

Dr. HIDAYAT, S.T., M.T



# MIKROHIDRO



Bung Hatta University Press

# MIKROHIDRO



**BUNG HATTA UNIVERSITY PRESS**

Sanksi pelanggaran pasal 44: Undang-undang No. 7 Tahun 1987 tentang Perubahan atas Undang-undang No. 6 Tahun 1982 tentang hak cipta.

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat 1 (satu), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

# **MIKROHIDRO**

**Dr. HIDAYAT, S.T., M.T.**

**Penerbit**

**Bung Hatta University Press**

**2017**

Judul : **MIKROHIDRO**  
Penulis : **Dr. HIDAYAT, S.T., M.T**

Sampul : **Dr. HIDAYAT, S.T., M.T**

Perwajahan : Bung Hatta University Press  
Diterbitkan oleh Bung Hatta University Press November 2017

Alamat Penerbit:

Badan Penerbit Universitas Bung Hatta  
Bung Hatta University Press Gedung Rektorat Lt. III  
(LPPM) Universitas Bung Hatta  
Jl. Sumatera Ulak Karang Padang, Sumbar, Indonesia  
Telp. (0751) 7051678 Ext. 323, Fax (0751) 7055475  
E-mail: [lppm\\_bunghatta@yahoo.co.id](mailto:lppm_bunghatta@yahoo.co.id)  
Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau  
Seluruhnya isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit  
Isi diluar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : November 2017  
Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Dr. HIDAYAT, S.T., M.T.  
MIKROHIDRO, Oleh : Dr. HIDAYAT, S.T., M.T.  
Bung Hatta University Press, November 2017

123 Hlm + xii ; 18,2 cm

ISBN 978-602-7805-56-9

## SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITA BUNG HATTA

**V**isi Universitas Bung Hatta adalah menjadikan Universitas Bung Hatta Bermutu dan terkemuka dengan misi utamanya meningkatkan mutu sumberdaya manusia yang berda dalam jangkauan fungsinya.

Mencermati betapa beratnya tantangan Universitas Bung Hatta terhadap dampak globalisasi, baik yang bersumber dari tuntutan internal dan eksternal dalam meningkatkan daya saing lulusan perguruan tinggi, maka upaya peningkatan kualitas lulusan Universitas Bung Hatta adalah suatu hal yang harus dilakukan dengan terencana dan terukur. Untuk mewujudkan hal itu Universitas Bung Hatta melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat merancang program kerja dan memberikan dana kepada dosen untuk menulis buku, karena kompetensi seorang dosen tidak cukup hanya menguasai bidang ilmunya dengan kualifikasi S2 dan S3, kita dituntut untuk memahami elemen kompetensi yang bisa diaplikasi dalam proses pembelajaran. Melakukan riset dan menuangkan dalam bentuk buku.

Saya ingin menyampaikan penghargaan kepada Saudara **Dr. HIDAYAT, S.T., M.T.** yang telah menulis buku “**MIKROHIDRO**”. Harapan saya buku ini akan tetap eksis sebagai wahana komunikasi bagi kelompok dosen dalam bidang ilmu “**Teknik**” sehingga dapat dijadikan sebagai referensi dalam mengajar mata kuliah ataupun sebagai referensi dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Tantangan kedepan tentu lebih berat lagi, karena kendala yang sering dihadapi dalam penulisan buku ini adalah tidak dipunyainya hasil-hasil riset yang bernas. Kesemuanya itu menjadi tantangan kita bersama terutama para dosen di Universitas Bung Hatta.

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT, buku referensi yang berjudul Mikrohidro selesai disusun. Penyusunan buku ini dimaksudkan untuk dapat menjadi panduan dalam merancang pembangkit listrik yang berasal dari tenaga air bersekala mikro, mini dan besar, yang secara prinsip dasarnya hampir sama. Pemanfaatan energi potensial air yang berlimpah di negeri ini sebagai pembangkit energi listrik masih sangat kurang, padahal kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang semakin meningkat. Oleh karena itu diperlukan buku referensi dalam meningkatkan kepeahaman masyarakat khususnya praktisi dan sarjana Teknik Elektro dalam mengembangkan potensi air yang tersedia. Buku ini memandu secara teori dan praktis tentang perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang berangkat dari Study Kelayakan (*Feasibility Study*) PLTM Lintau 2 di kabupaten Tanah Datar.

Paparan dalam buku ini menyangkut banyak aspek yang berkaitan dengan pembangunan PLTM khususnya PLTM Lintau 2 yang layak secara hidrologi, topografi, geologi, kelistrikan, lingkungan, serta finansial yang tersusun dalam 7 BAB. Dengan demikian pembaca sudah dipandu dalam menyusun studi kelayakan pendirian PLTM atau PLTMH.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada pemerintah yang berada di bawah Departemen Riset dan Teknologi (Ristek Dikti) yang telah mendukung penulisan buku ini melalui hibah Penelitian Produk Terapan (PPT) tahun 2016 dan 2017. Demikian juga terima kasih kepada LPPM Universitas Bung Hatta yang telah memafasilitasi kegiatan ini. PT. Dempo dan PT. Multi Sukses Energi telah memberikan data dan kelengkapan lainnya. Juga kepada semua pihak yang telah memberikan sumbangan pemikiran dan tenaga. Semoga semua apa yang sudah diberikan, dibalas oleh Allah SWT dengan pahala yang berlipat ganda.

Semoga paparan dalam buku ini bermanfaat bagi pembaca. Tiada gading yang tidak retak, demikian pula buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu masukan dan saran pembaca sangat diharapkan.

Padang, Januari 2017

Penulis,

## DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN REKTOR .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1..Latar Belakang.....	1
1.2..Penentuan Lokasi PLTMH.....	2
1.3..Metodologi Studi PLTMH.....	6
<b>BAB 2 DESKRIPSI DAERAH STUDI</b>	
2.1....Deskripsi Umum .....	7
2.2....Potensi Ekonomii dan Sosial.....	8
2.3....Kondisi Kelistrikan.....	9
2.4....Kondisi Geografi .....	11
2.5....Kondisi Hidrologi.....	13
2.6....Kondisi Kegempaan.....	15
<b>BAB 3 KONSEP DESAIN PLTMH</b>	
3.1....Konsep Dasa PLTMH.....	17
3.1.1....Prinsip Kerja PLTMH.....	17
3.1.2....Klasifikasi PLTM.....	19
3.2....Komponen Utama.....	20
3.3....Bangunan Sipil.....	21
3.3.1....Bendung.....	21
3.3.2....Bak Pengendap.....	26
3.3.3....Saluran Pembawa.....	27
3.3.4....Bak Penenang.....	30

3.3.5....Pipa Pesat.....	32
3.3.6....Saluran Pembuang.....	36
3.4.... Mekanikal dan Elektrikal.....	37
3.4.1....Turbin.....	38
3.4.2....Generator.....	41
3.5.... Hydrograph, Flow Duration Curve (FDC) dan Capacity Factor (CF)	44
3.6.... Rugi-rugi .....	46
3.6.1....Rugi-rugi Daya.....	47

#### **BAB IV SURVEY PARAMETER UTAMA PLTMH**

4.1...Data Hidrologi.....	49
4.1.1... Data DAS.....	50
4.1.2... Data Curah Hujan.....	52
4.1.3... Data Debit.....	56
4.2... Topografi.....	61
4.2.1....Metode Pelaksanaan .....	61
4.2.2....Pelaksanaan Pengukuran.....	67
4.3...Geologi.....	71
4.3.1....Metode Pelaksanaan .....	71
4.3.2....Pelaksanaan Pengukuran.....	73
4.4...Kelistrikan.....	74
4.5...Lingkungan.....	75

#### **BAB V DESAIN DASAR PLTM**

5.1..Menentukan Daya Terpasang dan Produksi Energi.....	77
5.2..Menentukan Posisi Bangunan.....	80
5.2.1... Bendung ( <i>Weir</i> ) Dan Pintu Pengambilan ( <i>intake</i> ) .....	81

5.2.2... Bak Pengendap ( <i>Sandtrap</i> ).....	83
5.2.3... Saluran Pembawa ( <i>Water way</i> ).....	84
5.2.4... Bak Penenang ( <i>Headpond</i> ).....	84
5.2.5... Pipa Pesat ( <i>Penstock</i> ).....	85
5.2.6... Rumah Pembangkit ( <i>Power House</i> ).....	85
5.2.7... Saluran Pmebuang ( <i>Tail Race</i> ).....	86
5.2.8... Jalan Inspeksi dan Jalan Akses.....	86
5.3..Pekerjaan Mekanikal dan Elektrikal .....	86
5.3.1....Penentuan Turbin .....	86
5.3.2....Penentuan Generator .....	87
5.4..Pembebasan Lahan.....	87

## **BAB 6 MANAJEMEN PROYEK**

6.1. Metodologi Pelaksanaan.....	88
6.2. Komponen Kegiatan .....	88
6.3. Jadwal Pelaksanaan.....	90
6.4. Investasi dan Biaya.....	91
6.4.1... Biaya Pra Konstruksi.....	91
6.4.2... Biaya Konstruksi.....	92
6.4.3... Biaya Mekanikal, Elektrikal dan Interkoneksi.....	92
6.4.4... Biaya Pekerjaan Pendukung.....	92
6.5....Sumber Pembiayaan.....	94

## **BAB 7 ANALISIS KELAYAKAN**

7.1.... Aspek Teknis.....	95
7.1.1... Sipil.....	95
7.1.2... Mekanikal Elektrikal.....	96
7.2.... Aspek Kelistrikan.....	97

7.2.1... Kriteria Kelayakan Jalur Transmisi.....	97
7.2.2... Kriteria Kelayakan Lokasi Trafo.....	98
7.3.... Aspek Lingkungan.....	98
7.4.... Aspek Ekonomi.....	99

## **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya energi primer yang sangat berlimpah. Sumber energi primer tersebut meliputi sumber energi terbarukan yaitu angin, surya, air, geotermal sampai biomassa. Indonesia juga memiliki potensi yang sangat berlimpah. Namun demikian, hingga sekarang energi terbarukan tersebut hanya memasok satu persen dari energi yang dibutuhkan masyarakat.

Berdasarkan RUPTL PT PLN (Persero) tahun 2015-2024, kebutuhan listrik di Sumatera diperkirakan meningkat dari 31,3 TWh di tahun 2015 menjadi 82,8 TWh pada tahun 2024. Sementara untuk wilayah Sumatera Barat, kebutuhan listrik mencapai 6.734 GWh pada tahun 2024, dari angka 3.695 GWh pada tahun 2015. Saat ini ketersediaan pasokan listrik dihasilkan dari 16 gardu induk dengan sistem interkoneksi, padahal jika melihat potensi wilayah untuk pengembangan sumber pembangkit listrik sangat besar.

Dengan kondisi tersebut, maka PT. Dempo Insan Mutiara bermaksud untuk ikut serta berperan secara aktif untuk memanfaatkan energi terbarukan dari tenaga air di Sumatera Barat terutama di Kabupaten Tanah Datar, untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Karena PT PLN (Persero) membuka peluang bagi perusahaan swasta untuk memberikan kontribusi yang termaktub dalam Peraturan Menteri ESDM No.19 tahun 2015 Tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Kapasitas Sampai 10 Megawatt (10 MW) oleh PT PLN (Persero).

Tujuan umum dari pembangunan PLTMH adalah membantu mengatasi kekurangan listrik di daerah pedesaan yang belum terjangkau listrik, mengoptimalkan penggunaan sumber energi terbarukan secara tepat guna dan memberdayakan masyarakat dari segi sosial, teknis dan ekonomi. Sedangkan tujuan khususnya adalah memanfaatkan energi terbarukan dalam bentuk PLTMH di daerah yang akan dijadikan lokasi studi dan meminimalisir penggunaan dan dampak negatif dari pemanfaatan energi tak terbarukan. Pemanfaatan air sungai menjadi pusat pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan dua sistem yaitu sistem aliran sungai langsung (*run of river*, ROR) dan sistem waduk. Pada Gambar 1.1 ditunjukkan model pemanfaatan aliran air

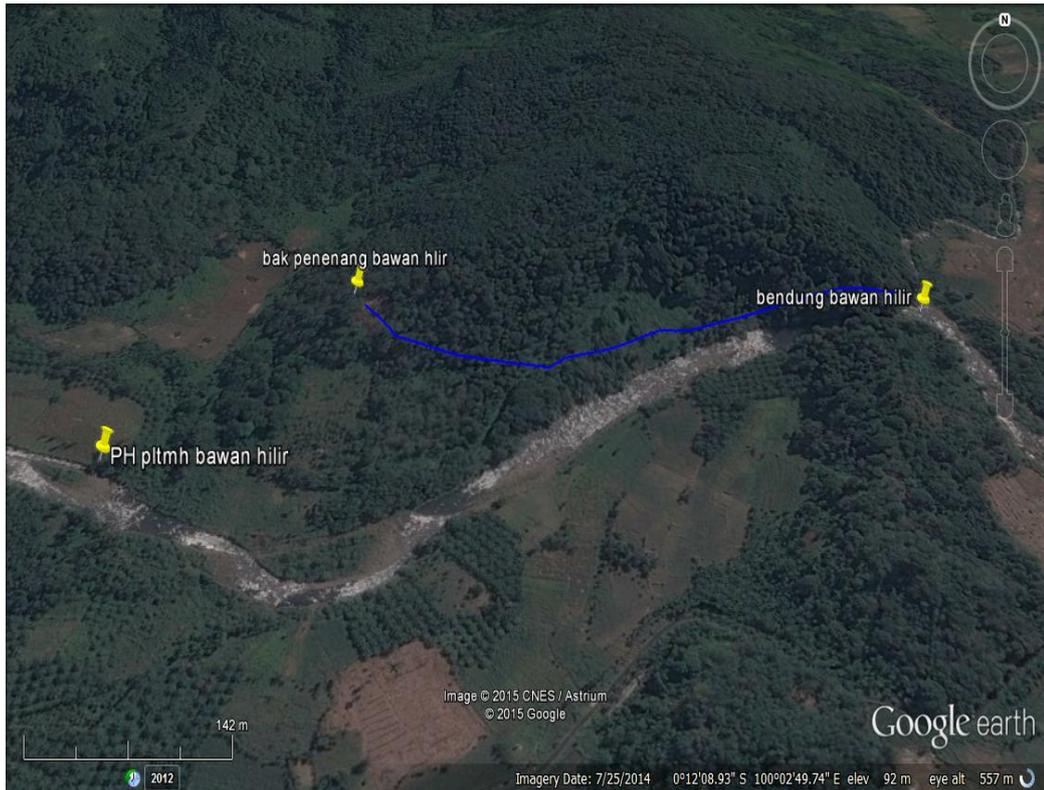
sungai menjadi PLTMH menggunakan sistem ROR. Untuk sistem waduk, air sungai dikumpulkan dan disimpan pada sebuah waduk yang memerlukan area yang luas.



**Gambar 1.1. Model Pemanfaatan Aliran Sungai Menjadi PLTMH**

## **1.2. Penentuan Lokasi PLTMH**

Pemilihan lokasi pendirian PLTMH harus mengacu pada keberadaan dua aspek utama yaitu adanya debit air ( $Q$ ) dan beda ketinggian aliran ( $h$ ). Selanjutnya perlu juga dilihat aspek teknis, legalitas dan finansial. Penelusuran potensi dapat dilakukan melalui peta google (*Google Earth*) atau informasi dari berbagai pihak yang menyatakan bahwa ada potensi air utk PLTMH. Berikut ini contoh potensi yang bisa dijadikan sebagai PLTMH, yang diperoleh mealui *Google Earth*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.



**Gambar 1.2. Potensi PLTMH melalui *Google Earth***



**Gambar 1.3. Potensi Air Untuk PLTMH**

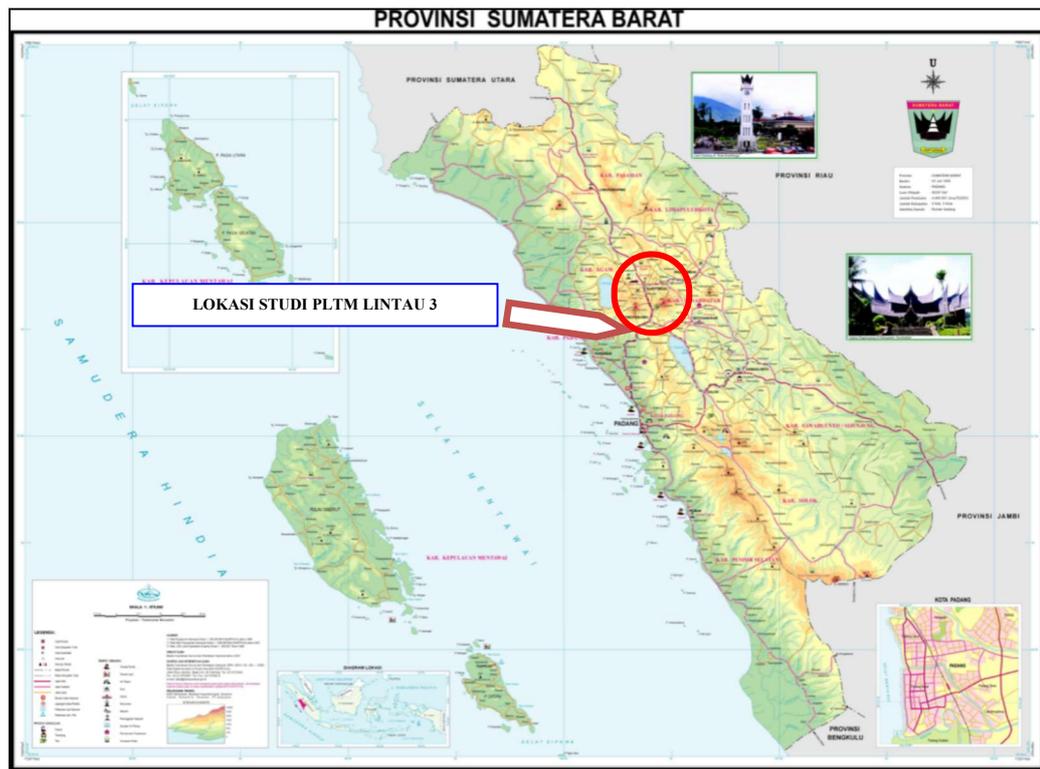
Penelitian potensi PLTM dilakukan pada daerah di Kabupaten Tanah Datar yaitu di Jorong Seroja Nagari Lubuk Jantan Kecamatan Lintau Buo Utara yang dialiri Batang Sinamar. Sementara lokasi studi berjarak 195 km dari Kota Padang.

Untuk memudahkan dalam memperkenalkan lokasi yang akan dibangun PLTMH, maka harus ditampilkan dalam bentuk peta lokasi terluas sampai terkecil.

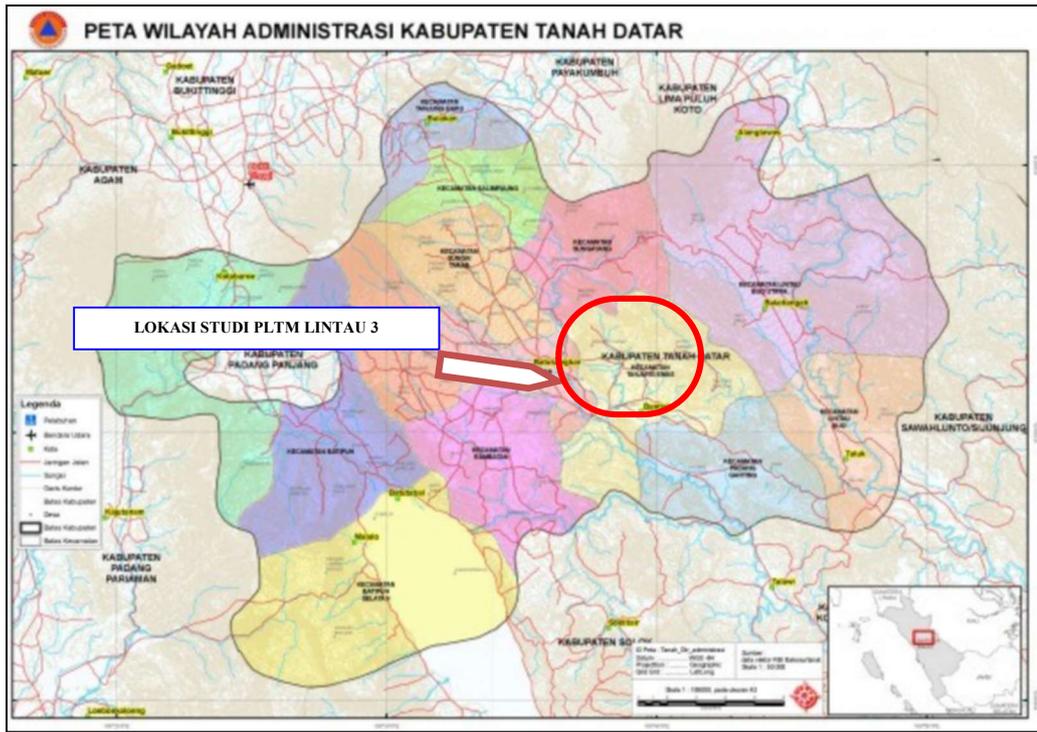
Secara lebih jelas dan spesifik, contoh lokasi studi PLTMH dapat dilihat pada Gambar 1.4 sampai Gambar 1.7. berikut ini.



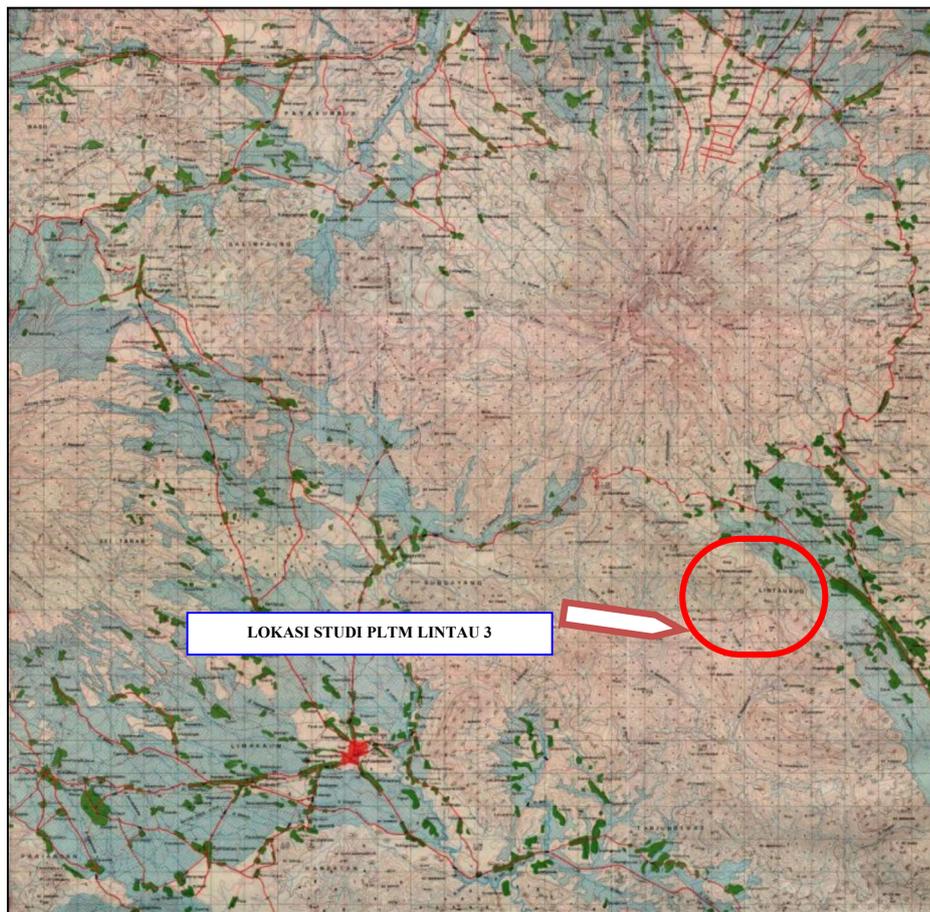
**Gambar 1.4 Lokasi Studi PLTM Lintau 3 Pada Peta Indonesia**



**Gambar 1.5 Lokasi Studi PLTM Lintau 3 pada Peta Sumatera Barat**



**Gambar 1.6. Lokasi Studi PLTM Lintau 3 Peta Kabupaten Tanah Datar**



**Gambar 1.7 Peta Lokasi PLTM Lintau 3 pada Peta Bakosurtanal**

### **1.3. Metodologi Studi Kelayakan PLTMH**

Metode Studi Kelayakan PLTMH dilakukan 5 tahapan, yaitu :

- Tahap I        *Desk Study*, yaitu studi meja melalui literatur maupun *google earth*.
- Tahap II        Pengumpulan data dan gambar dari berbagai pihak terkait.
- Tahap III        Melakukan survei dan studi lapangan, dilengkapi dengan pengukuran serta mengumpulkan data-data lapangan berdasarkan data dan informasi yang diperoleh, baik dari instansi yang berwenang, hingga masyarakat sekitar lokasi.
- Tahap IV        Mengolah dan menganalisis data.
- Tahap V        Membuat kesimpulan dan rekomendasi

## BAB II DESKRIPSI DAERAH STUDI

### 1.1. Deskripsi Umum

Deskripsi umum harus mampu menjelaskan informasi umum lokasi studi seperti luas wilayah, koordinat, elevasi dan sebagainya. Untuk memudahkan dalam memahami cara mendeskripsikan lokasi studi, diberikan contoh studi kelayakan PLTM Lintau 3.

Kabupaten Tanah Datar merupakan salah satu kabupaten yang berada dalam wilayah Provinsi Sumatera Barat, Indonesia, dengan ibu kota Batusangkar. Secara geografis wilayah Kabupaten Tanah Datar terletak di tengah-tengah Provinsi Sumatera Barat, dengan ketinggian daerah antara 400 sampai 1000 meter dari atas permukaan laut. Kabupaten ini merupakan kabupaten dengan luas terkecil kedua di Sumatera Barat, yaitu 133.600 Ha (1.336 km<sup>2</sup>). Adapun koordinat geografis lokasi studi, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel. 2.1 Koordinat Geografis Studi**

No	Bangunan	Koordinat	
		Lintang Selatan	Bujur Timur
1	Bendung	00° 24' 26.94"	100° 45' 16.25"
2	Power House	00° 25' 2.84"	100° 45' 5.77"

Kabupaten Tanah Datar memiliki perbatasan dengan beberapa kabupaten/kota di Sumatera Barat, yaitu:

- Utara : Kabupaten Agam dan Kabupaten Lima Puluh Kota
- Selatan : Kota Sawahlunto dan Kabupaten Solok
- Barat : Kabupaten Padang Pariaman
- Timur : Kabupaten Sijunjung

Kabupaten Tanah Datar memiliki 14 Kecamatan, 75 nagari dan 395 jorong, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel. 2.2 Kabupaten Tanah Datar Berdasarkan Pembagian Kecamatan**

No	Kecamatan	Ibukota	Jumlah	
		Kecamatan	Nagari	Jorong
1	X Koto	Pasa Rabaa	9	41
2	Batipuh	Kubu Karambia	8	49
3	Batipuh Selatan	Sumpur	4	17
4	Pariangan	Simabur	6	21
5	Rambatan	Rambatan	5	33
6	Lima Kaum	Lima Kaum	5	33
7	Tanjung Emas	Saruaso	4	19
8	Padang Ganting	Padang Ganting	2	7
9	Lintau Buo	Buo	4	22
10	Lintau Buo Utara	Balai Tengah	5	63
11	Sungayang	Sungayang	5	14
12	Sungai Tarab	Sungai Tarab	10	32
13	Salimpaung	Tabek Patah	6	27
14	Tanjung Baru	Tanjung Alam	2	17
	<b>Jumlah/Total</b>		<b>75</b>	<b>395</b>

*Sumber : Pemda Kabupaten Tanah Datar*

## **1.2. Potensi Ekonomi Dan Sosial**

Kabupaten Tanah Datar adalah daerah agraris, lebih 70% penduduknya bekerja pada sektor pertanian, baik pertanian tanaman pangan, perkebunan, perikanan, maupun peternakan. Begitu juga dengan usaha masyarakat pada sektor lain juga berbasis pertanian seperti pariwisata dan industri kecil atau agro industri.

Potensi ekonomi Kabupaten Tanah Datar dapat dikategorikan atas tiga yaitu: Sangat Potensial, Potensial, dan Tidak Potensial. Untuk sektor pertanian yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah ubi kayu, kubis, karet, tebu, peternakan sapi potong, peternakan kuda, peternakan kambing potong, budidaya ayam ras pedaging, ayam bukan ras, budidaya itik, dan budidaya ikan air tawar.

Kabupaten Tanah Datar memiliki potensi bahan tambang berupa batu gamping kristalian yang sekarang dikelola oleh PT Inkalko Agung, dolomit, granit, sirtukil, tanah

liat, batu setengah permata, trass, fosfat, batubara, besi, emas, belerang, kuarsa, dan slate.

Sektor lain yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah industri konstruksi bangunan sipil, pedagang eceran makanan olahan hasil bumi, usaha warung telekomunikasi, pedagang cenderamata, dan wisata sejarah. Daerah di Kabupaten Tanah Datar yang potensial untuk hampir semua sektor pertanian kecuali cengkih, tembakau, bayam, dan merica. Sedangkan untuk sektor pertambangan yang potensial dikembangkan adalah galian kapur dan sirtu.

### **2.3 Kondisi Kelistrikan**

Dalam usaha memenuhi kebutuhan pelayanan jaringan listrik penduduk di Kabupaten Tanah Datar umumnya di-*supply* oleh PLN. Serta untuk menunjang peningkatan pelayanan sistem jaringan listrik yang utama dengan penyediaan sumber energi dengan kapasitas yang memadai, sehingga disaat beban puncak pemakaian tidak terjadi pemadaman bergilir karena saat ini kapasitas yang tersedia tidak memadai dibanding pemakaian, ditambah dengan pemasangan baru.

Penyediaan sumber energi listrik di Kabupaten Tanah Datar dipasok dari beberapa sumber seperti; UPP Salimpaung, Simabur, Sumanik, Sungayang dan UPP Rambatan serta menggunakan sistem interkoneksi sistem ini masih belum memberikan pelayanan dengan baik, dimana masih seringnya terjadi pemadaman secara bergilir.

Guna memenuhi kebutuhan dimasa yang akan datang seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, pada tahun 2028 diprediksi kebutuhan energi listrik di Kabupaten Tanah Datar akan mencapai sekitar 10.532,69 KW (10,5 MV). Kapasitas tersebut merupakan kebutuhan yang harus dipersiapkan hingga akhir masa perencanaan. Upaya pemerintah dalam meningkatkan sistem pelayanan kebutuhan listrik, dalam waktu dekat daya listrik dari Gardu Induk Sumanik akan diganti dengan daya listrik berkapasitas 30 MVA dari sumber yang ada saat ini sebesar 10 MVA. Dengan demikian sumber daya listrik ini diharapkan dapat mencukupi kebutuhan daya listrik di Kabupaten Tanah Datar hingga akhir tahun perencanaan. Selain itu, penambahan jaringan transmisi direncanakan juga pembangunan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dengan kapasitas daya 275 KV dan merupakan peningkatan yang ada sekarang dengan kapasitas 66 KV dan 150 KV, rencana penambahan daya listrik

direncanakan juga pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) sebesar  $\pm 10$  MW berkaitan dengan pembangunan irigasi Batang Sinamar.

