sebesar Rp 427.215.296.- dan NPV2 sebesar Rp 103.434.924.- Perubahan biaya operasional dan pemeliharaan diasumsikan mengalami peningkatan sebesar 1,5%. Hasil perhitungan menunjukkan NPV2 berubah menjadi Rp 124.346.924.-. Semetara nilai capital cost pada perencanaan tersebut sebesar : Rp. 1.619.015.640,-

Untuk Nilai IRR hasil penelitian tersebut didapat dengan nilai 84,65% dengan PBP dengan masa 3.44 Tahun. Dengan nilai 84,65 % pembangunan PLMTH Bendungan Sei Jepang dianggap menguntungkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Perencanaan pembangunan PLTMH Bandar Sei Jepang Sungai silau, Kecamatan Pulau Simardan, Kota Tanjungbalai. Bisa dimanfaatkan untuk mengembangkan dan mendorong kegiatan pembangunan masyarakat. Dari hasil penelitian dari kegiatan analisa dan studi lapangan sebagai berikut:

1. PLTMH direncanakan akan memanfaatkan aliran air Sungai bawah tanah dengan debit 14.67 liter/detik. Kapasitas daya terbangkit PLTMH ini direncanakan sebesar 623.32 kW dengan debit tinggi jatuh air efektif 5 m.

Dari analisa aspek teknis, diperoleh kesimpulan:

2. Komponen sipil PLTMH ini terdiri dari Bendungan jenis beton graviti sudah siap dikerjakan sedangkan komponen elektro-mekanik PLTMH ini terdiri dari Turbin *cross flow*, Transmisi mekanik masih dalam on progress

Analisa aspek ekonomi yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan:

3. Hasil perhitungan yang diperoleh adalah NPV1 bernilai negatif sebesar Rp 427.215.296.- dan NPV2 sebesar Rp 103.434.924.- Perubahan biaya operasional dan pemeliharaan diasumsikan mengalami peningkatan sebesar 1,5%. Hasil perhitungan menunjukkan NPV2 berubah menjadi Rp 124.346.924.-. Semetara nilai capital cost pada perencanaan tersebt sebesar

: Rp. 1.619.015.640,- Untuk Nilai IRR hasil penelitian tersebut didapat dengan nilai 84,65% dengan PBP dengan masa 3.44 Tahun

4. Kota Tanjungbalai memiliki potensi energi baru terbarukan seperti tenaga air, tenaga matahari, tenaga angin, dan tenaga biomassa. Potensi ini dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik maupun bahan bakar. Meningkatkan wilayah Kota Tanjungbalai di pesisir pantai.

5.2. Saran

Beberapa saran agar PLTMH sungai bawah tanah dapat terealisasi dan memiliki efisiensi baik, antara lain:

1. Masyarakat Kota Tanjungbalai khususnya Pua Simardan harus terlibat langsung dalam perencanaan, pendanaan, dan pengelolaan PLTMH. Pembangunan PLTMH harus didukung oleh pemerintah daerah baik dalam pendanaan maupun teknologi.
2. Pemeliharaan dan perawatan PLTMH harus dilakukan secara berkala dan berkesinambungan agar memperpanjang usia pembangkit dan mempertahankan efisiensinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dody Andri Setyawan, “Kajian Potensi Sungai Curuk Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Padukuhan Gorolangu, Kab. Kulon Progo, Yogyakarta,” *Tek. Sipil Univ. Atma Jaya Yogyakarta*, pp. 1–16, 2014.
- [2] R. K. Ellanda, P. T. Juwono, and R. Asmaranto, “Kajian Optimasi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Kanzy I Di Kabupaten Pasuruan,” *Tek. Pengair.*, vol. 9, no. 1, pp. 29–36, 2018.
- [3] R. Marliansyah, D. N. Putri, A. Khootama, and H. Hermansyah, “Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head,” *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 74–79, 2018.
- [4] G. E. Mamo, M. Marence, J. C. C. Hurtado, and J. Mário, “Optimization of Run-of-River Hydropower Plant Capacity,” *Water Power Dam Constr.*, no. August, pp. 1–10, 2018.
- [5] Bappeda Kota Tanjungbalai, *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerh (RPJMD) Kota Tanjungbalai 2016 - 2021 (Bab II)*. 2016.
- [6] BPS Kota Tanjungbalai, *Kota Tanjungbalai Dalam Angka 2018*. 2019.
- [7] Hutamakarya, “<http://www.hutamakarya.com/id/profil/message-from-ceo/>,” *diakses-25/7/2019*, 2019. .
- [8] PemkoTanjungbalai, “<https://tanjungbalaikota.go.id/agenda/wali-kota-tanjungbalai-apresiasi-pt-hk-perbaiki-sejumlah-ruas-jalan-rusak-di-kota-tanjungbalai/>,” *diakses-20/8/2019*, 2019. .

