

**TUGAS AKHIR**

**STUDI PEMANFAATAN DEBIT DAS BINGAI UNTUK PERENCANAAN  
PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI HIDRO  
(PLTMH)**

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

**Disusun Oleh:**

**KHAIDIR AFFANDI BATUBARA**

**1307210138**



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2017

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Khaidir Affandi Batubara

NPM : 1307210138

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Pemanfaatan Debit DAS Bingai untuk Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH)

Bidang Ilmu : Keairan

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

Medan, September 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

Ir. Hendarmin Lubis

Irma Dewi, S.T, M.Si

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dr. Rumilla Harahap, M.T

Dr. Ade Faisal

Program Studi Teknik Sipil  
Ketua,

Dr. Ade Faisal

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Khaidir Affandi Batubara

Tempat/tgl lahir : Medan, 29 Juni 1995

NPM : 1307210138

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

“Studi Pemanfaatan Debit DAS Bingai untuk Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH)”

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

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak ada tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademis di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan,        September 2017

Saya yang menyatakan,

Materai  
Rp.6.000,-

Khaidir Affandi Batubara

## ABSTRAK

### STUDI PEMANFAATAN DEBIT DAS BINGAI UNTUK PERENCANAAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTMH)

Khaidir Affandi Batubara  
1307210138  
Ir. Hendarmin Lubis  
Irma Dewi, S.T, M.Si

Air merupakan salah satu komponen penting untuk kehidupan semua makhluk hidup di bumi. Dengan jumlah yang cukup memadai di alam air dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTMH). Minihidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Pemanfaatan air untuk pembangkit listrik sudah merupakan hal yang umum di Indonesia. Dengan potensi sumber air yang besar dan kontinu, PLTMH menjadi salah satu pembangkit alternatif di Indonesia. PLTMH pada dasarnya memanfaatkan energi potensial air (jatuhan air). Semakin tinggi jatuhan air (*head*) maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Dalam studi potensi ini bertujuan untuk mengetahui potensi Sungai Bingai apabila digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga minihidro. Potensi tersebut meliputi, besarnya debit andalan, tinggi jatuh efektif yang dimiliki, potensi daya listrik yang dihasilkan. Dari analisa yang diperoleh terdapat potensi debit andalan sebesar 4,94 m<sup>3</sup>/det pada probabilitas kejadian 85 % dengan Metode Mock, tinggi jatuh efektif diperoleh sebesar 12 m. Potensi daya listrik yang dihasilkan sebesar 376,4517 KW.

Kata kunci: PLTMH, debit andalan, Metode Mock, daya listrik.

## **ABSTRACT**

### ***THE STUDY OF THE UTILIZATION OF BINGAI WATERSHED FOR PLANNING OF MINIHIDRO POWER PLANT DEVELOPMENT (MHP)***

Khaidir Affandi Batubara  
1307210138  
Ir. Hendarmin Lubis  
Irma Dewi, S.T, M.Si

*Water is one of the most important components for the life of all living things on earth. With sufficient quantities in the natural water can be used for various purposes, one of which can be used as a minihydro power plant. Minihydro is a term used for power plant installations that use water energy. Water utilization for Power Plant is already common in Indonesia. With great potential water sources and continuous, the MHP became one of the alternative plant in Indonesia. Mini hydro power plant (MHP) basically utilizing the potential energy of water (falling water). The higher the water fall (head) the greater the potential energy of water that can be converted into electrical energy. In this potential study aims to determine the potential of Bingai River when used as a micro-hydro power plant. Potentials include, the magnitude of the mainstay discharge, the effective fall effective owned, the potential of electric power generated. From the analysis obtained debit mainstay there is a potential of  $4.94 \text{ m}^3 / \text{s}$  at 85% probability of occurrence with Mock method, high falls effectively obtained by 12 m. The potential power generated is 376,4517 KW.*

*Keywords: MHP, mainstay discharge, Mock method, electric power.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Potensi Debit DAS Bingai untuk Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Ir. Hendarmin Lubis selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Irma Dewi, S.T, M.Si selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ade Faisal yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Teristimewa yang tak terhitung kepada kedua orang tua saya yang tercinta, Ayahanda Drs. Abdurrahman Batubara dan Ibunda Aida Adlifah, BA, saya sampaikan terimakasih dan penghormatan yang sebesar-besarnya atas segala pengorbanan yang tiada terbalaskan di dalam membesarkan, menyekolahkan,

serta memberi didikan yang sangat berharga sehingga saya dapat menyelesaikan perkuliahan. Permohonan saya kepada Allah SWT melalui doa yang tulus kiranya Ayah dan Ibu saya diberikan kekuatan dan kesehatan serta kesabaran dalam menjalani kehidupan ini.

8. Kedua kakak saya Sa'adatul Awaliyah, S.Pd dan Lailan Nahriyah, S.Pd atas doa dan motivasi yang terus menerus diberikan.
9. Bapak Asril Zevri, ST, MT saya ucapkan banyak terimakasih atas sumbangsih saran, arahan dan ilmu yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh pegawai biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah bekerja keras demi membantu kelancaran administrasi dari awal sampai akhir pendidikan Strata 1.
11. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil '13 khususnya kelas B pagi atas segala masukan dan saran yang berguna untuk penulis.
12. Terimakasih kepada sahabat-sahabat saya Bripda Malik Pardomuan Dalimunthe, M. Hidayat Hasibuan, S.E, Erlan Safari Ginting S.STP, Fahreza Masyudi, S.Pd, Kurniawan Saputra Hrp, S.E yang setia menemani baik disaat susah maupun senang.

Akhir kata dengan segala keridhaan hati, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Dan apabila dalam penulisan ini terdapat kata-kata yang kurang berkenan, penulis mohon maaf sebesar-besarnya, semoga Allah SWT dapat membalas kebaikan Bapak/Ibu dan kita semua. Amin.

Wassalammu'alaikum. wr. wb

Medan, September 2017

Khaidir Affandi Batubara

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	6
2.1.1. Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	8
2.1.2. Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	9
2.2. Analisa Hidrologi	9
2.2.1. Analisa Debit Andalan	10
2.2.1.1. Debit Andalan Metode Mock	11
a. Parameter yang digunakan	12
b. Perhitungan Debit Sungai	13
2.2.2. Kurva Durasi Debit ( <i>Duration Curve Debit</i> )	16
2.3. Tata Letak <i>Layout</i> PLTMH	17



2.4.	Analisa Hidrolika	20
2.4.1.	Bangunan Pengambilan ( <i>Intake</i> )	20
2.4.2.	Kantong Lumpur	21
2.4.3.	Saluran Hantar ( <i>Water Way</i> )	21
2.4.4.	Kolam Penenang	25
2.4.5.	Pipa Pesat ( <i>Penstock</i> )	26
2.5.	Estimasi Produksi Energi	30
2.6.	Perencanaan Elektromekanikal	31
2.6.1.	Pemilihan Turbin	31
2.6.2.	Pemilihan Generator	35
2.6.3.	Rumah Pembangkit	35
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>37</b>
3.1.	Bagan Alir Penelitian	37
3.2.	Lokasi Penelitian	38
3.2.1	Kodisi Fisik Alam	38
3.3.	Pengumpulan Data	40
3.4.	Pengolahan Data	41
3.5.	Peta Lokasi Studi	41
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>44</b>
4.1.	Daerah Aliran Sungai	44
4.2.	Letak <i>Layout</i>	45
4.3.	Analisa Hidrologi	45
4.3.1.	Analisa Debit Andalan dengan Metode FJ Mock	47
4.4.	Analisa Kurva Durasi Debit	49
4.5.	Analisa Hidrolika	52
4.5.1.	<i>Intake</i>	52
4.5.2.	Saluran Pembawa	53
4.5.3.	Pipa Penstock	55
4.6.	Estimasi Produk Energi Listrik yang Dihasilkan	57
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>59</b>
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

61

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Singkapan lahan sesuai Tata Guna Lahan (Badan Wilayah Sungai Sumatera 2 (BWSS-02) Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan (KP-01, 2010)	14
Tabel 2.2: Harga-Harga kecepatan maksimum dan koefisien kekasaran Strickler Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan (KP-01,2010)	24
Tabel 2.3: Kecepatan yang diizinkan pada saluran hantar (KP-01, 2010)	24
Tabel 2.4: Koefisien kekasaran pipa dalam mm (Harvey, 1993)	27
Tabel 2.5: Koefisien ketajaman sudut masuk (Harvey, 1993)	29
Tabel 2.6: Koefisien bukaan klep (Harvey, 1993)	29
Tabel 3.1: Data-data yang dikumpulkan	41
Tabel 4.1: Hasil elevasi pada bangunan yang diambil dari <i>software</i> Google Earth	45
Tabel 4.2: Data curah hujan bulanan Stasiun Tongkoh (BMKG, 2017)	46
Tabel 4.3: Data jumlah hari hujan Stasiun Tongkoh (BPS, 2017)	46
Tabel 4.4: Data evapotranspirasi St. Kecamatan Serapit Langkat (BMKG, 2017)	47
Tabel 4.5: Rekapitulasi hasil perhitungan debit bulanan menggunakan metode F.J Mock	49
Tabel 4.6: Probabilitas kejadian debit di Sungai Bingai 2007-2015	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1:	Bagan sebuah PLTMH (Sangjaya, 2013)	6
Gambar 2.2:	Skema model analisa ketersediaan air dasar menurut Mock	12
Gambar 2.3:	Lay-out Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (Wahana, 2012)	17
Gambar 2.4:	Potongan melintang Layout (Wahana, 2012)	18
Gambar 2.5:	Potongan melintang dasar sungai dan <i>Intake</i> (Wahana, 2011)	21
Gambar 2.6:	Sifat aliran pada saluran terbuka (tampang memanjang) (Kodoatie, 2015)	22
Gambar 2.7:	Contoh distribusi saluran (kontur) untuk beberapa macam bentuk saluran (Kodoatie, 2005)	23
Gambar 2.8:	Grafik faktor gesekan pada pipa (Harvey, 1993)	28
Gambar 2.9:	Turbin Pleton	32
Gambar 2.10:	Turbin Francis	33
Gambar 2.11:	Turbin Kaplan	34
Gambar 2.12:	Perbandingan karakteristik turbin	34
Gambar 3.1:	Diagram alir penelitian	37
Gambar 3.2:	Kondisi curah hujan di Kabupaten Langkat (BPPD Langkat, 2014)	39
Gambar 3.3:	Peta Topografi di Kabupaten Langkat (BPPD Langkat, 2014)	40
Gambar 3.4:	Peta lokasi penelitian	42
Gambar 3.5:	Peta lokasi penelitian	43
Gambar 4.1:	<i>Chacment area</i> (BWSS, 2017)	44
Gambar 4.2:	Potongan melintang layout dan elevasi bangunan PLTMH	45
Gambar 4.3:	Grafik hasil perhitungan <i>flow duration curve</i>	51
Gambar 4.4:	Grafik debit bulanan rata-rata	52
Gambar 4.5:	Dimensi pintu <i>intake</i>	53
Gambar 4.6:	Dimensi saluran pembawa	55

## DAFTAR NOTASI

Et	evapotranspirasi terbatas (mm)
Eto	evapotranspirasi potensial (mm)
E	perbedaan Evapotranspirasi Potensial dengan Evaporasi terbatas (mm)
Ea	aliran uap (mm)
E	beda antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas (mm)
d	jumlah hari kering tanpa hujan dalam satu bulan (hari)
m	singkapan lahan (%)
N	jumlah hari hujan dalam satu bulan (hari)
Vn	volume air tanah bulanan ke n
$\Delta V_n$	perubahan volume air tanah
K	konstanta resesi aliran
If	koefisien infiltrasi
Gs	volume air tanah
PF	percentage faktor
P	curah hujan bulanan
Q	debit
V	kecepatan aliran, (m/det)
A	potongan melintang aliran, (m <sup>2</sup> )
R	jari-jari Hidrolis, (m)
P	keliling Basah, (m)
B	lebar dasar, (m)
H	tinggi Air (m)
I	kemiringan Energi/Kemiringan Saluran
M	kemiringan Talut (1 vertikal : m horizontal)
n	koefisien kekasaran saluran
b	lebar saluran (m)
L	panjang kolam penenang (m)

D	diameter penstock (mm)
t	tebal penstock (mm)
g	gravitasi ( $9.81 \text{ m / dt}^2$ )
L	panjang pipa (m)
D	diameter pipa (m)
$\square$	koefisien debit
$\rho$	masa jenis air = $1000 \text{ kg/m}^3$
P	Potensi energi (K

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Air merupakan salah satu komponen penting untuk kehidupan semua makhluk hidup di bumi, air juga merupakan kebutuhan dasar manusia yang digunakan untuk kebutuhan minum, mandi, mencuci dan kegiatan lainnya. Keberadaan air di bumi ini terdistribusi dan bergerak dalam suatu siklus hidrologi yang terjadi oleh energi alamiah. Siklus hidrologi terjadi melalui proses penguapan yaitu air menjadi uap, penguapan ini bergantung pada 2 faktor penting yaitu suhu udara dan besarnya kandungan uap air yang ada di udara. Semakin tinggi suhu udara semakin banyak uap air diserap oleh udara semakin kecil persentasi uap air di udara semakin banyak uap air dapat diserap udara.

Sumber daya air dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Pemanfaatan dan pengelolaan air untuk berbagai kepentingan harus dilakukan secara bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang maupun generasi mendatang. Air memang sangat penting bagi kehidupan, sehingga manusia dapat memenuhi kebutuhan hidupnya, seperti kebutuhan rumah tangga, kebutuhan industri, air irigasi untuk pertanian serta, energi potensial untuk Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH). Pemanfaatan air untuk pembangkit listrik sudah merupakan hal yang umum di Indonesia. Dengan potensi sumber air yang besar dan kontinu, PLTMH menjadi salah satu pembangkit alternatif di Indonesia. Kendala yang dihadapi dalam membangun PLTMH adalah lokasi yang umumnya tidak berada di pusat beban sehingga membutuhkan transmisi yang cukup panjang dan aksesibilitas yang rendah pada saat proses pembangunan.

Minihidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dan instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Minihidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan “energi putih”. Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan

oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik (Chadidjah dan Wiyoto, 2011).

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH) pada dasarnya memanfaatkan energi potensial air (jatuhan air). Semakin tinggi jatuhan air (*head*) maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis yang memungkinkan, tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Secara umum *layout* sistem PLTMH merupakan pembangkit jenis *Runoff River*, memanfaatkan aliran air permukaan (sungai). Komponen sistem PLTMH tersebut terdiri dari bangunan *intake* (penyadap)–bendungan, saluran pembawa, bak pengendap dan penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran pembuangan. *Basic lay-out* pada perencanaan pengembangan PLTMH dimulai dari penentuan lokasi *intake*, bagaimana aliran air akan dibawa ke turbin dan penentuan tempat rumah pembangkit untuk mendapatkan tinggi jatuhan optimum dan aman dari banjir.

Pembangkit listrik tenaga air dapat beroperasi sesuai dengan rancangan, apabila mempunyai daerah aliran sungai (DAS) yang potensial sebagai sumber air untuk pengoperasian pembangkit listrik tenaga air tersebut. DAS adalah wilayah tangkapan air hujan yang akan mengalir melalui sungai yang bersangkutan. Daerah Aliran Sungai merupakan daerah yang dimana semua airnya mengalir ke dalam sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh topografi yang berarti ditetapkan berdasarkan aliran air permukaan.

Sumber tenaga air di Kabupaten Langkat cukup tersedia untuk dibangun fasilitas pembangkit listrik tenaga mini hidro. Pada daerah tersebut terdapat beberapa sungai yang cukup potensial, diantaranya Sungai Bingai. DAS Sei Bingai memiliki fungsi dan peranan yang sangat meningkat setiap tahun, baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya. Pada sungai tersebut terdapat potensi ketersediaan air yang cukup sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, dan memiliki kontur yang sesuai dengan teknis perencanaan untuk dibangun PLTMH.



Dengan kenyataan dan kondisi yang demikian, terdapat kemungkinan air yang belum dimanfaatkan secara optimal dapat digunakan untuk membangkitkan listrik. Listrik yang dihasilkan dapat menambah kebutuhan energi listrik bagi masyarakat sekitar.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan keadaan topografi dan ketersediaan air Sungai Bingai yang telah dibahas di latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan bahwa masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapakah besar debit andalan yang tersedia pada DAS Bingai dan tinggi jatuh efektif yang terjadi pada PLTMH DAS Bingai?
2. Berapakah potensi daya listrik yang dapat dihasilkan PLTMH DAS Bingai?
3. Bagaimanakah analisa hidrolika dalam perencanaan bangunan di PLMTH DAS Bingai?