Terkait dengan rencana pengembangan jaringan listrik yang menggunakan daya listrik tegangan tinggi (SUTET), perlu adanya pengaturan ruang pada jalur yang akan dilewati jaringan, hal ini dimaksudkan untuk keamanan penduduk dari pengaruh radiasi listrik yang ditimbulkan serta untuk menghindari kemungkinan – kemungkinan terjadinya roboh tiang. Mengenai pengaturan ruang sekitar jaringan listrik (SUTET) akan di bahas secara rinci pada pembahasan selanjutnya.

Dari permasalahan yang ada, muncul solusi yang bias dijadikan alternatif dalam memenuhi kebutuhan listrik ini, yaitu dengan memanfaatkan potensi Energi terbarukan, seperti tenaga air, panas bumi, angin, surya, samudera, maupun biomasa yang jumlahnya cukup memadai namun tersebar. Salah satu potensi yang ada adalah dengan memanfaatkan Batang Sinamar di Kecamatan Lintau Buo Utara Kabupaten Tanah Datar Provinsi Sumatera Barat.

Sebagai gambaran umum kondisi kelistrikan, di bawah ini diberikan data pembangkit tenaga listrik PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat. Pada Gambar 2.1. ditunjukkan Peta Kelistrikan Sumatera.

**Tabel 2.3 Kapasitas Terpasang Pembangkit Sistem Sumbar PT. PLN (Persero)**

No.	Jenis Pembangkit	Kapasitas (MW)
1	PLTU Ombilin	2 x 91,2
2	PLTA Singkarak	4 x 43.8
3	PLTA Maninjau	4 x 17
4	PLTA Batang Agam	3 x 3,5
5	PLTG Pauh Limo	3 x 18
6	PLTU Teluk Sirih	1 x 112
	<b>Total</b>	<b>602.1</b>

*RUPTL 2015 – 2024*



**Gambar 2.1. Peta Kelistrikan Sumatera**

## **2.4 Kondisi Geografi**

Kabupaten Tanah Datar terletak di antara tiga gunung, yaitu Gunung Merapi, Gunung Sago dan Gunung Singgalang. Kondisi topografi ini didominasi oleh daerah perbukitan, serta memiliki dua pertiga bagian danau Singkarak. Kondisi topografis Kabupaten Tanah Datar adalah sebagai berikut:

1. Wilayah Datar 0–3% dengan luas 6.189 Ha atau 6.63% dari luar wilayah Kabupaten Tanah Datar
2. Wilayah Berombak 3–8% dengan luas 3.594 Ha atau 2,67% dari luar wilayah Kabupaten Tanah Datar
3. Wilayah Bergelombang 8-15% dengan luas 43.922 Ha atau 32.93% dari luas Kabupaten Tanah Datar
4. Kemiringan di atas 15% dengan luas wilayah 79.895 Ha atau 59.77% dari luas Kabupaten Tanah Datar.

Kabupaten Tanah Datar merupakan wilayah dengan kondisi topografi bervariasi mulai dari datar, bergelombang hingga berbukit dengan elevasi berkisar antara 200 - 1000 m di atas permukaan laut. Kabupaten Tanah Datar berada di suatu cekungan gunung dan perbukitan yang melingkar dengan ketinggian berkisar antara 100 – 2.891 meter dari permukaan laut.

Bentuk bentang alam yang sekarang ini merupakan refleksi dari proses alam yang bekerja di daerah Tanah Datar, dimana proses pembentukan bentang alam sangat dipengaruhi oleh jenis –jenis batuan, struktur geologi serta intensitas proses (erosi).

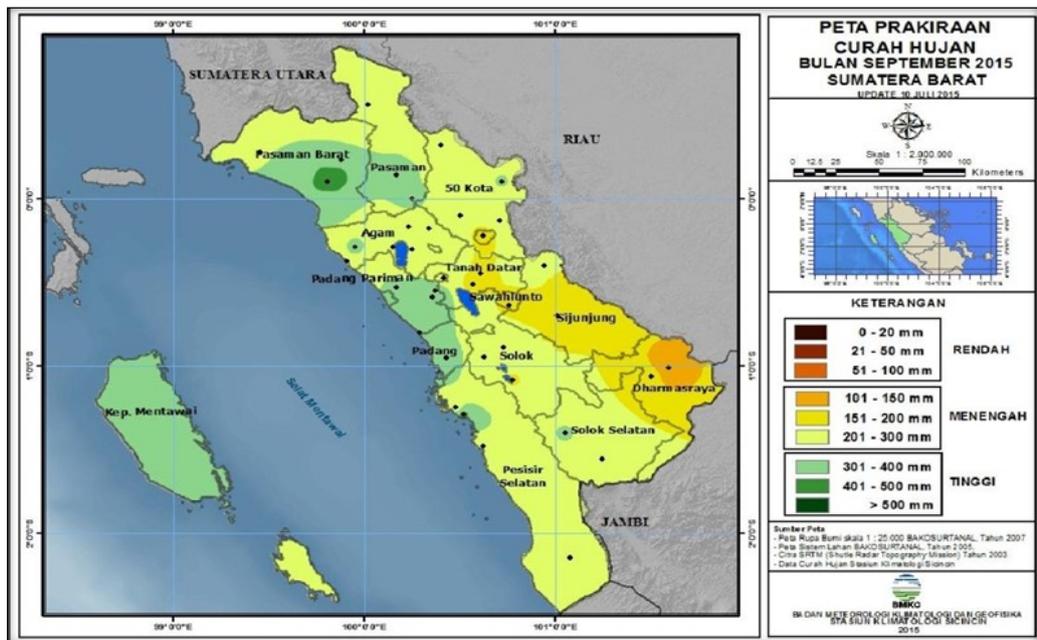
Berdasarkan kemiringan lahan, Kabupaten Tanah Datar dikelompokkan menjadi 6 bagian yaitu :

1. Daerah dengan kemiringan lahan 0 - 3% (Datar) sebagian besar tersebar di Kecamatan Tanjung Emas, Rambatan, Lintau Buo, Tanjung Baru dan Kecamatan Padang Ganting.
2. Daerah dengan kemiringan lahan 3 - 8% (Agak Landai) sebagian besar tersebar di Kecamatan Lima Kaum, Rambatan, Sungai Tarab, Salimpaung dan Kecamatan Sungayang.
5. Daerah dengan kemiringan lahan 8 -15% (Bergelombang), sebagian besar tersebar di Kecamatan Lintau Buo Utara, Pariangan, Sungai Tarab, X Koto dan Kecamatan Batipuh.
4. Daerah dengan kemiringan lahan 15 - 25% (Agak Curam), penyebarannya hampir di seluruh kecamatan sama, kecuali bagian tengah wilayah Kabupaten Tanah Datar meliputi; sebelah utara Kecamatan Lima Kaum, Kecamatan Tanjung Emas dan Kecamatan Rambatan, sebelah selatan Kecamatan Lintau Buo Utara, Sungayang, Pariangan dan Kecamatan Sungai Tarab.
5. Lahan dengan kemiringan 15 - 25 % ini merupakan wilayah paling luas dan dominan di Kabupaten Tanah Datar.
6. Daerah dengan kemiringan lahan 25 - 45% (Curam), sebagian besar tersebar di Kecamatan X Koto, Batipuh Selatan, Sungayang dan Tanjung Emas.
7. Daerah dengan kemiringan lahan > 45% (Sangat Curam), sebagian besar tersebar di sebelah barat, utara dan bagian timur wilayah Tanah Datar. Komponen kelerengan diatas 45 % ini menjadikan kendala dalam

pengembangan wilayah di Kabupaten Tanah Datar karena kawasan dengan kondisi lereng sangat curam berpotensi terancam bahaya longsor dan erosi.

## 2.5 Kondisi Hidrologi

Hidrologi merupakan data yang berkaitan dengan kondisi air, baik air permukaan maupun air tanah yang ada pada suatu wilayah. Kondisi hidrologi suatu kawasan sangat dipengaruhi oleh kondisi curah hujan, jenis batuan, jenis tanah serta tingkat keterenggan dan kondisi tutupan lahan. Kondisi hidrologi yang ada di Kabupaten Tanah Datar cukup baik dengan pola aliran bersifat dendritik. Kabupaten Tanah Datar dialiri oleh 25 buah sungai yang saat ini pemanfaatannya adalah selain untuk kebutuhan pengairan (pertanian) juga dimanfaatkan oleh sebagian penduduk untuk keperluan mandi dan cuci. Temperatur udara Kabupaten Tanah Datar berkisar antara 22°C-33°C.



**Gambar 2.2. Peta Curah Hujan di Sumatera Barat**

Air permukaan adalah air yang muncul atau mengalir di permukaan seperti mata air, danau, sungai dan rawa. Potensi air permukaan dipengaruhi oleh kondisi topografi, jenis batuan dan material penyusun tanah, penggunaan lahan, curah hujan dan aktifitas manusia. Potensi air permukaan sebagian besar berasal dari berbagai mata air yang banyak terdapat di kawasan ini mengalir melalui sungai - sungai kecil di sekitar perbukitan dengan pola aliran berbentuk radial serta berbentuk dendritik untuk cabang-cabang sungai besar.

Kabupaten Tanah Datar memiliki 5 (lima) buah sungai besar dan 208 buah sungai kecil yang tersebar di seluruh kecamatan. Kebanyakan dari air sungai-sungai tersebut bersumber dari lereng-lereng gunung seperti; Gunung Marapi, Gunung Singgalang, Gunung Sago serta Gugusan Bukit Barisan.

Sebagian besar wilayah Kabupaten Tanah Datar merupakan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang mengalir ke arah timur yaitu DAS Indragiri dengan pola dendritik, namun untuk sungai disekitar Danau Singkarak pola aliran sungai yang terbentuk adalah pola rektangular dengan sungai utama adalah Batang Ombilin dan sebagian mengalir dengan pola dendritik terutama cabang-cabang sungai besar.

Curah hujan yang cukup tinggi sepanjang tahun memungkinkan kondisi sungai untuk mengalir sepanjang tahun di Kabupaten Tanah Datar, namun kondisi ini dapat berubah jika terjadi kerusakan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) akibat aktivitas manusia seperti penebangan hutan. Air tanah terdiri dari air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal adalah air tanah yang umumnya digunakan oleh masyarakat sebagai sumber air bersih berupa sumur-sumur galian.

**Tabel 2.4 Nama Sungai Besar, Lebar Sungai , dan Wilayah yang Dialiri di Kabupaten Tanah Datar**

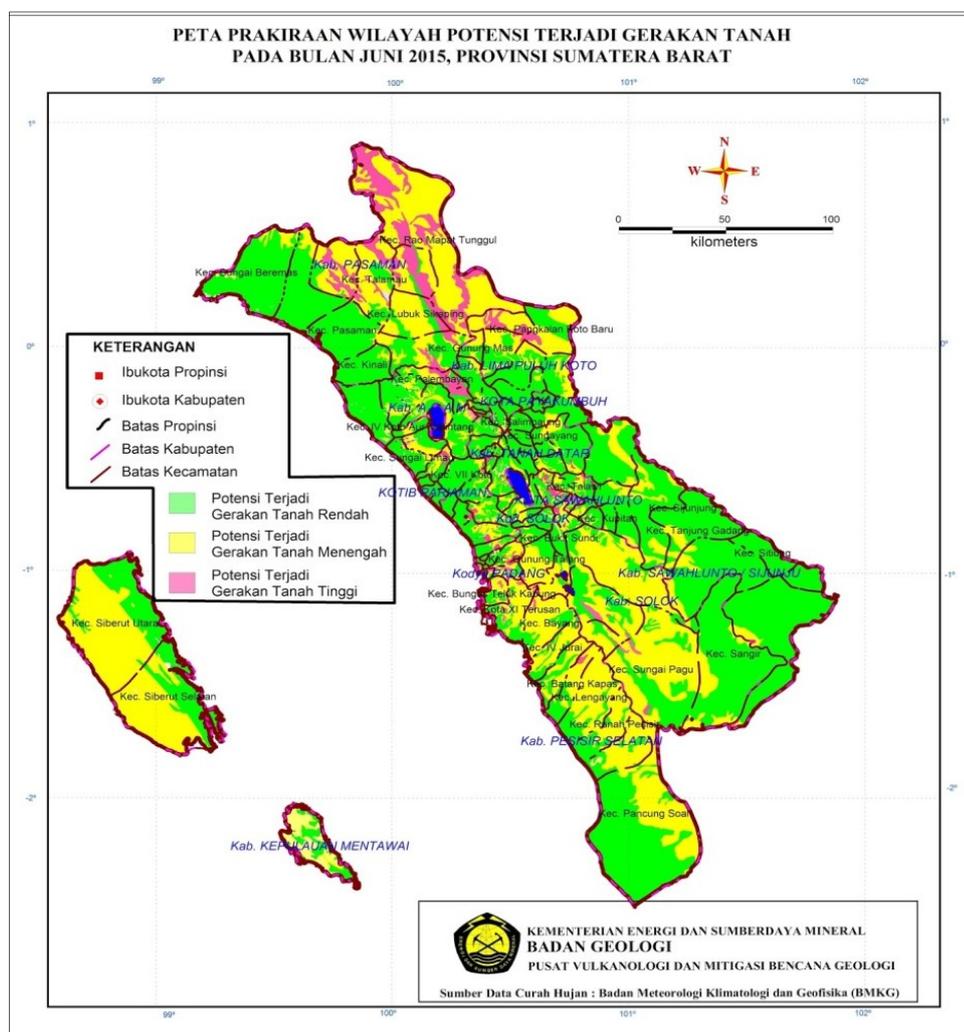
No	Nama Sungai	Lebar Sungai (m)	Wilayah yang Dialiri
1.	Batang Anai	8	Kec. X Koto
2.	Batang Selo	10	Kec. Salimpaung, Kec. Sungai Tarab, Kec. Sungayang, Kec. Lima Kaum, Kec. Tajung Emas, dan Kec. Padang Ganting
3.	Batang Sinamar	40	Kec. Lintau Buo dan Kec. Lintau Buo Utara
4.	Batang Ombilin	60	Kec. Rambatan dan Kec. Padang Ganting
5.	Batang Sumpur	8	Kec. Batipuh Selatan

Potensi air tanah dapat diketahui dari kedalaman sumur gali masyarakat dan sifat fisik tanah/batuan dalam kaitannya sebagai Penghantar air. Di Kabupaten Tanah Datar sebagian kecil masyarakat masih menggunakan sumur galian sebagai cadangan

persediaan air bersih pada saat air PDAM mengalami gangguan. Kawasan masyarakat yang menggunakan sumur gali sebagai sumber air bersih tersebar di Kabupaten Tanah Datar khususnya daerah perkotaan.

## 2.6 Kondisi Kegempaan

Sumatera Barat termasuk kawasan rawan gempa bumi disebabkan letaknya di pantai barat Sumatera yang secara tektonik berada berdekatan dengan zona subduksi (subduction zone), yaitu zona perbatasan antara 2 lempeng tektonik berupa penunjaman lempeng India-Australia ke bawah lempeng Eurasia. Pergerakan lempeng-lempeng ini akan menyebabkan gempa yang sering berkekuatan besar.



**Gambar 2.3. Peta Prakiraan Wilayah Potensi Terjadi Gerakan Tanah di Sumatera Barat**

Sumber-sumber gempa Sumbar adalah sebagai berikut;

- 1) Zona subduksi antara lempeng India-Australia dan lempeng Sunda/lempeng Eurasia (lempeng Sunda adalah bagian dari lempeng Eurasia, terutama yang meliputi kawasan Asia Tenggara) yang membentuk Palung Sunda (*Sunda trench*) sepanjang sekitar 1.300 km memanjang di laut lepas Samudra Hindia dan relatif sejajar dengan garis pantai sebelah barat Sumatera. Lempeng Eurasia merupakan lempeng benua, sedangkan lempeng India-Australia yang menunjam ke bawah lempeng Eurasia merupakan lempeng samudera.

Zona subduksi ini telah menyebabkan terbentuknya jajaran pegunungan 'Bukit Barisan' di sepanjang Sumatera, dari ujung utara di Aceh hingga ujung selatan di Lampung dengan puncak tertinggi adalah Gunung Kerinci (3805 m di atas permukaan laut) yang terletak di perbatasan Sumbar-Jambi .

- 2) Patahan besar Sumatera atau disebut juga dengan patahan Semangko, memanjang di sepanjang Pulau Sumatera, mulai dari ujung Aceh hingga Selat Sunda, dengan bidang vertikal dan pergerakan lateral mengkanan (*dextral-strike slip*).

Di Sumbar, patahan Semangko ini dapat dilihat dengan wujudnya suatu bentang alam yang indah dan langka terjadi di dunia, yaitu 'Ngarai Sianok' . Lembah dengan dinding curam berkedalaman sekitar 100 m, memanjang sekitar 15 km, dan lebar sekitar 200 m ini terletak di Bukittinggi dan merupakan bagian dari Sesar Sumatera. Maka tak heran kenapa wilayah Sumatera Barat kerap diguncang gempa yang berasal dari Samudera maupun daratan.

## BAB III

### KONSEP DESAIN PLTMH

#### 3.1 Konsep Dasar PLTMH

Pada dasarnya suatu pembangkit listrik yang bersumber dari tenaga air (hydro) berfungsi untuk mengubah energi potensial air berupa aliran air sungai dengan debit dan tinggi jatuh (*head*) tertentu menjadi energi kinetik dan mekanik yang menghasilkan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) merupakan pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan daya listrik antara 1 MW sampai 10 MW, sedangkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) hanya menghasilkan daya listrik dibawah 1 MW. Secara global PLTM dan PLTMH dikategorikan sebagai *small hydro electric plant*

Persamaan dasar dari semua desain pekerjaan perencanaan pembangunan PLTM adalah sebagai berikut :

$$P = Q \times g \times h \times \mu \quad (3.1)$$

dimana;

$P$	: Daya (MW)
$Q$	: Debit air (m <sup>3</sup> /dt)
$g$	: Percepatan gravitasi (9.8 m/dt <sup>2</sup> )
$\mu$	: Efisiensi (%)

Persamaan (3.1) sangat penting untuk perencanaan unit-unit secara benar agar PLTM dapat beroperasi secara maksimal. Berikut ini adalah penjelasan mengenai prinsip kerja dan klasifikasi PLTM.

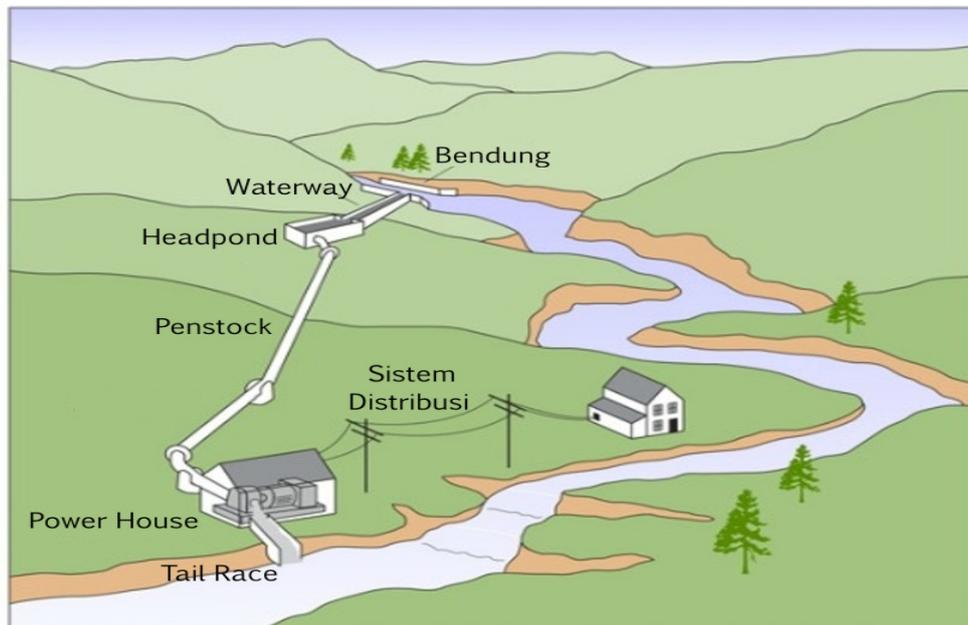
##### 3.1.1 Prinsip Kerja PLTM

Pada umumnya PLTM memanfaatkan aliran sungai sebagai sumber energi yang disebut juga dengan *run-off-river*(ROR). Skema PLTMH ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Secara garis besar prinsip kerja PLTM adalah;

- Aliran sungai dengan jumlah debit air tertentu ditahan dengan bangunan bendung untuk mendapatkan ketinggian maksimal
- Kemudian air tersebut dialirkan melalui *intake* ke saluran pembawa (*water way*) menuju perangkat pasir (*sand trap*).

- c) Dari *sand trap* air dialirkan lagi melalui saluran pembawa menuju *headpond* (bak penenang) sebelum dialirkan ke *penstock* (pipa pesat) dengan ketinggian tertentu agar energi potensial air dapat menggerakkan turbin



**Gambar 3.1 Skema PLTM**

- d) Air yang telah mempunyai tekanan dan kecepatan tinggi (energi kinetik) dialirkan melalui sirip – sirip pengarah (sudu tetap) akan mendorong sudu jalan/runner yang terpasang pada turbin sehingga menyebabkan baling – baling turbin berputar
- e) Selanjutnya turbin merubah energi kinetik yang disebabkan gaya jatuh air menjadi energi mekanik dengan menggunakan generator
- f) Generator dihubungkan dengan turbin melalui gigi–gigi putar sehingga ketika baling–baling turbin berputar maka generator ikut berputar. Generator selanjutnya merubah energi mekanik menjadi energi listrik yang disebabkan oleh kumparan tembaga yang diberi inti besi digerakkan (diputar) dekat magnet sehingga bolak-baliknya kutub magnet akan menggerakkan elektron pada kumparan tembaga dan menghasilkan listrik melalui ujung-ujung kawat tembaga
- g) Selanjutnya dari *power house* yang merupakan tempat proses mekanikal elektrik, air dialirkan ke *tail race* menuju sungai

- h) Untuk mendistribusikan energi listrik yang dihasilkan oleh generator maka tegangan tersebut terlebih dahulu dinaikkan menggunakan transformator *step up*.
- i) Selanjutnya energi listrik disalurkan ke konsumen langsung atau melalui Gardu Hubung (GH) atau Gardu Induk (GI). Berikut ini merupakan gambaran tentang alur sebuah PLTM

### 3.1.2 Klasifikasi PLTM

Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air perlu ditentukan untuk mengetahui karakteristik tipe pembangkit, sistem distribusi energi listrik apakah listrik dapat disalurkan melalui grid terpusat atau grid terisolasi. Klasifikasi pembangkit listrik dapat ditentukan dari beberapa faktor yakni (*Penche, 2004*)

- a) Berdasarkan tinggi jatuh (*head*)
  - Rendah (< 50 m)
  - Menengah (antara 50 m dan 250 m)
  - Tinggi (> 250 m)
- b) Berdasarkan tipe eksploitasi
  - Dengan regulasi aliran air (tipe waduk)
  - Tanpa regulasi aliran air (tipe *run off river*)
- c) Berdasarkan sistem pembawa air
  - Sistem bertekanan (pipa tekan)
  - Sirkuit campuran (pipa tekan dan saluran)
- d) Berdasarkan penempatan rumah pembangkit
  - Rumah pembangkit pada bendungan
  - Rumah pembangkit pada skema pengalihan
- e) Berdasarkan metode konversi energi
  - Pemakaian turbin
  - Pemompaan dan pemakaian turbin terbalik
- f) Berdasarkan tipe turbin

•*Impulse, reaksi dan reversible*

g) Berdasarkan kapasitas terpasang

•Mikro (< 100 kW)

•Mini (antara 100 kW dan 500 Kw)

•Kecil (antara 500 kW dan 10 MW)

h) Berdasarkan debit desain tiap turbin

•Mikro ( $Q < 0,4 \text{ m}^3/\text{dt}$ )

•Mini ( $0,4 \text{ m}^3/\text{dt} < Q < 12,8 \text{ m}^3/\text{dt}$ )

•Kecil ( $Q > 12,8 \text{ m}^3/\text{dt}$ )

### 3.2 Komponen Utama

Beberapa komponen yang digunakan untuk PLTM baik komponen utama maupun bangunan penunjang antara lain;

- a) Saluran pembawa (*water way*), mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.
- b) Bak penenang (*headpond*), berada di ujung saluran pembawa yang berfungsi untuk mecegah turbulensi air sebelum diterjunkan melalui pipa pesat
- c) Pipa pesat (*penstock*), dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin.
- d) Turbin, berfungsi untuk mengkonversi energi aliran air menjadi energi putaran mekanis.
- e) Pipa hisap, (*draft tube*), berfungsi untuk menghisap air, mengembalikan tekanan aliran yang masih tinggi ke tekanan atmosfer.
- f) Generator, berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi listrik.
- g) Panel kontrol, berfungsi untuk pengukuran, mengontrol tegangan dan frekuensi.

### 3.3 Bangunan Sipil

Data dan informasi yang diperlukan dalam studi kelayakan sipil mencakup keadaan topografi, geologi dan mekanika tanah yang akan digunakan untuk bangunan utama dan rute saluran air. Data tersebut digunakan sebagai dasar perencanaan bangunan - bangunan inti yang terdiri dari bendung, *intake*, saluran pembawa (*water*

way), bak penenang (*forebay*), pipa pesat (*penstock*), angker blok, rumah turbin (*power house*), dan *tail race*. Pada Gambar 2.1 diunjukkan model bendung. Berikut ini diuraikan tentang bangunan-bangunan inti dari sebuah PLTM.

### 3.3.1 Bendung

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai agar bisa disadap yang merupakan salah satu bagian dari bangunan utama. Fungsi utama dari bendung yaitu untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*intake*).

- a) Perencanaan elevasi puncak pelimpah (mercu bendung) direncanakan dengan mempertimbangkan elevasi muka air rencana di bangunan bagi paling hulu, kehilangan tinggi energi pada alat ukur, kehilangan tinggi energi pada pengambilan saluran primer, kehilangan tinggi energi pada pengambilan, faktor keamanan dan kemiringan saluran antara bangunan intake dengan bangunan bagi paling hulu.
- b) Lebar bendung

Untuk menentukan lebar bendung yaitu jarak dari dinding sebelah kiri ke dinding sebelah kanan maka dilakukan langkah-langkah seperti berikut;

- Melakukan pengukuran beberapa potongan melintang (*cross section*) sungai pada rentang jarak antara 100 m. Misalkan : ada 6 potongan yaitu P1, P2, P3, P4, P5 dan P6.
- Memplot potongan melintang tersebut (P1 sampai P6) pada gambar.
- Menentukan kemiringan rata-rata dasar sungai (*Ib*).
- Menentukan banjir tahunan (*Q1*),
- Menentukan elevasi muka air banjir tahunan di setiap potongan.
- Menentukan lebar permukaan air di sungai untuk *Q1* pada setiap potongan.
- Menghitung lebar rata-rata dari potongan P1 sampai P6.

- c) Bangunan Pelimpah

Pelimpah berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air. Elevasi puncak pelimpah direncanakan berdasarkan banyak hal antara lain; elevasi muka air rencana di bangunan bagi paling hulu, kehilangan tinggi energi pada alat ukur, kehilangan tinggi energi pada pengambilan saluran primer, kehilangan tinggi energi pada pengambilan, faktor keamanan dan kemiringan saluran antara bangunan intake dengan bangunan bagi paling hulu.



Gambar 3.2. Bendungan

Rumus debit melalui pelimpah;

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{(2/3g)} \cdot B_e \cdot H_1^{1.5} \quad (3.2)$$

$$B_e = B - 2(N \cdot k_p + k_a)H \quad (3.3)$$

dimana :

Q : Debit banjir rencana periode ulang 100 tahunan (Q100),

C<sub>d</sub>: Koefisien debit, hasil perkalian antara C<sub>1</sub>x C<sub>2</sub>x C<sub>3</sub>

B<sub>e</sub> : Lebar efektif bendung (m)

H<sub>1</sub> : Tinggi energi di hulu pelimpah (m)

B : Lebar pelimpah, tidak termasuk pilar dan bangunan pembilas (m)

N : Jumlah pilar

K<sub>p</sub>: koefisien kontraksi pilar (Tabel 3.1)

K<sub>a</sub>: koefisien kontraksi *abutment*/dinding

**Tabel 3.1 Harga Koefisien Kontraksi**

URAIAN	K <sub>p</sub>
- Pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar.	0,02
- Pilar berujung bulat.	0,01

- Pilar berujung runcing.	0
URAIAN	Ka
- Pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90 <sup>0</sup> ke arah aliran.	0,20
- Pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90 <sup>0</sup> ke arah aliran dengan 0,5 H1 > r > 0,15 H1.	0,1
- Pangkal tembok bulat, dimana r > 0,5 H1 dan tembok hulu tidak lebih dari 45 <sup>0</sup> ke arah aliran.	0

d) Bangunan Pengambil (*Intake*)

Bangunan pengambil (*intake*) berfungsi untuk mengarahkan aliran air dari sungai ke saluran pembawa. Bangunan pengambil dilengkapi dengan pintu air yang berfungsi sebagai pengontrol besaran air yang akan masuk ke saluran pembawa. Kapasitas pengambilan harus sekurang kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimension requirement*) guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek.