- [9] B. S. H.M Dekar, K.N. Sharma, *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. 1991.
- [10] M. B. A. A. Handy Wibowo, Arifin Daud, “Kajian Teknis Dan Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Sungai Lematang Kota Pagar Alam,” *Cantilever*, vol. 4, no. 1, pp. 34–41, 2015.
- [11] D. S. D. Fakhreza Abdul, Sungging Pintowantoro, Yuli Setiyorini, Rochman Rochiem, “Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai Pendukung Utama Peternakan Kambing di Dusun Laharpang Desa Puncu Kabupaten Kediri.” pp. 1–10, 2017.
- [12] S. Hemawan Aji Nugroho, “Perancangan Dan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro,” *JITEKI*, vol. 3, no. No.2, pp. 1–9, 2017.
- [13] JICA, *Manual Pembangunan PLTMH*. 2008.
- [14] Energypedia, “‘Micro Hydro Power (MHP) Plants’,
[https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_\(MHP\)_Plants](https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_(MHP)_Plants),”
Energypedia, 2014. .
- [15] Soemarto, “Hidrologi Teknik,” *PT. Indra Karya*, pp. 1–484, 1987.
- [16] I. I. Robi Arianto, “Studi Potensi Suplesi Sungai Silau Ke Sungai Bunut Untuk Kebutuhan Irigasi Di D.I. Serbangan dan D.I. Panca Arga,” *J. Tek. USU*, 2016.
- [17] Sosrodarsono, “Hidrologi Untuk Pengairan,” *PT. Pray. Paramita*, pp. 1–320, 2003.
- [18] Arismundar and Kuwahara, “Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik,” *PT. Pray. Paramita*, pp. 1–183, 2004.
- [19] JICA, *Panduan Untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Mikro-Hidro*.

2003.

- [20] H. Tumaliang, “Optimalisasi Pembangkit Listrik Likrohdro (PLMTH) Boroko,” vol. 08, no. 54, pp. 17–26, 2010.
- [21] Hadinanto, Asmar, and R. F. Gusa, “Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) Studi Kasus Di Pltd Merawang,” vol. 1, pp. 1–4, 2017.
- [22] Adam Harvey, “Micro Hydro Design Manual (A Guide to small - scale water power schemes),” *Intermed. Technol. Publ.*, pp. 1–404, 2000.
- [23] M. Giatman, “Ekonomi Teknik,” *PT. Raja Graf. Persada*, p. 213, 2006.
- [24] N. H. K. K. S Karimov, M. Abid, M. W Al-Grafi, S. I Islomov, “The Economics Of Microhydro Power Plants,” *Hydro*, vol. 14, pp. 1–6, 2014.
- [25] E. M. A. Roque, D. Sousa, C. Casimiro, “Technical and economic analysis of a micro hydro plant - A case study,” 2010.
- [26] M. U. and A. Hussain, “Micro Hydro Power: A Source of Sustainable Energy in Rural Communities: Economic and Environmental Perspectives,” *Hydro Power*, vol. 54, 2015.
- [27] R. C. and J. D. L. De, “Economic Analysis for Small Hydroelectric Power Plant using Extended Multi-Index Methodology - An Approach,” *Energi Procedia*, 2015.
- [28] R. P. Singh, “An Economic Analysis Of Agretar Micro Hydro Power Plant,” 2011.