## **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Untuk menghindari lingkup penelitian yang terlalu luas, serta dapat memberikan arah yang lebih baik dan memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai dengan tuntutan yang ingin dicapai, maka dilakukan pembatasan dalam ruang lingkup penelitian yang dikerjakan. Adapun batasan ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Studi dilakukan pada Sungai Bingai di Kecamatan Sei Bingai.
2. Tidak meninjau kelayakan secara geologi.
3. Tidak menganalisis volume pekerjaan (*bill of quantity*).
4. Tidak mengkaji nilai investasi untuk kelayakan pembangunan.
5. Analisa debit andalan dan debit banjir dan besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan sungai bingai.
6. Membahas secara umum tentang komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH), hanya pada bangunan sipil.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Maksud dari tugas akhir ini adalah ingin mengetahui seberapa besar potensi debit Sungai Bingai untuk PLTMH di Kecamatan Sei Bingai, Kabupaten Langkat Provinsi Sumatera Utara. Untuk mencapai maksud tersebut di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui besarnya debit andalan dan tinggi jatuh di Sungai Bingai Kecamatan Sei Bingai Kabupaten Langkat.
2. Untuk mengetahui potensi daya listrik yang dapat dihasilkan PLTMH DAS Bingai.
3. Mengetahui perhitungan hidrolika desain bangunan yang ada di dalam PLMTH DAS Bingai.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis: sebagai studi mahasiswa tentang mata kuliah yang berkaitan dengan pembangkit listrik tenaga mini hidro yang dipelajari di program studi teknik sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan aplikasi di lapangan.
2. Bagi akademik: sebagai mutu pembelajaran dan referensi bagi pihak-pihak yang membutuhkan.
3. Bagi masyarakat: sebagai masukan yang dapat digunakan untuk dapat mendesain pembangkit listrik tenaga mini hidro.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memperjelas tahapan yang dilakukan dalam tugas akhir ini, penulisan tugas akhir ini dikelompokkan ke dalam 5 (lima) bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan dan metodologi penelitian.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini dijabarkan uraian teoritis tentang debit andalan dan PLTMH, yang meliputi penjelasan bagian-bagian PLTMH, pekerjaan sipil, serta standar yang digunakan dalam membangun PLTMH.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan metodologi mencakup konsep berpikir, pengambilan data, analisa data, dan berbagai pendekatan yang dipakai dalam pelaksanaan pekerjaan.

### **BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Berisikan tentang pengolahan dan perhitungan terhadap data-data yang dikumpulkan, dan kemudian dilakukan analisis secara komprehensif terhadap hasil-hasil yang diperoleh.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dari pembahasan bab-bab sebelumnya, dan saran-saran yang berkaitan dengan studi ini dan rekomendasi untuk diterapkan di lokasi studi.

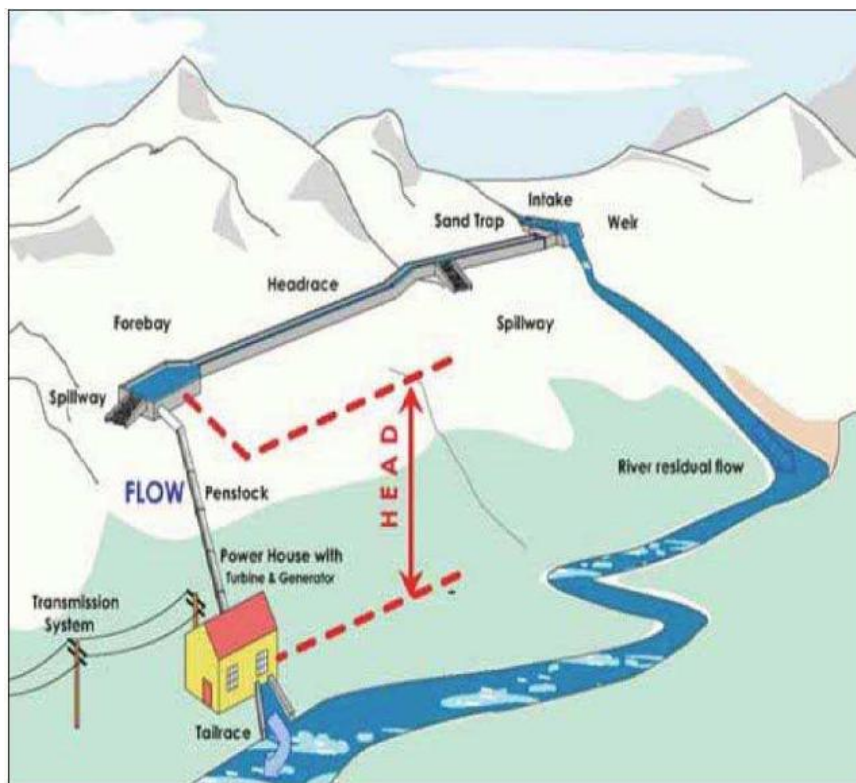
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro adalah suatu sistem pembangkit yang memanfaatkan energi potensial air yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Pada prinsipnya PLTMH mengolah energi potensial air diubah menjadi energi kinetis dengan adanya *head*, kemudian energi kinetis ini diubah menjadi energi listrik melalui putaran turbin dan generator.

Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro ini memanfaatkan debit air sungai secara langsung, atau lebih dikenal dengan istilah pembangkit listrik tipe *run-of-river*. Model PLTMH jenis ini digunakan hanya untuk sungai-sungai yang alirannya tidak berhenti pada waktu musim kemarau. Gambar 2.1 menunjukkan contoh keseluruhan sistem kerja PLTMH.



Gambar 2.1: Bagan sebuah PLTMH (Sangjaya, 2013).

Adapun komponen-komponen yang digunakan dalam PLTMH dari Gambar

2.1 diatas adalah:

1. Mercu Bendung (*Weir*)

Bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air.

2. Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Bangunan yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa (*headrace*). Bak penangkap pasir (*sand trap*) dapat menjadi satu (terintegrasi) dengan bangunan ini.

3. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Bangunan yang berfungsi mengalirkan/membawa air dari *Intake* ke *Forebay*. *Headrace* dapat juga terbuat dari pipa.

4. Bak Penampungan (*Forebay*)

Bangunan yang mempunyai potongan melintang (luas penampang basah) lebih besar dari *Headrace* yang berfungsi untuk memperlambat aliran air.

5. Saringan (*Trash Rack*)

Terbuat dari plat besi yang berfungsi menyaring sampah-sampah atau puing-puing agar tidak masuk ke dalam bangunan selanjutnya. *Trash Rack* diletakkan pada posisi melintang di bangunan *Intake* atau *Forebay* dengan kemiringan  $65^{\circ}$  -  $75^{\circ}$ .

6. Saluran Pembuangan (*Spillway*)

Bangunan yang memungkinkan agar kelebihan air di dalam *Headrace* untuk melimpah kembali ke dalam sungai.

7. Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa bertekanan yang membawa air dari *Forebay* ke dalam *Power House*.

8. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Bangunan yang di dalamnya terdapat turbin, generator dan peralatan kontrol.

9. *Tailrace*

Saluran yang berfungsi mengalirkan/membawa air dari turbin kembali ke sungai.

## 10. Jaringan Transmisi

Terdiri dari tiang, kabel dan aksesoris lainnya (termasuk trafo; jika diperlukan) yang berfungsi mengalirkan energi listrik dari *Power House* ke konsumen (rumah-rumah dan pabrik).

Prinsip kerja PLTMH yang paling utama adalah memanfaatkan semaksimal mungkin energi air yang dapat ditangkap oleh peralatan utamanya yang disebut turbin/kincir air. Efisiensi kincir air yang dipilih untuk menangkap energi air tersebut menentukan besarnya energi mekanik atau energi poros guna memutar generator listrik.

Umumnya PLTMH yang dibangun jenis *run off river* dimana *head* diperoleh tidak dengan membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke satu sisi dari sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan menggunakan pipa, air dialirkan kerumah pembangkit yang biasanya dibangun di pinggir sungai. Kemudian air akan menyemprot keluar memutar roda turbin (*runner*), kemudian air tersebut dikembalikan ke sungai asalnya. Energi mekanik putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Pembangkit listrik tenaga air ukuran 100 KW digolongkan sebagai mikro hidro dan apabila lebih dari 100 KW disebut mini hidro (Amri, 2008).

### 2.1.1 Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH)

Pembangunan PLTMH mempunyai beberapa keuntungan yang tidak dapat dipisahkan, seperti berikut ini:

- Lokasi sumber daya air untuk PLTM dan PLTMH pada umumnya berada di wilayah pedesaan dan desa terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik.
- Tenaga utama penggerak turbin adalah air, yang merupakan sumber energi yang abadi tidak seperti bahan bakar untuk PLTU atau PLTN yang menggunakan bahan bakar fosil atau nuklir.
- Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTMH sangat rendah jika dibandingkan dengan PLTU atau PLTN.
- Melayani kebutuhan aktual daya listrik di wilayah pedesaan terpencil yang umumnya rendah dengan daya beli masyarakat yang juga rendah.

- PLTMH merupakan energy terbarukan yang ramah lingkungan dan cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah untuk dioperasikan.
- Pengembangan PLTMH dengan memanfaatkan arus sungai dapat menimbulkan efek positif bagi masyarakat di pedesaan untuk menjaga dan juga melestarikan sungai di sekitar mereka.
- Biaya investasi yang sangat ekonomis.
- Merupakan energi terbarukan yang berbahan bakar air.

### **2.1.2 Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH)**

Adapun kekurangan dalam pembangunan PLTMH antara lain:

- Kapasitas listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada debit air dan ketinggian air, sehingga saat tidak musim penghujan debit air akan menurun dan otomatis daya hasil listrik juga akan menurun.
- Tidak mampu menghasilkan tenaga yang besar boleh dikatakan daya yang dihasilkan sangat terbatas.
- Layanan pada masyarakat tidak boleh terlalu jauh dari PLTMH apabila terlalu jauh, maka akan banyak kehilangan daya.

## **2.2 Analisa Hidrologi**

Analisa hidrologi merupakan bagian analisis awal dalam kegiatan pengembangan sumber daya air. Hasil analisis yang diperoleh nantinya sangat berguna untuk karakter bangunan hidraulik yang akan dipakai.

Masalah yang selalu dijumpai dalam analisis hidrologi adalah terdapatnya banyak cara dalam pemakaian model perhitungan yang digunakan, yang satu sama lainnya memakai pendekatan yang berbeda dan hasilnya juga berbeda. Pemakaian metode yang digunakan dalam analisis hidrologi disesuaikan dengan kondisi area studi dan ketersediaan data yang ada.

Analisa Hidrologi dalam merencanakan Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah analisa yang berhubungan dengan Daerah Aliran Sungai, iklim dan cuaca. Dimana faktor-faktor tersebut digunakan sebagai data awal dalam menganalisa curah hujan, evapotranspirasi, debit andalan dan kurva durasi debit selama

beberapa tahun. Hasil utama dari analisa hidrologi pada perencanaan ini untuk mengetahui debit andalan (debit minimum) dan kurva durasi debit yang mengalir di Daerah Aliran Sungai sampai titik pengambilan baik itu *free intake* ataupun bendung.

### **2.2.1 Analisa Debit Andalan**

Agar dalam tahapan pelaksanaan konstruksi bangunan sipil dapat berjalan dengan lancar dan hasilnya dapat memberikan manfaat yang seoptimal mungkin maka salah satu tahapan kegiatan yang dilakukan adalah tahapan perencanaan teknis.

Perencanaan teknis suatu bangunan air dapat ditinjau dari beberapa aspek, salah satunya aspek hidrolis. Perencanaan aspek hidrolis dimaksudkan agar bangunan air mampu mengalirkan debit tertentu dengan aman tanpa menimbulkan kerusakan pada bangunan air yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan perhitungan debit andalan yang nantinya akan menentukan besar-kecilnya daya yang didapat dan juga menentukan dimensi hidrolis suatu bangunan air.

Guna mendapatkan kapasitas PLTMH, tidak terlepas dari perhitungan berapa banyak air yang dapat diandalkan untuk membangkitkan PLTMH. Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan proyek-proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia disungai (Soemarto, 1987).

Analisa debit rancangan dilakukan dengan menggunakan pendekatan berbeda-beda tergantung dari data yang tersedia.

1. Jika terdapat pencatatan debit yang panjang, debit andalan dihitung berdasarkan data debit.
2. Jika terdapat pencatatan debit, maka debit andalan dihitung berdasarkan data curah hujan, akan tetapi parameter yang digunakan dikalibrasi terhadap data debit yang ada.
3. Jika tidak terdapat pencatatan debit, maka debit andalan dihitung berdasarkan data curah hujan. Ada beberapa teori mengenai perhitungan debit andalan



namun yang sering digunakan umumnya adalah Metode Nreca dan Metode Mock.

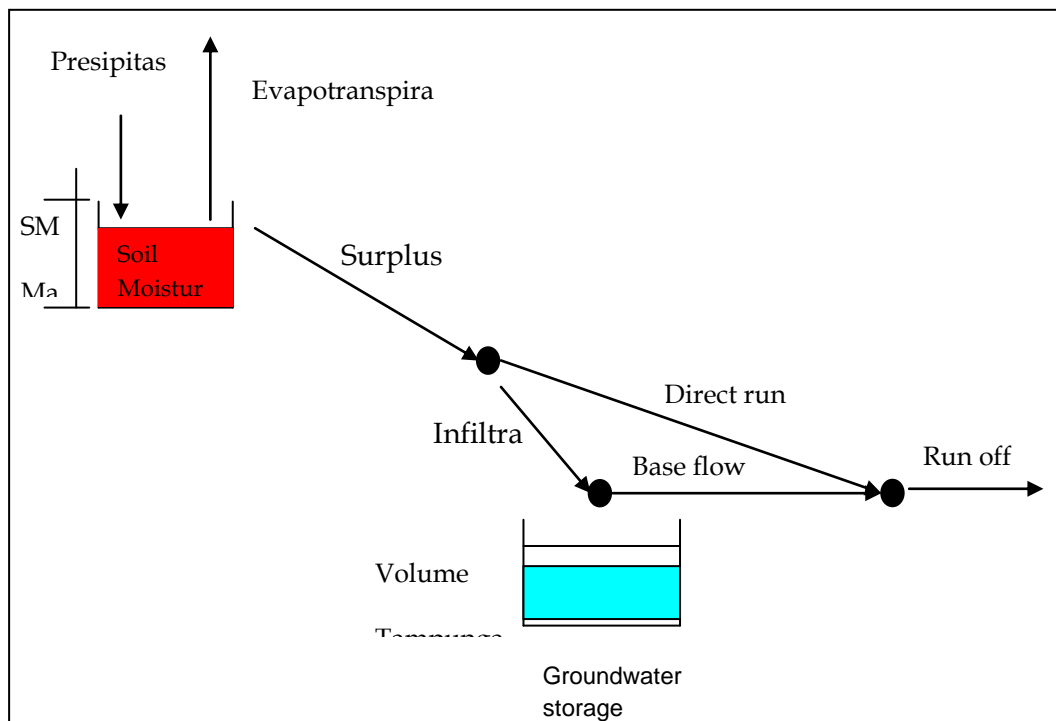
Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit hujan sungai. Dalam studi potensi listrik tenaga mikro hidro ini, dikarenakan minimalnya data maka metode perhitungan debit andalan menggunakan metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock (KP.01, 1986). Dengan data masukan dari curah hujan di Daerah Aliran Sungai, evapotranspirasi, vegetasi dan karakteristik geologi daerah aliran. Metode ini menganggap bahwa air hujan yang jatuh pada daerah aliran sungai (DAS) sebagian akan menjadi limpasan langsung dan sebagian akan masuk tanah sebagai air infiltrasi, kemudian jika kapasitas menampung lensas tanah sudah terlampaui, maka air akan mengalir ke bawah akibat gaya gravitasi.

#### **2.2.1.1 Debit Andalan Metode Mock**

Metode ini ditemukan oleh Dr. F.J. Mock pada tahun 1973 di mana metode ini didasarkan atas fenomena alam di beberapa tempat di Indonesia. Dengan metode ini, besarnya aliran dari data curah hujan, karakteristik hidrologi daerah pengaliran dan evapotranspirasi dapat dihitung. Pada dasarnya metode ini adalah hujan yang jatuh pada *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*), di mana infiltrasi pertama-tama akan menjenuhkan *top soil*, kemudian menjadi perkolasi membentuk air bawah tanah (*ground water*) yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai aliran dasar (*base flow*). Hasil perhitungan ini dapat dipercaya jika ada debit pengamatan sebagai pembanding. Namun didaerah tertentu memiliki keterbatasan data maka proses perbandingan tidak akan tidak dapat dilakukan. Untuk itu diperlukan pendekatan parameter hidrologi yang lebih cermat sehingga hasil simulasi dapat diterima dengan tingkat akurasi sedang tetapi masih dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

Dasar asumsi dari model analisa ketersediaan air tersebut secara skematis disajikan dalam Gambar 2.2, dan dijelaskan sebagai berikut:

1. Curah hujan yang jatuh pada *watershed* sebagian akan jatuh pada permukaan tanah dan sebagian lagi akan mengalami evapotranspirasi.
2. Surplus hujan terjadi bila kelembaban tanah (*soil moisture*) telah mencapai harga maksimum.
3. Dari air surplus, sebagian akan menjadi *Direct Run Off* dan sebagian lagi akan meresap ke dalam tanah sebagai infiltrasi.
4. Dari air yang mengalami proses infiltrasi sebagian akan mengalir sebagai aliran dasar (*Base Flow*) dan sebagian lagi akan mengubah tampungan air tanah sehingga menaikkan *storage* air tanah.
5. Selanjutnya air tanah yang mengalir sebagai *Base Flow* akan bergabung dengan *Direct Run Off*.