Gambar 3.3. Bangunan Pengambil (ntake)

Untuk menghitung bukaan pada pintu intake digunakan persamaan :

$$Q = \mu . a . b \sqrt{2 . g . h} \quad (3.4)$$

dimana :

Q : Debit rencana (m<sup>3</sup>/dt)

$\mu$  : Koefisien pengaliran

h : Tinggi pintu intake (m)

b : Lebar pintu intake (m)

g : Gaya gravitasi = 9,81 m/dt<sup>2</sup>

$z$  : Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 - 0,3 m

e) Kolam Olak

Karena banjir diperkirakan akan mengangkut batu-batu bongkah, maka akan digunakan peredam energi tipe bak tenggelam (*Bucket Type*). Parameter-parameter dasar sebagaimana diberikan oleh USBR (Peterka, 1974) sulit untuk diterapkan bagi perencanaan bendung dengan tinggi energi rendah. Oleh sebab itu, parameter - parameter dasar ini sebagai jari-jari bak, tinggi energi dan kedalaman air telah dirombak kembali menjadi parameter-parameter tanpa dimensi dengan cara membaginya dengan kedalaman kritis :

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (3.5)$$

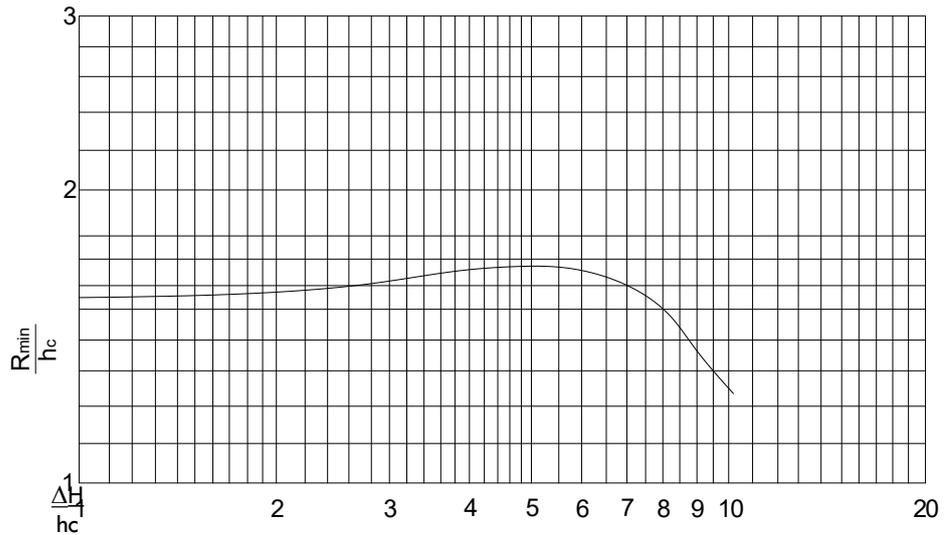
dimana :

$h_c$  : kedalaman kritis (m)

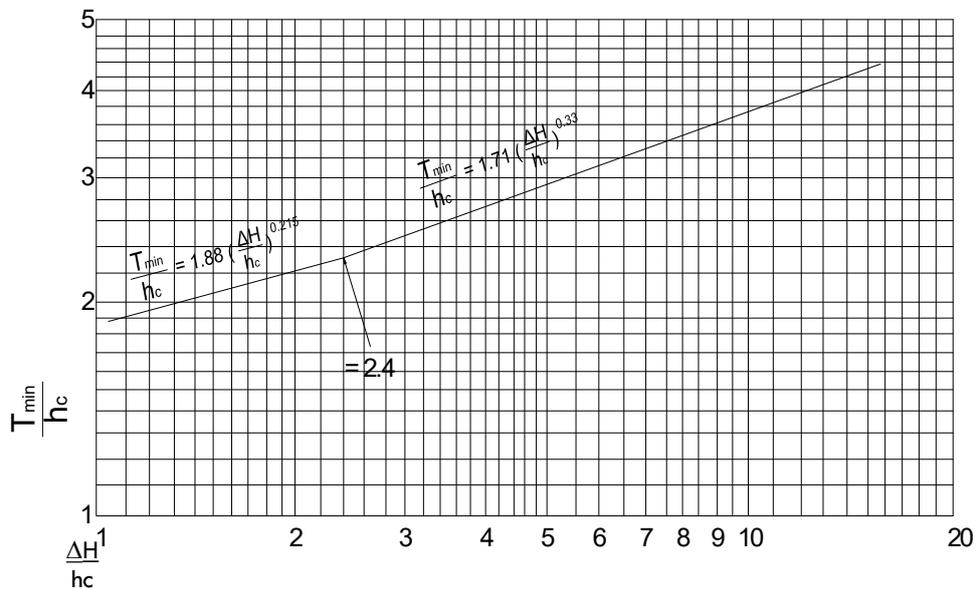
$g$  : percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

$q$  : Debit satuan,  $q = \frac{Q}{Be}$

Jari-jari hidrolis minimum yang diijinkan ( $R_{\min}$ ) diberikan pada Gambar 3.4, dimana garis menerus adalah garis asli dari kriteria USBR. Batas minimum tinggi air hilir ( $T_{\min}$ ) diberikan pada Gambar 3.5, dimana untuk nilai  $\Delta H/h_c$  dibawah 2,4 garis tersebut menggambarkan kedalaman konjugasi suatu loncat air. Dianjurkan untuk menentukan kedalaman air hilir berdasarkan perkiraan degradasi dasar sungai yang akan terjadi di masa datang. Berikut ini ditampilkan grafik jari-jari minimum bak tenggelam dan grafik batas minimum tinggi air hilir pada Gambar 3.4.

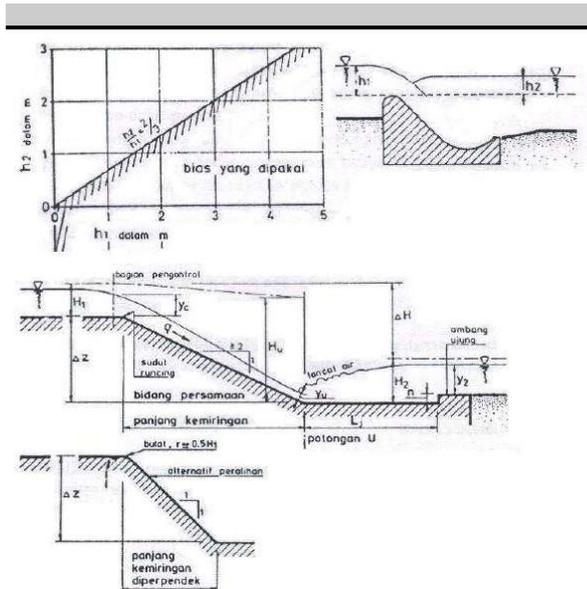


**Gambar 3.4. Jari-Jari Minimum Bak Tenggelam**



**Gambar 3.5. Batas Minimum Tinggi Air Hilir**

Dari hasil penelitian model terhadap bak tetap, IHE menyimpulkan bahwa pengaruh kedalaman tinggi air terhadap bekerjanya bak sebagai peredam energi, ditentukan oleh perbandingan  $h_2/h_1$  seperti yang tampak pada Gambar 3.4. Jika  $h_2/h_1$  lebih tinggi dari  $2/3$ , maka aliran adalah aliran tenggelam dan tidak ada efek peredaman yang bisa diharapkan. Bendung di sungai yang mengangkut batu-batu besar, tetapi sungai itu mengandung bahan aluvial, dengan dasar tahan gerusan, akan menggunakan kolam loncat air tanpa blok-blok batang seperti pada Gambar 3.6 atau tipe bak tenggelam/peredam energi.



**Gambar 3.6 Perbandingan  $h_2, h_1$  dan kolam loncat air**

### 3.3.2 Bak Pengendap (*Sand trap*)

Untuk mencegah agar sedimen tidak mengendap di seluruh saluran penghantar, bagian awal dari saluran penghantar direncanakan untuk berfungsi sebagai kantong lumpur. Kantong lumpur merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan memberi kesempatan kepada sedimen untuk mengendap. Pada Gambar 3.7. ditunjukkan sand trap. Untuk menampung endapan sedimen ini, dasar bagian saluran diperdalam atau diperlebar. Tampungan ini dibersihkan tiap jangka waktu tertentu dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran terkonsentrasi yang berkecepatan tinggi.

#### a.) Ukuran Partikel Rencana

Melihat hubungan antara diameter endapan dengan kecepatan endap untuk air tenang dapat dilihat pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2 Hubungan diameter endap dengan kecepatan endap**

<b>Diameter (mm)</b>	5	2	1	0,5	0	0,125	0,063	0,05
<b>Kecepatan (m/det)</b>	0,25	0,2	0,15	0,075	0	0,01	0,003	0,002

#### b.) Volume Kantong Lumpur

- Perhitungan volume kantong lumpur ini menggunakan rumusan:

$$V = a \cdot Q_n \cdot T \quad (3.6)$$

dimana :

$a$  : Sedimen yang harus diendapkan

$Q$  : Debit rencana

$T$  : Periode pembilasan

- Perhitungan untuk mengetahui luas permukaan rata-rata menggunakan persamaan :

$$L \cdot B = Q / w \quad (3.7)$$

Dengan persyaratan :  $L / B > 8$

- Penentuan kemiringan (in) pada saat kantong lumpur hampir penuh dan kemiringan (is) pada saat kantong kosong/pembilasan.

Kecepatan yang ditentukan tersebut, dapat mencegah tumbuhnya vegetasi dan agar partikel-partikel yang lebih besar tidak langsung mengendap di hilir pengambilan. Koefisien kekasaran  $k_s$  diambil untuk dasar dari pasangan batu. Penampang adalah berbentuk trapesium dengan kemiringan 1 : 1.



**Gambar 3.7. Sand Trap**

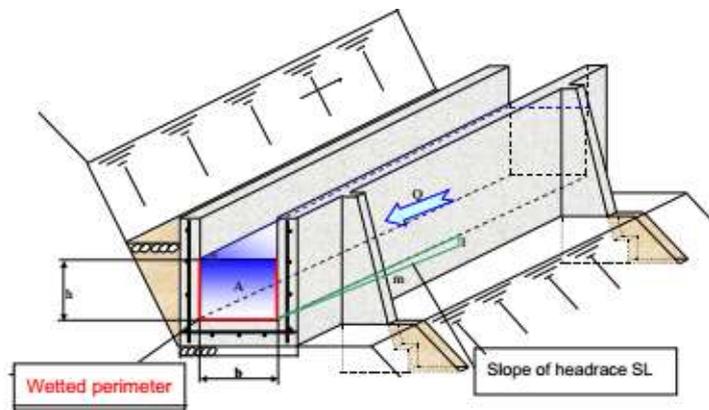
### 3.3.3 Saluran Pembawa

Fungsi saluran pembawa adalah untuk mengalirkan air dari *intake* ke bak penenang, yang direncanakan sebagai saluran pasangan menggunakan pasangan batu kali. Penampang saluran yang umum digunakan berbentuk persegi panjang atau trapesium. Saluran pembawa ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Headrace (saluran pembawa)**

Penampang saluran empat persegi panjang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9. Penampang saluran persegi panjang**

Aliran yang akan dilewatkan sebesar 120% dari debit desain. Persamaan untuk dimensi saluran pembawa adalah sebagai berikut;

$$Q_d = A \cdot R^{2/3} \cdot S_L^{1/2} / n \quad (3.8)$$

dimana,

$Q_d$  : debit desain ( $m^3/dt$ )

$A$  :  $A = b \times h$ ; area of cross section ( $m^2$ )

$R$  :  $R = A/P$  (m)

$P$  :  $P = B + 2 \times h$ , Panjang dari sisi air (m)

$N$  : koefisien roughness

$S_L$  : kemiringan (longitudinal slope)

$$Q = v \times A \quad (3.9)$$

$$Q = v \times (b \times h) \quad (3.10)$$

$b$  : Lebar air dalam saluran (m)

$h$  : Tinggi air dalam saluran (m)

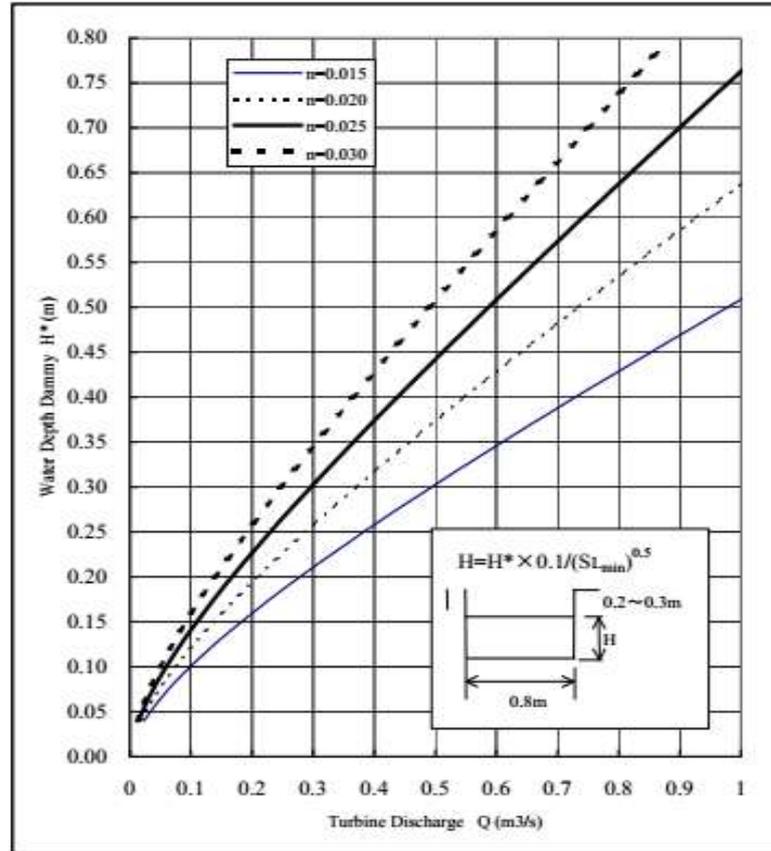
$v$  : Kecepatan air dalam saluran (m/dt<sup>2</sup>)

$Q$  : Debet air yang akan dilewatkan (m<sup>3</sup>/dt)

Perencanaan saluran pembawa berdasarkan pada kriteria:

- a) Nilai ekonomis yang tinggi
- b) Efisiensi fungsi
- c) Aman terhadap tinjauan teknis
- d) Mudah pengerjaannya
- e) Mudah pemeliharaannya
- f) Struktur bangunan yang memadai
- g) Kehilangan tinggi tekan (*head losses*) yang kecil

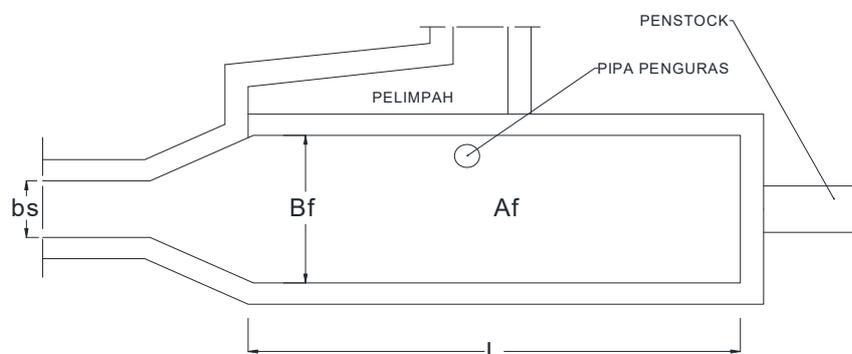
Untuk memenuhi kriteria di atas maka perlu dilakukan optimasi ukuran penampang saluran yang tepat yaitu dengan cara menentukan ukuran  $b$  dan  $h$  berdasarkan debit air maksimum (*turbine discharge*) yang akan dilewati menggunakan kurva seperti pada Gambar 3.10. Dengan  $n$  adalah koefisien kekasaran (*roughness*) dan  $S_{Lc}$  adalah kemiringan saluran.



**Gambar 3.10. Pedoman Penentuan Penampang Saluran**

### 3.3.4 Bak Penenang

Bak penenang berfungsi untuk mengontrol perbedaan debit dalam pipa pesat (*penstock*) dan saluran pembawa karena fluktuasi beban, disamping itu juga sebagai pemindah sampah terakhir (tanah, pasir, kayu yang mengapung) dalam air yang mengalir. Bak penenang dilengkapi saringan (*trashrack*) dan pelimpah (*spillway*), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.11



**Gambar 3.11. Skema bak penenang**

Kapasitas bak penenang :

$$V_f = A_f \cdot h_s = B_f \cdot L_f \cdot d_f \quad (3.11)$$

dimana:

- $V_f$  : kapasitas bak penenang ( $m^3$ ),
- $A_f$  : luas bak penenang ( $m^2$ ),
- $L_f$  : panjang bak penenang (m),
- $h_s$  : kedalaman air dari sebuah saluran,
- $B_f$  : lebar bak penenang (m).

Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam perhitungan dimensi bak penenang:

- a) Volume bak penenang 10 sampai 20 kali debit yang masuk untuk menjamin aliran *steady* dipipa pesat dan mampu meredam tekanan balik pada saat penutupan aliran di pipa pesat, dengan  $Q$  = debit desain ( $m^3/detik$ ).
- b) Bak penenang direncanakan dengan menetapkan kecepatan partikel sedimen sebesar 0.03 m/detik
- c) Pipa pesat ditempatkan 15 cm di atas dasar bak penenang untuk menghindari masuknya batu atau benda – benda yang tidak diinginkan terbawa memasuki turbin, karena berpotensi merusak turbin.

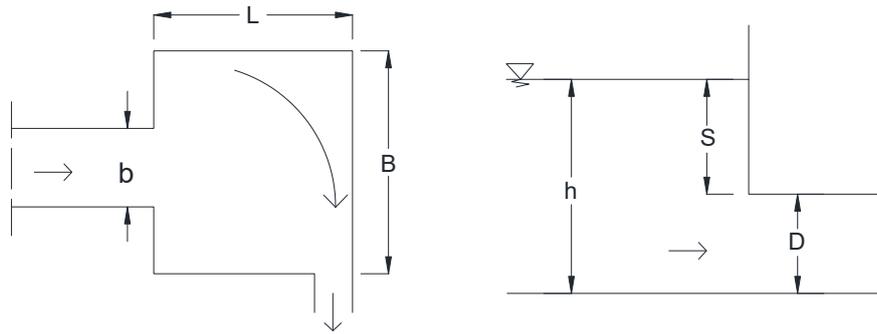
Dimensi bak penenang yang direncanakan berbentuk segiempat ditentukan dengan persamaan:

$$B = 3b \quad \text{dan} \quad L = 2b \quad (3.12)$$

dimana:

- B : lebar kolam penenang,  $b$  = lebar saluran penghantar
- L : panjang kolam penenang

Penampang bak penenang dan *Intake* ke pipa pesat ditunjukkan Gambar 3.12



**Gambar 3.12 Penampang bak penenang dan intake ke pipa pesat**

Untuk menghitung kedalaman air di bak penenang yang arah alirannya tegak lurus dengan arah aliran pipa pesat adalah

$$n = S + D \quad (3.13)$$

$$S = 0.54 \cdot v \cdot D^{0.5} \quad (3.14)$$

dimana :

- n : kedalaman air di kolam penenang
- S : kedalaman air di atas pipa pesat
- v : kecepatan aliran pipa pesat
- D : diameter pipa pesat

### 3.3.5 Pipa Pesat

Berfungsi untuk mengalirkan air ke turbin. Berikut ini adalah beberapa faktor didalam kajian sipil dalam merencanakan pipa pesat

- a) Diameter Pipa Pesat

Diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan,

$$D = \left( \frac{10.3 n^2 Q^2 L}{h_g} \right)^{0.1875} \quad (3.15)$$

dimana:

- n : koefisien kekasaran (*roughness*) untuk baja ditempa 0.015
- Q : debit desain ( m<sup>3</sup>/dt)

L : panjang *penstock* (m)

$h_g$  : tinggi jatuhnya air (*gross head*) (m)

b) Ketebalan Pipa Pesat

Perhitungan tebal plat dapat menggunakan persamaan

$$t_{min} = \frac{(D+20)}{1000} \quad (3.16)$$

Atau dengan perhitungan berikut ini:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{nP_o}{2E}} \quad (3.17)$$

dimana :

$t_{min}$  : penambahan ketebalan pipa untuk faktor korosi

D : diameter dalam pipa

n : faktor keamanan,

n = 2 untuk pipa yang tertutup di dalam tanah

n = 4 untuk pipa yang di luar

$P_o$  : Tekanan udara (0,1 Mpa)

E : Modulus elastis (200 Gpa)



**Gambar 3.12. Pipa Pesat dan *Powerhouse***

c) *Waterhammer*

Pada saat penutupan *inlet valve* dapat terjadi tekanan gelombang aliran air di dalam pipa yang dikenal sebagai *waterhammer*. Tekanan baik akibat tertahannya aliran air oleh penutupan katup akan berinteraksi dengan tekanan air

yang menuju *inlet valve* sehingga terjadi tekanan tinggi yang dapat merusak *penstock*. Besarnya tekanan tersebut dipengaruhi oleh factor;

- Kecepatan gelombang tekanan (*pressure wave speed*) yang besarnya :

$$C = \sqrt{\frac{10^{-3}K}{1 + \frac{KD}{Et}}} \quad (3.18)$$

dimana :

$K$  : modulus bulk air,  $2.1 \times 10^9$  (N/m<sup>2</sup>)

$E$  : modulus elastik material, untuk welded steel  
 $2.1 \times 10^{11}$  (N/m<sup>2</sup>)

$D$  : diameter pipa (mm)

$t$  : tebal pipa (mm)

- *Surge pressure* pada pipa :

$$P_S = \frac{c \nabla_v}{g} \quad (3.19)$$

dimana :

$P_S$  : *Surge pressure*

$\nabla_v$  : kecepatan aliran air didalam pipa

$g$  : percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

Tekanan total (tekanan kritis) di dalam pipa adalah sebesar :

$$\begin{aligned} P_c &= P_o + P_s \\ &= (0.96 H_{gross}) + P_s \end{aligned} \quad (3.20)$$

Dimana:

$P_o$  : tekanan hidrostatik dalam pipa dengan asumsi

*headloss* 4% Sementara itu tegangan yang terjadi pada dinding pipa adalah :

$$S = \frac{P_c \times D}{2t} \cdot S \quad (21)$$

Tegangan pada dinding pipa tersebut dibandingkan dengan kekuatan tarik material dan tegangan yang diijinkan. Apabila tegangan pada dinding pipa lebih besar maka penentuan diameter dan ketebalan pipa diulang (iterasi) sampai diperoleh kondisi yang aman. Perhitungan rinci kekuatan

dan keamanan pipa dilampirkan pada setiap lokasi rencana pengembangan PLTMH.

- Tumpuan pipa pesat (*saddles support*)

Tumpuan pipa pesat, baik pondasi *anchor block*, *saddle support*, berfungsi untuk mengikat dan menahan *penstock*. Jarak antar tumpuan (L) ditentukan oleh besarnya defleksi maksimum *penstock* yang diizinkan. Jarak maksimum dudukan pondasi *penstock* dapat dihitung dengan formula :

$$L = 182.61 \times \left\{ \frac{[(D+0.0147)^4 - D^4]}{p} \right\} \times 0.333 \quad (3.22)$$

dimana :

D : diameter dalam *penstock* (m)

P : berat satuan dalam keadaan penuh berisi air (kg/m).

Berat satuan pipa pesat ( $W_{\text{pipa}}$ ) dihitung dengan formula :

$$W_{\text{pipa}} = D \times t \times l \times \rho_{\text{baja}} \quad (3.23)$$

dimana :

W pipa: berat pipa pesat permeter (kg)

D : diameter pipa (m)

t : tebal pipa (m)

$\rho_{\text{baja}}$  : 7860 (kg/m<sup>3</sup>)

Berat air di dalam pipa (per meter panjang pipa) :

$$W_{\text{air}} = g_w \cdot p/4 \cdot D^2 \quad (3.24)$$

dimana :

$W_{\text{air}}$  : berat air permeter panjang pipa pesat (kg)

D : diameter pipa (m)

l : panjang pipa satuan (m)

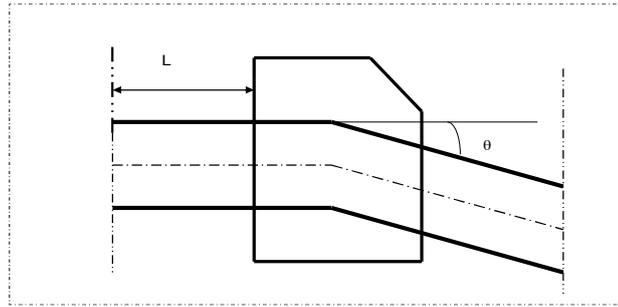
$\rho_{\text{air}}$  : 1000 kg/m<sup>3</sup>

$$W_{\text{air}} : 0.25 \cdot n \cdot D^2 \times l \times \rho_{\text{air}} \quad (3.25)$$

Berat satuan pipa berisi penuh air adalah:

$$P = W_{\text{pipa}} + W_{\text{air}} \quad (3.26)$$

Bantalan pondasi (*anchor block*) pipa pesat ditunjukkan pada Gambar 3.13



**Gambar 3.13 Skema *Anchor Block***

### 3.3.6 Saluran Pembuang

Saluran pembuang direncanakan untuk menampung dan mengalirkan air yang keluar dari turbin kembali ke sungai. Oleh karena itu, dimensi saluran pembuang ditentukan oleh debit yang keluar dari turbin, yaitu debit rencana pembangkitan. Saluran pembuang direncanakan berbentuk segi empat diperkuat dengan struktur beton bertulang. Untuk menghitung dimensi saluran pembuang (*tail race*) berbentuk segi empat menggunakan persamaan berikut;

- Luas  $A = b \cdot y$  (3.27)

- Keliling basah  $P = b + 2y$  (3.28)

- Jari-jari hidraulik  $R = A/P$  (3.29)

- Kecepatan  $v = (1/n)R^{2/3}S^{1/2}$  (3.30)

- Debit  $Q = v A$  (3.31)



**Gambar 3.14 Saluran Pembuang**



**Gambar 3.15 Saluran Pelimpah**

### **3.4. Mekanikal dan Elektrikal PLTM**

Komponen utama mekanikal dan elektrikal PLTM terdiri dari turbin dan generator yang pada umumnya terletak di dalam sebuah gedung yang dinamakan dengan *power house*.

#### **3.4.1. Power House**

Peralatan mekanikal-elektrikal pada sebuah PLTM dipusatkan pada sebuah gedung sentral yang lebih umum dengan istilah *power house* (PH). *Power house* pada suatu pembangkit tenaga listrik sangat penting, dimana bangunan ini berfungsi untuk melindungi peralatan-peralatan mekanikal dan elektrikal. Untuk suatu pembangkit listrik tenaga air bangunan ini merupakan disesuaikan dengan kapasitas daya sebuah PLTM/PLTA. Dalam sebuah PH terdapat peralatan mesin-mesin yang berfungsi untuk merubah energi air menjadi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik. Mesin-mesin tersebut diantaranya:

- Turbin
- Generator
- Panel Kontrol
- Transformator
- Proteksi

### 3.4.2. Turbin

Turbin merupakan sebuah konstruksi mekanik yang akan berputar ketika terkena air dengan kecepatan tinggi. Turbin inilah yang akan dikopel dengan generator sehingga ketika turbin berputar maka generator akan berputar dan menghasilkan energi listrik. Ada beberapa jenis turbin yang biasa digunakan. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi dua kelompok;

#### 1. Turbin Impuls

Turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir. Contoh turbin *Cross-Flow*, *Pelton* dan *Turgo*. Untuk jenis ini, tekanan pada setiap sisi sudu gerakanya *runner*-nya dan bagian turbin yang berputar sama.

#### 2. Turbin Reaksi

Turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir. Turbin reaksi dibagi menjadi dua jenis yaitu Francis dan Propeler. Contoh turbin reaksi adalah turbin *Francis & Kaplan Propeller*

Pemilihan jenis turbin ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin terutama ketinggian *head* (H) dan kecepatan (N).

- a. Faktor tinggi jatuh air efektif (*head net*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.3. Faktor pemilihan berdasarkan debit air ditunjukkan pada Gambar 3.16.

**Tabel 3.3 Pemilihan Jenis Turbin**

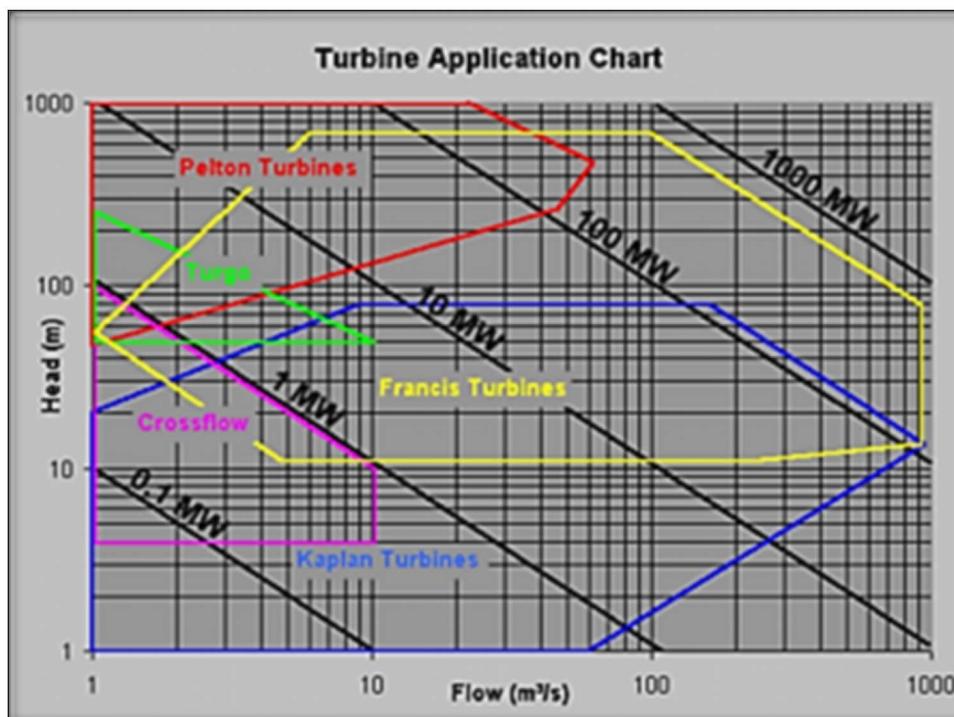
Jenis Turbin	Variasi Head
Kaplan	$2 < H < 20$
Propeller	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Crossflow	$6 < H < 100$
Pelton	$50 < H < 1000$
Turgo	$50 < H < 250$

- b. Kecepatan putaran turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran tertentu berdasarkan data eksperimen. Kecepatan spesifik sebagai tanda batasan untuk membedakan tipe roda turbin dan dipakai sebagai suatu besaran yang penting dalam desain turbin air. Pemilihan berdasarkan kecepatan ( $N$ ) ditunjukkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4. Pemilihan Turbin Berdasarkan Kecepatan**

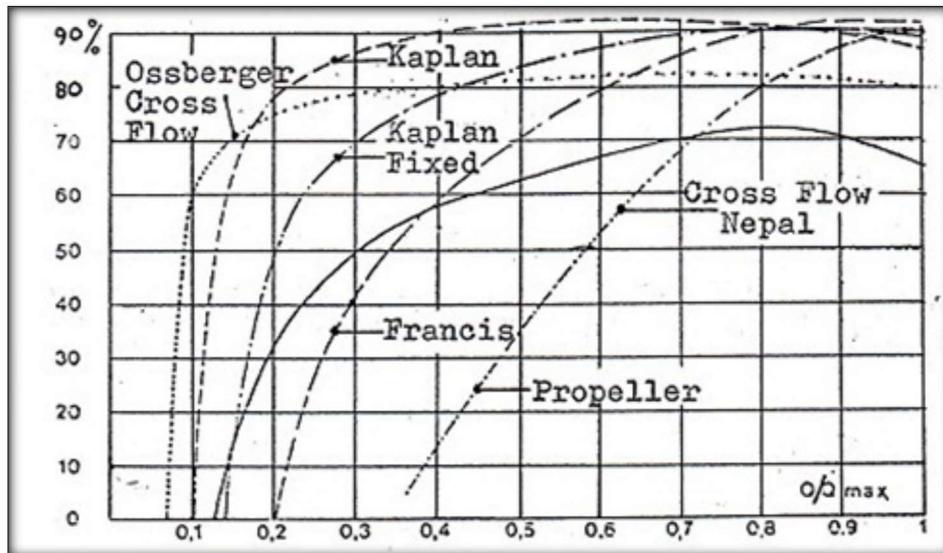
Jenis Turbin		$N_s$ (metrik)
1. Turbin Impuls	a. Satu jet (turbin Pelton)	4–30
	b. Banyak jet (turbin Doble)	30–70
2. Turbin Reaksi	a. Francis	
	$N_s$ rendah	50–125
	$N_s$ normal	125–200
	$N_s$ tinggi	200–350
	$N_s$ express	350–500
	b. Propeller	
	Sudu tetap (turbin Nagler)	400–800
	Sudu dapat diatur (turbin Kaplan)	500–1000



**Gambar 3.16. Diagram Pemilihan Jenis Turbin Air**

c. Efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh debit air sesaat yang hubungannya tidaklah linier, Gambar 3.17.

d.



**Gambar 3.17 Efisiensi beberapa Turbin dengan Pengurangan Debit**

Efisiensi setiap turbin dan generator berbeda-beda setiap produksi pabrik turbin dan generator. Pada umumnya efisiensi ini berkisar antara 0,9 s/d 0,98 untuk generator dan 0,85 s/d 0,96 untuk turbin. Sedangkan efisiensi untuk turbin Francis 0,8 – 0,9.

Formulasi matematis turbin akan diuraikan berikut ini. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dalam pipa bertekanan dapat ditentukan dengan persamaan;

$$Q = V.A \tag{3.32}$$

Dimana :

- Q : Debit Air (m<sup>3</sup>/dt)
- V : Kecepatan aliran air (m/dt)
- A : Luas Penampang Pipa (m<sup>2</sup>)

Daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia. Perhitungan daya air (P) menggunakan rumus:

$$P = \rho \times g \times Q \times H_{net} \tag{3.33}$$

dimana :

- $\rho$  : Massa jenis air = 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  : Percepatan gravitasi =  $9,8 \text{ m}^2/\text{dt}$

$Q$  : Debit air ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$H_{net}$  : *Head* bersih (m)

Output turbin dihitung dengan formula:

$$P = 9,81 \times Q \times H_{net} \times \eta_{Tb} \quad (3.34)$$

dengan,

$Q$  : debit air yang direncanakan ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$H_{net}$  : *Head* bersih (m)

$\eta_{Tb}$  : efisiensi turbin

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran tertentu berdasarkan data eksperimen. Kecepatan spesifik  $N_s$  sebagai tanda batasan untuk membedakan tipe roda turbin dan dipakai sebagai suatu besaran yang penting dalam merencanakan (desain) turbin air. Dalam bentuk persamaan kecepatan spesifik ( $N_s$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$N_s \quad N_s = N \frac{\sqrt{Q}}{(H_e)^{3/4}} \quad (3.35)$$

dengan,:

$H_{net}$  : *Head* bersih (m)

$N$  : Kecepatan putaran turbin direncanakan (rpm)

### 3.4.3. Generator

Generator berfungsi **untuk** merubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Terdapat dua jenis generator, yaitu generator sinkron dan generator induksi. Pada umumnya PLTM menggunakan generator sinkron. Secara umum generator terdiri stator dan rotor. Daya pembangkitan generator jika efisiensi generator ( $\eta_{Gen}$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$P = 9,8 \times Q \times H_{net} \times \eta_{Gen} \quad (3.36)$$

Frekuensi listrik yang dihasilkan generator ditunjukkan dengan persamaan;

$$f = \frac{n_s \cdot p}{120} \quad (3.37)$$

dimana :

$f$  : frekuensi listrik yang dihasilkan generator (Hz)

$p$  : jumlah kutub (unit)

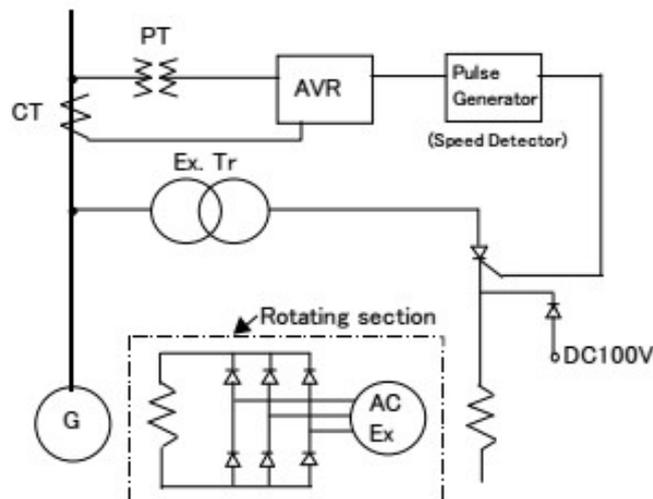
$n_s$  : kecepatan putaran rotor generator (rpm)

Pada Tabel 3.5 ditunjukkan hubungan antara jumlah kutub dan putaran generator sinkron.

**Tabel 3.5. Hubungan jumlah kutub terhadap putaran generator**

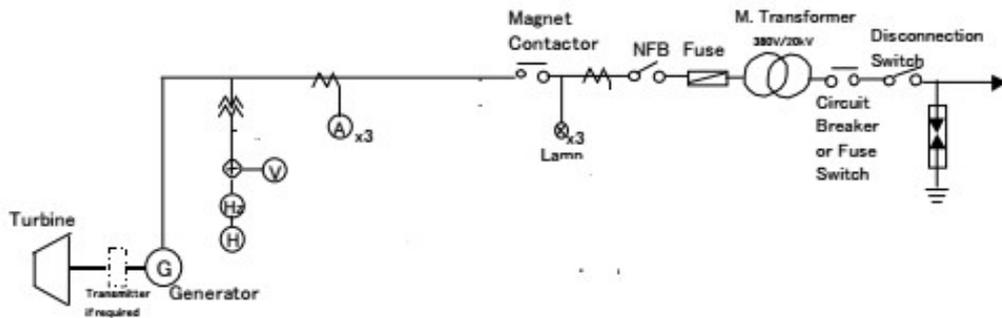
No. of pole	50Hz	60Hz	No. of pole	50Hz	60Hz
4	1,500	1,800	14	429	514
6	1,000	1,200	16	375	450
8	750	900	18	333	400
10	600	720	20	300	360
12	500	600	24	250	300

Sistem eksitasi generator terdiri dari tipe yaitu; menggunakan sikat (*brush*) dan tidak menggunakan sikat (*brushless*), ditunjukkan pada Gambar 3.18.



**Gambar 3.18. Sistem eksitasi generator tanpa sikat (*brushless*)**

Untuk mendistribusikan energi listrik yang dibangkitkan PLTM, diperlukan peralatan-peralatan seperti ditunjukkan pada single line diagram PLTM pada Gambar 3.13. Beban PLTM dapat berupa beban terpisah (*isolation*) atau terinterkoneksi ke sistem grid melalui Gardu Hubung (GH) atau juga melalui Gardu Induk (GI),



**Gambar 3.19. Single line diagram PLTM**

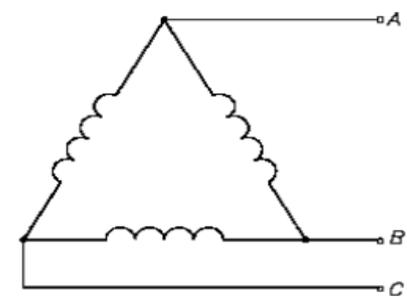
Hubungan Generator AC tiga fasa dapat berupa hubungan delta atau hubungan bintang.

### 1. Hubungan Delta

Pada hubungan segitiga (*delta*,  $\Delta$ ,  $D$ ) ketiga fase saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga, Gambar 3.20. Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka didapatkan :

$$V_{Line} = V_{fase} \quad (3.38)$$

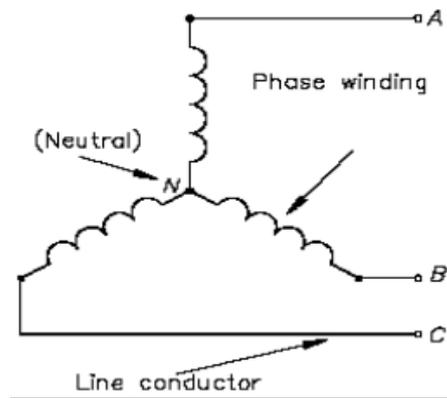
$$I_{Line} = \sqrt{3} I_{fase} \quad (3.39)$$



**Gambar 3.20 Hubungan Segitiga (*delta*,  $\Delta$ ,  $D$ ).**

### 2. Hubungan Bintang

Pada hubungan bintang (*Y*, *wye*), ujung-ujung tiap fase dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang, Gambar 3.21. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a–b–c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral.



**Gambar 3.21 Hubungan Bintang**

$$I_{Line} = I_{fase} \quad (3.40)$$

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{fase} \quad (3.41)$$

Kapasitas daya semu (S) generator ditentukan dengan persamaan,

$$S = 3V_{fase} \cdot I_{fase}$$

$$S = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad (\text{Volt Amper} = \text{VA}) \quad (3.42)$$

Sedangkan daya aktif (P) generator ditentukan dengan persamaan,

$$P = 3V_{fase} \cdot I_{fase} \cdot \text{Cos } \theta$$

$$P = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \text{Cos } \theta$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \text{Cos } \theta \quad (\text{Watt}) \quad (3.43)$$

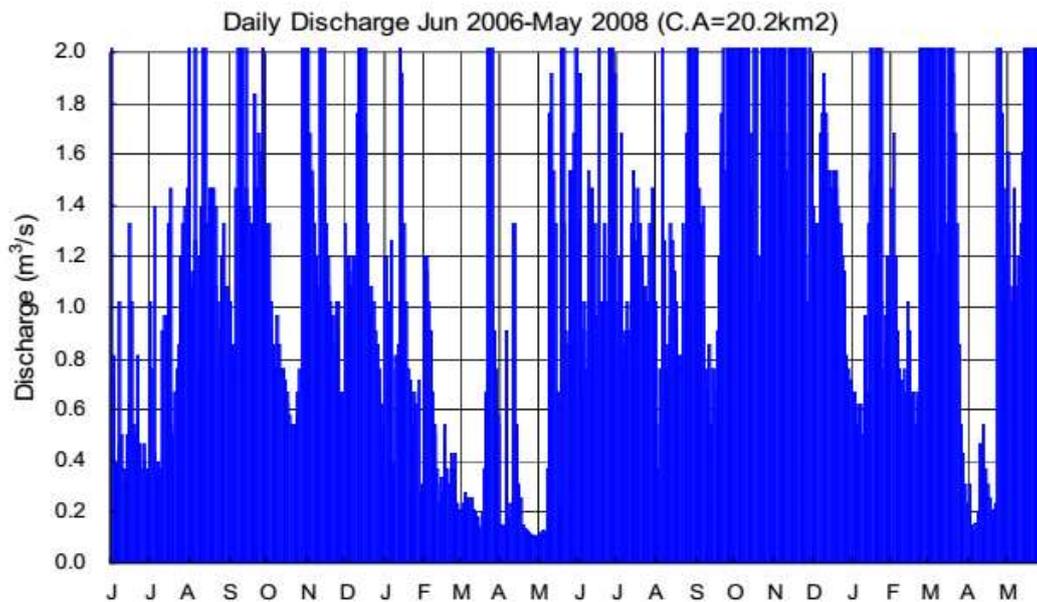
$$P = S \cdot \text{Cos } \theta \quad (\text{Watt}) \quad (3.45)$$

dengan  $\text{Cos } \theta$  adalah faktor daya yang nilainya antara 0 sampai dengan 1

Untuk memperoleh pembangkitan daya aktif generator mendekati atau sama dengan kapasitas daya semu generator maka  $\text{Cos } \theta \sim 1$

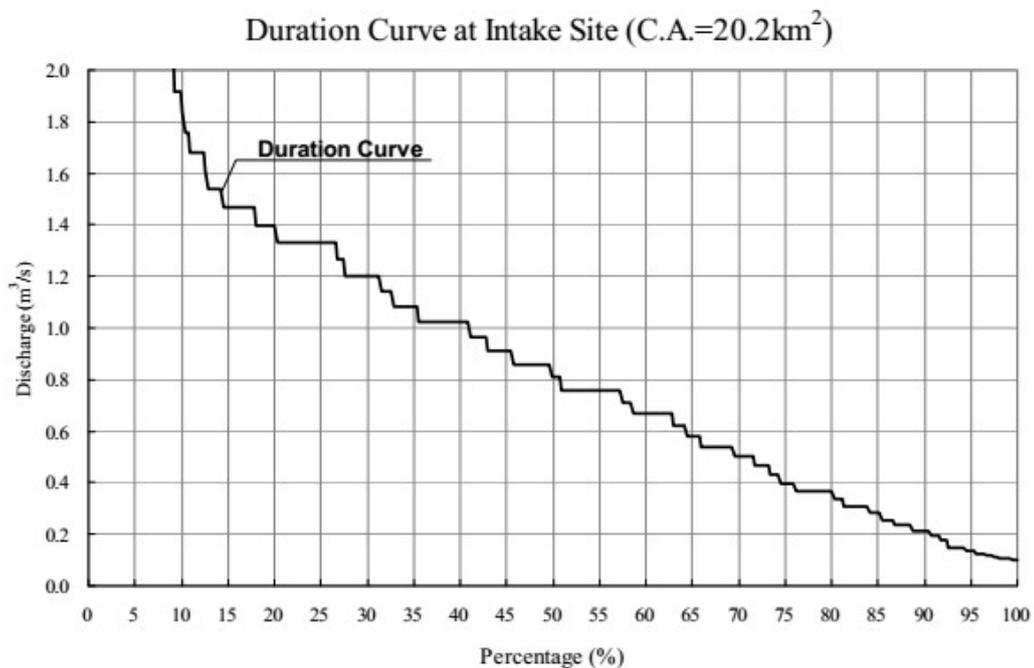
### 3.5. Hydrograph, Flow Duration Curve (FDC) dan Capacity Faktor (CF)

*Hydrograph* menunjukkan bagaimana variasi aliran dan waktu disepanjang tahun. Pada Gambar 3.22 ditunjukkan contoh kurva *hydrograph* (JICA, 2009)



**Gambar 3.22. Contoh kurva *hydrograph***

Dengan mengelompokkan aliran yang sama dan menentukan persentase kejadiannya, maka diperoleh *Flow Duration Curve* (FDC) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.23. Kurva FDC sangat diperlukan dalam menentukan *install capacity* generator (kapasitas daya terpasang PLTM) yang terbaik.



**Gambar 3.23 *Flow Duration Curve* (FDC)**

Berdasarkan Gambar 3.23 dapat diketahui bahwa persentasi debit aliran (*discharge*) yang tinggi dalam setahun hanya rendah, Pemilihan debit aliran (*discharge*) yang tinggi akan diperoleh *install capacity* yang besar juga (persamaan 3.36), dan biaya

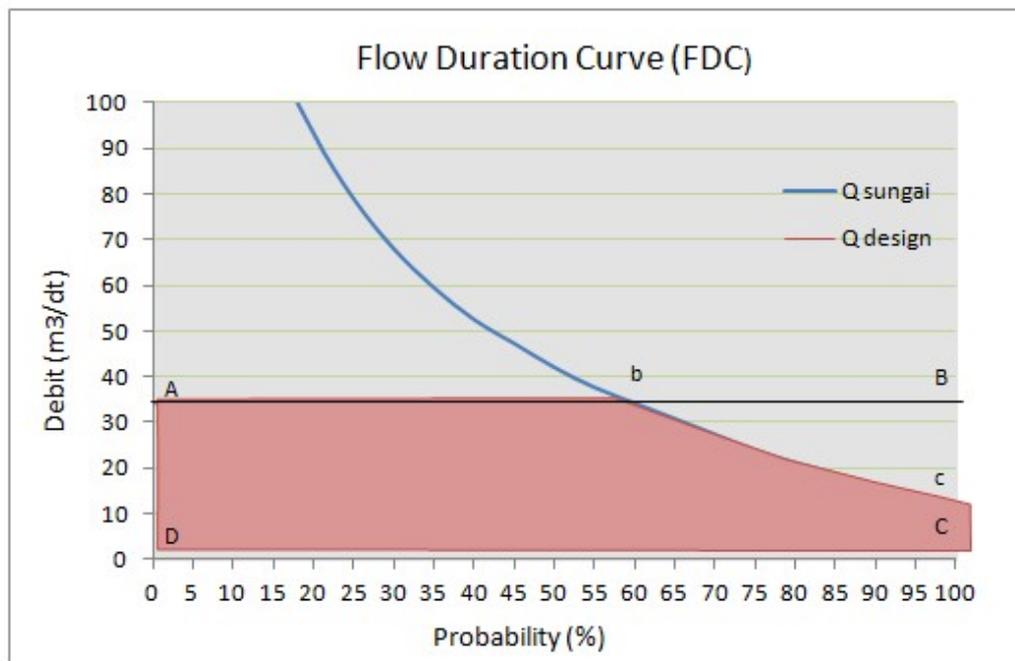
investasi yang juga tinggi, sementara energi yang dihasilkan pertahunnya belum tentu lebih tinggi dari *install capacity* yang lebih rendah. Oleh karena itu perlu ditentukan *capacity factor* (CF), yang merupakan perbandingan jumlah energi yang dibangkitkan aktual dalam setahun dengan energi berdasarkan *debit design*. Untuk menentukan CF dapat diilustrasikan melalui Gambar 3.24.

$$CF = \frac{\text{Luas } AbcCD}{\text{Luas } ABCD} \quad (3.45)$$

Menghitung energi maksimum yang dibangkitkan PLTM dalam setahun (Luas ABCD);

$$G_{max} = P_{max} \times 360 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \text{ (Wh)} \quad (3.46)$$

Sedangkan untuk menghitung energi aktual dibangkitkan PLTM dalam setahun harus dihitung berdasarkan penjumlahan energi berdasarkan durasi daya aktual yang dibangkitkan dalam selang waktu satu tahun (Luas AbcCD).



**Gambar 3.24. Ilustrasi Menentukan CF**

Untuk menghitung luas *AbcCD* dapat dilakukan dengan integral batas, asalkan persamaan garis kurva FDC sudah diketahui. Persamaan kurva FDC dapat ditentukan dengan interpolasi newton.

### 3.6. Rugi-rugi

Sebuah skema *hydro power plant* memerlukan dua parameter penting yaitu debit air (*Q*) dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan energi listrik. Parameter tersebut merupakan sebuah sistem konversi energi dimulai dari energi potensial air

dengan ketinggian tertentu menjadi energi kinetik dan mekanik yang diubah menjadi energi listrik. Tidak ada sistem konversi energi yang dapat mengirim sebanyak yang diserap, karena sebagian energi hilang oleh sistem itu sendiri dalam bentuk gesekan, turbulensi, panas, dan sebagainya.

### 3.6.1. Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya (*losses*) yang muncul dalam sistem daya dapat dihitung dengan menggunakan analisa studi aliran daya yang mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja saat *steady state*. Selain untuk menentukan rugi-rugi daya studi aliran daya juga digunakan untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut/vektor tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran.

Persamaan umum konversi daya adalah :

- Daya masuk = Daya keluar + Kehilangan (*Loss*)
- Daya keluar = Daya masuk × Efisiensi konversi

Persamaan di atas biasanya digunakan untuk menggambarkan perbedaan yang kecil. Daya yang masuk atau total daya yang diserap oleh skema hidro adalah daya kotor ( $P_{gross}$ ). Daya yang manfaatnya dikirim adalah daya bersih ( $P_{net}$ ). Semua efisiensi dari skema gambar di atas disebut  $E_o$ .

$$P_{net} = P_{gross} \times E_o \quad (3.47)$$

Daya kotor adalah *head gross* ( $H_{gross}$ ) dikalikan dengan debit air ( $Q$ ) dan dikalikan dengan kecepatan gravitasi ( $g = 9.8$ ), sehingga konsep dasar persamaan konversi daya dari pembangkit listrik adalah :

$$P_{net} = g \times H_{net} \times Q \times E_o \quad (3.48)$$

dimana :

$$\begin{aligned} P_{net} &: \text{ daya bersih (kW)} \\ H_{gross} &: \text{ head kotor (m)} \\ Q &: \text{ debit air (m}^3/\text{dt)} \\ E_o &: \text{ efisiensi konversi (\%)} \\ E_o &= E_{ff} \text{ konstruksi sipil} \times E_{ff} \text{ penstock} \times E_{ff} \text{ turbin} \times E_{ff} \text{ generator} \\ &= x E_{ff} \text{ sistem kontrol} \times E_{ff} \text{ jaringan} \times E_{ff} \text{ trafo} \end{aligned} \quad (3.49)$$

$E_{ff}$ konstruksi sipil	: $1.0 - (\text{panjang saluran} \times 0.002 \sim 0.005) / H_{gross}$
$E_{ff}$ penstock	: 0.90 ~ 0.95 (tergantung pada panjangnya)
$E_{ff}$ turbin	: 0.70 ~ 0.85 (tergantung pada tipe turbin)
$E_{ff}$ generator	: 0.80~0.95(tergantung pada kapasitas generator)
$E_{ff}$ sistem kontrol	: 0.97
$E_{ff}$ jaringan	: 0.90 ~ 0.98 (tergantung pada panjang jaringan)
$E_{ff}$ trafo	: 0.98

## BAB IV

### SURVEI PARAMETER UTAMA PLTM

Perencanaan PLTM memerlukan data-data yang akurat tentang kondisi lokasi rencana agar diperoleh hasil yang baik. Survei yang dilakukan di lokasi studi untuk mendapatkan data hidrologi, topografi, geologi, dan kelistrikan. Data tersebut diolah dan dianalisa sehingga dari data hidrologi didapatkan besaran debit rencana, data topografi dan geologi didapatkan *head* dan penetapan *layout* serta data kondisi kelistrikan sebagai acuan dasar kajian studi sambungan PLTM.

#### 4.1 Data Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan satu bagian analisis awal dalam perancangan bangunan-bangunan pengairan suatu PLTM. Untuk maksud tersebut akan diperlukan pengumpulan semua data Hidro-Meteorologi untuk daerah lokasi rencana, seperti data hujan, data Iklim, data tanah, penguapan, data debit sungai dan sebagainya untuk periode waktu yang panjang (>10 tahun).

Desain struktur hidrologi dan analisis diperlukan untuk menentukan desain aliran banjir diberbagai periode ulang. Data yang diperlukan untuk desain analisis arus banjir adalah:

1. Daerah Aliran Sungai (DAS) : Dari daerah tangkapan dievaluasi pada 1:25.000 peta lokal skala dikeluarkan oleh Bakorsurtanal. Batas daerah diperoleh dari data survei sebelumnya, dokumen lelang dan observasi lapangan.
2. Data debit harian: Data tersebut diperoleh dari stasiun pengamatan di dekat sungai lokasi proyek.

Tujuan dari analisis data hidrologi adalah untuk mendapatkan:

- a. Menghitung debit yang akan digunakan untuk menghitung potensi pembangkit listrik.
- b. Sebuah *rating curve* yang menunjukkan hubungan antara aliran sungai dan permukaan air.
- c. Aliran banjir yang direncanakan yang akan digunakan untuk menghitung stabilitas bendung.

#### 4.1.1 Data DAS

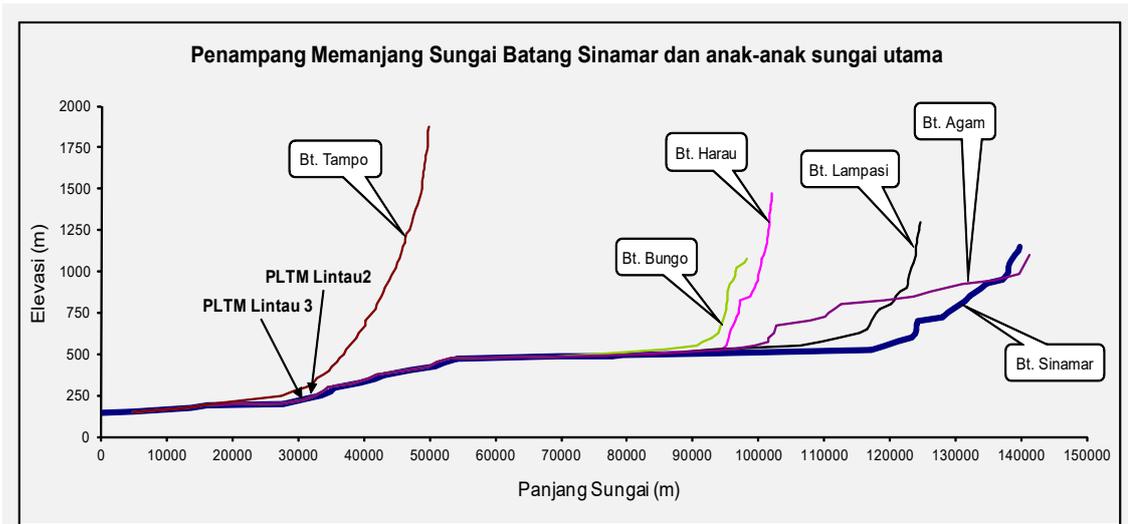
Salah satu sumber daya air yang berada di propinsi Sumatera Barat adalah Batang Sinamar dengan luas daerah pengaliran sungai 2175,70 km<sup>2</sup> yang melintasi wilayah kabupaten Limapuluh Kota, kabupaten Tanah Datar dan kabupaten Sawahlunto Sijunjung. Batang Sinamar diharapkan mampu memenuhi kebutuhan air di sekitar wilayah pengalirannya sejalan dengan perkembangan pembangunan dan meningkatnya kebutuhan air di berbagai sektor. Oleh sebab itu diperlukan suatu analisis keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air untuk melihat potensi air yang ada agar dapat dikelola dan dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan sampai masa yang akan datang.

Di wilayah kabupaten Tanah Datar, selama ini Batang Sinamar telah dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan domestik, peternakan dan untuk mengairi sebagian areal sawah yang berada di kecamatan Lintau Buo. Areal sawah yang diairi secara teknis hanya seluas 449 Ha saja, namun jika dilihat dari kondisi wilayah berpotensi untuk dikembangkan menjadi seluas 2,228 Ha. Secara garis besar karakteristik DAS Batang Sinamar dapat dilihat pada Tabel 4.1, Gambar 4.1 dan 4.2.

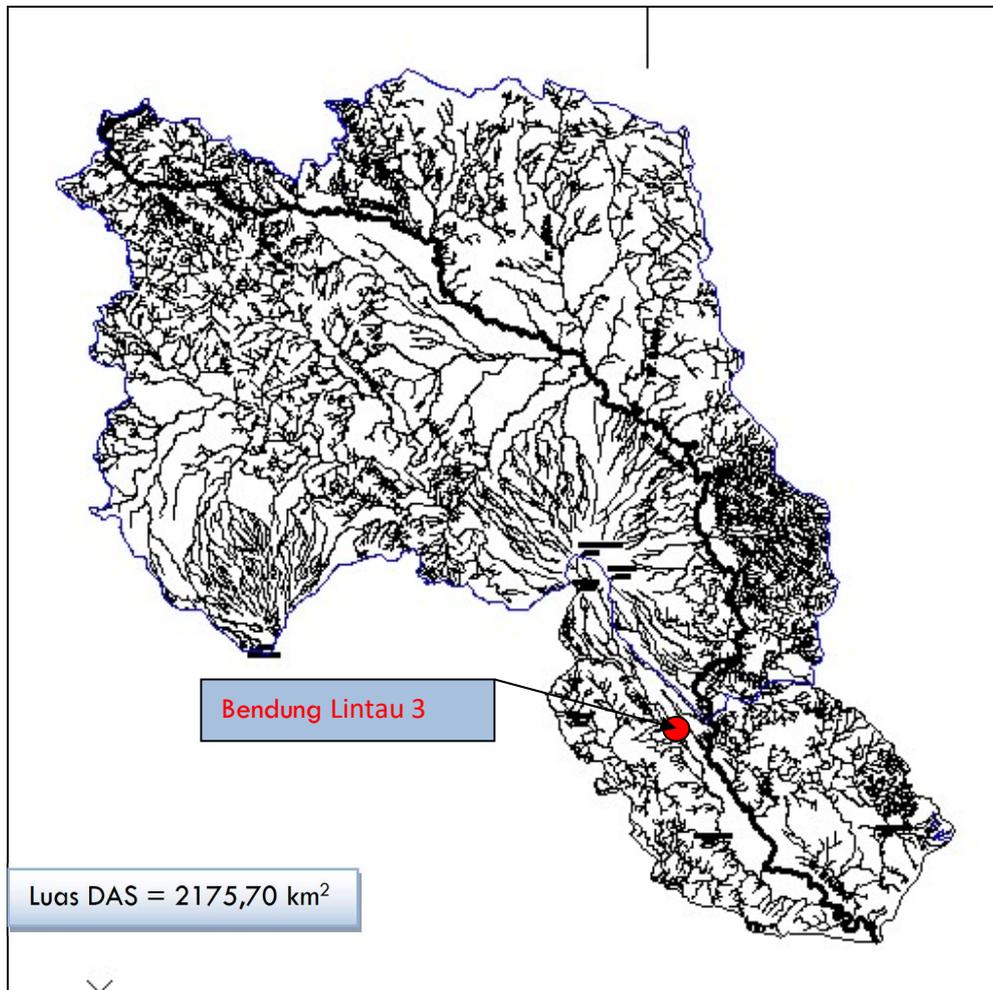
**Tabel 4.1 Analisa Karakteristik DAS Batang Sinamar di Kab. Tanah Datar**

No.	Nama Sungai	Luas DAS (km <sup>2</sup> )	Keliling (km)	Panjang Sungai	Kemiringan Sungai			Koefisien Corak	Indeks Bentuk	Circuitly Ratio	Kepadatan Aliran	Status
					Hulu	Tengah	Hilir					
A Sungai Utama												
1	Bt. Sinamar	2175,69	287,10	139,86	0,0375	0,0045	0,0061	0,11	0,70	0,33	1,93	Sungai Utama
2	Bt. Sinamar-Bendung Lintau 3	1.769,59	236,86	107,43	0,0375	0,0045	0,0061	0,15	0,70	0,40	1,90	Sungai Utama
3	Bt. Sinamar-Bendung Lintau 2	1.749,94	233,80	102,77	0,0375	0,0045	0,0061	0,17	0,70	0,40	1,90	Sungai Utama
B Anak Sungai												
1	Bt. Tompo	166,26	75,80	33,73	0,1355	0,0582	0,0156	0,15	0,26	0,36	1,83	Anak Sungai
2	Bt. Bungo	105,20	59,24	29,72	0,0980	0,0245	0,0037	0,12	0,32	0,38	1,62	Anak Sungai
3	Bt. Agam	450,05	144,57	65,37	0,0148	0,0096	0,0069	0,11	0,18	0,27	1,91	Anak Sungai

Sumber : Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat



**Gambar 4.1 Penampang Memanjang Sungai Batang Sinamar Sampai dengan Pertemuan Batang Ombilin**



**Gambar 4.2 DAS Batang Sinamar**

#### 4.1.2 Data Curah Hujan

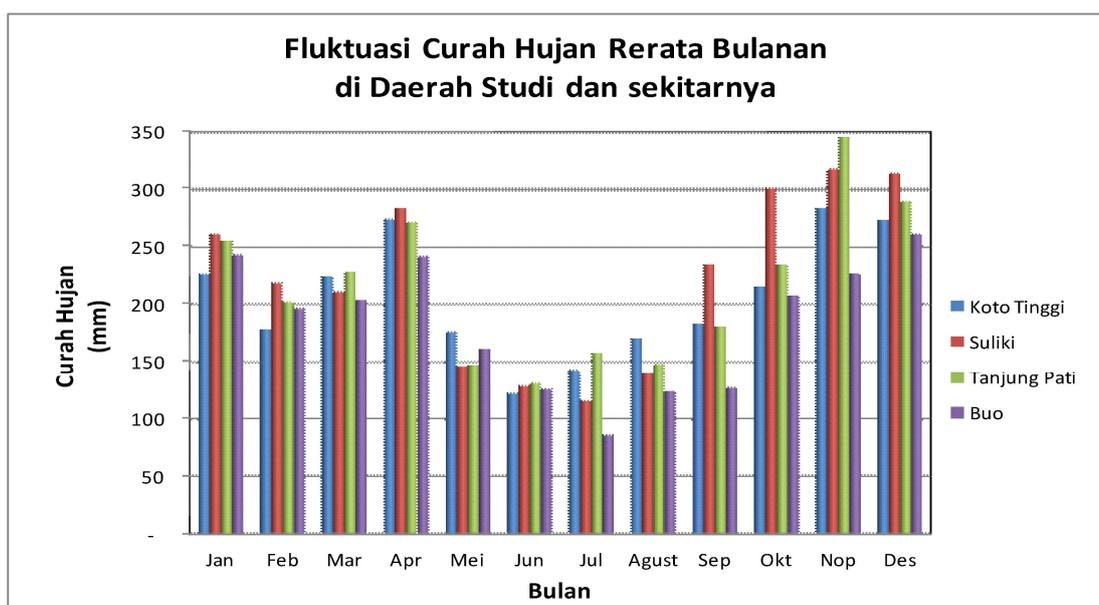
Di sekitar wilayah studi terdapat beberapa stasiun pencatat curah hujan yaitu Stasiun Buo, Koto Tinggi, Suliki dan Tanjung Pati. Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 ditunjukkan data dan ilustrasi tinggi curah hujan bulanan dari stasiun-stasiun hujan tersebut dengan periode data 20 tahun. Data curah hujan yang diperoleh dari Dinas PSDA Sumatera Barat.