Gambar 2.2: Skema model analisa ketersediaan air dasar menurut Mock (www.google.com).

a. Parameter yang digunakan

Dalam analisis ketersediaan air dengan Metode Mock digunakan beberapa parameter, antara lain:

1. Koefisien infiltrasi

Parameter ini ditentukan berdasarkan kondisi porositas dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang bersifat porous umumnya mempunyai koefisien yang cenderung besar. Namun jika kemiringan tanahnya terjal di mana air tidak sempat mengalami proses infiltrasi sampai perkolasi ke dalam tanah maka koefisien infiltrasinya bernilai kecil. Nilai maksimum koefisien ini adalah 1. Nilai ini bervariasi untuk setiap bulan. Untuk jenis dan topografi tanah yang sama, bulan kering mempunyai infiltrasi yang relatif lebih besar dibanding bulan basah.

2. Konstanta resesi aliran (K)

Adalah proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada bulan sekarang, artinya tidak mengalir menuju *stream flow*. Nilai K cenderung lebih besar pada bulan di mana bulan sebelumnya merupakan bulan basah dan cenderung lebih kecil apabila bulan sebelumnya merupakan bulan kering.

3. *Percentage Factor* (PF)

PF merupakan persentase hujan yang menjadi limpasan. Digunakan dalam perhitungan *Storm Run Off* pada perhitungan *Total Run Off*. *Storm run off* hanya dimasukkan ke dalam *total runoff*, bila  $P < 200$  mm/bln. Mock menyarankan besarnya nilai PF berkisar antara 5%-10%, namun tidak menutup kemungkinan nilai ini meningkat secara tidak beraturan sampai harga 37,3%.

b. Perhitungan Debit Sungai

Menurut Yanuarius (1991), adapun tahapan dalam perhitungan debit sungai cara Mock adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan dasar-dasar perhitungan seperti rerata curah hujan daerah (P), evapotranspirasi potensial (Ep), Jumlah hari hujan, singkapan lahan (m), angka resesi air tanah (K) dan data koefisien Infiltrasi (I).
2. Menentukan beda antara beda antara Evaporasi Potensial dan Evaporasi terbatas (E).

3. Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan konfigurasi tanaman (vegetasi), permukaan tanah dan frekuensi curah hujan.
4. Evapotranspirasi terbatas dihitung menggunakan Pers. 2.1.:

$$E_t = E_p - E \quad (2.1)$$

dimana:

$E_t$  = Evapotranspirasi terbatas (mm)

$E_p$  = Evapotranspirasi potensial (mm)

$E$  = Perbedaan Evapotranspirasi Potensial dengan Evaporasi terbatas (mm)

Evaporasi potensial adalah evapotranspirasi yang terjadi dalam keadaan air selalu tersedia cukup baik secara alami (hujan) maupun buatan (irigasi).

Evapotranspirasi potensial ini dicari dari perkalian suatu koefisien dengan evaporasi cara Penman. Perbedaan Evapotranspirasi potensial dengan Evaporasi terbatas dicari menggunakan Pers 2.2.:

$$E = E_p \cdot \frac{d}{30} \cdot m \quad (2.2)$$

dengan:

$E$  = Beda antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas (mm)

$E_p$  = Evapotranspirasi potensial (mm)

$d$  = jumlah hari kering tanpa hujan dalam satu bulan

$m$  = Singkapan Lahan dalam persen

Singkapan lahan yang diperhitungkan dapat ditaksir seperti pada Tabel 2.1:

Tabel 2.2: Singkapan Lahan Sesuai Tata Guna Lahan (Badan Wilayah Sungai Sumatera 2 (BWSS-02)) Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan (KP-01, 2010).

No	Jenis penggunaan lahan	Singkapan Lahan
1	Hutan Lebat	0
2	Lahan Tererosi	10 – 40
3	Lahan Pertanian	20 – 50

Pada  $m = 0\%$  musim hujan akan bertambah  $10\%$  pada setiap bulan kering untuk lahan dengan hutan sekunder.

$$\frac{E}{E_p} = \left(\frac{m}{20}\right) \times \left(\frac{18}{n}\right) \quad (2.3)$$

dimana:

$E_p$  = Evapotranspirasi potensial (mm)

$N$  = Jumlah hari hujan dalam satu bulan

$M$  = singkapan lahan dalam persen

5. Menentukan harga hujan ( $P$ ) dikurangi evapotranspirasi terbatas ( $E_t$ ).
6. Menentukan kemampuan tanah menyerap air (*soil storage*).
7. Penentuan lengas tanah merupakan pengurangan antara lengas tanah bulan sebelumnya dengan kemampuan tanah menyerap air bulan yang ditinjau.
8. Menentukan air lebih tanah (*water surplus*), merupakan harga  $P - E_t$  dikurangi dengan kemampuan menyerap air.
9. Menentukan besar Infiltrasi ( $I$ ) merupakan perkalian antara hasil lebih dengan faktor infiltrasi.
10. Menurut BWSS 2 dalam buku KP Irigasi, 2010 menyebutkan bahwa: "Koefisien nilai infiltrasi diperkirakan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan DPS. Lahan DPS yang porous memiliki nilai infiltrasi yang besar. Sedangkan lahan yang terjadi memiliki koefisien infiltrasi yang kecil, karena air akan sulit terinfiltrasi kedalam tanah. Batas koefisien infiltrasi adalah 0-1."
11. Menentukan harga Volume air tanah sesuai Pers 2.4. berikut:

$$V_n = k \cdot V_{n-1} + 0,5 \times (1 + k) \cdot L_n \quad (2.4)$$

Dengan:

$V_n$  = volume air tanah bulanan ke  $n$

$q_t$  = Aliran air tanah pada waktu  $t$  (bulan  $t$ )

$q_0$  = Aliran air tanah pada awal (bulan ke nol)

$$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$$

$\Delta V_n$  = Perubahan volume air tanah

$V_{n-1}$  = volume air tanah bulan ke  $(n - 1)$

$K = qt / q_0$  = Faktor resesi air tanah didapat dengan secara coba-coba.

Harga  $k \cdot V_{n-1}$ , dengan volume air tanah awal  $V_{n-1}$  (*initial storage*) ditaksir sesuai keadaan musim, bila musim hujan bisa sama dengan lengas tanah dan lebih kecil bila pada musim kemarau.

12. Menentukan perubahan kandungan air tanah, merupakan kandungan air tanah bulan sebelumnya  $V_{n-1}$  dikurangi dengan kandungan air tanah bulan sekarang  $V_n$ .
13. Menentukan aliran dasar (*base flow*), merupakan harga infiltrasi dikurangi dengan perubahan kandungan air tanah.
14. Menentukan limpasan langsung (*direct runoff*), merupakan harga air lebihan dikurangi dengan harga infiltrasi.
15. Menentukan debit perbulan, merupakan penjumlahan antara aliran dasar (*base/flow*) dengan limpasan langsung (*direct runoff*).
16. Debit efektif ( $m^3/det$ ) didapat dari debit bulanan dikonversikan terhadap debit dengan masukan faktor luas DAS.

Perubahan kandungan (volume) air tanah akan berpengaruh terhadap aliran dasar (*base/flow*) sehingga besar debit merupakan penjumlahan dari aliran dasar dengan limpasan langsung.

Ketersediaan air yang didefenisikan sebagai debit andalan adalah debit yang selalu tersedia dengan tingkat keandalan (*dependable*) sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, dan 100%.

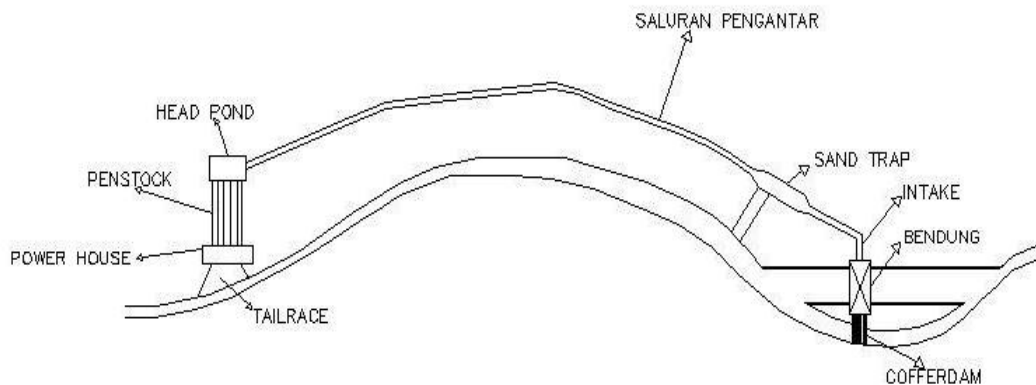
### **2.2.2 Kurva Durasi Debit (*Duration Curve Debit*)**

*Duration curve* atau kurva durasi bertujuan untuk mengetahui besarnya debit sungai selama beberapa waktu tertentu dalam satu tahun. Debit sungai diperoleh dengan menggunakan metode empiris ataupun pendekatan seperti Metode Mock yang perhitungannya berdasarkan data curah hujan yang dicatat di stasiun pos penakar curah hujan dengan data klimatologi lainnya seperti evapotranspirasi, tata guna lahan, permukaan tanah, kandungan air tanah (*soil moisture content*), dan koefisien infiltrasi. *Duration curve* digambarkan dari data-data debit, sekurang-

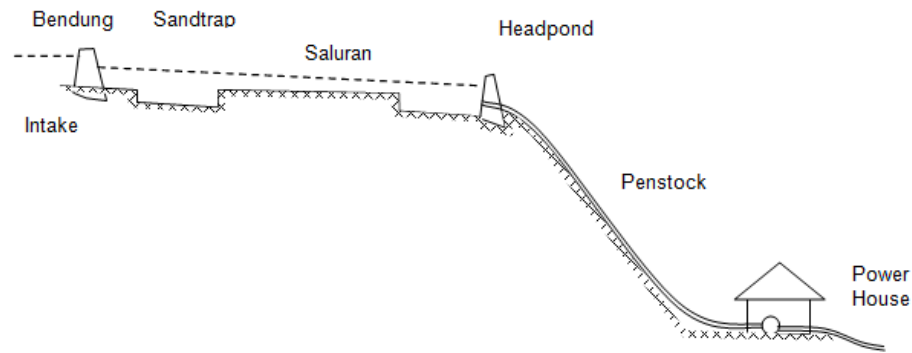
kurangnya selama 10 tahun, agar dapat memberikan informasi yang bisa digunakan.

### 2.3 Tata Letak *Layout* PLTMH

Secara umum *lay out* sistem PLTMH merupakan pembangkit jenis *run off river*, memanfaatkan aliran air permukaan (sungai). Pengambilan air untuk PLTMH direncanakan mengambil air dari sungai dengan jalan membuat bendung pada sungai dengan fungsi meningkatkan elevasi muka air sehingga masuk ke bangunan pengambilan. Kemudian melewati bangunan kantong lumpur dengan kecepatan air yang sudah ditentukan yang nantinya akan mengendapkan partikel-partikel halus maupun kasar. Selanjutnya air akan diteruskan melalui saluran pembawa menuju bak penenang, dari bak penenang kemudian air dijatuhkan melalui pipa pesat menuju ke power house yang didalamnya terdapat turbin dan akhirnya air diteruskan melalui *tailrace* hingga kembali ke sungai. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan 2.4:



Gambar 2.3: *Lay-out* pembangkit listrik tenaga mini hidro (Wahana, 2012).



Gambar 2.4: Potongan melintang *lay-out* (Wahana, 2012).

*Basic lay-out* pada perencanaan pembangunan PLTMH dimulai dari:

a. Bendung Pengalih *Intake* ( *diversion weir and intake* )

Bendung berfungsi untuk menaikkan/mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga memiliki jumlah air yang cukup untuk dialihkan ke dalam intake pembangkit mikro hidro di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap (*Settling Basin*). Sebuah bendung dilengkapi dengan pintu air untuk membuang kotoran/lumpur yang mengendap. Perlengkapan lainnya adalah penjebak/saringan sampah. PLTMH umumnya merupakan pembangkit tipe *run off river* sehingga bangunan bendung dan *intake* dibangun berdekatan. Dengan pertimbangan dasar stabilitas sungai dan aman terhadap banjir, dapat dipilih lokasi untuk bendung dan *intake*.

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

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam memilih lokasi Bendung dan *Intake*, antara lain:

- Jalur daerah aliran sungai.



Lokasi bendung dan *intake* dipilih pada daerah aliran sungai dimana terjamin ketersediaan airnya, alirannya stabil, terhindar banjir dan pengikisan air sungai.

- Stabilitas lereng yang curam.

Oleh karena pemilihan lokasi PLTMH sangat mempertimbangkan *head*, sudah tentu pada lokasi lereng atau bukit yang curam. Dalam mempertimbangkan lokasi bangunan bendung dan *intake* hendaknya mempertimbangkan stabilitas sedimen atau struktur tanahnya yang stabil.

- Memanfaatkan fasilitas saluran irigasi yang ada di pedesaan.

Pemanfaatan ini dapat dipertimbangkan untuk efisiensi biaya konstruksi, karena sudah banyak sungai di pedesaan telah dibangun konstruksi sipil untuk saluran irigasi.

- Memanfaatkan topografi alami seperti kolam dan lain-lain.

Penggunaan kealamian kolam untuk *intake* air dapat memberikan keefektifan yang cukup tinggi untuk mengurangi biaya, disamping itu juga membantu menjaga kelestarian alam, tata ruang sungai dan ekosistem sungai yang perlu diperhatikan adalah keberlanjutan kolam dan pergerakan sedimen.

- Level volume yang diambil (*Tinggi Dam*) dan level banjir.

Karena pembangunan bendung/*dam intake* pada bagian yang sempit dekat sungai, maka level banjir pada daerah itu lebih tinggi sehingga diperlukan daerah bagian melintang dam yang diperbesar untuk kestabilan.

- Perletakan *intake* selalu pada posisi terluar dari lengkungan sungai.

Pertimbangan ini dilakukan untuk memperkecil sedimen didalam saluran pembawa. Dan sering kali dibuat pintu air *intake* untuk melakukan pembilasan sedimen yang terendap dari *intake*.

#### b. Penentuan bentuk aliran sungai

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada instalasi PLTMH adalah kerusakan pada bangunan *intake* yang disebabkan oleh banjir. Hal tersebut sering terjadi pada *intake* yang ditempatkan pada sisi luar sungai. Pada bagian sisi luar sungai mudah erosi serta rawan terhadap banjir. Batu-batuan, batang pohon, serta berbagai material yang terbawa banjir akan mengarah pada bagian tersebut.

Sementara itu bagian sisi dalam sungai merupakan tempat terjadinya pengendapan lumpur dan sedimentasi, sehingga tidak cocok untuk lokasi *intake*. Lokasi *intake* yang baik terletak sepanjang bagian sungai yang relatif lurus, di mana aliran akan terdorong memasuki *intake* secara alami dengan membawa beban yang kecil.

c. Penentuan lokasi rumah pembangkit (*power house*)

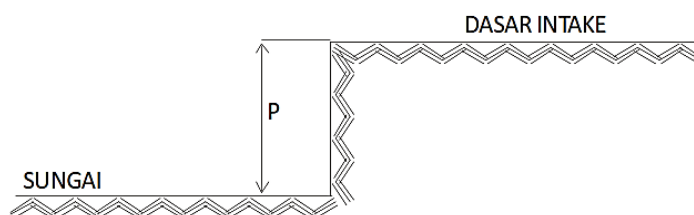
Pada dasarnya setiap pembangunan mikro hidro berusaha untuk mendapatkan *head* yang maksimum. Konsekuensinya lokasi rumah pembangkit berada pada tempat yang serendah mungkin. Karena alasan keamanan dan konstruksi, lantai rumah pembangkit harus selalu lebih tinggi dibandingkan permukaan air sungai. Data dan informasi ketinggian permukaan sungai pada waktu banjir sangat diperlukan dalam menentukan lokasi rumah pembangkit. Selain lokasi rumah pembangkit berada pada ketinggian yang aman, saluran pembuangan air harus terlindung oleh kondisi alam, seperti batu-batuan besar. Disarankan ujung saluran *tail race* tidak terletak pada bagian sisi luar sungai karena akan mendapat beban yang besar pada saat banjir, serta memungkinkan masuknya aliran air menuju ke rumah pembangkit.

## 2.4 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika yang dimaksud adalah analisis perencanaan bangunan sipil yang menjadi komponen-komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro.

### 2.4.1 Bangunan Pengambilan (*intake*)

Bangunan pengambilan berfungsi untuk mengelakkan air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan (KP-02, 2010).



Gambar 2.5: Potongan melintang dasar sungai dan *intake* (Wahana, 2011).

Elevasi dasar *intake* harus berada minimum 0.5 m sampai dengan 1.5 m diatas dasar sungai, dengan tujuan agar *bad load* tidak masuk ke *intake*.