Dari data hujan dapat diketahui bahwa curah hujan yang jatuh di kawasan DAS Batang Sinamar adalah relatif sedang. Curah hujan rata-rata tahunan tertinggi di daerah hujan Stasiun Suliki sebesar 2.673 mm. Dalam Tabel 4.3, dan Gambar 4.4, disajikan data perhitungan koefisien *Thiesen* DAS Batang Sinamar dan lokasi stasiun pencatat curah hujan di sekitar wilayah studi.

**Tabel 4.2 Curah Hujan Bulanan Rata-rata Pada Stasiun Hujan Di Sekitar Wilayah Studi**

Stasiun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	Tahunan
Koto Tinggi	227,0	179,0	224,0	274,0	177,0	122,0	143,0	171,0	183,0	216,0	284,0	274,0	2472,0
Suliki	261,0	218,0	211,0	284,0	146,0	128,0	116,0	139,0	235,0	301,0	318,0	314,0	2673,0
Tanjung Pati	256,0	202,0	228,0	272,0	148,0	131,0	158,0	148,0	181,0	234,0	346,0	290,0	2593,0
Buo	243,0	197,0	204,0	242,0	162,0	126,0	86,0	124,0	128,0	208,0	227,0	262,0	2206,0

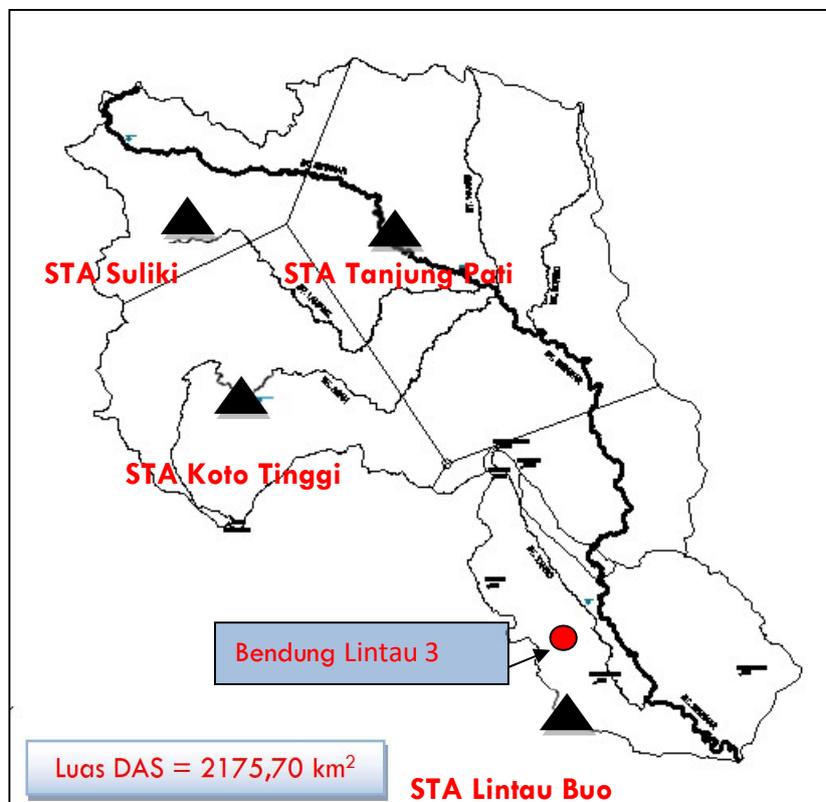
Sumber : Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat



**Gambar 4.3 Grafik Curah Hujan Bulanan Rata-rata di Daerah Studi**

**Tabel 4.3 Perhitungan Koefisien *Thiesen* pada DAS Batang Sinamar**

No.	DAS/Sub DAS	Stasiun Pengamatan				Jumlah
		Candung	Suliki	Tanjung Pati	Lintau Buo	
	Lintau 3 (Bendung)					
	Luas DPS	223.176	487.102	266.942	792.367	1.769.587
	Koefisien Thiesen	12.61%	27.53%	15.08%	44.78%	100.00%



**Gambar 4.4 Sebaran Stasiun Hujan di Daerah Studi dan *Polygon Thiesen***

Pada Tabel 4.4 sampai Tabel 4.7 dapat dilihat rekapitulasi data curah hujan maksimum harian pada beberapa stasiun hujan yang terdapat di Batang Sinamar.

**Tabel 4.4. Rekapitulasi Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Koto Tinggi**

No	Tahun Pengamatan	Maksimun Terjadi Curah Hujan		
		Bulan	Tanggal	Data (mm)
1	1995	Agst	28	126
2	1996	Juni	3	121
3	1997	Des	19	55
4	1998	Jan	6	94
5	1999	Des	23	120
6	2000	Jul	28	140
7	2001	Mei	1	65
8	2002	Sep	3	74
9	2003	Okt	7	92
10	2004	Feb	26	122,067
11	2005	Agst	17	68
12	2006	Nop	27	71
13	2007	Okt	7	60.9
14	2008	Okt	7	60.9
15	2009	Apr	8	70.5
16	2010	Apr	26	70
17	2011	Apr	22	100.6
18	2012	Apr	22	100.7
19	2013	Des	20	60
20	2014	Mar	21	70.3

**Tabel 4.5. Rekapitulasi Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Suliki**

No	Tahun Pengamatan	Maksimun Terjadi Curah Hujan		
		Bulan	Tanggal	Data (mm)
1	1995	Mei	1	55
2	1996	Mar	9	97
3	1997	Mar	29	52
4	1998	Jan	31	53
5	1999	Okt	26	57
6	2000	Okt	22	68
7	2001	Mei	8	77
8	2002	Jan	21	66
9	2003	Okt	7	65
10	2004	Okt	9	82
11	2005	Okt	26	81
12	2006	Sep	8	142
13	2007	Sep	3	67
14	2008	Okt	11	73.5
15	2009	Des	13	72
16	2010	Apr	1	65
17	2011	Apr	21	140
18	2012	Nop	3	68
19	2013	Nop	5	67
20	2014	Ags	20	73

**Tabel 4.6. Rekapitulasi Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Tanjung Pati**

No	Tahun Pengamatan	Maksimun Terjadi Curah Hujan		
		Bulan	Tanggal	Data (mm)
1	1995	Mei	12	95
2	1996	Feb	23	92
3	1997	Jan	22	60
4	1998	Jan	6	95
5	1999	Nop	17	90
6	2000	Agst	9	90
7	2001	Nop	5	60
8	2002	Jan	22	97
9	2003	Okt	7	92
10	2004	Feb	26	101
11	2005	Sep	23	150
12	2006	Feb	20	86
13	2007	Jan	23	63
14	2008	Sep	6	75
15	2009	Nop	21	100
16	2010	Jan	22	145
17	2011	Des	21	70
18	2012	Nop	7	125
19	2013	Okt	28	120
20	2014	Nop	7	125

**Tabel 4.7. Rekapitulasi Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Lintau Buo**

No	Tahun Pengamatan	Maksimun Terjadi Curah Hujan		
		Bulan	Tanggal	Data (mm)
1	1995	Sep	23	51
2	1996	apr	17	50.4
3	1997	Mei	5	34.4
4	1998	Mei	13	40
5	1999	Agst	29	50
6	2000	Nop	23	41
7	2001	Jan	27	43
8	2002	Apr	13	41
9	2003	Mar	21	37
10	2004	Jan	25	29
11	2005	Mei	1	27
12	2006	Des	24	32
13	2007	Apr	26	28.6
14	2008	Jan	15	26.4
15	2009	Feb	1	201
16	2010	Okt	19	41
17	2011	Feb	10	42
18	2012	Nop	6	42
19	2013	Agst	29	40
20	2014	Mei	12	37

Dari data-data di atas dilakukan analisa curah hujan rancangan pada titik tinjau PLTM Lintau 3 menggunakan metode *Log Pearson Type III*, *Log Normal* dan Normal. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.8

**Tabel 4.8 Hasil analisa Curah Hujan Rancangan PLTM Lintau 3 Stage 2**

DAS / Sub DAS	DAS Bt. Sinamar Bendung Lintau 2 CA = 1749.94 km <sup>2</sup>		
Metode	Log Pearson Type III	Log Normal	Normal
Kala Ulang	mm		
1.01	20.02	-	36.41
2	34.42	33.72	54.94
5	44.30	45.27	64.63
10	53.94	53.32	72.63
25	68.43	61.35	74.96
50	81.00	72.29	81.63
100	95.29	80.91	87.63

#### 4.1.3 Data Debit

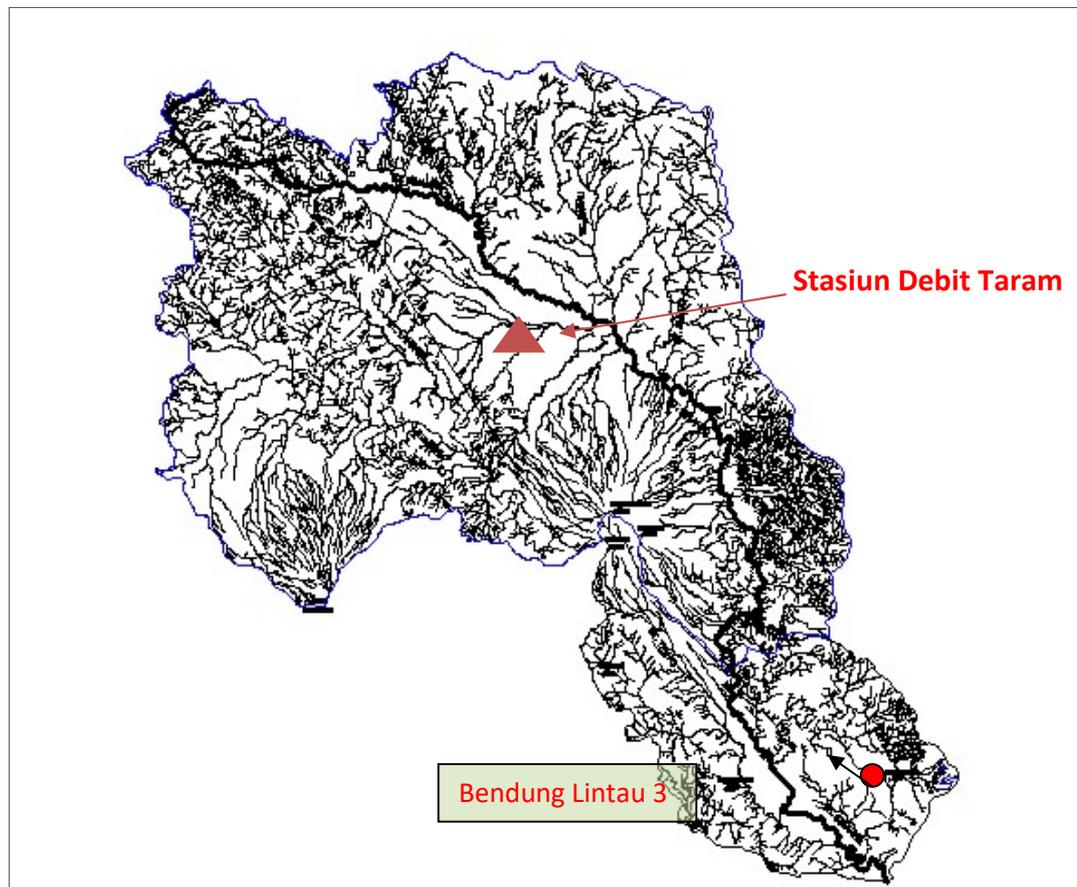
Perhitungan *Flow Duration Curve* (FDC) dilakukan untuk mendapatkan ketersediaan debit pada titik *outlet* DAS yang ditinjau. Perhitungan didasarkan pada data pencatatan debit kontinu pada sungai yang akan ditinjau. Stasiun debit yang ada di Batang Sinamar terdapat di Taram, kecamatan Harau kabupaten Limapuluh Kota.

Mengingat di lokasi bendung Lintau 3 tidak ada stasiun pengukur debit, maka perhitungan ketersediaan debit, menggunakan data debit di stasiun debit Taram dan dikonversi ke lokasi rencana bendung dengan metode perbandingan luas DAS. Hasil analisa banjir rancangan pada titik tinjau dapat dilihat pada Tabel 4.9

**Tabel 4.9. Hasil analisa Banjir Rancangan pada Titik Tinjau PLTM Lintau 2**

DAS / Sub DAS	DAS Bt. Sinamar Bendung Lintau 2 CA = 1749.94 km <sup>2</sup>		
Metode	Rasional	Weduwen	Nakayasu
Kala Ulang	(m <sup>3</sup> /dt)		
1.01	276.77	65.64	233.33
2	448.19	114.15	365.25
5	612.43	164.02	491.63
10	745.70	206.63	594.19
25	946.01	273.94	748.34
50	1119.79	335.33	882.06
100	1317.34	408.31	1034.09

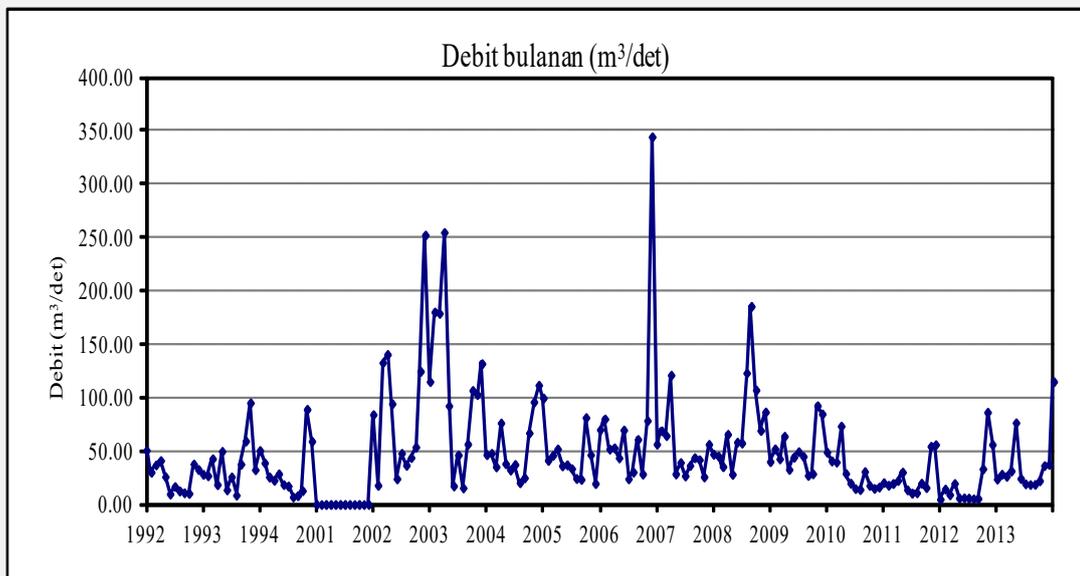
Posisi lokasi stasiun debit Taram dan lokasi rencana bendung Lintau 3 *Stage 2* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5. Lokasi Stasiun Debit Taram dan lokasi rencana bendung Lintau 3**  
Data dan fluktuasi debit harian rata-rata bulanan Batang Sinamar disajikan dalam Tabel 4.10 dan Gambar 4.6.

**Tabel 4.10 Data Debit Harian Rata-rata Bulanan Bt Sinamar di Sta Debit Taram**

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	Tahunan	
													(m <sup>3</sup> /s)	(mm)
1992	50,77	30,29	37,25	41,09	26,12	9,84	16,89	12,73	11,01	10,34	38,02	32,68	26,42	587,92
1993	28,31	26,99	42,99	18,60	49,89	13,75	25,95	8,74	37,89	59,56	95,31	32,55	36,71	814,71
1994	50,48	38,97	25,77	22,63	28,65	18,71	17,25	7,11	8,31	12,99	89,19	59,32	31,61	701,59
1995	63,88	59,80	28,79	36,80	24,85	7,42	9,70	18,79	19,16	79,88	54,81	59,91	28,69	857,73
1996	57,46	126,34	106,76	146,12	28,67	47,08	22,66	33,61	32,78	47,03	23,04	23,38	57,91	1288,74
1997	43,45	16,07	23,80	133,46	119,75	9,84	9,13	8,65	9,56	12,23	28,78	19,17	36,16	802,44
1998	93,26	34,29	23,99	19,44	12,67	12,26	13,13	47,24	42,08	11,51	13,36	21,01	28,69	636,63
1999	55,78	21,39	20,04	6,99	16,19	7,52	12,72	22,71	71,00	111,60	43,88	54,61	37,04	821,94
2000	107,47	31,46	24,23	53,73	15,62	14,99	17,97	61,78	19,78	19,31	131,77	53,77	45,99	1023,44
2001	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad	tad
2002	84,29	17,93	133,03	140,60	94,50	24,14	48,09	36,84	43,99	53,85	124,84	252,55	87,89	1950,49
2003	115,22	180,38	179,14	255,08	92,60	17,42	46,31	15,56	56,58	106,99	103,08	132,08	108,37	2405,02
2004	46,79	48,00	35,40	76,49	38,27	32,34	37,47	20,42	25,00	67,21	96,15	111,92	52,95	1178,42
2005	99,78	41,32	46,07	52,04	36,28	37,14	33,66	24,37	23,53	81,44	46,58	19,63	45,15	1002,08
2006	70,18	80,13	52,02	53,05	43,77	69,73	24,11	30,44	61,01	28,58	78,64	344,69	78,03	1731,69
2007	56,51	69,17	64,56	121,34	28,73	39,47	26,85	36,66	43,88	42,00	25,98	56,45	50,97	1131,14
2008	47,11	45,48	35,49	65,92	28,24	58,47	57,57	123,35	185,73	107,34	69,33	86,63	75,89	1688,80
2009	40,15	52,17	42,78	63,89	32,93	44,33	49,60	45,02	27,21	28,79	92,66	84,78	50,36	1117,64
2010	49,09	40,91	39,77	73,48	29,03	19,97	14,98	14,00	30,89	17,83	15,12	16,42	30,12	668,52
2011	20,63	18,07	19,70	22,51	30,28	13,83	10,66	11,06	19,96	15,87	54,50	56,12	24,43	542,21
2012	4,85	14,48	9,16	19,81	6,06	6,24	5,95	5,37	5,55	33,36	86,34	55,23	21,12	468,65
2013	23,82	28,33	26,45	31,49	76,73	24,42	19,40	18,80	18,82	22,22	36,48	37,57	30,38	674,16
Max	115	180	179	255	120	70	58	123	186	112	132	345	108	2405
Rerata	58	49	48	69	41	25	25	29	38	46	64	77	47	1052
Min	5	14	9	7	6	6	6	5	6	10	13	16	21	469



**Gambar 4.6 Fluktuasi Debit Harian Rata-rata Bulanan Batang Sinamar di Stasiun Debit Taram**

Hasil analisa FDC debit harian Batang Sinamar di Stasiun Debit Taram, hubungan probabilitas kejadian dan debit harian, serta *Flow Duration Curve* (FDC) dapat dilihat secara detail pada Tabel 4.11, tabel 4.12 dan Gambar 4.7

**Tabel 4.11 Analisa FDC Debit Harian Bt Sinamar di Stasiun Debit Taram**

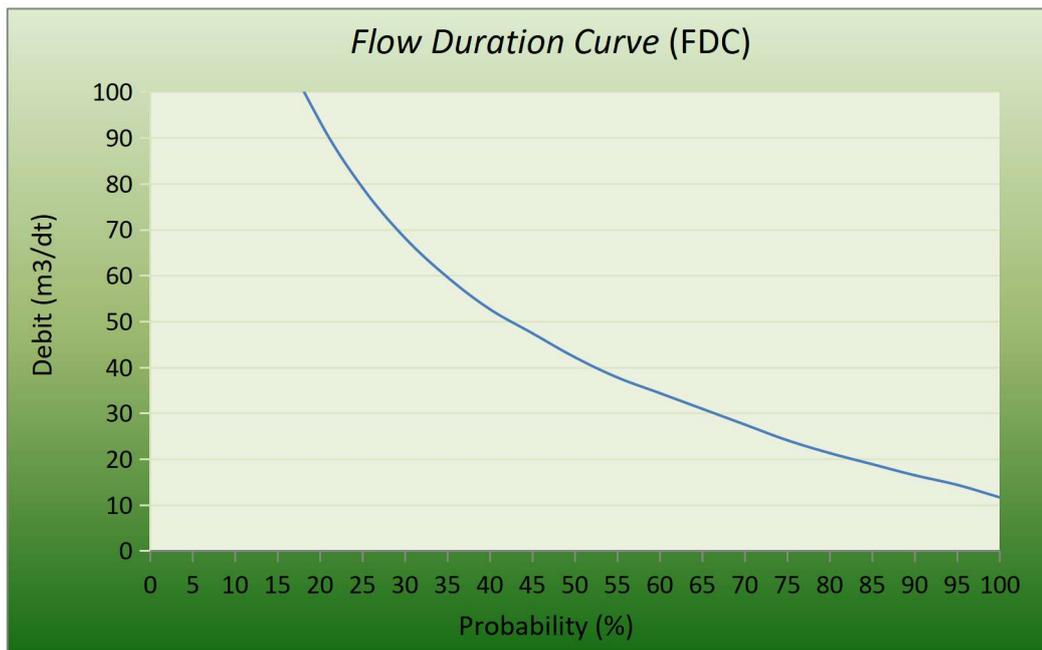
No	Aliran (m <sup>3</sup> /dt)		Frekuensi	Frekuensi komulatif	Prosentase Frek. Komulatif (%)
	Aliran (m <sup>3</sup> /dt)	Rata-rata			
1	156 <=	251,004	385	385	5.60
2	143 <= (x) < 156	148,771	38	423	6.15
3	130 <= (x) < 143	136,115	47	470	6.84
4	117 <= (x) < 130	123,167	67	537	7.81
5	104 <= (x) < 117	110,404	71	608	8.85
6	91 <= (x) < 104	96,887	106	714	10.39
7	78 <= (x) < 91	84,306	152	866	1.26
8	65 <= (x) < 78	70,91	193	1,059,000	15.41
9	52 <= (x) < 65	58,257	272	1,331,000	19.37
10	39 <= (x) < 52	44,735	510	1,841,000	26.79
11	26 <= (x) < 39	31,942	833	2,674,000	38.91
12	13 <= (x) < 26	18,484	1,687,000	4,361,000	63.45
13	0 <= (x) < 13	9,443	2,511,000	6,872,000	99.99

**Tabel 4.12 Hubungan Probabilitas Kejadian dan Debit Rata-rata Harian Batang Sinamar**

No.	Probabilitas Kejadian	Stasiun Debit	Lokasi PLTM Lintau 2	Lokasi PLTM Lintau 3
		Debit rata-rata	Debit rata-rata Konversi	Debit rata-rata Konversi
		Luas Cakupan DAS (km <sup>2</sup> )		
		1421.00	1749.94	1769.59
1	5%	330.05	406.45	411.01
2	10%	122.32	150.64	152.33
3	15%	91.99	113.28	114.55
4	20%	75.91	93.48	94.53
5	25%	64.24	79.11	80.00
6	30%	55.34	68.15	68.92
7	35%	48.40	59.60	60.27
8	40%	42.73	52.62	53.21
9	45%	38.48	47.39	47.92
10	50%	34.23	42.16	42.63
11	55%	30.66	37.76	38.19
12	60%	27.89	34.34	34.73
13	65%	25.11	30.92	31.27
14	70%	22.33	27.50	27.81
15	75%	19.55	24.08	24.35
16	80%	17.28	21.28	21.52
17	85%	15.32	18.86	19.07
18	90%	13.36	16.45	16.63
19	95%	16.53	20.36	20.58
20	99%	9.44	11.63	11.76

**Tabel 4.13 Hubungan Probabilitas Kejadian dengan Debit Harian Batang Sinamar di Stasiun Debit Taram (FDC – Metode Interval Kelas)**

No.	Probabilitas Kejadian	Stasiun Debit Debit rata-rata
		Luas Cakupan DAS (km <sup>2</sup> ) 1421.00
1	10%	122.32
2	20%	75.91
3	30%	55.34
4	40%	42.73
5	50%	34.23
6	60%	27.89
7	70%	22.33
8	80%	17.28
9	90%	13.36
10	100%	9.44



**Gambar 4.7 Flow Duration Curve (FDC) Batang Sinamar**

## 4.2 Topografi

### 4.2.1 Metode Pelaksanaan

Survei topografi dalam proses perencanaan pembangunan PLTM dimaksudkan untuk memperoleh data kontur tanah serta jenis bebatuan di lokasi studi. Data yang diperoleh dari hasil survey akan digunakan untuk mendapatkan tinggi jatuh (*head*) air maksimal sehingga penentuan tata letak komponen utama dan bangunan penunjang dari sebuah PLTM dapat dilakukan. Berikut ini adalah tahapan yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan pekerjaan survei/pengukuran di lokasi studi

#### a) Persiapan

Pekerjaan persiapan dilakukan untuk mempersiapkan segala hal yang dapat memperlancar jalannya pekerjaan pengukuran. Pada tahap persiapan ini selain dilakukan penyiapan alat dan personil, koordinasi dengan pihak proyek, hal ini dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi dan penegasan lokasi, batas lokasi serta mendapatkan ijin, baik dari pihak proyek maupun pemerintah setempat.

#### b) Pengukuran

Tahapan dalam melakukan pekerjaan pengukuran adalah sebagai berikut;

##### ▪ Pembuatan dan Pemasangan Patok

Patok yang digunakan terbuat dari beton yang dicor dengan menggunakan pipa berdiameter 4", dan ditengah dipasang baut  $\emptyset$  1 cm yg ujungnya digergaji secara silang. Patok dicetak dengan panjang 70 cm, ditanam 50 cm dan muncul di permukaan tanah sepanjang 20 cm. Pengukuran Poligon krosek BM yang ada dibutuhkan patok referensi sebanyak 10 buah.

##### ▪ Pengamatan Azimuth Matahari

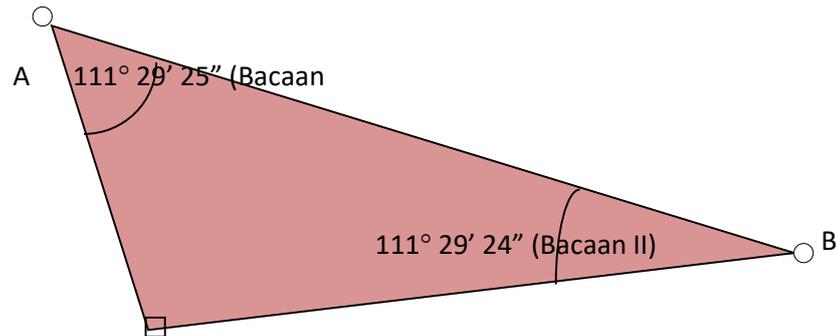
Tujuan pengamatan Azimuth Matahari adalah menentukan lintang dan bujur suatu titik (tempat) di bumi, yaitu koordinat astronomis titik tersebut, serta menentukan azimuth arah antara dua titik dipermukaan bumi. Pada khususnya penentuan azimuth suatu arah dipermukaan bumi sangat diperlukan dalam pekerjaan-pekerjaan pengadaan titik dasar untuk pemetaan, baik cara terestris maupun pemetaan cara fotogrametris. Azimuth diperlukan bukan saja untuk pemberian orientasi utara kepada peta, tetapi lebih penting untuk mengontrol ukuran-ukuran sudut pada pengukuran poligon dan triangulasi.

##### ▪ Pengukuran Poligon

Pengukuran kerangka kontrol horizontal dilakukan dengan menggunakan sistem pengukuran metode poligon, atau lebih dikenal dengan nama pengukuran poligon.

- Pengukuran Sudut

Sudut diukur dengan menggunakan alat ukur *Total Station* merk TopCon. Pengukuran sudut dapat dijelaskan dengan Gambar 4.8.



**Gambar. 4.8 Pengukuran Sudut Poligon**

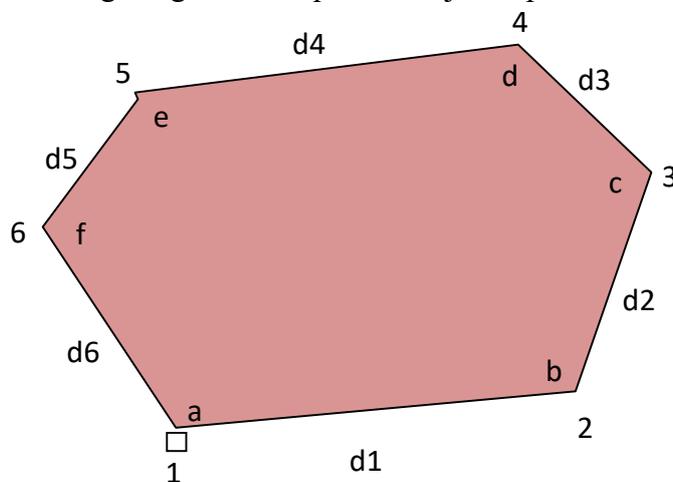
Sudut yang dipakai adalah sudut dalam yang merupakan hasil rata-rata dari pengukuran I dan II.

$$\begin{array}{r} \text{Bacaan I} = 111^\circ 29' 25'' \\ \text{Bacaan II} = 111^\circ 29' 24'' \\ \hline \text{Rata-rata} = 111^\circ 29' 24,5'' \end{array}$$

Sedangkan untuk pengukuran jarak dilakukan dengan cara optis dan dicek dengan menggunakan *meetband*.

- Hitungan Poligon

Poligon dihitung dengan cara seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9 Poligon**

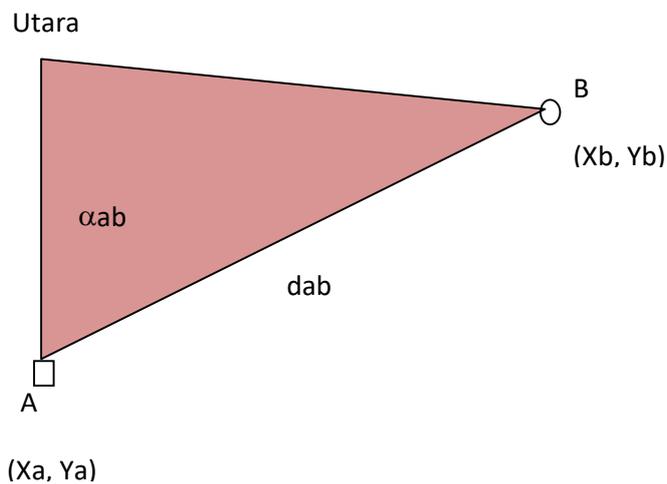
$$\Sigma \text{Sudut} = (n - 2) \times 360^\circ \pm f\beta \quad (4.1)$$

dimana :

- $\Sigma$  Sudut : jumlah sudut dalam
- n : jumlah titik poligon
- a,b,c,d...f : besar sudut
- d1,d2,...d6 : jarak antar titik poligon
- f $\beta$  : kesalahan sudut yang besarnya sudut ditentukan ( $10^4/\sqrt{n}$ )

▪ Hitungan Koordinat

Koordinat masing-masing titik poligon dihitung dengan persamaan dari Gambar 4.10



**Gambar 4.10 Model Matematis Hitungan Koordinat**

$$Xb = Xa + dab \sin \alpha ab \pm fx \quad (4.2)$$

$$Yb = Ya + dab \cos \alpha ab \pm fy \quad (4.3)$$

dimana :

Xa, Ya : Koordinat titik A

Xb, Yb : Koordinat titik B

dab : Jarak datar antara titik A ke titik B

αab : Azimuth sisi titik A ke titik B

fx, fy : Koreksi

Sedangkan untuk koreksi absis dan ordinat digunakan metode Bouwditch berikut ini :

$$f_{xi} = \frac{d_i}{\Sigma d} \times f_x \quad ; \quad f_{yi} = \frac{d_i}{\Sigma d} \times f_y \quad (4.4)$$

dimana :

$f_{xi}, f_{yi}$  : Koreksi absis dan ordinat masing- masing koordinat

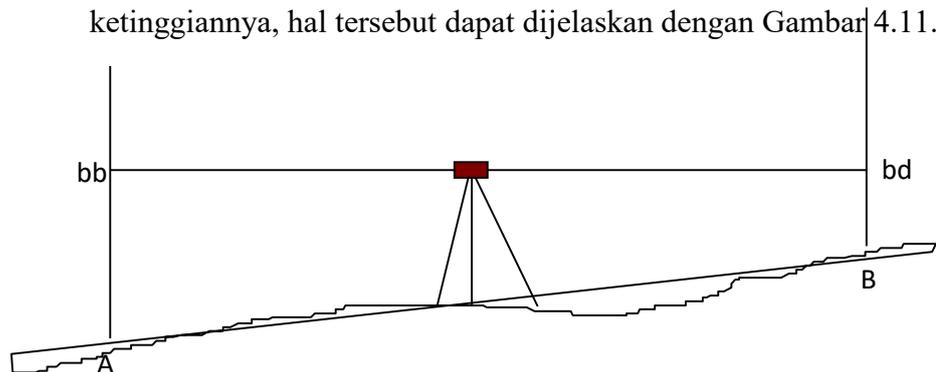
$f_x, f_y$  : Koreksi absis dan ordinat keseluruhan

$d_i$  : Jarak sisi - i

$\Sigma d$  : Jumlah jarak keseluruhan

▪ Pengukuran *Waterpass*

Pengukuran *waterpass* dilakukan untuk mengetahui perbedaan ketinggian antara dua titik, sehingga apabila salah satu titik diketahui ketinggiannya maka titik selanjutnya dapat diketahui ketinggiannya, hal tersebut dapat dijelaskan dengan Gambar 4.11.



**Gambar 4.11 Model Matematis Observasi Beda Tinggi**

$$\Delta H_{A-B} = bb - bd \quad (4.5)$$

dimana :

$\Delta H_{A-B}$  : beda tinggi antara titik A dan titik B

$bb$  : bacaan rambu belakang

$bd$  : bacaan rambu depan

$A, B$  : titik yang di observasi

Sehingga untuk mengetahui tinggi titik B dapat dicari dengan persamaan (4.6):

$$H_B = H_A + \Delta H_{A-B} \quad (4.6)$$

dimana :

$H_A$  : tinggi titik A

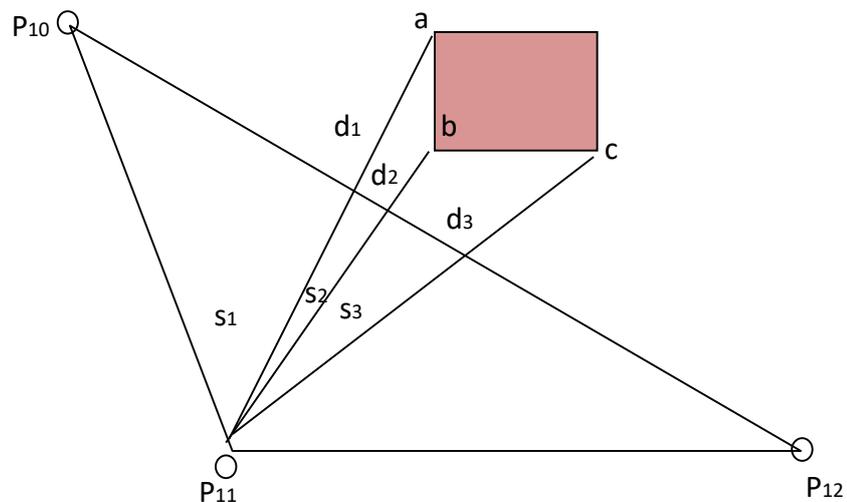
$H_B$  : tinggi titik B

$\Delta H_{AB}$  : beda tinggi antara titik A dan titik B

▪ Pengukuran Detail Situasi

Pengukuran detail situasi dilaksanakan untuk memperoleh dan mengetahui keadaan topografi daerah yang akan dipetakan. Pelaksanaan pengukuran detail situasi dapat dilakukan dengan *Sistem Raai* dan *Sistem Voorsall*.

Pelaksanaan pengukuran situasi detail dengan sistem Raai dilakukan dengan merajang daerah yang akan dipetakan menjadi poligon-poligon cabang yang lebih kecil. Dengan merajang maka akan didapat jalur-jalur poligon yang saling sejajar satu sama lain. Perhitungan poligon raai dilakukan dengan menggunakan sistem hitungan poligon terbuka terikat sempurna, detail situasi diukur dengan metode sudut kutub seperti Gambar 4.12.



**Gambar 4.12 Metode Sudut Kutub**

dimana :

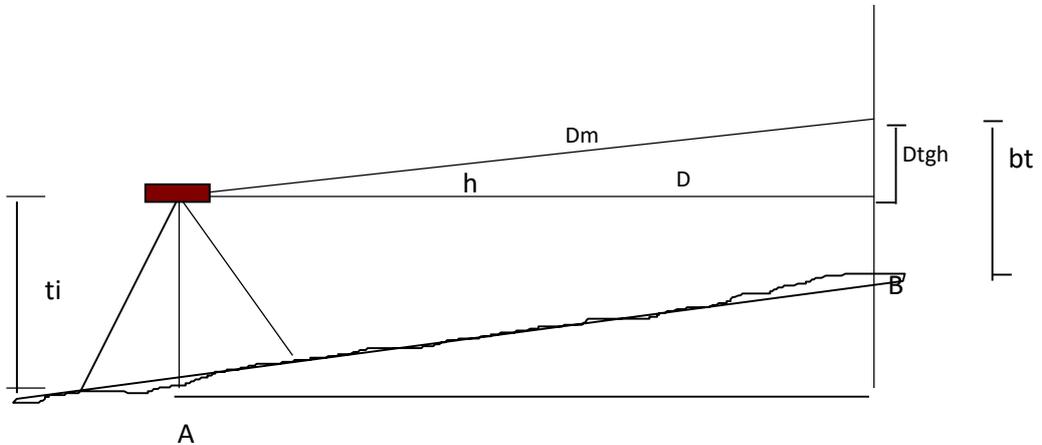
$P_{10}, P_{11}, P_{12}$  : titik - titik *poligon*

$S_1, S_2, S_3$  : sudut ikat masing-masing titik detail

$d_1, d_2, d_3$  : jarak sisi masing-masing titik detail

$a, b, c$  : titik - titik detail

Detail-detail tersebut diukur dengan menggunakan alat *Total Station* dan *Theodolite Wild T0*. Jarak dan beda masing-masing sisi dan titik detail diukur dengan *Metode Tachimetry* seperti pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.13 Metode Tachimetry**

$$\Delta H_{AB} = D_{tgh} + t_i - b_t \quad (4.7)$$

dimana :

$D$  : jarak datar

$h$  : sudut vertikal

$b_t$  : bacaan benang tengah

$t_i$  : tinggi instrumen

$\Delta H_{AB}$  : beda tinggi antara titik A dan B

Untuk besaran jarak ( $D$ ) diperoleh dengan persamaan :

$$D = AY \cos^2 h \quad (4.8)$$

dimana :

$D$  : jarak datar

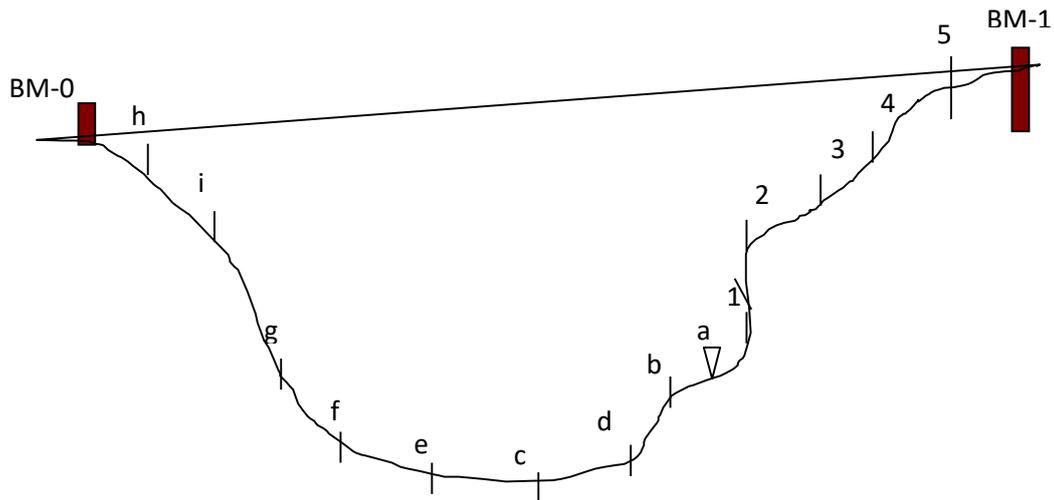
$A$  : besaran konstanta alat (100)

$Y$  : benang atas - benang bawah

$h$  : sudut vertikal

▪ Pengukuran *Cross Section*

*Cross Section* pada akses jalan masuk dimaksudkan untuk mengetahui kondisi tampang permukaan tanah pada posisi tegak lurus terhadap as jalan, *cross section* ini diukur dengan menggunakan alat ukur *Theodolite Wild-T0* seperti pada Gambar 4.14



**Gambar 4.14 Pengukuran *Cross Section***

dimana :

A : penempatan instrumen

1,2,3,...15 : titik detil permukaan tanah atau tempat penempatan rambu. Untuk daerah yang datar digunakan alat *waterpass*.

- **Pengolahan Data dan Penggambaran**

Semua data diolah dan menghasilkan No Titik, Koordinat X, Koordinat Y, dan Tinggi Titik. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Software Microsoft Excel*, dan penggambarannya menggunakan program *Auto Cad Civil 3D Land Desktop Companion 2009* untuk menghasilkan peta topografi (digital). Basis skala plot dilakukan pada skala 1:1000 dengan interval setiap 1 M.

Peta hasil survei ini berupa peta digital dan di plot pada kertas A1 dengan skala plot 1:1000. Gambar-gambar dilengkapi dengan penunjuk arah utara, legenda, skala, kop, judul gambar disertai dengan kelengkapan yang diperlukan lainnya.

#### **4.2.2 Pelaksanaan Pengukuran**

Berdasarkan acuan tahapan pekerjaan pengukuran maka pelaksanaan pengukuran dimulai dari tahapan persiapan, pengumpulan data dan pengolahan data hasil pengukuran seperti yang dijelaskan berikut ini

a) Persiapan

Persiapan dimaksudkan untuk memenuhi dan melengkapi aspek-aspek pendukung guna memperlancar jalannya pekerjaan Topografi yang akan dilaksanakan, antara lain :

- Persiapan administrasi dan perijinan dari PLN UIP-KITRINGKAL dan instansi terkait.
- Pengumpulan data-data pendukung lain seperti koordinat titik-titik acuan dan referensi ketinggian terdekat yang ada, laporan-laporan yang terkait dan sebagainya.
- Mengumpulkan peta-peta dari BAKOSURTANAL skala 1 : 50.000, dan data lain yang dapat diperoleh dari kantor-kantor/ instansi terkait.
- Mobilisasi personil dan alat.
- Orientasi lapangan untuk memprediksi rencana jalur pengukuran, pemasangan titik-titik tetap serta mengantisipasi kendala yang muncul akibat keadaan medan.

Pada kegiatan pengukuran ini peralatan yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 3.14.

**Tabel 4.14 Daftar Peralatan Pengukuran**

No.	Nama Alat	Tipe - Jumlah
1	Teodolte	Top Con/DT-100 - 1 buah
2	GPS	Garmin-1 buah
3	Rambu Ukur	2 buah

b) Pengukuran di lokasi

Berikut ini adalah pekerjaan yang dilakukan terkait pengumpulan data serta pengukuran titik-titik di lokasi studi :

- Titik Tetap

Titik tetap utama ( BM ) sudah ada didaerah rencana, yaitu BM 01, BM 02, BM 03, dan BM 04, dimana tiap-tiap BM tersebut sudah mempunyai nilai

koordinat dan elevasi. Titik tetap acuan arah azimuth yang dipasang pada pekerjaan pengukuran ini dapat dilihat pada Lampiran 1

- Titik Bantu

Selain titik-titik tetap di atas, juga dipasang patok-patok di lapangan yang dijadikan sebagai titik berdiri instrumen ( titik bantu ) berupa patok-patok kayu dengan panjang 40 cm serta di tanam kuat-kuat dengan bagian yang muncup di permukaan tanah masih nampak secukupnya tetapi mudah untuk ditemukan kembali, hal ini dilakukan agar keberadaan patok bantu tersebut tidak mudah terganggu atau tergeser akibat adanya aktivitas pergerakan di sekitar patok tersebut.

- Titik Referensi

Pada pekerjaan ini, titik referensi yang digunakan adalah BM 01, BM 02, BM 03, dan BM 04 sebagai acuan pengukuran awal, karena lokasi patok BM-nya berada di tempat yg aman dan masih dalam keadaan baik.

- Pengukuran Poligon

Pada pelaksanaan pekerjaan ini, hasil pengukuran poligon dengan jalur titik-titik Poligon yang digunakan menggunakan jalur batas pembebasan lahan.

- Pengukuran Detail Situasi

Dari hasil pengukuran poligon dikembangkan ke pengukuran detail situasi, dengan menggunakan titik – titik jalur poligon sebagai tempat berdiri alat. Pengukuran dilakukan secara menyeluruh pada sungai, rawa, maupun bukit. Maka akan diperoleh hasil pengukuran untuk penggambaran topografi.

- Pengukuran *Cross Section*

Pada pengukuran *cross section* ini dilakukan secara terpisah yaitu di area sungai, rawa dan bukit dengan uraian sebagai berikut :

- *Cross section* pada lokasi rawa dan bukit diukur dengan interval 10 meter.
- *Cross section* pada lokasi sungai diukur dengan interval bebas, mengingat lokasinya sering tergenang air sungai.

- Penampang melintang diukur dengan mengambil pengukuran detail yang mewakili.
- Pada setiap titik *cross section* dipasang patok kayu ukuran 3 cm x 5 cm x 40 cm.
- Pengukuran *cross section* dilakukan menggunakan alat total station.

c) Pengolahan hasil pengukuran

Pekerjaan pengolahan hasil pengukuran dilakukan setelah memperoleh data dari hasil pengukuran dilokasi studi yaitu

- Pekerjaan Hitungan

Setelah hitungan awal dilakukan di lapangan, terutama hitungan kerangka kontrol horisontal dan kerangka kontrol vertikal, maka proses selanjutnya adalah penghitungan data secara simultan. Hitungan-hitungan yang dilakukan adalah hitungan untuk data detil situasi dengan mengacu pada koordinat dan elevasi dari tempat berdiri alat sewaktu pengukuran.

Tahapan pekerjaan hitungan ini meliputi :

- Melakukan hitungan akhir untuk kerangka kontrol horizontal dan vertikal setelah dilakukan perbaikan pada kesalahan yang terjadi. Hasil hitungan akhir untuk lokasi studi didapatkan  $h_{gross}$  sebesar 36 m
- Melakukan penghitungan elevasi definitif detil-detil situasi yang diukur dengan menggunakan tinggi definitif titik berdiri alat pada pengukuran.
- Melengkapi sketsa jalur pengukuran beserta hasil-hasil kesalahan dan koreksi yang dilakukan.

- Pekerjaan gambar

Pekerjaan penggambaran dilakukan setelah pekerjaan hitungan baik untuk hitungan poligon, ketinggian dan situasi selesai dilakukan. Penggambaran dilakukan dalam dua tahap yaitu gambar *draft* dan gambar final.

Penggambaran dilakukan secara digital dengan menggunakan bantuan *software* Auto-CAD beserta pelengkapannya. Spesifikasi dan standar yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Garis grid dibuat setiap interval 10 cm.
- Titik ikat maupun BM dan CP yang dipasang digambarkan dengan legenda yang telah ditentukan dan dilengkapi dengan koordinat dan elevasi.
- Interval kontur setiap 1 meter, serta kontur indeks yang digambar dengan garis lebih tebal pada setiap interval 5 meter.
- Petunjuk baku seperti arah aliran sungai, arah tujuan jalan, arah utara gambar, bangunan-bangunan penting dan sebagainya dicantumkan secara jelas dan teratur mengikuti standar penulisan.
- Pada setiap lembar peta Skala 1 : 1000 dilengkapi dengan petunjuk lembar peta untuk memudahkan membaca peta tersebut.

#### d) Laporan

Pelaporan yang disajikan terdiri dari 2 macam yaitu :

- Buku utama pengukuran yang memuat Pendahuluan, Metode Pelaksanaan Pekerjaan, Pelaksanaan Pekerjaan Pengukuran serta Kesimpulan dan Saran.
- Data Ukur, Hitungan, Diskripsi *Bench Mark* (BM) dan *Control Point* (CP).

### 4.3 Geologi

#### 4.3.1 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan penyelidikan tanah yang dilaksanakan mencakup dua kelompok yaitu pekerjaan lapangan dan pengujian di laboratorium, dimana hasil kedua metode ini saling berhubungan satu sama lainnya. Penyelidikan lapangan (*field investigation*) berupa Bor mesin sebanyak 16 titik dengan pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*), Sondir 12 titik dan Test Pit sebanyak 12 titik serta uji Seismik Refraksi. Sedangkan pengujian laboratorium (*laboratory test*) dilaksanakan untuk sample tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*). Standar pengujian yang digunakan adalah yang berlaku di Indonesia dan mengacu kepada metode *American Standar for Testing Material* (ASTM).

#### **a) Pekerjaan bor inti (bor mesin)**

Penyelidikan pengeboran dengan bor mesin dilaksanakan sebanyak beberapa titik pada lokasi area rencana bangunan PLTM, dengan kedalaman pengeboran setiap titik maksimum 15 meter atau sampai tanah keras ( $N > 60$ ). Peralatan dan bahan yang digunakan :

- Bor Mesin 1 unit (Merk TOHO D2G), yang dilengkapi dengan kaki tiga.
- Mata bor single core barrel, yang dilengkapi dengan kepala single.
- Kepala tabung, kepala penumbuk, hammer sebesar 63,5 kg.
- Water swipel, selang karet tekanan tinggi, kepala pengangkat stang.
- Tabung sample, kepala tabung, diamond bit, widya bit, split spoon spt.
- Batang, pipa bor, pipa pelindung, kepala casing, kabel sling waja.
- Kunci-kunci pipa, kunci rantai, kunci inggris, kunci pas, kunci L.h. Parafin, plastik kantong, plastik kantong panjang, plastik lebel

Pengujian pengeboran dengan alat bor mesin bertujuan untuk mengambil contoh tanah terganggu dan contoh tanah tidak terganggu pada lapisan tanah tertentu untuk dibawa ke laboratorium dan untuk :

- Mengetahui susunan lapisan tanah yang terkandung pada daerah penelitian secara visual dan terinci.
- Mengambil sampel tanah terganggu (disturbed sample) lapis demi lapis sampai kedalaman yang diinginkan untuk tujuan deskripsi lithology lapisan tanah (soil description).
- Mengambil contoh tanah tidak terganggu (undisturbed sample) pengeboran untuk dibawa ke laboratorium sebagai bahan pengujian.

#### **b) Pekerjaan sondir (*Duth Cone Penetration Test*)**

Sondir dilakukan dengan alat sondir ringan yang mempunyai kapasitas tekan maksimal 2,5 ton. Sondir tersebut dilengkapi dengan 4 buah angker ulir dengan diameter 40 cm dan biconus type Bagemann yang mempunyai luas penampang konus 10 cm<sup>2</sup> dan luas selubung gesek 150 cm<sup>2</sup>. Grafik sondir disajikan dalam tekanan konus qc, dan jumlah hambatan pelekat (JHP), versus kedalaman. Pembacaan sondir dilakukan selang interval 20 cm. Spesifikasi pelaksanaan Sondir adalah sebagai berikut :

- Sondir dilakukan untuk tiap titik sampai ditemukannya tanah keras.

- Tanah keras didefinisikan dari bacaan konus, yaitu jika diperoleh tekanan konus  $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$ .
- Jika hasil bacaan konus telah didapat  $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$ , sondir dihentikan. Jika tidak, akan dilakukan terus sampai mencapai tanah keras.
- Tiap interval 20 cm, dilakukan bacaan tekanan konus dan tekanan friksi.
- Hasil bacaan ini diplot pada formulir yang telah disediakan.
- Hasil bacaan sondir dilapangan dan grafik sondir disajikan pada lampiran

#### c) Test Pit

Pekerjaan test pit dilakukan pada lokasi rencana bangunan utama PLTM. Test Pit dibuat berukuran 1,0 m x 1,0 m dengan kedalaman maksimum 3,50 m atau sampai ditemukannya tanah keras. Setelah itu dilakukan description dan pengambilan test pit di tiap titik penggalian. Test Pit dilakukan di beberapa titik. Description hasil test pit dilapangan dilampirkan.

#### d) Laboratorium

Test laboratorium dilakukan sesuai dengan standard ASTM. Pekerjaan laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui identifikasi dan karakteristik tanah pada kondisi asli. Contoh tanah yang diambil dari lapangan dibawa ke laboratorium untuk selanjutnya dilaksanakan pengujian di laboratorium. Pengujian laboratorium dilaksanakan untuk mengetahui sifat-sifat tanah yaitu sifat-sifat pengenal (*index properties*) dan sifat-sifat teknis (*engineering properties*). Dengan diketahuinya kedua sifat ini maka jenis dan parameter tanah dapat ditentukan yang selanjutnya dapat digunakan dalam perencanaan pondasi. Pengujian laboratorium menggunakan metode/standar ASTM.

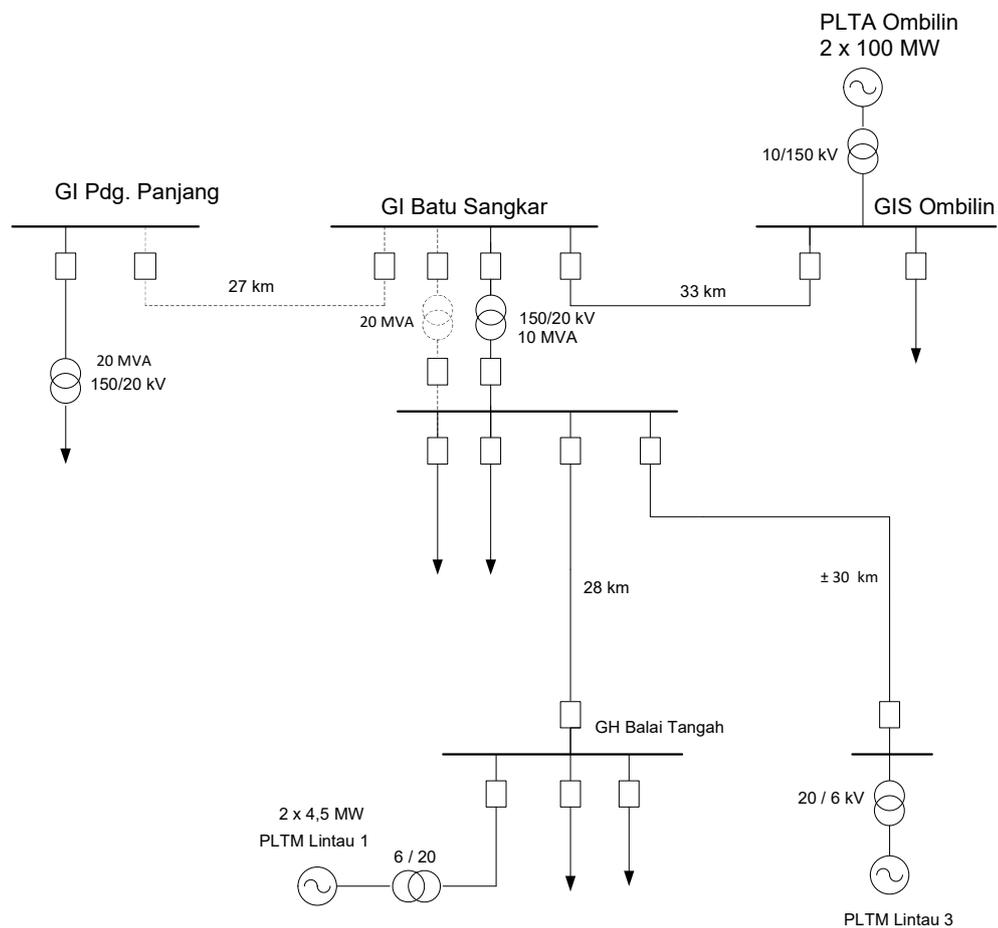
Pekerjaan laboratorium yang akan dilaksanakan meliputi pengujian-pengujian sebagai berikut : (a) *Indeks Properties* (b) *Atterberg limits test* (c) *Triaxial UU test* (d) *Konsolidasi test*.

### 4.3.2 Pelaksanaan Pengukuran

Pelaksanaan pengukuran penyelidikan tanah pada studi kelayakan awal ini telah dilakukan berdasarkan metode pelaksanaan yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.1 di atas. Namun untuk laporan hasil penyelidikan tanah di lokasi rencana secara detail akan dijelaskan pada tahapan studi kelayakan selanjutnya.

#### 4.4 Kelistrikan

Pemenuhan kebutuhan listrik di kabupaten Tanah Datar pada umumnya di-*supply* oleh PT PLN Persero yang dipasok dari GI Batusangkar berkapasitas 10 MVA melalui UPP Salimpaung, Simabur, Sumanik, Sungayang dan UPP Rambatan menggunakan sistem interkoneksi 20 kV. Interkoneksi sistem ini masih belum memberikan pelayanan dengan baik, dimana masih seringnya terjadi pemadaman secara bergilir. Dari GI Batusangkar menuju Nagari Balai Tengah terdapat GH Balai Tengah yang dihubungkan melalui *express feeder* 20 kV. Pada GH Balai Tengah akan masuk PLTM Sumpur 1 berkapasitas 2 x 4,5 MW yang sekarang ini sudah PPA. Direncanakan titik sambung PLTM Sumpur 3 adalah ke GI Batusangkar, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15.