#### **2.4.2 Kantong Lumpur**

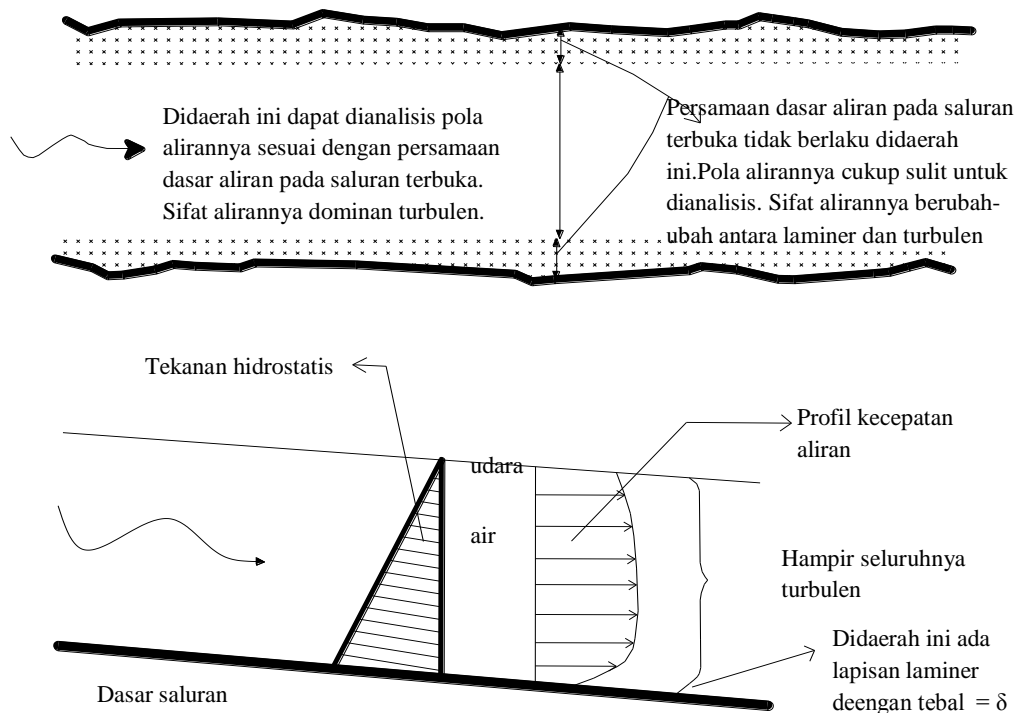
Sejumlah studi menyebutkan kantong lumpur mengendapkan fraksi-fraksi sedimen yang lebih besar dan fraksi pasir halus tetapi masih termasuk pasir halus dengan diameter butir berukuran 0,088 mm dan biasanya ditempatkan persis disebelah hilir pengambilan (BWSS 02, 2010).

Kantong lumpur direncanakan untuk menghindari masuknya sedimen-sedimen masuk kedalam turbin. Kecepatan aliran dalam kantong lumpur direncanakan dibawah kecepatan aliran kritis, hal ini dimaksudkan agar partikel dapat mengendap dan tidak menyebabkan gangguan pada peralatan energi, abrasi serius pada baling-baling turbin dimana kecepatan didalam *sandtrap* kurang dari 0.35 m/dt.

#### **2.4.3 Saluran Hantar (*Water Way*)**

Saluran pembawa berfungsi mengalirkan air dari kolam pengendap ke headpond. Saluran pembawa direncanakan berupa saluran terbuka. Saluran terbuka merupakan aliran yang memiliki permukaan yang bebas. Permukaan yang bebas tersebut merupakan pertemuan antara dua fluida dengan kerapatan (*density*) yang berbeda. Biasanya pada saluran terbuka dua fluida itu adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dari pada kerapatan air. Aliran pada saluran terbuka hampir seluruh alirannya bersifat turbulen hanya pada batas-batasnya (dasar saluran dan tebing saluran/*river bank*) ada bagian kecil aliran yang bersifat laminer (Kodoatie, 2005).

Gambar 2.6 berikut mengilustrasikan aliran pada saluran terbuka.

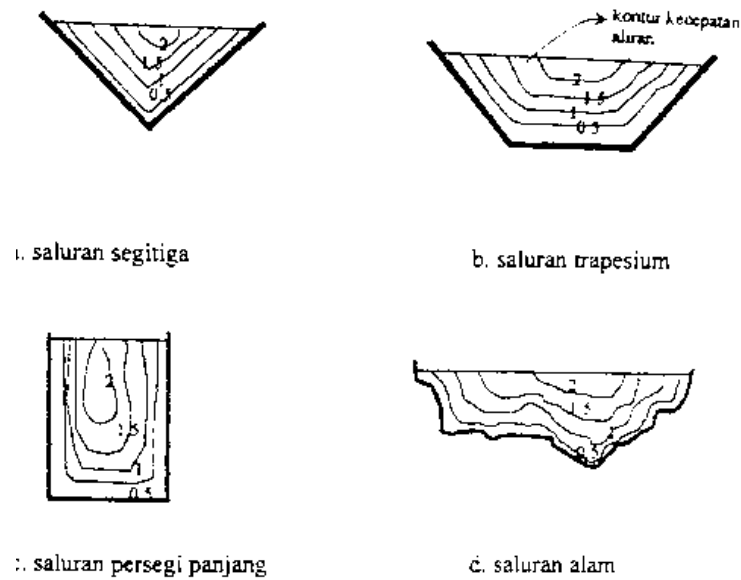


Gambar 2.6: Sifat aliran pada saluran terbuka (tampang memanjang) (Kodoatie, 2005).

Disebabkan oleh tekanan pada muka air akibat adanya perbedaan fluida antar udara dan air, dan juga akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun tebing saluran) maka kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam (Chow, 1992).

Selanjutnya chow mengatakan bahwa kecepatan maksimum umumnya terjadi pada jarak 0.05 sampai 0.25 dikalikan kedalaman airnya. Namun pada sungai yang sangat lebar dengan kedalaman dangkal (*shallow*), Kecepatan maksimum terjadi pada permukaan air. Makin sempit saluran kecepatan air maksimum semakin dalam.

Gambar 2.7 berikut menunjukkan beberapa kontur kecepatan air untuk beberapa macam potongan melintang saluran.



Gambar 2.7: Contoh distribusi saluran (kontur) untuk beberapa macam bentuk saluran (Kodoatie, 2005).

Untuk merencanakan saluran hantar pada studi ini menggunakan persamaan stricler. Adapun persamaan yang dipakai sebagai berikut (BWSS, 2010):

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (2.5)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.6)$$

$$A = (b + m \cdot h) h \quad (2.7)$$

$$P = (b + 2 h \sqrt{1 + m^2}) \quad (2.8)$$

$$Q = V \times A \quad (2.9)$$

$$B = n \times h \quad (2.10)$$

dimana:

Q = Debit saluran, m<sup>3</sup>/det

V = Kecepatan aliran, m/det

A = Potongan melintang aliran, m<sup>2</sup>

- R = Jari-jari hidrolis, m  
P = Keliling basah, m  
B = Lebar dasar, m  
H = Tinggi air  
I = Kemiringan energi ( kemiringan saluran)  
K = Koefisien kekasaran strickler,  $m^{1/3} / \text{det}$   
M = Kemiringan Talut (1 vertikal : m horizontal)

Tabel 2.3: Harga-Harga kecepatan maksimum dan koefisien kekasaran Strickler (KP-01, 2010).

No	Bahan Konstruksi	$V_{\text{Maks}}$ (m/dt)	K ( $m^{1/3/\text{dt}}$ )
1.	Pasangan Batu	2	60
2.	Beton	3	70

Adapun kecepatan yang diizinkan pada saluran hantar dapat dilihat pada Tabel 2.3:

Tabel 2.4: Kecepatan yang diizinkan pada saluran hantar (KP-01, 2010).

No	Bahan Konstruksi	Maks (m/detik)	Min (m/detik)
1.	Tanah	0.70	0.5
2.	Pipa beton precast	2.50	0.5
3.	Beton	3.00	0.5
4.	Pasangan batu kali	2.50	0.5

Pada panduan Kriteria Perencanaan (KP-03, 2010) juga menyebutkan perubahan-perubahan mendadak pada permukaan saluran akan memperbesar koefisien kekasaran. Perubahan-perubahan ini dapat disebabkan oleh penyelesaian konstruksi saluran yang jelek atau karena erosi pada talut saluran. Terjadinya riak-

riak didasar saluran akibat interaksi aliran diperbatasan juga berpengaruh terhadap kekasaran saluran.

#### 2.4.4 Kolam Penenang

Kolam penenang (*Headpond*) direncanakan sebagai penstabil aliran sebelum masuk kedalam *intake* dan *penstock*. Adapun fungsi kolam penenang sebagai berikut:

- Tempat menenangkan aliran sebelum masuk ke dalam *penstock*, sehingga turbulensi aliran pada *intake* dapat dicegah untuk mereduksi kavitasi yang terjadi pada *penstock*.
- Dapat meredam efek *water hammer* pada kondisi *emergency* turbin harus segera ditutup atau kesalahan operasional dari valve yang terletak pada mulut turbin.
- Sebagai tempat pengendapan kandungan sedimen yang terbawa aliran, maka fungsi kolam penenang sangat dominan untuk fungsi pengendapan.

Pada bagian depan dari saluran penenang dilengkapi dengan *trashrack* dan pintu pembilasan. Fungsi *trashrack* adalah untuk menghambat kotoran dengan diameter besar yang tidak mungkin terendapkan dalam kolam penenang. Sedangkan fungsi pintu pembilasan adalah untuk mengglontorkan sedimen yang telah terkumpul dalam kolam pengendap selama masa operasi disamping untuk mengalihkan sisa air dalam saluran penenang apabila dilakukan pemeliharaan saluran penghantar.

Dimensi kolam penenang ditentukan dengan Pers 2.11. dan Pers. 2.12.:

$$B = 3 \times b \quad (2.11)$$

$$L = 2 \times B \quad (2.12)$$

dimana:

B = Lebar kolam penenang (m)

b = Lebar saluran (m)

L = Panjang kolam penenang (m)

### 2.4.5 Pipa Pesat (*Penstock*)

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

Pipa *penstock* merupakan salah satu komponen yang mahal dalam pekerjaan PLTMH, oleh karena itu desainnya perlu dipertimbangkan terhadap keseimbangan antara kehilangan energi dan biaya yang diperlukan. Parameter yang penting dalam desain pipa *penstock* terdiri dari material yang digunakan, diameter dan ketebalan pipa serta jenis sambungan yang digunakan (Ramli, 2010).

Pipa pesat merupakan saluran tertutup yang berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penenang ke bangunan masuk turbin. Saat ini, bahan utama pipa pesat adalah pipa-pipa baja, pipa-pipa *ductile* dan pipa FRPM (*fibre reinforced plastic multi-unit*). Sedangkan pembangkit tenaga air skala kecil menggunakan pipa-pipa *hard vinyl chloride*, pipa-pipa *howell* atau pipa pipa *spiral welded* dapat dipertimbangkan karena diameternya kecil dan tekanan internalnya relatif rendah.

Untuk mendesain pipa pesat mula-mula tentukan jenis bahan pipa pesat yang direncanakan dan hitung jarak antara saluran penampung menuju turbin dan beda tinggi dari saluran penampung ke turbin. Panjang pipa pesat, didapat dengan menggunakan rumus trigonometri.

$$L_{\text{pipa}} = \sqrt{L_{\text{horizontal}}^2 + H_{\text{gross}}^2} \quad (2.13)$$

Kecepatan optimum dapat dicari dengan menggunakan rumus *United State Bureau of Reclamation* (USBR) sebagai hubungan antara kecepatan dengan *head* untuk pipa.

$$V = 0,125 \sqrt{2gH} \quad (2.14)$$

Secara sederhana, diameter pipa pesat dapat dicari dengan menggunakan persamaan dasar:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2.15)$$



$$\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{Q}{V} \quad (2.16)$$

Ketebalan pipa:

$$t = \frac{D+80}{40} \quad (2.17)$$

dimana:

t = ketebalan pipa

D = diameter pipa *penstock*

Setelah mendapatkan diameter pipa pesat, kita akan menghitung nilai kehilangan *head* pada pipa pesat dengan mencari harga faktor gesekan (fl). Untuk mencari fl digunakan grafik pada Gambar 2.7 dengan cara menghubungkan garis lengkung antara harga k/d terhadap nilai (1,2.Q/d).

Dari Tabel 2.4 didapat koefisien untuk beberapa material pipa dengan umur kondisinya. Melalui grafik kehilangan akibat gesekan didapat faktor gesekan (fL).

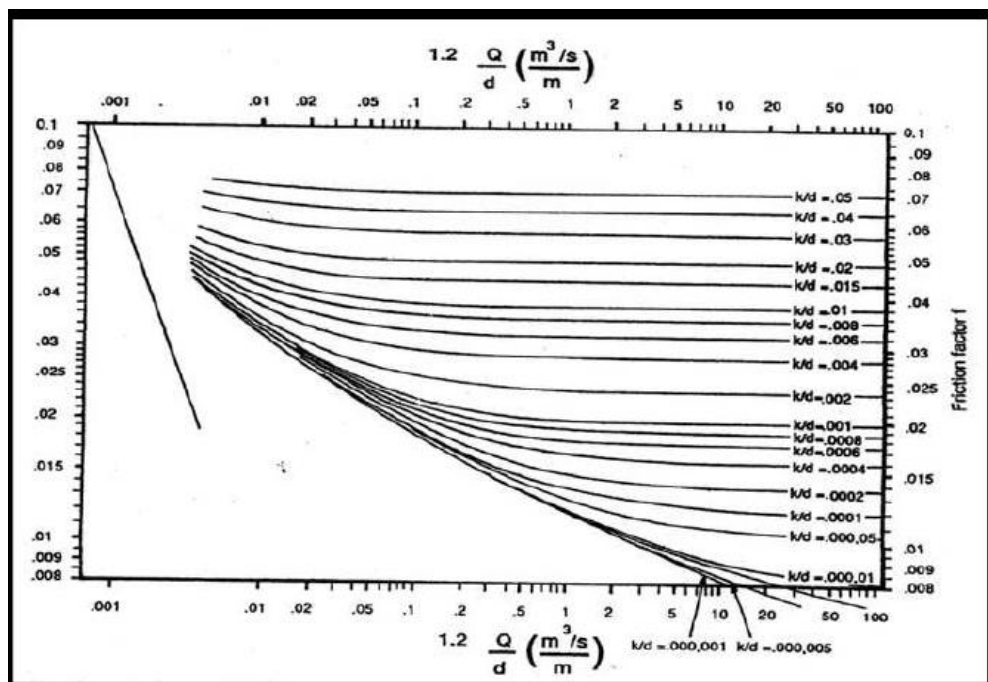
$$H \text{ kehilangan pada dinding} = \frac{fL \cdot L_{\text{pipa}} \cdot 0,08 \cdot Q^2}{d^5} \quad (2.18)$$

Tabel 2.4: Koefisien kekasaran pipa dalam mm (Harvey, 1993).

Material	Umur kondisi		
	< 5 tahun	5 – 15 tahun	> 15 tahun
Pipa lunak PVC, HDPE, MDPE Fiberglas	0,003	0,01	0,05
Beton	0,06	0,15	1,5
Baja ringan :			
Baja tak berlapis	0,01	0,1	0,5
Baja galvanis	0,06	0,15	0,3

Tabel 2.4: Lanjutan.

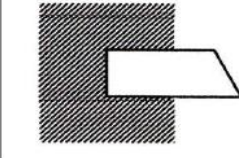
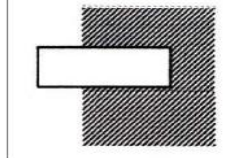
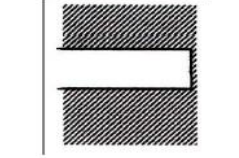
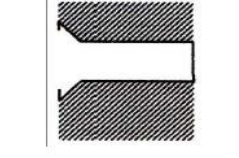
Material	Umur kondisi		
	< 5 tahun	5 – 15 tahun	> 15 tahun
Besi Baru	0,15	0,3	0,6
Lama-karat rendah	0,6	1,5	3,0
- karat sedang	1,5	3,0	6,0
- karat tinggi	6,0	10,0	20,0



Gambar 2.8: Grafik faktor gesekan pada pipa.  
(Harvey, 1993).

Dari Tabel 2.5 didapat faktor kehilangan akibat gerakan turbulen aliran pada pipa, diasumsikan pipa pesat tidak membengkok, namun terdapat putaran pada ketajaman sudut masuk (*Kentrance*) dan bukaan klep (*KValve*).

Tabel 2.5: Koefisien ketajaman sudut masuk (Harvey, 1993).

No.	Bentuk ketajaman sudut masuk	K Valve
1		1,0
2		0,8
3		0,5
4		0,2

Tabel 2.6: Koefisien bukaan klep (Harvey, 1993).

Tipe Klep	Bola	Pintu	Kupu-kupu
K Klep	0	0,1	0,3

$$H \text{ kehilangan pada turbin} = \frac{V^2}{2.g} (K_{\text{valve}} + K_{\text{entrance}}) \quad (2.19)$$

Kehilangan akibat gesekan (H kehilangan akibat gesekan)

H kehilangan akibat gesekan = h kehilangan pada dinding + h kehilangan pada turbin

$$\% \text{ Kehilangan} = \frac{H_{\text{loss}}}{H_{\text{gross}}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi penstock} = \frac{(H_{\text{gross}} - H_{\text{loss}})}{H_{\text{gross}}}$$

## 2.5 Estimasi Produk Energi

Pada prinsipnya pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator.