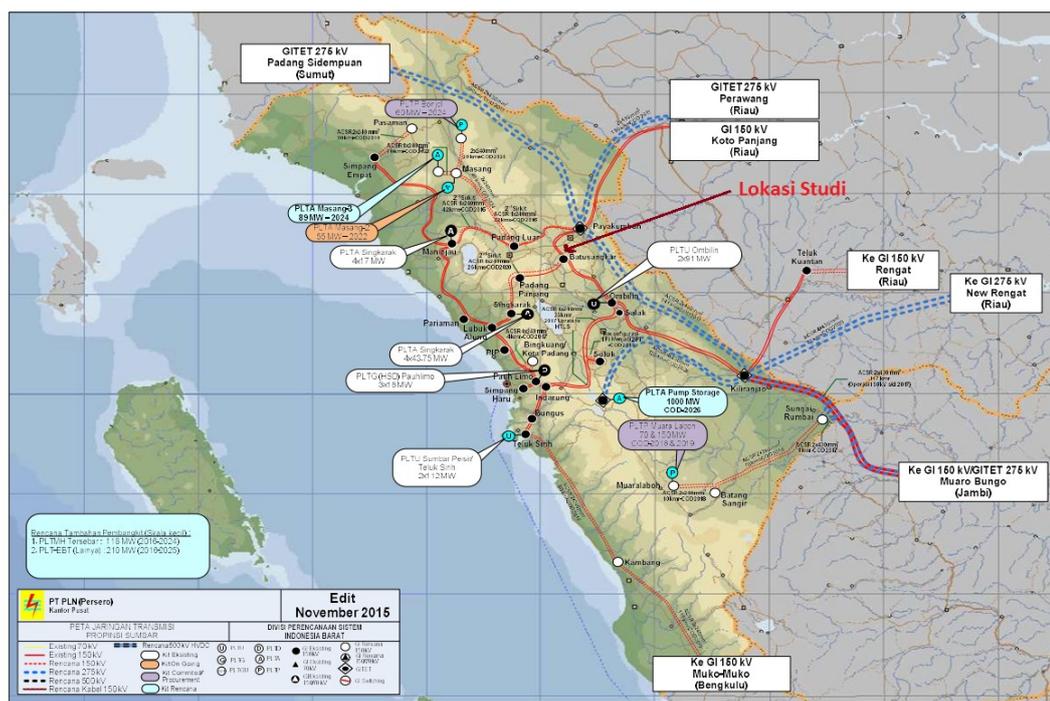


**Gambar 4.15. Rencana titik Sambung PLTM Lintau 2 pada Sistem Kelistrikan Batusangkar**

Guna memenuhi kebutuhan dimasa yang akan datang seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, pada tahun 2028 diprediksi kebutuhan energi listrik di

kabupaten Tanah Datar akan mencapai lebih dari 10 MW. Kapasitas tersebut merupakan kebutuhan yang harus dipersiapkan hingga akhir masa perencanaan. Salah satu upaya pemerintah dalam meningkatkan sistem pelayanan kebutuhan listrik, direncanakan dalam waktu dekat daya listrik dari Gardu Induk Batu Sangkar di *Sungai Tarab Sumatera Barat Indonesia* akan diganti dengan trafo daya berkapasitas 30 MVA, yang ada saat ini hanya 10 MVA. Dengan demikian sumber daya listrik ini diharapkan dapat mencukupi kebutuhan daya listrik di kabupaten Tanah Datar.

Deskripsi tentang kondisi kelistrikan di atas, merupakan hasil survei kelistrikan yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa rencana pembangunan PLTM dengan memanfaatkan Batang Sinamar di kecamatan Lintau Buo Utara sejalan dengan program pemerintah dalam usaha memenuhi kebutuhan listrik di kabupaten Tanah Datar yang diprediksi mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada tahun 2028. Peta kelistrikan Sumatera ditunjukkan pada Gambar 4.16



yaitu Nagari Lubuk Jantan. Dibawah ini adalah data lingkungan yang diperoleh dari survei awal yang telah dilakukan.

Nagari Lubuk Jantan memiliki wilayah seluas 79.39 km<sup>2</sup> , dengan ketinggian 400-500 mdpl, terdiri dari 5 jorong yaitu: Jorong Nan XII, Tuanku Amir, Taratak nan Tuo, **Seroja** dan jorong Mawar. Adapun batas-batas wilayah nagari adalah :

- (1) Sebelah Barat : Tepi Selo
- (2) Sebelah Timur : Sumpur Kudus
- (3) Sebelah Selatan : Buo/Tigo Jangko
- (4) Sebelah Utara : Tepi Selo/Tanjung Bonai

Hutan di nagari Lubuak Jantan seluas 1000 Ha dalam bentuk hutan lindung (negara). Tanah di nagari Lubuak Jantan terdapat seluas 7,939 Ha dimanfaatkan oleh anak nagari dalam bentuk pekarangan/bangunan sekitar 530 Ha. Kolam di nagari Lubuak Jantan terdapat di 300 lokasi, milik pribadi/rumah tangga. Gunung di nagari Lubuak Jantan yaitu gunung Seribu. Bukit di nagari Lubuak Jantan yaitu bukit Gadang yang berlokasi di Jorong Taratak Nan Tuo. Bukit tersebut dikelola oleh anak nagari secara pribadi-pribadi dan ditanami getah. Sawah di nagari Lubuak Jantan seluas 501 Ha milik persukuan, terdiri dari sawah tadah hujan dan pengairan tali Bandar. Ladang di nagari Lubuak Jantan seluas 2.130 Ha, ladang tersebut dimanfaatkan oleh anak nagari untuk tanaman getah dan coklat. Ngalau/Goa di nagari Lubuak Jantan terdapat di jorong Tuanku Amir, di ngalau tersebut terdapat sarang burung Walet. Jalan di nagari Lubuak Jantan sepanjang 87km, terdiri dari jalan propinsi sepanjang 4 km, jalan kabupaten 12 km dan jalan nagari/jorong sekitar 71 km.

## BAB V

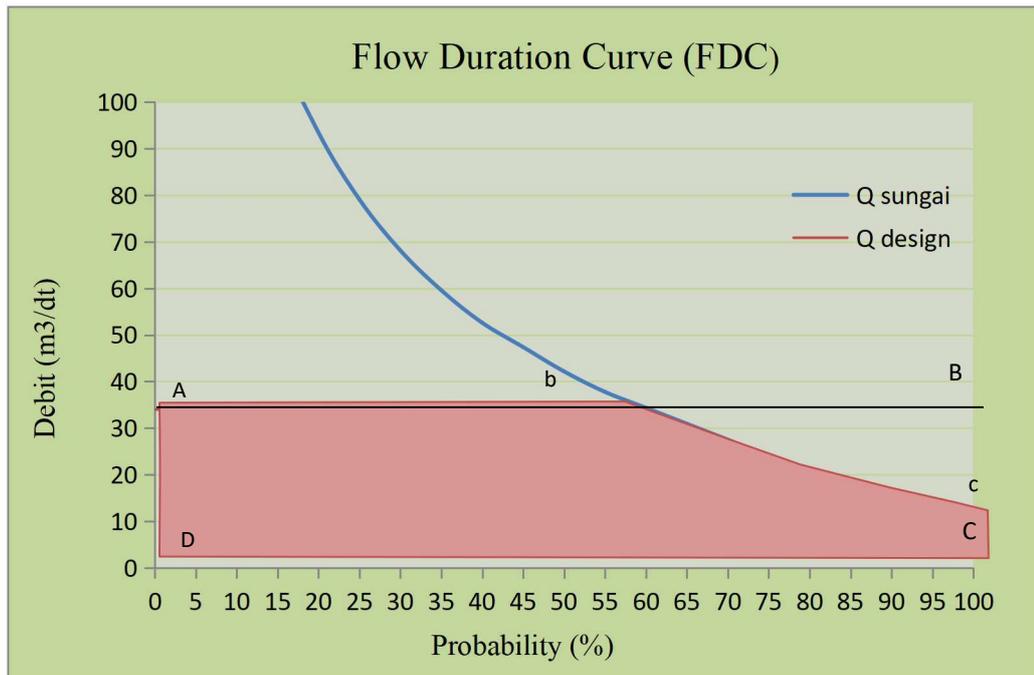
### DESAIN DASAR PLTM

Dari hasil survei yang dilakukan berdasarkan beberapa parameter utama pada studi, dilakukan hasil analisis yang meliputi beberapa aspek mulai dari penentuan debit andalan, kapasitas terpasang, posisi bangunan, jenis bangunan sipil, mekanikal-elektrikal, kebutuhan lahan, bangunan pendukung dan daya terpasang serta produksi energi. Hal tersebut yang akan dipaparkan dalam bagian bab ini.

#### 5.1. Menentukan Daya Terpasang dan Produksi Energi

Daya terpasang (*install capacity*) suatu PLTM mengacu pada *Flow Duration Curve* (FDC) yang didapat berdasarkan data dan analisis *hydrograph*. Kurva FDC menggambarkan kemungkinan besarnya debit yang akan mengalir dalam kurun waktu tertentu, seperti Gambar 5.1. Yang artinya dalam kurun waktu tersebut terdapat beberapa kemungkinan debit yang dapat digunakan dalam pembangunan sebuah PLTM. Kurva FDC merupakan acuan untuk menetapkan debit aliran yang kemudian digunakan dalam perhitungan daya terpasang yang sudah diperoleh pada bagian 4.1.3.

Gambar 5.1. merupakan ilustrasi untuk menentukan faktor kapasitas pada probabilitas 55% dari FDC Batang Sinamar. Faktor kapasitas (FC) dapat diketahui dengan membandingkan luas daerah yang diarsir (AbcCD) dengan luas bidang ABCD. Luas bidang yang diarsir (AbcCD) adalah besarnya debit yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH dalam kurun waktu tertentu, sedangkan bidang ABCD adalah besarnya debit maksimal yang dipilih dan akan selalu muncul dalam kurun waktu tertentu. Dari hasil perhitungan luas diperoleh FC untuk probabilitas 55% adalah 69,31% atau 0,6931.



**Gambar 5.1 Ilustrasi Penentuan Faktor Kapasitas (FC) PLTM Lintau**

Perhitungan daya terpasang untuk probabilitas 55%, debit desain 33,35 m<sup>3</sup>/dt, dan  $H_{Net}$  28,92 m, dapat menggunakan persamaan (3.34), sehingga diperoleh daya terpasang 9,4 MW. Perhitungan energi dapat menggunakan persamaan (3.45) dengan asumsi efisiensi generator 98%. Untuk perhitungan produksi energi dalam satu tahun, jika diperlukan waktu *maintenance* PLTM selama 15 hari, maka PLTM hanya beroperasi 350 hari/tahun, sehingga energi maksimum yang bisa dihasilkan pertahun adalah 85,89 GWh. Sementara energi aktual yang dapat dihasilkan PLTM pertahun adalah energi maksimum dikali dengan *capacity factor*, sehingga didapat 60,13 GWh. Hasil perhitungan daya, energi dan *capacity factor* untuk probabilitas yang lain ditunjukkan dalam Tabel 5.1. Dapat diketahui untuk probabilitas yang semakin rendah akan menghasilkan debit rencana yang semakin tinggi sehingga daya terpasang energi maksimum sesat yang dihasilkan juga tinggi, begitu juga sebaliknya. Dari kurva FDC ini maka energi tahunan suatu pembangkit dapat dihitung dengan cara mengalikan besarnya daya terpasang yang dihasilkan dengan waktu per tahun dan efisiensi.

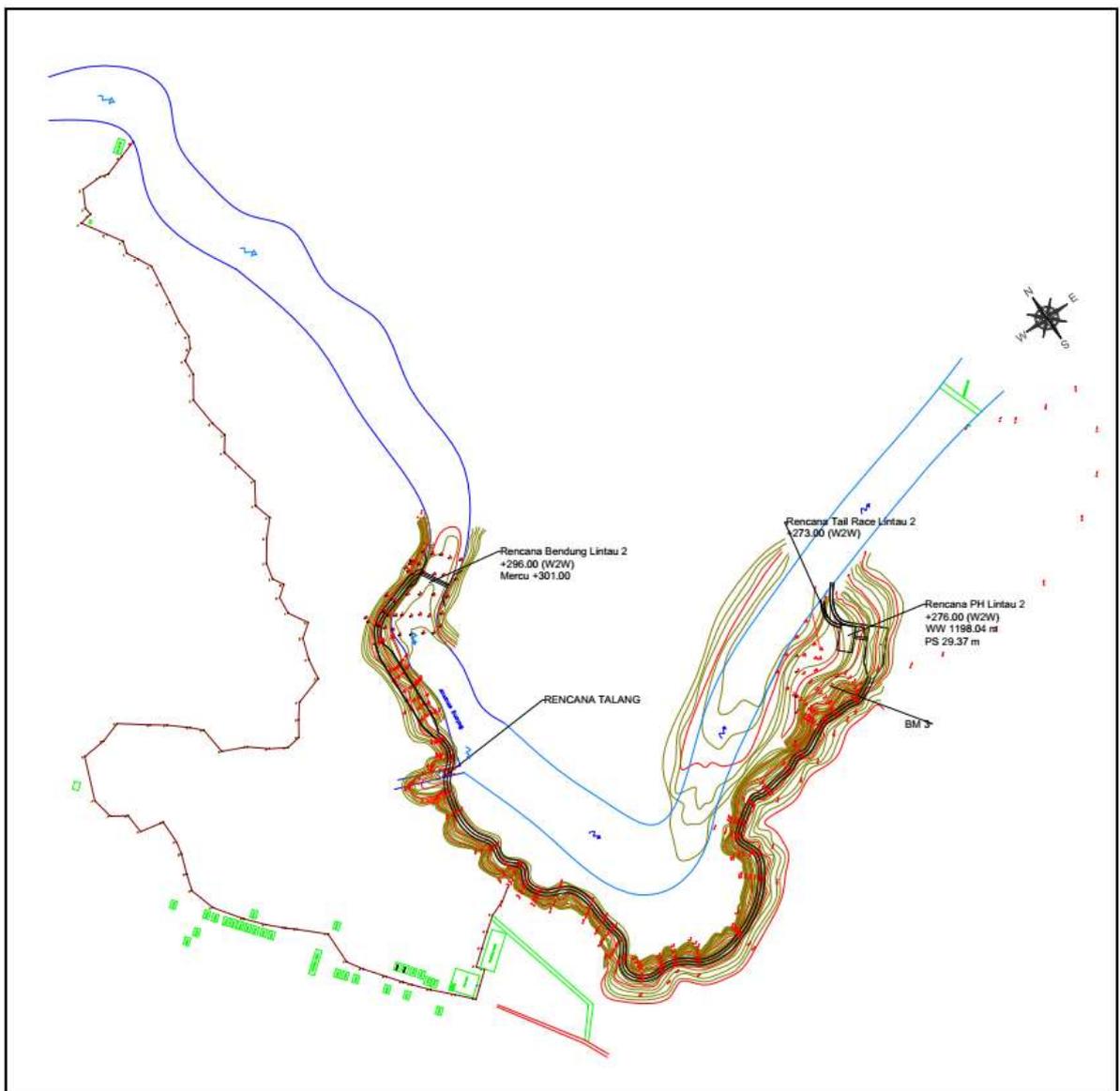
**Tabel 5.1 Produksi Energi Pada Probability 55%**

Prob (%)	$\eta_{\text{mesin}}$	$Q_{\text{sungai}}$ ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	$Q_{\text{Disain}}$ ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	$Q_{\text{PLTM}}$ ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	$E_{\text{Disain}}$ (GWh)	$E_{\text{PLTM}}$ (GWh)
5	1	411.01	33.35	33.35	4.29	3.97
10	0.97	152.33	33.35	33.35	4.29	3.85
15	0.96	114.55	33.35	33.35	4.29	3.81
20	0.96	94.53	33.35	33.35	4.29	3.81
25	0.95	80	33.35	33.35	4.29	3.77
30	0.93	68.92	33.35	33.35	4.29	3.69
35	0.93	60.27	33.35	33.35	4.29	3.69
40	0.94	53.21	33.35	33.35	4.29	3.73
45	0.94	47.92	33.35	33.35	4.29	3.73
50	0.93	42.63	33.35	33.35	4.29	3.69
55	0.93	38.19	33.35	33.35	4.29	3.69
60	0.9	34.73	33.35	30.33	4.29	3.25
65	0.9	31.27	33.35	27.31	4.29	2.93
70	0.86	27.81	33.35	24.29	4.29	2.49
75	0.91	24.35	33.35	21.26	4.29	2.30
80	0.9	21.52	33.35	18.79	4.29	2.01
85	0.88	19.07	33.35	16.65	4.29	1.74
90	0.81	16.63	33.35	14.52	4.29	1.40
95	0.8	20.58	33.35	17.97	4.29	1.71
100	0.7	11.76	33.35	10.27	4.29	0.86
Jumlah					85.89	60.13
H Gross (m)					30	
H Net (m)					28.92	
Potensi Energi maksimum (GWh)					60.13	
Rugi Jaringan (2,85%)					1.695	
Pemakaian Sendiri (1%)					0.601	
Faktor Kapasitas					69.31%	

## 5.2. Menentukan Posisi Bangunan

Posisi bangunan merupakan hasil dari perhitungan dimensi bangunan utama yang selanjutnya akan direalisasikan dalam pembangunan sebuah PLTM. Untuk PLTM Lintau 3, bangunan yang rencananya akan dibuat meliputi pembangunan bendung, pintu pengambilan (*intake*), Bak pengendap (*sandtrap*), saluran pembawa (*waterway*), bak penenang (*headpond*), pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit (*power house*). Rumah pembangkit (*power house*) yang akan menjadi tempat peralatan mekanikal elektrikal seperti turbin dan generator, serta saluran pembuang (*tail race*).

Hasil pengukuran topografi yang dilakukan telah disajikan dalam bentuk peta layout pada gambar 5.2.



Gambar 5.2. Tataletak Bangunan Utama

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis didapat panjang saluran yang akan dibangun pada PLTM ini mencapai 1.400 m dengan elevasi rata-rata 218.0 mdpl. Selanjutnya rincian elevasi bangunan utama dapat dilihat pada tabel 5.2.

**Tabel 5.2. Elevasi Bangunan Utama dan Tinggi Jatuh Efektif( $H_{net}$ )**

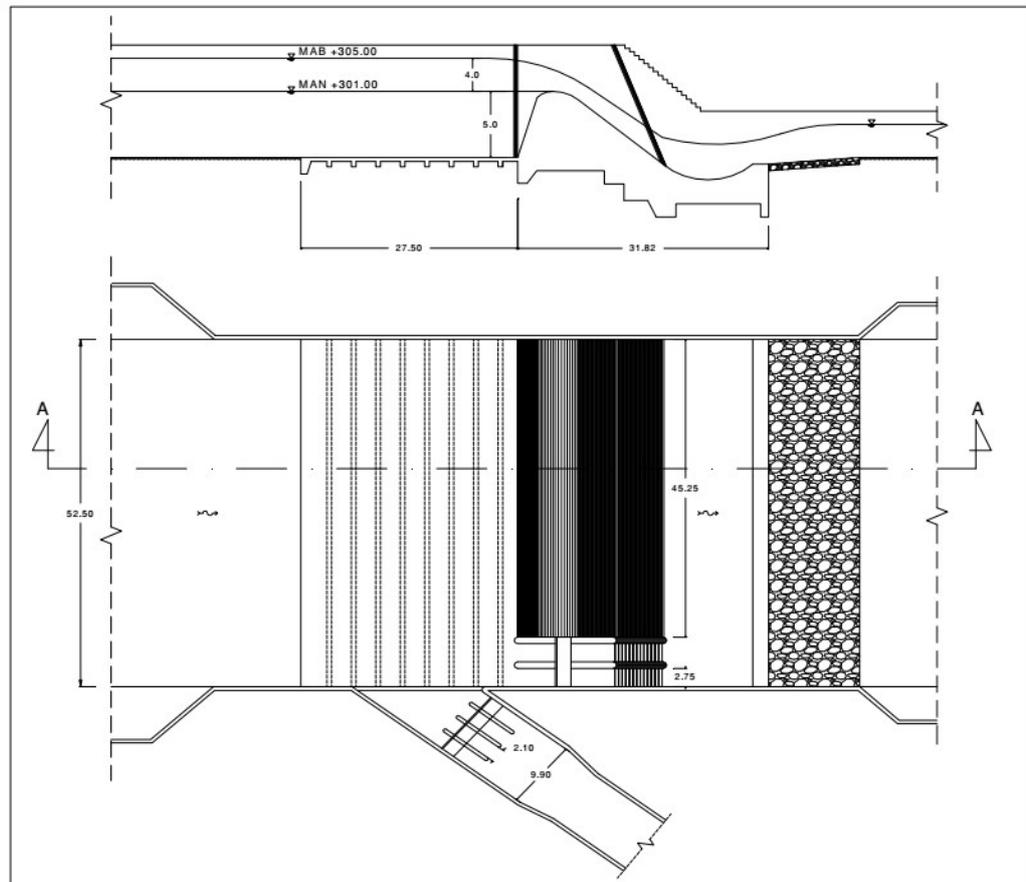
No	Bangunan	Head Loss (cm)	Elevasi (mdpl)
1	Intake	28.50	218.50
2	Sandtrap	28.20	218.20
1	Saluran	28.00	218.00
2	Headpond	20.00	217.52
3	Penstock	59.04	217.20
4	Tail Race	0	188.00
H <sub>los</sub> (m)		1.07	
H <sub>gros</sub> (m)		30.00	
H <sub>net</sub> (m)		28.93	

### 5.2.1. Bendung (*Weir*) dan Pintu Pengambilan (*Intake*)

Bendungan adalah suatu bangunan air yang dibangun khusus untuk membendung (menahan) aliran air dan menaikkan muka air yang berfungsi untuk memindahkan aliran air atau menampung sementara dalam jumlah tertentu kapasitas/volume air dengan menggunakan struktur timbunan tanah homogen (*Earthfill Dam*), timbunan batu dengan lapisan kedap air (*Rockfill Dam*), konstruksi beton (*Concrete Dam*) atau berbagai tipe konstruksi lainnya. Pada bendungan terdapat pintu pembilasan yang berfungsi sebagai tempat pengurasan sampah yang terdapat pada bendungan.

Kemudian dari bendungan ini air akan dialirkan melewati pintu pengambilan (*intake*) menuju bangunan utama lainnya. Bendungan yang direncanakan memiliki tinggi mercu 7 m dengan mempertimbangkan debit banjir  $Q_{50thn} = 900.94 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Berdasarkan persamaan 3.3. dan 3.4 yang digunakan dalam perhitungan dimensi bendung, maka didapat lebar efektif bendung adalah 33.80 m, panjang bendung 24.7 m

dan 3 buah pilar selebar 1.0 m lalu ditambah dengan lebar 1 pintu penguras yaitu 3 m. Detail bendung terlihat seperti pada gambar 5.3.



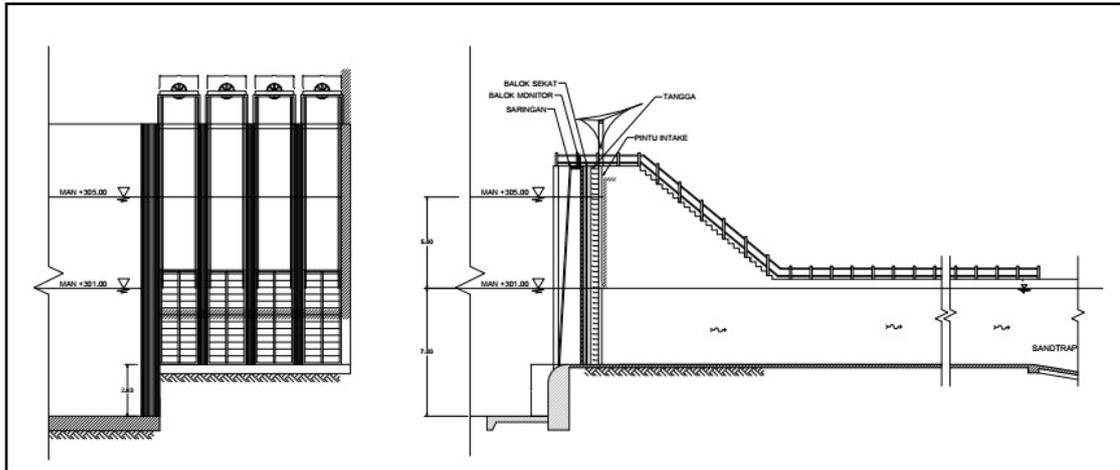
**Gambar 5.3 Detail Bendung**

Bangunan intake adalah suatu bangunan yang berfungsi sebagai penyadap atau penangkap air baku yang berasal dari sumbernya atau badan air seperti sungai, situ, danau dan kolam sesuai dengan debit yang diperlukan. Bangunan intake harus disesuaikan menurut konstruksi bangunan air, dan pada umumnya memiliki konstruksi beton bertulang (*reinforced concrete*) agar memiliki ketahanan yang baik terhadap kemungkinan hanyut oleh arus sungai.

Secara umum terdapat beberapa fungsi dari bangunan intake, diantaranya:

- Mengumpulkan air dari sumber untuk menjaga kuantitas debit air yang dibutuhkan.
- Menyaring benda-benda kasar.
- Mengambil air baku sesuai debit yang diperlukan untuk menjaga kontinuitas penyediaan dan pengambilan air dari sumbernya

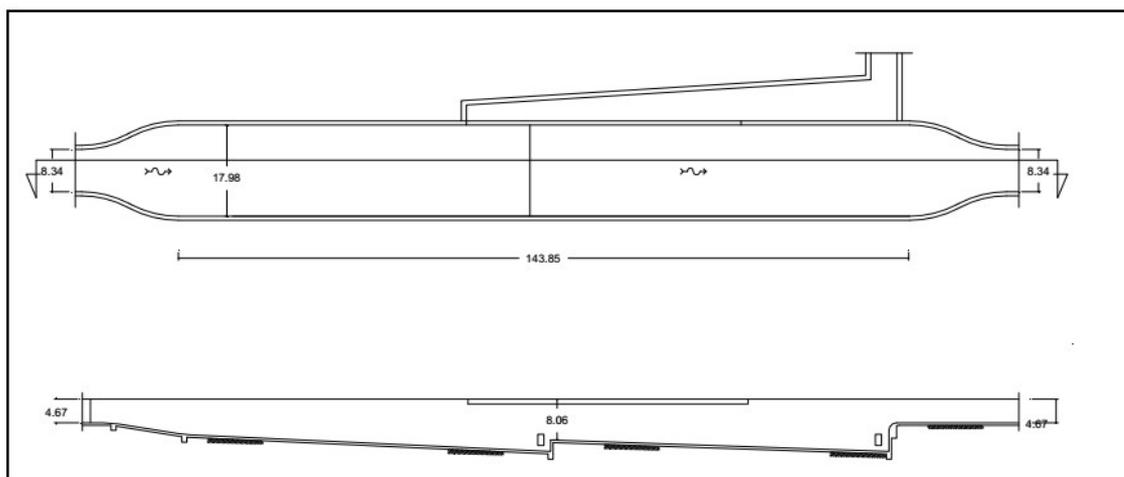
Dimensi bangunan *intake* diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.5, sehingga didapat tinggi bukaan 4 m, serta 4 buah pintu intake dengan lebar bukaan pintu 2.0 m untuk masing-masing pintu. Detail intake terlihat pada gambar 5.4.



**Gambar 5.3 Detail Intake**

### 5.2.2. Bak Pengendap (*Sandtrap*)

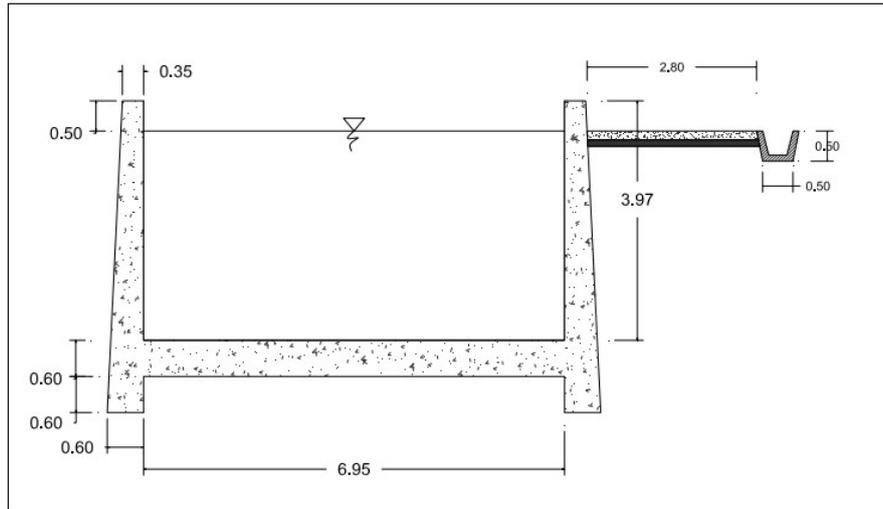
Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir. Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.7 – 3.10, didapat dimensi bak pengendap yaitu panjang 143.85 m, lebar 17.98 m dan tinggi bangunan 8.06 m. Detail bak pengendap 5.4 berikut.



**Gambar 5.4 Detail Bak Pengendap**

### 5.2.3. Saluran Pembawa

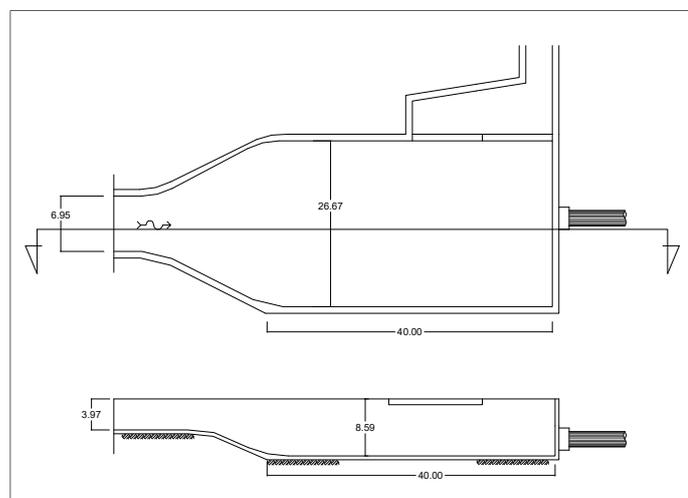
Saluran pembawa (*water way*) mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan dan menjaga energy potensial air tetap pada nilainya. Kemiringan saluran ditetapkan 0,02% setiap kilometer panjang saluran dan faktor kekasasaran permukaan saluran (*roughness*) 0,012. Dimensi saluran pembawa dihitung menggunakan persamaan (3.8), (3.9), (3.10) dan Gambar 3.6. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Penampang Saluran Pembawa

### 5.2.4. Bak Penenang

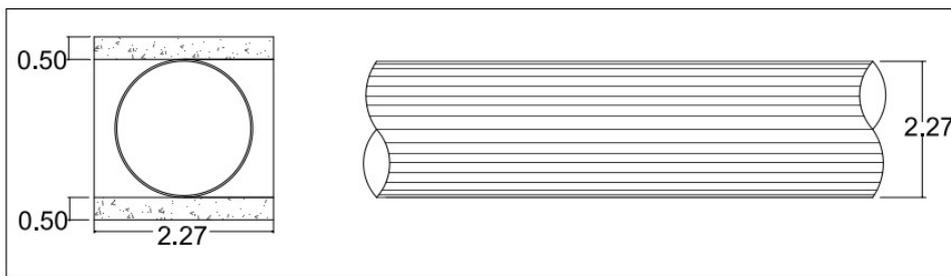
Bak penenang berfungsi mengatur perbedaan keluaran air antara saluran pembawa dengan *penstock*, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir dan kayu-kayuan. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (3.11) sampai (3.14) diperoleh dimensi bak penenang seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Detail Bak Penenang

### 5.2.5. Pipa Pesat

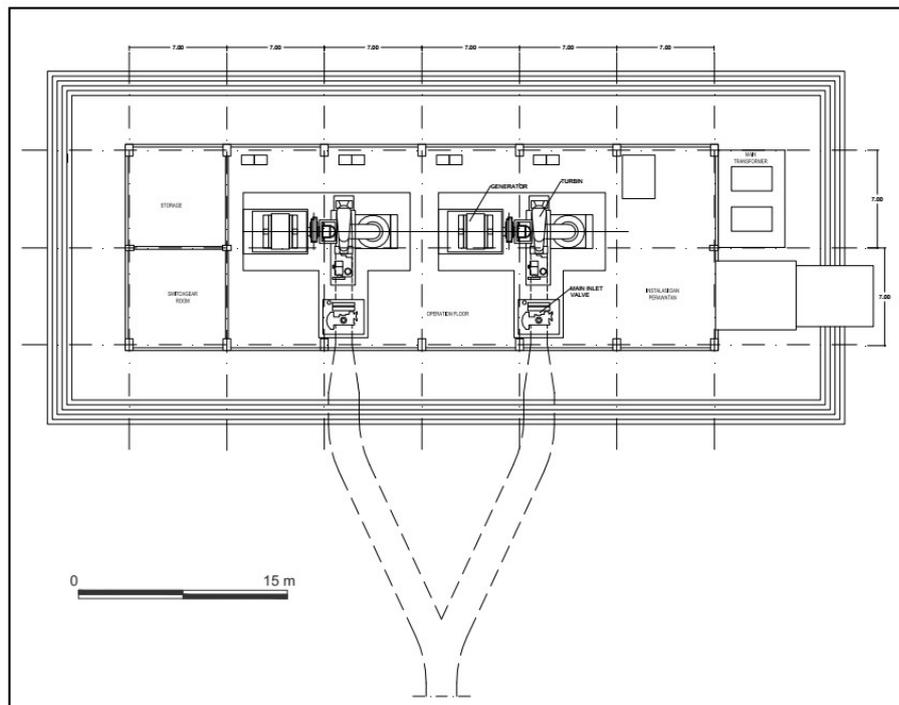
Pipa pesat (*penstock*) merupakan pipa bertekanan yang mengalirkan air dari bak penenang (*headpond*) langsung ke *intake* turbin. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (3.15) dan (3.16) diperoleh dimensi *penstock* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.6. Koefisien kekasaran *manning* digunakan 0,015 dan faktor keamanan 2, sehingga diperoleh diameter *penstock* adalah 2.95 m dengan ketebalan 25 mm.