Patty (1995) menarik kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan grafik *duration curve* dari suatu aliran sungai dapat diambil beberapa daya teoritis sebagai berikut:

- Daya teoritis minimal, yaitu daya yang terdapat dalam sungai selama setahun penuh (365 hari atau 8760 jam)  $P_{100}$ .
- Daya teoritis yang terdapat selama 95% (8322 jam) dari satu tahun, yakni berdasarkan debit yang dapat diambil dari sungai selama waktu 95% ( $P_{95}$ ).
- Daya teoritis yang terdapat selama 50 % dari suatu tahun (6 bulan atau 4380 jam) berdasarkan debit yang dapat diambil selama 6 bulan (4380) dari sungai ( $P_{50}$ ).
- Daya teoritis berdasarkan debit rata-rata dari *duration curve* ( $Q$  rata-rata adalah sedemikian besar sehingga luas empat persegi panjang  $Q_m \times 365$  hari = luas *duration curve*)  $P_m$ .

Patty juga menyimpulkan bahwa *World Power Convergence* telah menyetujui bahwa data  $P_{95}$ ,  $P_{50}$  dan  $P_m$  sudah cukup untuk memberikan gambaran dari potensi suatu sungai, dengan pengertian bahwa data tersebut sekurang-kurangnya diambil selama 10 tahun.

Besarnya potensi yang didapat dari perbedaan tinggi sungai antara bendung dan *powerhouse* sebesar  $H$ , maka daya yang dapat dibangkitkan karena perbedaan tinggi ini adalah sebesar Pers. 2.20. (Patty, 1995).

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \text{ (Watt)} = g \cdot Q \cdot H_{\text{eff}} \cdot \eta_{\text{tot}} \text{ (kw)} \quad (2.20)$$

dimana:

$Q$  : debit dengan m<sup>3</sup>/detik

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

$g$  : Percepatan gaya berat = 9.8 m/detik

$h$  : Perbedaan tinggi (meter)

## 2.6 Perencanaan Elektromekanikal

Perencanaan elektromekanikal untuk pembangkit listrik tenaga minihidro terdiri dari:

### 2.6.1 Pemilihan Turbin

Menurut Patty (1995) Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan, dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi dua kelompok:

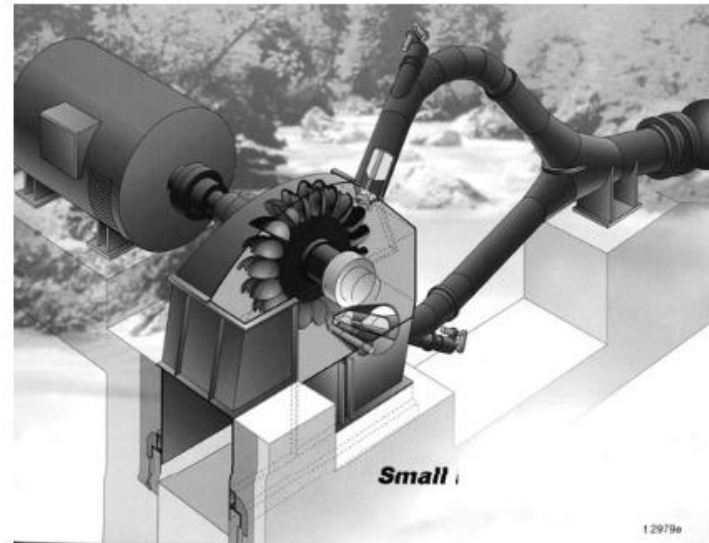
1. Turbin impuls (*cross-flow*, pelton, dan turgo)

Turbin impuls adalah 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 mekanik dalam bentuk putaran poros. Atau dengan kata lain, energi potensial air diubah menjadi energi kinetik. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton dan turbin *Cross Flow*. Adapun jenis-jenis turbin impuls adalah sebagai berikut:

- Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan salah satu jenis turbin impuls. Lester Pelton (1829-1908) sebagai penemu turbin pelton adalah seorang ahli teknik pertambangan Amerika yang hidup pada masa eksploitasi emas di California. Efisiensi yang diperoleh oleh turbin pelton akan lebih tinggi jika turbin dioperasikan pada *head* yang lebih tinggi yang akan diubah menjadi suatu kecepatan relatif yang tinggi pada sisi keluar nosel Energi potensial aliran air dari penampungan saat melalui pipa *penstock* diubah menjadi energi kinetik dalam pancaran air dengan sudut penggerak impuls, baik tunggal maupun ganda. Pancaran air mengenai sudut gerak dengan arah tangensial sehingga membentuk jejak melingkar sepanjang diameter sudut dan tekanan atmosfer. Turbin pelton merupakan turbin impuls. Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin pelton adalah

salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Contoh turbin pelton pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Turbin pelton (www.google.com).

- Turbin Turgo

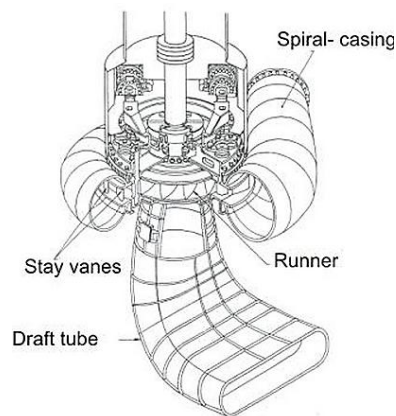
Turbin turgo dapat beroperasi pada *head* 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nozzle* membentur sudut pada sudut  $20^\circ$ . Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total.

2. Turbin reaksi (*Francis, Kaplan, dan propeller*)

Turbin reaksi adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir dalam bentuk putaran. Sudut pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudut. Turbin ini terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan dan kedua sudu tersebut semuanya terendam di dalam air. Air dialirkan ke dalam sebuah terusan atau dilewatkan ke dalam sebuah cincin yang berbentuk spiral (rumah keong). Perubahan energi seluruhnya terjadi di dalam sudut gerak. Contoh turbin reaksi adalah turbin francis dan turbin propeler (kaplan) dilihat dari konstruksinya, turbin reaksi ada dua jenis:

- Turbin Francis.

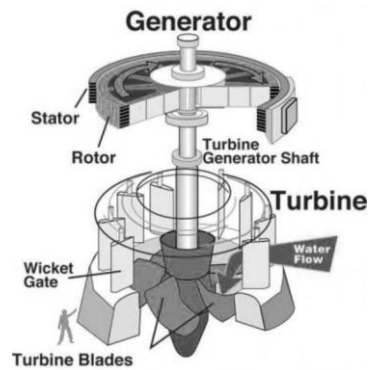
Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin ini dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis mempunyai sudut pengarah air masuk secara tangensial. Sudut pengarah ini dapat berupa sudut pengarah yang tetap maupun yang dapat diatur sudutnya.



Gambar 2.10: Turbin Francis ([www.google.com](http://www.google.com)).

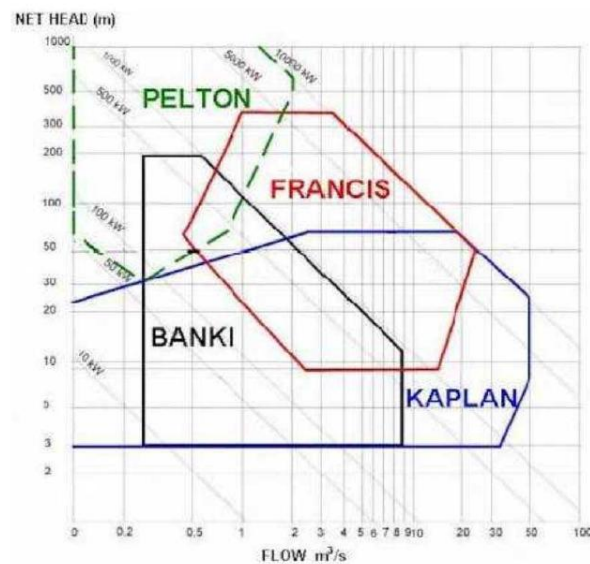
- Turbin Kaplan.

Tidak berbeda dengan turbin Francis, turbin Kaplan (lihat Gambar 2.9) cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada Kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya  $F$  yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada Francis, sudut-sudut pada roda jalan Kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin Kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin Kaplan dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi pada beban tidak penuh turbin Kaplan mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudut-sudut turbin.



Gambar 2.11: Turbin kaplan ([www.google.com](http://www.google.com)).

Perbandingan karakteristik turbin dapat kita lihat pada grafik *head* (m) vs *flow* (m<sup>3</sup>/s) di bawah ini.



Gambar 2.12: Perbandingan karakteristik turbin ([www.google.com](http://www.google.com)).

Dapat dilihat pada Gambar 2.12 turbin kaplan adalah turbin yang beroperasi pada head yang rendah dengan kapasitas aliran yang tinggi atau bahkan beroperasi pada kapasitas yang sangat rendah. Hal ini karena sudut-sudut turbin kaplan dapat diatur secara manual atau otomatis untuk merespon perubahan kapasitas. Berkebalikan dengan turbin kaplan, turbin pelton adalah turbin yang beroperasi pada head tinggi dengan kapasitas yang rendah. Untuk turbin francis mempunyai karakteristik yang berbeda dengan yang lainnya yaitu turbin francis dapat



beroperasi pada head yang rendah atau beroperasi pada *head* yang tinggi. Pemilihan turbin kebanyakan didasarkan pada head air yang didapatkan dan kurang lebih pada rata-rata alirannya. Umumnya, turbin impuls digunakan untuk tempat dengan *head* tinggi, dan turbin reaksi digunakan untuk tempat dengan *head* rendah.

### **2.6.2 Pemilihan Generator**

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Efisiensi generator secara umum adalah:

1. Aplikasi < 10 KVA efisiensi 0,70 - 0,80
2. Aplikasi 10 – 20 KVA efisiensi 0,80 - 0,85
3. Aplikasi 20 – 50 KVA efisiensi 0,85
4. Aplikasi 50 – 100 KVA efisiensi 0,85 - 0,90
5. Aplikasi > 100 KVA efisiensi 0,90 - 0,95

### **2.6.3 Rumah Pembangkit**

Sesuai posisinya, rumah pembangkit ini dapat diklasifikasikan ke dalam tipe di atas tanah, semi di bawah tanah, di bawah tanah. Sebagian besara rumah pembangkit PLTMH adalah di atas tanah. Untuk pertimbangan desain rumah pembangkit, perlu dipertimbangkan:

- a. Lantai rumah pembangkit di mana peralatan PLTMH ditempatkan, perlu memperhatikan kenyamanan selama operasi, mengelola, melakukan perawatan di mana terjadi pekerjaan pembongkaran dan pemasangan peralatan.
- b. Memiliki cukup cahaya masuk untuk penerangan di siang hari dan adanya ventilasi udara.
- c. Kenyamanan jika operator berada di dalamnya seperti untuk melakukan pengendalian ataupun pencatatan secara manual pada jenis dan tipe turbin yang digunakan, dan sirkulasi air yang dikeluarkan setelah menggerakkan turbin. Karena itu ada beberapa pertimbangan tipe desain rumah pembangkit sesuai jenis turbin yang digunakan, sebagai berikut.

- Rumah pembangkit menggunakan turbin jenis *Turbin Impuls*. Desain konstruksi rumah pembangkit ini perlu mempertimbangkan jarak bebas antara dasar rumah pembangkit dengan permukaan air buangan turbin (*afterbay*). Pada kasus turbin implus (turbin pelton, turgo dan crossflow), air yang dilepas oleh *runner* turbin secara langsung dikeluarkan ke dalam udara di *tailrace*. Permukaan air di bawah turbin akan bergelombang. Oleh karena itu jarak bebas antara rumah pembangkit dengan permukaan air *afterbay* harus dijaga paling tidak 30-50 cm, kedalaman air di *afterbay* harus dihitung berdasarkan suatu formulasi antara desain debit dan lebar saluran di *tailrace*. Kemudian air di *afterbay* harus ditentukan lebih tinggi dari pada estimasi air banjir. Juga *head* antara pusat turbin dan level air pada *outlet* harus menjadi *headloss*.
- Rumah turbin menggunakan turbin jenis *Turbin Reaction*. Hal yang sama dalam desain konstruksi rumah turbin menggunakan jenis reaction (*Francais, Propeller*), adalah perilaku air *afterbay*. Pada kasus menggunakan turbin tipe reaction, air dikeluarkan ke dalam *afterbay* melalui turbin. *Head* antara turbin dan level air dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga. Dengan demikian desain konstruksinya memperbolehkan posisi tempat pemasangan turbin berada di bawah level air banjir, dan pada desain konstruksinya perlu disediakan tempat untuk menempatkan peralatan seperti pintu *tailrace*, dan pompa.

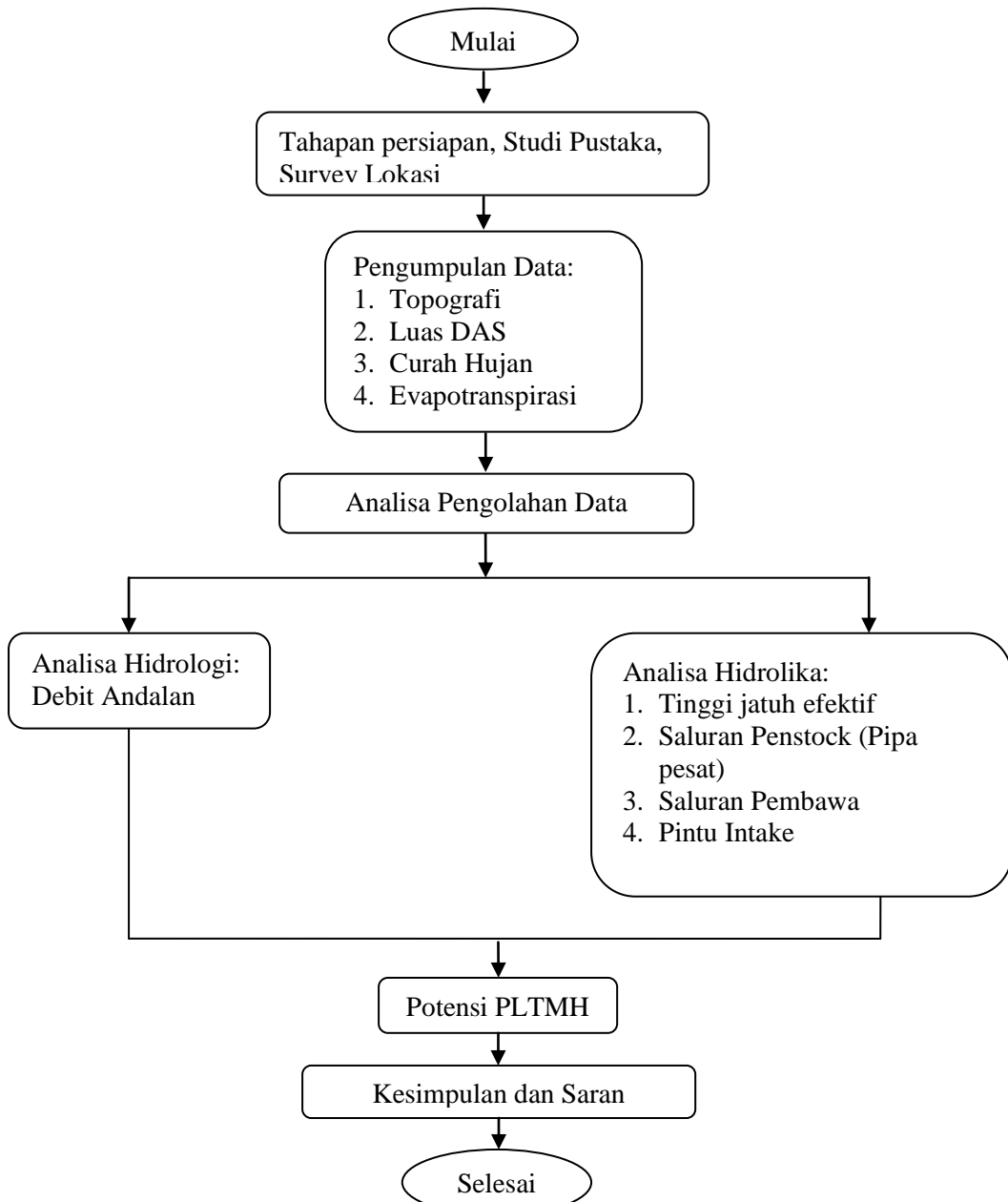
Rumah pembangkit dilengkapi dengan pengamanan terhadap petir dan arus berlebih (*lightning arrester*). Rumah pembangkit berupa pasangan bata dengan bangunan coran bertulang pada pondasi turbin dan penampungan air di bawah turbin sebelum keluar ke *tail race*. Hal utama yang menjadi perhatian dalam pembangunan rumah pembangkit adalah aksesibilitas dan sirkulasi udara untuk melepas panas pada *ballast load*. Sirkulasi udara yang baik akan menjaga temperatur kerja sekitar rumah pembangkit tidak berlebih, sehingga temperatur kerja mesin dapat dijaga dengan baik.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Bagan Alir Penelitian

Adapun untuk mengetahui tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

## 3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) secara administratif terletak di Desa Belinteng, Kecamatan Sei Bingai, Kabupaten Langkat. Sekitarnya meliputi Sungai Bingai. Lokasi studi dapat ditempuh dengan perjalanan darat dari Kota Binjai menuju Desa Belinteng sejauh  $\pm 30$  km dengan kondisi jalan yang cukup baik.