Gambar 5.6 Detail pipa pesat

### 5.2.6. Rumah Pembangkit

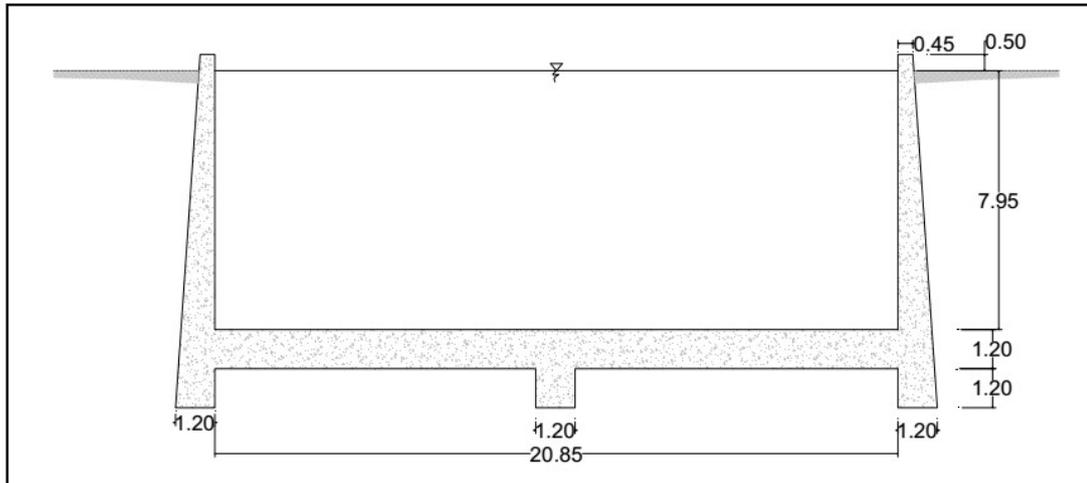
Rumah pembangkit merupakan tempat penghasil daya terpasang. Untuk PLTM ini rumah pembangkit direncanakan berada pada elevasi 192.0 mdpl, dengan dimensi rencana yaitu panjang 42 m, lebar 14 m dan tinggi 14 m, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.7. Rinciannya tabel dimensi ruangan.



Gambar 5.7 Denah Power House

### 5.2.7. Saluran Pembuang (*Tail Race*)

Saluran pembuang atau *tail race* dirancang untuk dapat menampung dan mengalirkan air yang keluar dari turbin dan kembali ke sungai. Dimensi saluran pembuang dihitung menggunakan persamaan (3.27) sampai (3.31) dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Detail *tail race*

### 5.2.8. Jalan Inspeksi dan Jalan Akses

Jalan akses merupakan alternatif jalan yang dapat digunakan menuju lokasi. Jalan ini direncanakan akan dibangun dengan menggunakan perkerasan beton kaku. Jalan akses yang direncanakan memiliki lebar 6,0 m dan panjang 2,0 km dengan saluran *drainase* lebar 0,5 m sepanjang jalan akses.

Jalan inspeksi adalah jalan yang digunakan untuk menuju lokasi setiap bangunan utama dari sebuah PLTM. Direncanakan memiliki lebar 2,5 m dan panjang 1,4 km.

## 5.3. Unit Mekanikal dan Elektrikal

Untuk unit mekanikal dan elektrikal ini meliputi pemilihan turbin yang tepat, generator.

### 5.3.1. Penentuan Turbin

Turbin merupakan penggerak dimana energi fluida kerja diperlukan langsung untuk memutar roda turbin dan menjadi tenaga mekanis, yang selanjutnya dapat diubah menjadi tenaga listrik. Pemilihan turbin mengacu pada potensi dan analisis data yang sudah diperoleh sebelumnya yaitu debit desain 33,35 m<sup>3</sup>/dt, dan tinggi jatuh air ( $H_{Net}$ ) 28,92m. Di samping itu, pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan

dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik.

Berdasarkan Tabel 3.3, Tabel 3.4 dan Gambar 3.10 dipilih jenis turbin adalah turbin Prancis dengan kecepatan 500 rpm. Hal tersebut didasarkan bahwa turbin Prancis memiliki efisiensi yang relatif tinggi dan masing-masing bisa dioperasikan pada kondisi aliran air di atas 25% dari debit desain.

### 5.3.2. Penentuan Generator

Pemilihan generator didasarkan pada sistem listrik yang dipakai dan besarnya daya terbangkit. Daya terbangkit maksimum yang juga merupakan daya terpasang (*install capacity*) generator sudah diperoleh pada bagian 5.1 yaitu sebesar 9,4 MW. Jika faktor daya 0,85 maka kapasitas generator adalah 11,06 MVA (persamaan 3.45). Tipe generator adalah generator sinkron 3 fasa 6,6 kV. Dikarenakan kecepatan turbin 500 rpm yang terkopel dengan generator, maka dipilih generator yang memiliki kecepatan 500 rpm. Untuk mendapatkan frekuensi keluaran 50 Hz, maka berdasarkan persamaan (3.37) dan Tabel 3.6, diperoleh jumlah kutub generator 12 buah.

### 5.4. Kebutuhan Lahan

Dari perhitungan bangunan utama, diketahui luas tanah termasuk untuk jalan akses serta jalan inspeksi. Total kebutuhan lahan dapat dilihat pada tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Luas Lahan yang Diperlukan**

* Bendung	3952,4	m <sup>2</sup>
* Sandtrap	6868,07	m <sup>2</sup>
* Saluran pembawa	36499,9	m <sup>2</sup>
* Bak penenang	8258,50	m <sup>2</sup>
* Penstock	3000,00	m <sup>2</sup>
* Rumah pembangkit	1750,0	m <sup>2</sup>
* Saluran pembuang	1696,75	m <sup>2</sup>
* Jalan Akses	6000,0	m <sup>2</sup>
* Jalan Inspeksi	5865,0	m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>73890,5</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

## **BAB VI**

### **MANAJEMEN PROYEK**

#### **6.1 Metodologi Pelaksanaan**

Manajemen Proyek adalah penerapan ilmu pengetahuan, keahlian dan keterampilan, cara teknis yang terbaik dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kinerja, biaya, mutu dan waktu, serta keselamatan kerja.

Dalam manajemen proyek, yang perlu dipertimbangkan agar output proyek sesuai dengan sasaran dan tujuan yang direncanakan adalah mengidentifikasi berbagai masalah yang mungkin timbul ketika proyek dilaksanakan. Metodologi pelaksanaan proyek pembangunan PLTM yang terletak di Jorong Seroja Nagari Lubuak Jantan Kecamatan Lintau Buo Utara Kabupaten tanah Datar dibagi atas tiga tahapan yaitu pra konstruksi, konstruksi, dan pasca konstruksi. Berikut ini adalah penjelasan mengenai komponen kegiatan setiap tahapan dalam pembangunan sebuah PLTM.

#### **6.2 Komponen kegiatan**

Secara umum komponen kegiatan pembangunan PLTM adalah sebagai berikut :

##### a) Pra Konstruksi

Komponen kegiatan yang dilakukan pada tahapan pra konstruksi adalah sebagai berikut :

- Manajemen proyek
- Perizinan dari instansi terkait
- Studi meja (*desk study*)
- Pra - *Feasibility Study*
- Civil - *Feasibility Study*
- Network - *Feasibility Study*
- UKL/UPL
- Perencanaan penggunaan lahan yang dibutuhkan
- DED (*Detail Engeneering Design*)

##### b) Konstruksi

Kompenen kegiatan yang dilakukan pada tahapan konstruksi terbagi atas beberapa komponen kegiatan pekerjaan yaitu :

- Pekerjaan Bendung dan Intake
  - Pekerjaan Sand trap
  - Pekerjaan Waterway
  - Pekerjaan Headpond
  - Pekerjaan Penstock
  - Pekerjaan Power house
  - Pekerjaan Tail race
  - Pekerjaan Home operator
- c) Pekerjaan mekanikal elektrikil terdiri dari :
- Pemasangan jaringan 20 kV
  - Pemasangan Trafo Daya 3,5x2MVA (OLTC)
  - Gardu hubung dan kubikel
  - Pemasangan mesin
- d) Pekerjaan pendukung adalah :
- Pekerjaan pembuatan jalan akses
  - Pekerjaan pembuatan jalan inspeksi
  - Pekerjaan pembuatan jembatan
- e) Comisioning test
- f) COD (*Comercial Operating Date*)
- g) Operasional dan *maintenance*

Operasional dan *maintenance* adalah komponen kegiatan yang dilakukan setelah PLTM beroperasi. Kegiatan operasional harus dilakukan oleh operator yang memahami prinsip kerja PLTM. Kegiatan *maintenance* dilakukan secara berkala sesuai dengan kebutuhan. Evaluasi dari keseluruhan pelaksanaan komponen kegiatan disetiap tahapan harus dilakukan berdasarkan kesesuaian progres antara pelaksanaan kegiatan tersebut dengan jadwal pelaksanaan kegiatan konstruksi yang telah ditetapkan.

### **6.3 Jadwal Pelaksanaan**

Penyusunan jadwal pelaksanaan dilakukan agar setiap tahapan pekerjaan dapat berjalan tepat waktu dan sesuai rencana secara efektif dan efisien. Hal ini terkait dengan beberapa faktor pendukung seperti sumber daya, tenaga kerja, hingga biaya yang harus dikeluarkan. Berikut ini beberapa hal yang harus diperhatikan agar perencanaan jadwal



Komponen biaya merupakan parameter penting dalam pembuatan jadwal kegiatan, karena progres kerja dihitung berdasarkan bobot pekerjaan dengan menggunakan komponen biaya sebagai acuan.

Penjelasan mengenai jadwal kegiatan secara umum dalam proyek pembangunan PLTM dapat dilihat pada tabel 6.1.i.

## **6.4 Investasi dan Biaya**

Perhitungan dalam menentukan perkiraan investasi dan anggaran biaya ditentukan berdasarkan komponen kegiatan yang dilakukan pada setiap tahapan pelaksanaan pembangunan PLTM yaitu

### **6.4.1 Biaya Pra Konstruksi**

Anggaran biaya yang direncanakan pada tahapan pra konstruksi dapat dikelompokkan menjadi :

- Biaya manajemen proyek
- Biaya perizinan

Biaya perizinan yang harus direncanakan terdiri dari

- Biaya untuk Izin Lokasi
- Biaya untuk Izin Prinsip
- Biaya untuk Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik

- Biaya studi / kajian

Biaya studi/kajian yang harus direncanakan adalah

- *Desk study*
- *Pra feasibility study*
- *Civil feasibility study*
- *Network feasibility study*
- Studi lingkungan (UKL/UPL)
- DED (*Dtail Engeneering Design*)

- Biaya pembebasan lahan

Biaya pembebasan lahan dihitung berdasarkan luas areal lahan yang dibutuhkan untuk bangunan utama dan fasilitas pendukung lainnya.

#### **6.4.2 Biaya Konstruksi**

Anggaran biaya yang direncanakan pada tahapan konstruksi ditentukan berdasarkan volume pekerjaan serta harga satuan bahan dan upah pekerjaan yang mengacu kepada daftar harga satuan bahan bangunan dan upah yang dikeluarkan Dinas Pekerjaan Umum pemerintah Kabupaten Tanah Datar tahun 2016 triwulan I. Anggaran biaya yang direncanakan pada tahapan ini meliputi pekerjaan :

- Bendung dan *intake*
- *Sand trap*
- *Waterway*
- *Headpond*
- *Penstock*
- *Power House*
- *Tailrace*

#### **6.4.3 Biaya Mekanikal, Elektrikal dan Interkoneksi**

Anggaran biaya mekanikal, elektrikal dan interkoneksi ditentukan berdasarkan nilai pekerjaan dari

- Pemasangan jaringan
- Trafo daya
- Gardu hubung dan kubikel
- Mesin

#### **6.4.4 Biaya pekerjaan pendukung**

Anggaran biaya untuk pekerjaan pendukung ditentukan dari volume pekerjaan jalan akses dan jalan inspeksi. Selain itu ada pekerjaan pendukung lain yang biasa dilakukan pada pembangunan PLTMH yaitu pekerjaan jembatan. Pekerjaan jembatan dilakukan sesuai dengan kebutuhan dilapangan. Pada Tabel 6.2. ditunjukkan rencana anggaran biaya untuk pembangunan PLTMH.

Tabel 6.2 Rencana Anggaran Biaya Pembangunan PLTMH

**REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA**

No.		Deskripsi	Anggaran Biaya	
			2016	
1	Pra Konstruksi	Manajemen proyek	Rp	5,261,194,800.00
		Perizinan	Rp	2,480,278,440.00
		Desk study	Rp	172,241,432.00
		Pra- FS	Rp	1,119,569,935.00
		Sipil FS	Rp	861,207,600.00
		Network FS	Rp	964,552,490.00
		UKL / UPL	Rp	597,103,650.00
		Penggunaan lahan	Rp	7,140,000,000.00
		DED	Rp	1,464,053,580.00
Total A			<b>Rp</b>	<b>20,060,201,927.00</b>
2	Pekerjaan Pendukung	a. Jalan Akses + Jalan Inspeksi	Rp	5,185,938,675.60
Sub total			<b>Rp</b>	<b>5,185,938,675.60</b>
3	Konstruksi Sipil	a. Bendung dan Intake	Rp	20,214,523,351.97
		b. Bak pengendap	Rp	8,480,428,289.55
		c. Saluran pembawa	Rp	39,199,120,742.96
		d. Bak penenang	Rp	4,561,549,281.29
		e. Pipa pesat	Rp	2,885,730,823.17
		f. Rumah Pembangkit	Rp	8,500,000,000.00
		g. Saluran pembuang	Rp	1,667,394,670.97
		Sub total		
4	Mekanik, Elektrik dan Interkoneksi	a. Pemasangan jaringan 20 kV	Rp	4,639,250,000.00
		b. Trafo Daya	Rp	4,100,800,000.00
		c. Gardu hubung dan kubikel	Rp	2,347,200,000.00
		d. Mesin	Rp	28,213,500,000.00
		Sub total		
Total B			Rp	129,995,435,835.51
Total ( A + B )			Rp	150,055,637,762.51
PPN 10%			Rp	15,005,563,776.25
Unexpected Costs 5%			Rp	7,502,781,888.13
<b>Total Biaya</b>			<b>Rp</b>	<b>172,563,983,426.89</b>

## 6.5 Sumber Pembiayaan

Asumsi sumber pembiayaan direncanakan menggunakan skema pendanaan yang dibagi atas 20 % investasi sendiri / owner, sementara 80 persen berasal dari pinjaman pada pihak ketiga /perbankan. Asumsi ini digunakan sebagai data acuan untuk analisis ekonomi yang akan dijelaskan pada bab 7 dalam analisis ekonomi. Secara rinci skema sumber pembiayaan PLTMH dapat dilihat pada tabel 6.3

**Tabel 6.3 Skema Pembiayaan PLTMH**

<b>Sumber Pembiayaan</b>	<b>Jumlah</b>	
Investasi Sendiri	Rp	33.237.601.648
Pinjaman	Rp	139.326.381.778
TOTAL	Rp	172.563.983.426

## **BAB VII**

### **ANALISIS KELAYAKAN PLTMH**

#### **7.1 Aspek Teknis**

Analisis kelayakan yang ditinjau dari aspek teknis dalam studi ini adalah semua data tentang pekerjaan sipil dan mekanikal elektrikal seperti dijelaskan berikut ini.

##### **7.1.1 Sipil**

Analisis kelayakan ini dimaksudkan untuk meyakinkan kepada berbagai pihak, bahwa secara teknis sipil proyek pembangunan PLTM minihidro yang akan dilaksanakan dilokasi rencana layak untuk dilaksanakan dan dapat berjalan dengan baik. Rencana teknisnya sudah memenuhi pedoman dan kriteria yang berlaku, konstruksinya dapat dikerjakan/dilaksanakan, serta menyerap material dan tenaga kerja setempat.

Data dan informasi yang diperlukan dalam analisa kelayakan sipil mencakup keadaan topografi, geologi dan mekanika tanah yang akan digunakan untuk bangunan utama dan rute saluran air. Data tersebut harus mendukung ke kualitas bangunan - bangunan inti yang terdiri atas : bendungan, intake , bak pengendap, saluran pembawa, bak penenang, saluran pembuang, rumah turbin, dan lain-lain.

- a) Studi yang dilakukan dalam analisis kelayakan sipil adalah sebagai berikut,
  - Studi topografi meliputi pengumpulan data dan informasi tentang:
    - Keadaan kontur tanah yang digambarkan dari hasil pemetaan topografi lokal.
    - Letak terbaik untuk mendapatkan tinggi jatuhan air yang memadai.
  - Studi geologi dan mekanika tanah meliputi pengumpulan informasi kuantitatif yang bersumber dari data primer atau sekunder hasil penyelidikan yang telah dilakukan, antara lain :
    - Pergerakan permukaan yang mungkin terjadi, seperti batuan dan permukaan tanah yang dapat bergerak bila turun hujan, pergerakan air dan lumpur.
    - Pergerakan tanah di bawah permukaan yang mungkin terjadi seperti gempa atau anah longsor.
    - Tipe batuan, tanah dan pasir.
    - Kekuatan atau daya dukung tanah pada lokasi bangunan PLTM .

- b) Kriteria kelayakan adalah syarat minimum yang dimiliki secara alamiah oleh suatu lokasi potensi PLTM untuk dapat dibangun yaitu dengan adanya:
- Sumber mata air atau yang memenuhi standar kelayakan hidrologi
  - Terdapat aliran sungai dengan debit air (minimal 1.0 - 3.0 m<sup>3</sup>/detik) yang cukup dan diperkirakan dapat memenuhi standar kelayakan hidrologi
  - Secara visual di lokasi terdapat potensi sistem skema PLTMH seperti sungai yang bisa dibangun bendung atau bendungan kecil (embung) atau saluran yang mempunyai debit stabil, intake, bak pengendap, saluran pembawa, kondisi topografi yang mendukung pembuatan penstock atau secara alami ada head
  - Kondisi dan stabilitas tanah calon lokasi PLTM diperhitungkan layak untuk didirikan bangunan sipil
  - Akses ke lokasi PLTM dapat digambarkan dengan skema yang jelas dan dapat dijangkau dengan metode tertentu sesuai dengan kebutuhan pembangunannya.
  - Bangunan PLTM yang akan didirikan tidak mengganggu kelestarian lingkungan
  - Bangunan PLTM yang akan didirikan tidak menimbulkan dampak negatif sosial masyarakat yang berkepanjangan

### 7.1.2 Mekanikal elektrik

Analisa kelayakan mekanikal elektrik dilakukan dengan tujuan untuk memilih jenis turbin dan komponen elektrik yang sesuai sehingga:

- Dapat dioperasikan dengan baik sesuai umur teknis.
- Mudah dioperasikan oleh operator lokal yang terlatih.
- Komponen mekanikal elektrik diprioritaskan buatan dalam negeri guna menumbuhkan industri dalam negeri.

a) Jenis studi yang dilakukan adalah :

- Mengumpulkan dan menganalisa data spesifikasi komponen mekanikal elektrik yang sesuai kebutuhan rencana pembangunan PLTM
- Memilih atau menetapkan jenis, ukuran dan turbin.
- Memilih atau menetapkan jenis, dan ukuran alat transmisi mekanik.

- Memilih atau menetapkan jenis dan kapasitas generator.
- Memilih atau menetapkan jenis control dan proteksi.
- Menetapkan jalur jaringan distribusi dan fasilitas pendukung.
- Mengumpulkan dan menganalisa data spesifikasi peralatan Jaringan Tegangan Rendah (JTR), distribusi dan sambungan/instalasi (rumah, industri kecil dan konsumen lainnya) yang sesuai kebutuhan beban.

b) Kriteria kelayakan

- Mengacu pada grafik/diagram pemilihan jenis turbin.
- Mengacu pada Ketentuan Umum Standar Mekanikal Elektrikal.

Berdasarkan kriteria kelayakan sipil dan mekanikal elektrikal diatas maka hasil analisa pembangunan PLTM Lintau 2 di lokasi rencana memenuhi hampir semua kriteria, sehingga pembangunan PLTM tersebut layak untuk dilaksanakan secara teknis.

## **7.2 Aspek Kelistrikan**

Analisa kelistrikan dilakukan berdasarkan kriteria kelayakan berikut ini :

### **7.2.1 Kriteria kelayakan jalur transmisi**

Perencanaan jalur transmisi pendistribusian daya listrik yang terbangkitkan menggunakan beberapa hal yang dapat dijadikan dasar yaitu :

- a) Mudah untuk akses dan perawatan.
- b) Kondisi tanah untuk tiang kuat dan stabil.
- c) Diharapkan tidak ada masalah dalam pengalihan/penggunaan lahan.
- d) Tidak ada masalah pada jarak dengan rumah dan pohon.
- e) Dipilih jalur distribusi paling pendek.
- f) Jika tiang dipasang di sekitar slope curam atau pada dasar jurang, hindarkan dari potensi longsong.
- g) Ketinggian konduktor dari atas tanah harus lebih dari 4 m. Selain hal-hal di atas yang dapat dijadikan referensi untuk mendesain jaringan transmisi dan distribusi harus mengacu pada standar dan petunjuk PT. PLN (Persero).

### **7.2.2 Kriteria kelayakan lokasi trafo**

Penempatan lokasi trafo, dimana trafo step up harus diletakkan dekat rumah pembangkit (power house) dan trafo step down harus diletakkan dalam atau dekat area pusat beban. Penempatan tersebut harus diuji dan dipertimbangkan beberapa hal sebagai berikut :

- a) Mudah untuk akses dan pekerjaan-pekerjaan pergantian.
- b) Dipisahkan dari bangunan-bangunan lain atau pepohonan dengan jarak yang cukup.
- c) Tipe yang terpasang pada tiang harus tidak rumit pelaksanaan dan komponen pendukungnya.

Berdasarkan kriteria kelayakan jalur transmisi dan lokasi trafo, lokasi rencana yang ditetapkan untuk pembangunan PLTM dapat memenuhi kriteria tersebut diatas.

### 7.3 Aspek Lingkungan

Analisa kelayakan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran dan untuk meyakinkan kepada instansi terkait serta masyarakat setempat, bahwa tidak ada dampak yang serius terhadap kerusakan lingkungan sehubungan dengan akan dibangunnya PLTM di lokasi tersebut. Juga disampaikan apabila ada dampak negatif maka sudah ada program untuk mengurangi dampak tersebut. Tidak kalah pentingnya adalah menumbuhkan pemahaman pentingnya pemeliharaan alam sekitarnya kepada masyarakat dan instansi setempat.

- a) Jenis dan lingkup studi yang dilakukan adalah
  - Melakukan Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan menjelang pelaksanaan pembangunan (*on-grid scheme*)
  - Melakukan quick assessment vegetasi didalam catchment area dimana juga dapat digunakan sebagai konstanta pengukuran flow duration. Dan jika kegiatan ini dilakukan maka PT PLN (Persero) akan memberikan dana pergantian per kWh dan penanaman pohon (*on-grid scheme*)

#### b) Kriteria kelayakan

Untuk komersialisasi (*on-grid connected*), diharuskan menyampaikan hasil Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan(UPL). Pada studi ini analisis aspek lingkungan berupa hasil upaya pengelolaan lingkungan dan upaya pemantauan lingkungan masih dalam proses pelaksanaan.

### 7.4 Aspek Ekonomi

Analisa ini dimaksudkan untuk meyakinkan bahwa *cost* (biaya pembangunan PLTM ini) masih lebih kecil bila dibandingkan dengan *total benefit*. Total Benefit Ini

akan memberikan capital asset kepada pemilik/pengguna. Analisa ini juga akan memberikan informasi kepada institusi pengelola bahwa pengelola akan mampu mengelola dan melakukan operasi serta pemeliharaan.

a) Jenis dan lingkup studi

Analisis ini meliputi semua aspek ekonomi yang terkait di dalam sebuah proyek pembangunan PLTM. Ada lima metode yang digunakan untuk melakukan analisis ini, yaitu metode *Net Present Value (NPV)*, *internal rate of return (IRR)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)*, *Break Even Point (BEP)*.

b) Kriteria Kelayakan

Untuk melakukan analisis finansial dibutuhkan aliran kas yang jelas dari proyek PLTM. Berikut ini adalah penjelasan mengenai semua komponen biaya yang diperlukan dalam analisis ekonomi.

▪ Biaya Masuk

- Diperoleh dari penjualan energi listrik yang diprediksi akan diterima setelah PLTM beroperasi. Sesuai hasil studi yang dilakukan, besarnya energi PLTM Lintau 2 sebesar 60.74 GWh. Tarif dasar listrik yang akan dijual mengacu kepada Peraturan Menteri ESDM no.19 tahun 2015 tentang perubahan atas peraturan menteri ESDM no.31 tahun 2014 tentang tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PT. PLN (Persero). Berdasarkan aturan tersebut harga jual listrik skala kecil di lokasi Sumatera untuk tahun pertama sampai tahun ke- 8 adalah Rp.1.782/kWh dan untuk tahun ke- 9 sampai tahun ke- 20 adalah Rp. 1.113/kWh
- Keuntungan yang dihasilkan dari proyek berdasarkan pendapatan rata-rata yang diterima selama PLTM beroperasi, setelah dikurangi semua biaya.

▪ Biaya Keluar

- Biaya Investasi, berasal dari biaya langsung dari setiap pekerjaan yang dilakukan, dari segi jenis dan volume pekerjaan tersebut. Serta biaya tidak langsung yang meliputi biaya terkait hal diluar pembangunan seperti biaya pembebasan lahan, perizinan, administrasi, juga harga komponen import yang mungkin digunakan dalam pembangunan seperti turbin, generator dan sebagainya dengan berdasarkan kurs mata uang asing yaitu 1 US\$ = Rp.13.673. Tolok ukur untuk menentukan

harga ini didasarkan pada harga *cost insurance and freight* dari pelabuhan Indonesia.

- Biaya tidak langsung lainnya adalah *discount rate* yang digunakan untuk penerapan sistem investasi 20 % biaya *equity* dan 80 % merupakan pinjaman. Serta *interest during construction (IDC)* yang juga akan diperhitungkan selama masa konstruksi berlangsung.
- Biaya operasional dan pemeliharaan
- Biaya pajak, retribusi, asuransi, air dan berbagai jenis pajak lainnya, serta biaya yang dikeluarkan untuk *coorporate social responsibility (CSR)* diperkirakan 0,05 %.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hasil analisis ekonomi dengan menggunakan metoda IRR, NPV, BCR dan BEP.

**Tabel 7.1 Hasil Analisis Finansial**

No	Metode	Kasus Dasar	Investasi naik 10 %	Produksi energi turun 10%
1	IRR (%)	3.8	3.8	3.8
2	NPV (M.Rp)	450.6	451.4	413.8
3	BCR	37.7	34.1	34.4
4	BEP (tahun)	2.6	2.3	2.3

Hasil analisis berdasarkan kriteria kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa pembangunan PLTM dilokasi rencana layak untuk direalisasikan karena metode IRR, NPV, BCR, BEP diatas menunjukkan angka kelayakan untuk tiga kondisi yang berbeda dengan jangka waktu pinjaman selama 4 tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hidayat, Arnita and Ikhsan. I, **Evaluation of Micro Hydro Power Plant (MHPP) Using Overall Equipment Effectiveness (OEE) Method**, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, pp 5271-7275, Vol 12, No. 18, September 2017
2. Hidayat, Arnita, Cahayahati, Mirza, Z, dan Saiful, J, **Determination of optimal power capacity for Run of River Hydro Power Plant based on flow duration curve using Newton's interpolation method**, International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2017 - Proceeding IEEE Xplore, pp 383-387, December 2017
3. Hidayat, Cahayahati, Arnita and Saiful. J, **Grid Study of Mini Hydro Power Plant (MHPP) of Palangai Hulu 2x4,9 MW South Pesisir**, 4th Engineering Science and Technology International Conference (ESTIC 2018), MATEC Web Conf, Volume 248, 02003 (2017)
4. Hidayat, **Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Lubuk Gadang Sangir Solok Selatan**, Jurnal Nasional Teknik Elektro Universitas Bung Hatta (JNTEUBH), Hal 25-32, Vol 1, Teknik Elektro Universitas Bung Hatta Padang, 2016
5. Hidayat, **Kajian Kelayakan Penyambungan (Power of Connection) Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) 9,8 MW Palangai Hulu Kabupaten Pesisir Selatan**, Perpustakaan Universitas Bung Hatta Padang, 2015
6. PT. PLN (Persero), **Rancangan Umum Pembangunan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024**, Jakarta 2015
7. Cahayahati, Hidayat dan Dirman.H, **Volatage Control Syatem Design for Micro Hydro Power Generation Base on Fuzzy Logic Approach in Order to Improve Voltage Profile of Alternative Power Generation**, Proceedings of the International Graduade on Engineering Science (IGCES'08), 23-24 Desember 2008, Padang
8. Cahayahati, Hidayat dan Dirman.H, **Pengembangan Sistem Kendali Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis Logika Fuzzy Dalam Rangka Peningkatan Kualitas Pembangkit Alternatif**, LPPM Universitas Bung Hatta, Padang, 2007