### 3.2.1 Kondisi Fisik Alam

#### a. Letak Geografis

Kabupaten Langkat merupakan salah satu kabupaten yang berada di Dataran Tinggi Bukit Barisan, terletak di Bagian Barat Laut Provinsi Sumatera Utara, secara geografis berada pada koordinat  $3^{\circ}14' - 4^{\circ}13'$  LU dan  $97^{\circ}52' - 98^{\circ}45'$  BT. Secara administratif berbatasan dengan:

- Sebelah Utara : Kabupaten Aceh Tamiang (Provinsi Aceh) dan Selat Malaka
- Sebelah Selatan : Kabupaten Karo
- Sebelah Timur : Kabupaten Deli Serdang
- Sebelah Barat : Kabupaten Aceh Tenggara/Tanah Alas (Provinsi Aceh)

Pada tahun 2013 wilayah administratif Kabupaten Langkat meliputi 23 Kecamatan, 240 Desa dan 37 Kelurahan dengan total area seluas 6.263,29 Km<sup>2</sup> atau sekitar 8,74% dari luas Provinsi Sumatera Utara yang mencapai 71.680,00 Km<sup>2</sup>.

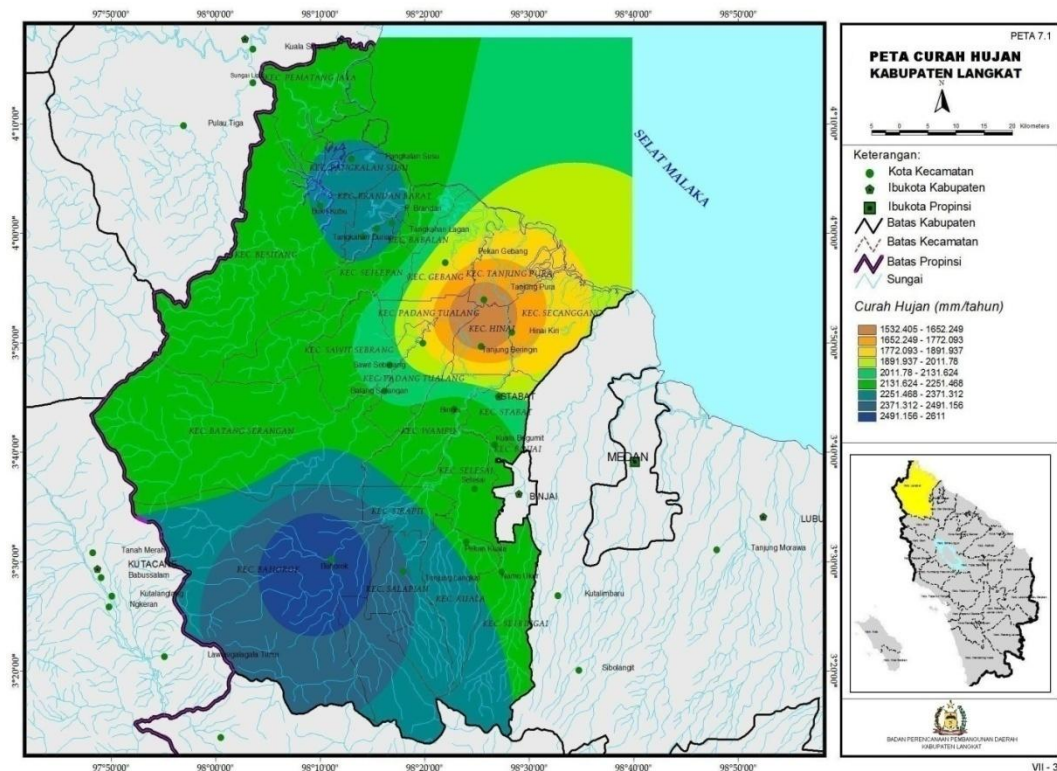
Dari segi klimatologi, wilayah Kabupaten Langkat tergolong beriklim subtropis dengan suhu berkisar  $17^{\circ} - 24^{\circ}\text{C}$  dan intensitas hujan yang sangat variatif antara 2.000–5.000 mm/tahun dengan rata-rata hari hujan 126 hari/tahun. Tipe iklim didasarkan atas intensitas bulan basah (curah hujan  $>100$  mm/bulan) dalam setahun, diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu:

- Iklim B1

Bulan basah antara 7–9 bulan dan bulan kering  $<$  dari 2 bulan dalam setahun. Tipe iklim ini berada di Kecamatan Bahorok sekitarnya.

- Iklim C1  
Bulan basah antara 5–6 bulan dan bulan kering < dari 2 bulan dalam setahun. Tipe iklim ini berada di Kecamatan Kuala, Selesai, Brandan Barat dan Pangkalan Susu.
- Iklim D1  
Bulan basah antara 3–4 bulan dan bulan kering < dari 2 bulan dalam setahun. Tipe iklim ini berada di Kecamatan Sei Bingai, Padang Tualang, Batang Serangan, Babalan, dan Besitang.

Kondisi curah hujan di Kabupaten Langkat ditampilkan pada Gambar 3.2.

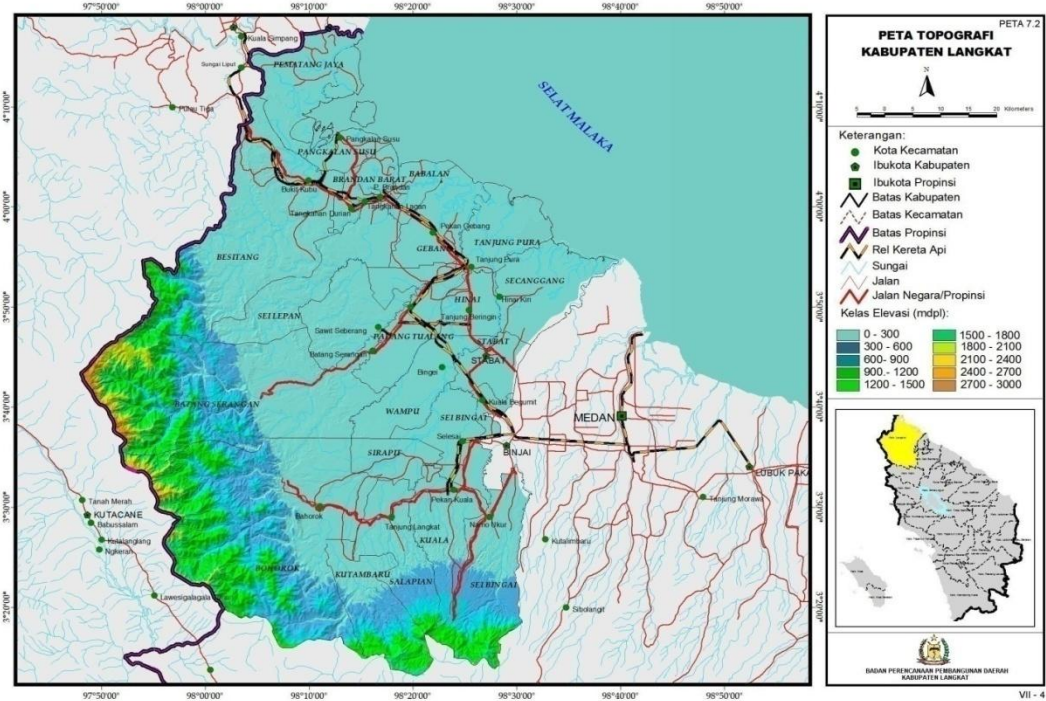


Gambar 3.2: Kondisi curah hujan di Kabupaten Langkat (BPPD Langkat, 2014).

#### b. Kondisi Topografi

Ditinjau dari segi topografi, Kabupaten Langkat berada pada ketinggian antara 4-105 di atas permukaan laut (dpl). Kota Stabat adalah Ibukota Kabupaten Langkat yang berada pada ketinggian 28 m dpl, sedangkan Kecamatan Babalan,

Tanjung Pura, Brandan Barat, Pangkalan Susu, Pematang Jaya, Gebang, Sei Lelan, Besitang merupakan kawasan pesisir dan mendekati pesisir yang memiliki ketinggian sekitar 4 m dpl. Kecamatan Binjai, Selesai dan Kecamatan yang bersebelah dengannya memiliki ketinggian sekitar 28–30 m dpl, dan kecamatan yang mengarah lebih ketengah pulau Sumatera seperti Kecamatan Salapian, Bahorok dan beberapa kecamatan disekitarnya memiliki ketinggian antara 100–105 m dpl. Untuk lebih jelasnya mengenai kondisi topografi tiap kecamatan di wilayah Kabupaten Langkat dirinci pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Peta Topografi di Kabupaten Langkat (BPPD Langkat, 2017).

### 3.3 Pengumpulan Data

Studi ini memerlukan data curah hujan dan data iklim daerah setempat dikarenakan tidak adanya pencatatan debit pada Sungai Bingai. Data-data tersebut nantinya akan berfungsi untuk analisis hidrologi dan hidrolika. Adapun data-data lain yang dikumpulkan dapat dilihat pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1: Data-data yang dikumpulkan.

No.	Jenis Data	Sumber Data	Stasiun	Durasi
1.	Curah Hujan Bulanan	BMKG	Tongkoh	2007-2016
2.	Evapotranspirasi	BMKG	Serapit	2007-2016
3.	Peta Kontur	Google Earth		
4.	Peta	Google Earth		

### 3.4 Pengolahan Data

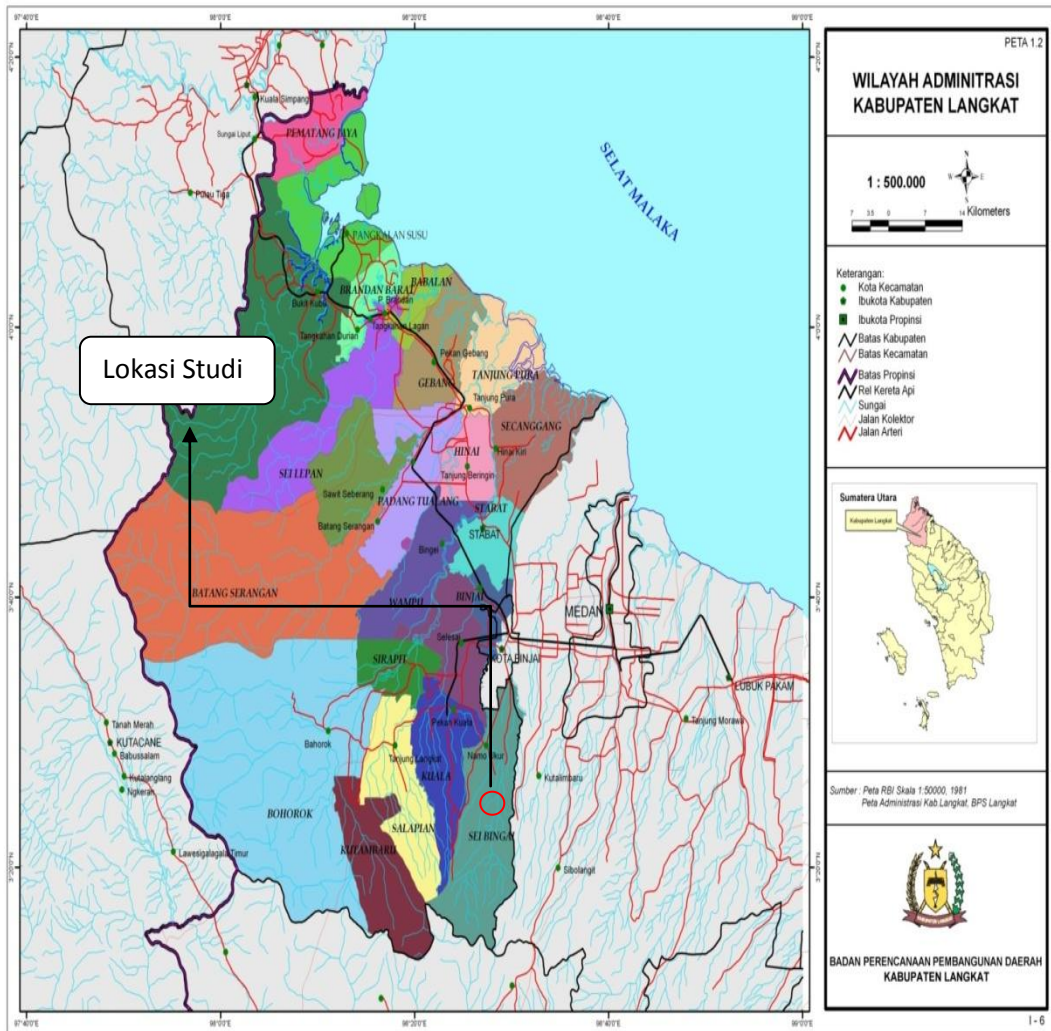
Untuk mengetahui potensi tenaga listrik yang dihasilkan dari Sungai Bingai langkah-langkah analisis yang dilakukan sebagai berikut:

1. Penggambaran kontur lokasi studi menggunakan *software Google Earth*.
2. Menentukan posisi rencana bendung, saluran pembawa, kolam penenang, pipa pesat, lokasi power house dan besarnya ketinggian (*head*) yang didapat dengan bantuan peta kontur dan *software Google Earth*.
3. Dengan diketahuinya lokasi bendung/*intake* maka dapat ditentukan besaran luasan *catchment* Sungai Bingai menggunakan *software Google Earth*.
4. Pengambilan data curah hujan, data jumlah hari hujan dan evapotranspirasi pada stasiun-stasiun terdekat lokasi studi.
5. Menghitung besarnya debit bulanan yang dianalisis menggunakan Metode Mock.
6. Analisa hidrolika saluran pembawa, pipa pesat, dan pintu *intake*.
7. Menentukan besaran nilai *Net Head*.
8. Menganalisis potensi/kapasitas daya yang didapat.

### 3.5 Peta Lokasi Studi

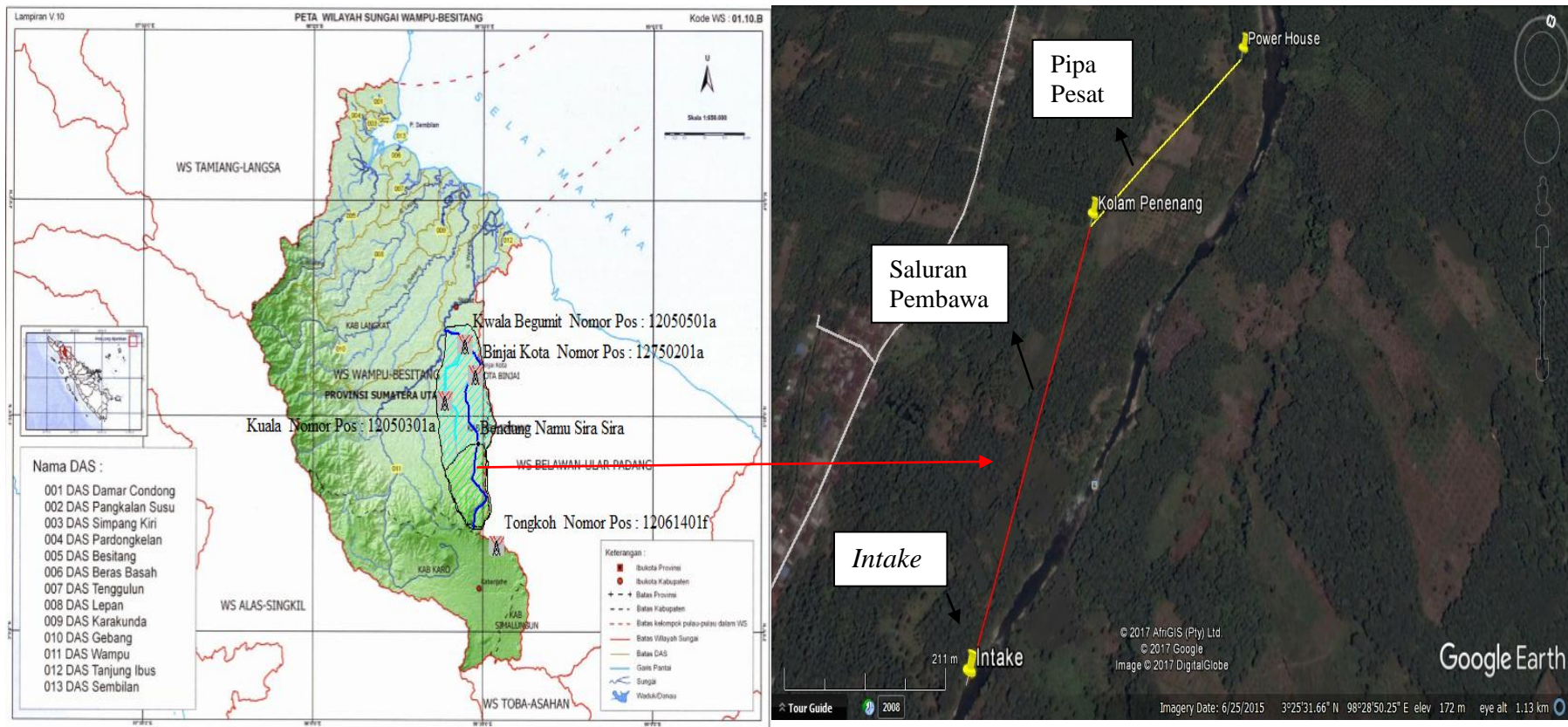
Adapun lokasi rencana PLTMH pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5.





Gambar 3.4: Peta lokasi penelitian (BPPD Langkat, 2014).





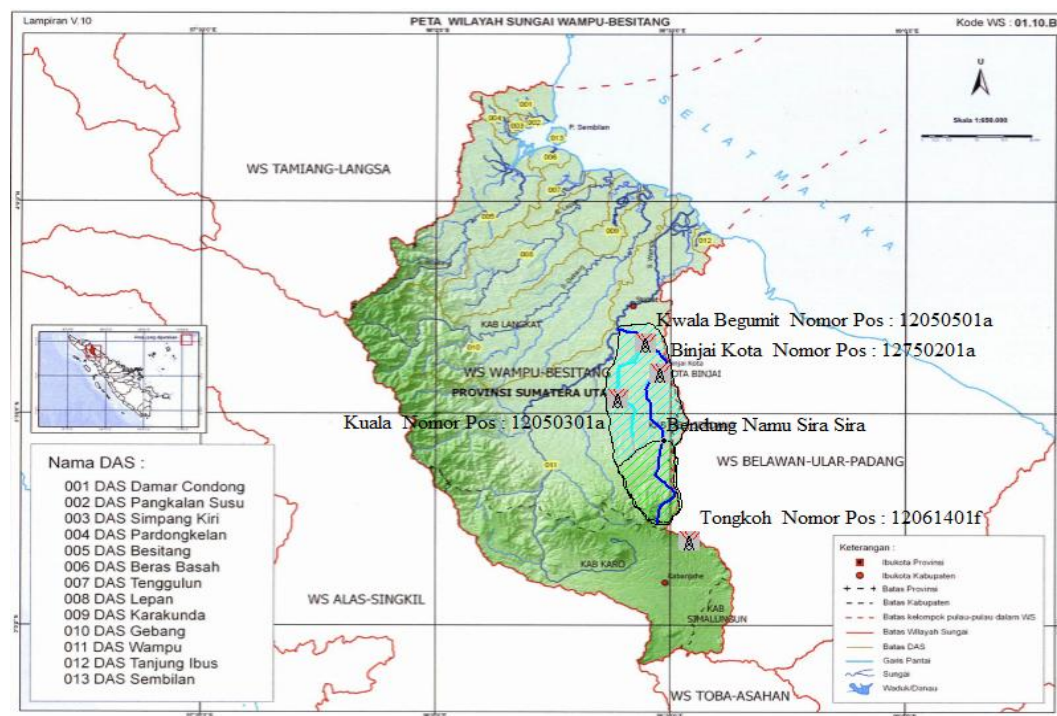
Gambar 3.5: Peta lokasi penelitian ([www.google.com](http://www.google.com)& google earth).

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Daerah Aliran Sungai

Luas daerah pengaliran sungai sampai bendung Namu Sira-sira sebesar  $\pm 228,14 \text{ km}^2$  dengan panjang sungai dari hulu sampai ke bendung mencapai  $\pm 20 \text{ km}$ . Posisi *intake*/pengambilan yang direncanakan pada penelitian PLTMH ini tidak jauh dari posisi bendung Namu sira-sira, sehingga *Cacthment Area* PLTMH dapat disamakan dengan *Chacthment Area* sampai bendung Namu Sira-sira. Daerah Aliran Sungai Bingai sampai hilir mencapai luasan daerah aliran sungai sebesar  $703.69 \text{ km}^2$  dengan panjang sungai mencapai  $67 \text{ km}$ . Sungai Bingai merupakan Sub DAS Sungai Wampu. Daerah aliran Sungai Bingai berasal dari Pegunungan Dataran Tinggi Karo.



Gambar 4.1: *Chacthment area* (BWSS, 2017).

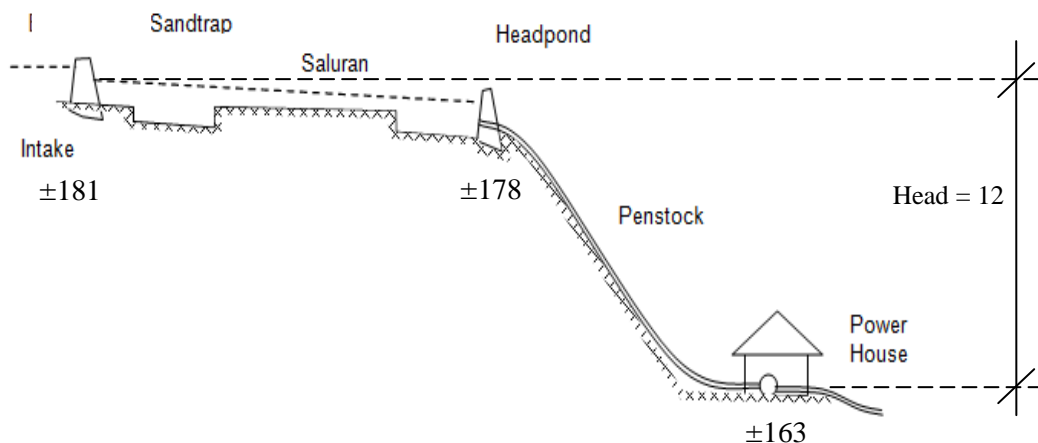
## 4.2 Letak *Layout*

Dalam menentukan letak posisi *intake*, kolam penenang, dan rumah pembangkit penulis dibantu dengan aplikasi google earth. Langkah yang dilakukan dalam menentukan posisi *layout* dengan cara melihat kontur yang memotong pada sungai dan meneruskannya hingga dapat ketinggian (*head*) yang diinginkan. Dengan bantuan menggunakan aplikasi Google Earth maka elevasi bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1: Hasil elevasi pada bangunan yang diambil dari *software* Google Earth.

Bangunan	Elevasi
<i>Intake</i>	± 181
Kolam Penenang	± 178
<i>Power House</i>	± 163

Pengambilan air dari Sungai Bingai dilakukan dengan mengalirkan air dari sungai ke saluran pengelak dengan membuat *intake*/pengambilan pada elevasi ±181 m . Selanjutnya air dialirkan pada saluran pembawa dengan panjang 508 m menuju kolam penenang, kemudian dari kolam penenang diteruskan menuju pipa *penstock* sepanjang 371 m dan nantinya berakhir di *powerhouse* pada elevasi ± 163 m. Sehingga didapat *head* sebesar = el. headpond – el. *power house*  
 $Head = 178\text{ m} - 163\text{ m} = 12\text{ m}$



Gambar 4.2: Potongan melintang layout dan elevasi bangunan PLTMH.

### 4.3 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi merupakan bagian analisis awal dalam kegiatan pengembangan sumber daya air. Hasil analisis yang diperoleh nantinya sangat berguna untuk karakter bangunan hidraulik yang akan dipakai.

Dalam penelitian tugas akhir ini, data hujan yang diperoleh dari 1 (satu) stasiun penakar hujan yang tedekat dari lokasi penelitian, yaitu St. Tongkoh selama 10 tahun terakhir. Data jumlah hari hujan diperoleh dari St. Tongkoh dan data Evapotranspirasi diperoleh dari St. Kecamatan Serapit Langkat. Adapun data-data tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2: Data curah hujan bulanan Stasiun Tongkoh (BMKG, 2017).

TAHUN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2007	188	198	162	268	316	202	122	178	180	436	186	222
2008	168	216	538	294	52	264	216	232	170	484	242	242
2009	336	96	288	268	154	58	50	86	134	320	400	306
2010	206	204	124	266	160	202	248	268	284	68	364	334
2011	258	226	188	252	216	126	6	596	158	208	320	234
2012	62	292	224	334	224	104	230	202	76	464	482	328
2013	328	502	178	332	264	110	46	234	190	468	350	466
2014	158	68	136	530	144	68	36	244	184	492	412	372
2015	220	125	44	343	200	299	61	206	169	494	338	269
2016	304	296	265	192	304	82	101	84	89	35	287	241

Tabel 4.3: Data jumlah hari hujan Stasiun Tongkoh (BPS, 2017).

TAHUN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2007	12	18	8	14	18	15	14	16	19	17	18	11
2008	7	6	12	10	10	9	0	0	0	0	18	0
2009	16	10	21	15	22	7	14	22	22	25	22	9
2010	9	7	14	14	21	20	22	16	21	20	27	22
2011	15	5	23	8	15	11	9	11	12	22	21	17
2012	15	12	30	3	19	7	6	15	13	18	20	17
2013	12	19	5	9	14	10	10	17	14	17	14	20
2014	6	3	5	9	15	7	6	15	19	17	15	16
2015	11	6	6	14	11	5	11	17	13	19	25	13
2016	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x

Tabel 4.4: Data evapotranspirasi St. Kecamatan Serapit Langkat (BMKG, 2017).

TAHUN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2006	3.3	4.0	3.9	3.6	4.0	3.6	3.8	4.2	3.4	3.0	3.2	3.5
2007	3.2	4.6	4.0	3.3	4.4	3.5	3.8	4.5	3.8	3.2	3.6	3.3
2008	3.2	3.9	3.3	2.8	4.0	2.9	2.9	3.6	3.6	2.8	2.9	2.7
2009	3.2	3.9	3.3	2.8	4.0	2.9	2.9	3.6	3.6	2.8	2.9	2.7
2010	3.2	4.2	4.1	3.6	4.2	4.0	4.2	4.5	3.7	3.2	3.4	3.6
2011	3.5	4.5	4.0	3.6	4.2	4.2	3.9	4.1	3.8	3.6	3.5	3.4
2012	3.5	4.3	4.1	3.7	4.4	4.2	3.9	4.5	3.9	3.3	4.1	3.6
2013	3.9	4.3	4.5	3.7	4.6	4.0	4.0	4.0	3.8	3.4	3.4	3.1
2014	3.5	4.3	4.1	3.8	4.1	3.9	3.9	3.5	3.4	3.1	3.6	3.2
2015	3.5	4.5	4.0	3.6	4.2	4.2	3.9	4.1	3.8	3.6	3.5	3.4

### 4.3.1 Analisa Debit Andalan dengan Metode Mock

Adapun langkah perhitungan ketersediaan air atau debit andalan pada DAS Bingai dengan Metode Mock dapat dilihat pada contoh perhitungan pada bulan Januari tahun 2007 sebagai berikut:

1. Data Meteorologi
  - a. Curah hujan bulanan (P) = 188 mm/bln
  - b. Jumlah hari hujan = 12 hari
  - c. Jumlah hari = 31 hari
2. Evapotranspirasi Potensial (Eto) = 3,2 mm/hari
  - a.  $E_{pm} = E_{to} \times \text{Jumlah hari}$   
 $= 3,2 \times 31$   
 $= 99,2 \text{ mm/bln}$
3. Limited Evapotranspirasi (EI)
  - a. Exposed Surface (m) = 30 %
  - b.  $E = \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - n)$   
 $= \left(\frac{30}{20}\right) \times (18 - 12)$   
 $= 9$
  - c.  $EI = E_{pm} - E$   
 $= 90,2 \text{ mm/bln}$
4. Water Surplus
  - a.  $\Delta s = (P - EI)$

$$= 188 - 90,2$$

$$= 97,80 \text{ mm/bln}$$

b.  $SMC = ISMC + (P - EI) ; ISMC = 250$

$$= 250 + 97,80$$

$$= 347,80 \text{ mm/bln}$$

c. Soil Storage = 0,00 mm/bln

d. Water Surplus =  $\Delta s + S_s$

$$= 97,80 + 0,00$$

$$= 97,80 \text{ mm/bln}$$

#### 5. Total Run Off

a. Koefisien infiltrasi (if) = 0,50

b. Infiltrasi = Water surplus x if

$$= 97,80 \times 0,50$$

$$= 48,90 \text{ mm/bln}$$

c. Konstanta resesi aliran (K) = 0,70

d. Percentage Factor (PF) = 0,50

e. Volume air tanah (Gs) =  $\frac{1}{2} \times (1 + K) \times I$

$$= \frac{1}{2} \times (1 + 0,70) \times 48,90$$

$$= 41,57$$

f.  $L = K \times V_n - 1 ; V_n = 50$

$$= 0,70 \times (50 - (12 - 1))$$

$$= 24,00$$

g.  $\Delta V_n = V_n - (V_n - 1)$

$$= 50 - 24,00$$

$$= 26,00 \text{ mm/bln}$$

h. Base Flow = Infiltrasi -  $\Delta V_n$

$$= 48,90 - 26,00$$

$$= 22,90$$

i. Direct Run Off = Water Surplus - infiltrasi

$$= 97,80 - 48,90$$

$$= 48,90 \text{ mm/bln}$$

j. Strom Run Off =  $P \times PF$  (Jika  $P > 250, SRO = 0$ )

$$= 188 \times 0.5$$

$$= 94,00 \text{ mm/bln}$$

k. Total Run Off = Base flow + DRO + SRO

$$= 22,90 + 48,90 + 94,00$$

$$= 165,80 \text{ mm/bln}$$

l. Chactment Area = 228,14 km<sup>2</sup>

m. Stream Flow =  $\frac{\text{Total run off} \times \text{Chacment area} \times 1000}{\text{Jumlah hari} \times 86400}$

$$= \frac{165,80 \times 228,14 \times 1000}{31 \times 86400}$$

$$= 14,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Perhitungan secara lengkap untuk bulan dan tahun selanjutnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.5: Rekapitulasi hasil perhitungan debit bulanan menggunakan Metode Mock.

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2007	14.12	13.09	9.50	8.86	8.80	14.03	5.70	9.61	11.19	16.57	12.13	15.83
2008	12.63	16.16	21.78	11.24	4.39	9.64	16.70	17.10	11.99	20.78	18.49	19.38
2009	17.87	4.53	8.87	9.54	7.73	2.55	2.13	3.66	6.91	10.91	15.54	11.55
2010	17.06	15.20	5.42	8.30	8.05	12.89	16.04	6.44	8.53	2.90	12.58	10.60
2011	10.65	17.14	10.77	8.05	13.62	6.08	0.26	23.48	9.64	13.29	10.65	16.34
2012	0.17	9.23	13.40	12.42	13.76	4.58	16.02	11.88	3.34	17.72	18.02	10.67
2013	16.19	19.67	10.42	11.87	6.24	4.94	1.96	15.43	12.51	17.83	12.85	17.97
2014	10.77	3.10	7.18	21.74	7.18	2.99	1.53	17.25	12.17	19.46	15.61	13.51
2015	17.63	6.35	1.87	12.20	12.45	22.90	2.60	12.71	10.60	18.66	11.26	8.38
2016	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rata-rata	13.01	11.61	9.91	11.58	9.14	8.96	6.99	13.06	9.65	15.34	14.13	13.80

Keterangan: x = Data tidak didapatkan.

#### 4.4 Analisa Kurva Durasi Debit

Untuk mengetahui probabilitas/kemungkinan yang terjadi pada debit. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Mengurutkan semua debit bulanan mulai dari yang terbesar hingga terkecil
2. Memberi penomoran pada nilai debit yang telah diurutkan
3. Menghitung jumlah banyaknya data

Jumlah data = 119

4. Menghitung probabilitas yang terjadi

$$probabilitas = \frac{n}{\sum data} \times 100\%$$

$$probabilitas = \frac{1}{108} \times 100\%$$

$$= 0,93$$

Hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.6:

Tabel 4.6: Probabilitas kejadian debit di Sungai Bingai 2007-2015.

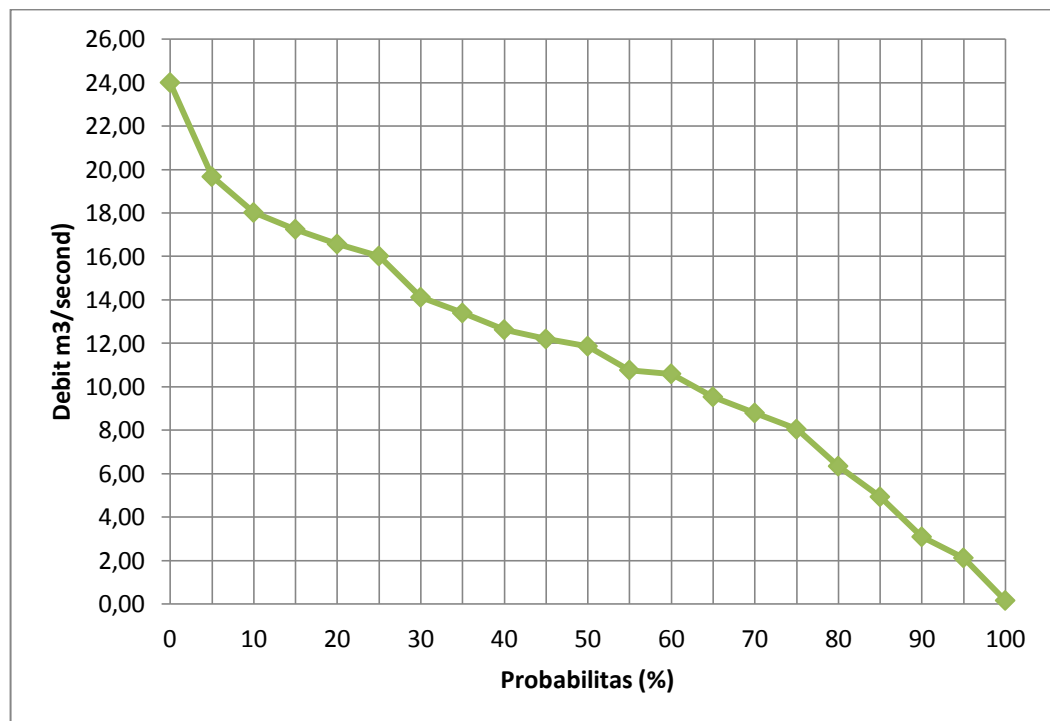
No	Prob	Debit	No	Prob	Debit	No	Prob	Debit
1	0.93	23.48	37	34.26	13.51	73	67.59	9.23
2	1.85	22.9	38	35.19	13.4	74	68.52	8.87
3	2.78	21.78	39	36.11	13.29	75	69.44	8.86
4	3.70	21.74	40	37.04	13.09	76	70.37	8.8
5	4.63	20.78	41	37.96	12.89	77	71.30	8.53
6	5.56	19.67	42	38.89	12.85	78	72.22	8.38
7	6.48	19.46	43	39.81	12.71	79	73.15	8.3
8	7.41	19.38	44	40.74	12.63	80	74.07	8.05
9	8.33	18.66	45	41.67	12.58	81	75.00	8.05
10	9.26	18.49	46	42.59	12.51	82	75.93	7.73
11	10.19	18.02	47	43.52	12.45	83	76.85	7.18
12	11.11	17.97	48	44.44	12.42	84	77.78	7.18
13	12.04	17.87	49	45.37	12.2	85	78.70	6.91
14	12.96	17.83	50	46.30	12.17	86	79.63	6.44
15	13.89	17.72	51	47.22	12.13	87	80.56	6.35
16	14.81	17.63	52	48.15	11.99	88	81.48	6.24
17	15.74	17.25	53	49.07	11.88	89	82.41	6.08
18	16.67	17.14	54	50.00	11.87	90	83.33	5.7
19	17.59	17.1	55	50.93	11.55	91	84.26	5.42
20	18.52	17.06	56	51.85	11.26	92	85.19	4.94
21	19.44	16.7	57	52.78	11.24	93	86.11	4.58
22	20.37	16.57	58	53.70	11.19	94	87.04	4.53
23	21.30	16.34	59	54.63	10.91	95	87.96	4.39
24	22.22	16.19	60	55.56	10.77	96	88.89	3.66



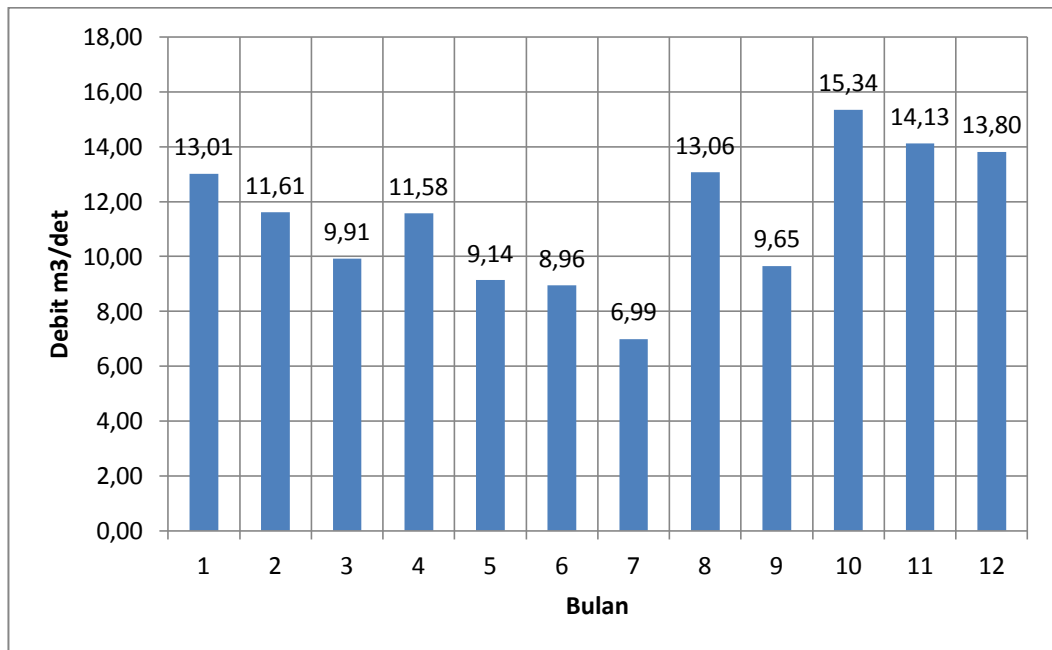
Tabel 4.6: Lanjutan.

No	Prob	Debit	No	Prob	Debit	No	Prob	Debit
25	23.15	16.16	61	56.48	10.77	97	89.81	3.34
26	24.07	16.04	62	57.41	10.67	98	90.74	3.1
27	25.00	16.02	63	58.33	10.65	99	91.67	2.99
28	25.93	15.83	64	59.26	10.65	100	92.59	2.9
29	26.85	15.61	65	60.19	10.6	101	93.52	2.6
30	27.78	15.54	66	61.11	10.6	102	94.44	2.55
31	28.70	15.43	67	62.04	10.42	103	95.37	2.13
32	29.63	15.2	68	62.96	9.64	104	96.30	1.96
33	30.56	14.12	69	63.89	9.64	105	97.22	1.87
34	31.48	14.03	70	64.81	9.61	106	98.15	1.53
35	32.41	13.76	71	65.74	9.54	107	99.07	0.26
36	33.33	13.62	72	66.67	9.5	108	100.00	0.17

Hasil grafik yang didapat dari nilai probabilitas terhadap debit dapat dilihat pada Gambar 4.3:



Gambar 4.3: Grafik hasil perhitungan *flow duration curve*.



Gambar 4.4: Grafik debit bulanan rata-rata.

#### 4.5 Analisa Hidrolika

Desain dasar bangunan utama PLTMH dimaksudkan untuk menghitung/memperkirakan bentuk serta dimensi dari bangunan-bangunan utama PLTMH, dalam hal ini akan dibahas perencanaan bangunan-bangunan sipil yang menjadi penunjang PLTMH yang meliputi:

- a. *Intake*.
- b. Saluran Pembawa.
- c. Pipa *Penstock*.

##### 4.5.1 *Intake*

Data:

$$Q_{85\%} = 4,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

Rencana pintu *intake*, direncanakan lebar pintu ( $b$ ) = 2 m

Debit melalui *intake* =  $k \times \square \times w \times b \cdot \sqrt{2 \times g \times h}$ , dengan:

$k$  = koefisien aliran ; 0,8

$\square$  = koefisien debit ; 0,8

$h$  = tinggi di hulu ; direncanakan 1,5 m

$$Q = k \times \square \times w \times b \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$4,94 = 0,8 \times 0,8 \times w \times 2 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,5}$$

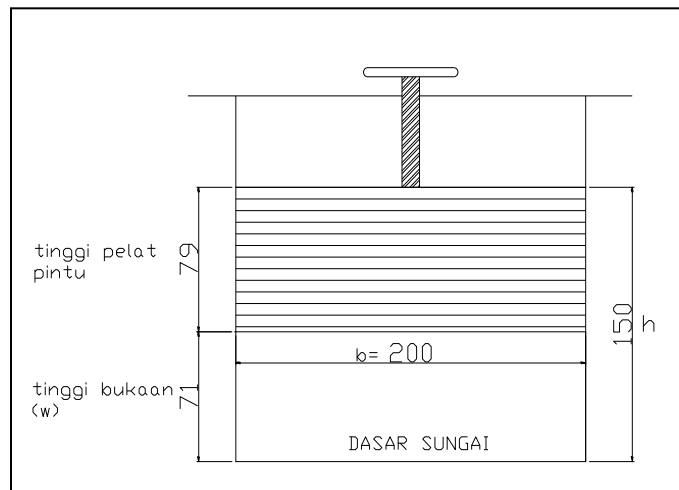
$$4,94 = 0,64 \times w \times 2 \times 5,422$$

$$4,94 = 6,94 \times w$$

$$w = \frac{4,94}{6,94}$$

$$= 0,71 \text{ m}$$

Jadi didapat bahwa tinggi bukaan pintu pada *intake* adalah 0,71 m. Untuk dimensi pintu intake dapat dilihat pada Gambar 4.4:



Gambar 4.5: Dimensi pintu *intake*.

#### 4.5.2 Saluran Pembawa

Saluran pembawa direncanakan berbentuk trapesium dari material beton. Untuk dapat mengetahui dimensi saluran maka dicari dengan menggunakan rumus Manning.

Dengan data:

$$\text{Elevasi awal} = 181 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi akhir} = 178 \text{ m}$$

$$L \text{ (panjang saluran)} = 508 \text{ m}$$

n (koef kekasaran saluran) = 0,02 (beton)

Q (debit) = 4,94 m<sup>3</sup>/s

Maka:

$$\begin{aligned} 1) \quad I (\text{kemiringan dasar saluran}) &= \frac{\text{elevasi awal} - \text{elevasi dasar}}{L (\text{panjang saluran})} \\ &= \frac{181 - 178}{508} \\ &= 0,0059 \end{aligned}$$

2) Dengan menggunakan rumus Manning,  $v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$

Direncanakan bentuk saluran trapesium, dengan b (lebar saluran) = 2 m dan m (kemiringan saluran) = 1 m

$$A = b \times h + m \times h^2$$

$$P = b + 2h \times \sqrt{m^2 + 1} \quad (\text{keliling basah})$$

$$Q = A \times V$$

$$4,94 = (b \times h + m \times h^2) \times \left( \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \right)$$

$$4,94 = (b \times h + 1 \times h^2) \times \left( \frac{1}{0,02} \times \left[ \frac{A}{P} \right]^{2/3} \times 0,0059^{1/2} \right)$$

$$4,94 = (2h + h^2) \times \frac{1}{0,02} \times \left[ \frac{b \times h + m \times h^2}{b + 2h \times \sqrt{m^2 + 1}} \right]^{2/3} \times 0,076$$

$$4,94 = 2h + h^2 \times 50 \times \left[ \frac{2h + h^2}{2 + 2h \times \sqrt{1^2 + 1}} \right]^{2/3} \times 0,076$$

$$4,94 = 2h + h^2 \times \left[ \frac{2h + h^2}{2 + 2,83h} \right]^{2/3} \times 3,842$$

Dengan menggunakan metode trial & error maka diperoleh h = 0,7 m

3) Check bilangan Froude

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h}}$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{0,002} \times \left[ \frac{A^2}{P} \right]^{\frac{2}{3}} \times 0,0059^{\frac{1}{2}} \\
&= \frac{1}{0,002} \times \left[ \frac{b \times h + m \times h^2}{b + 2h \times \sqrt{m^2 + 1^2}} \right]^{\frac{2}{3}} \times 0,076 \\
&= \frac{1}{0,002} \times \left[ \frac{2h + h^2}{2 + 2h \times \sqrt{1^2 + 1^2}} \right]^{\frac{2}{3}} \times 0,076 \\
&= \frac{1}{0,002} \times \left[ \frac{2h + h^2}{2 + 2,83h} \right]^{\frac{2}{3}} \times 0,076 \\
&= \frac{1}{0,002} \times \left[ \frac{2 \times 0,7 + 0,7^2}{2 + 2,83 \times 0,7} \right]^{\frac{2}{3}} \times 0,076 \\
&= 2,26 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h}}$$

$$= \frac{2,26}{\sqrt{9,8 \times 0,7}}$$

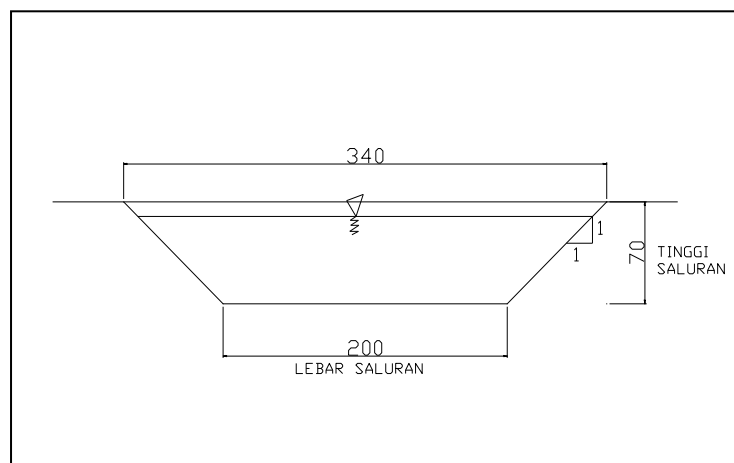
= 0,866 < 1 ..... (oke) → Aliran Subkritis

Check kecepatan saluran

V = 2,26 m/s , untuk beton v max = 2,5 m/s > v = 2,26 m/s ..... (oke)

$$\begin{aligned}
\text{Lebar atas saluran} &= b + (2 \times m \times h) \\
&= 2 + (2 \times 1 \times 0,7) \\
&= 3,4 \text{ m}
\end{aligned}$$

Maka untuk dimensi saluran pembawa dapat dilihat pada Gambar 4.5:



Gambar 4.6: Dimensi saluran pembawa.

### 4.5.3 Pipa Penstock

Pipa penstock direncanakan memakai material pipa baja galvanis dengan panjang pipa direncanakan 371 m dan tinggi (head) = 12 m.

$$\begin{aligned}L \text{ pipa} &= \sqrt{L_{horizontal}^2 + H_{gross}^2} \\ &= \sqrt{371^2 + 12^2} \\ &= 371,194 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= 0,125 \times \sqrt{2 \times g \times h} \\ &= 0,125 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 12} \\ &= 1,91 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Maka diameter pipa penstock:

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{Q}{V}$$

$$0,785 \times d^2 = \frac{4,94}{1,91}$$

$$d = 1,4222 \text{ m}$$

Diameter dalam pipa:

$$t = \frac{D+80}{40}$$

$$t = \frac{142,22+80}{40}$$

$$= 5,55 \text{ cm}$$

Diameter dalam pipa penstock adalah  $142,22 - 5,55 = 136,65 \text{ cm} \approx 1366,5 \text{ mm}$

- Kehilangan head pada dinding

Dari tabel didapat koefisien gesekan K untuk pipa baja ringan galvanis dengan umur kondisi 30 tahun (>15 tahun) adalah 0,3.

$$k/d = \frac{0,3}{1366,5}$$

$$= 0,00022$$

$$1,2 Q/d = 1,2 \times \frac{4,94}{1,366}$$

$$= 4,35$$

Maka, melalui grafik pada Gambar 2.7 kehilangan akibat gesekan didapat faktor gesekan ( $f_l$ ) sebesar = 0,014

$$H \text{ kehilangan pada dinding akibat gesekan} = \frac{fL \cdot L_{\text{pipa}} \cdot 0,08 \cdot Q^2}{d^5}$$

$$= \frac{0,014 \times 371,194 \times 0,08 \times 4,94^2}{1,366^5}$$

$$= 2,13 \text{ m}$$

- Kehilangan *head* pada turbin

Dari tabel didapat faktor kehilangan akibat turbulen aliran pada pipa, diasumsikan pipa pesat tidak membengkok, namun terdapat putaran pada bukaan klep ( $K_{\text{valve}}$ ) = 0,1 dan ketajaman sudut masuk ( $K_{\text{entrance}}$ ) = 0,8 maka harga kehilangan *head* pada turbin adalah:

$$H \text{ kehilangan pada turbin} = \frac{V^2}{2 \cdot g} (K_{\text{valve}} + K_{\text{entrance}})$$

$$= \frac{4,94^2}{2 \times 9,8} (0,1 + 0,8)$$

$$= 1,12 \text{ m}$$

$$H \text{ kehilangan akibat gesekan} = h \text{ kehilangan pada dinding} + h \text{ kehilangan pada turbin}$$

$$= 2,13 + 1,12$$

$$= 3,25 \text{ m}$$

$$\% \text{ kehilangan} = \frac{H_{\text{loss}}}{H_{\text{gross}}} \times 100\%$$

$$= \frac{3,25}{12} \times 100\%$$

$$= 27 \%$$

$$\text{Efisiensi penstock} = \frac{(H_{\text{gross}} - H_{\text{loss}})}{H_{\text{gross}}}$$

$$= \frac{(12 - 3,25)}{12}$$

$$= 0,72$$

#### 4.6 Estimasi Produk Energi Listrik yang Dihasilkan

Besarnya potensi yang didapat dari perbedaan tinggi sungai antara bendung dan *powerhouse* sebesar H, maka daya yang dapat dibangkitkan karena perbedaan tinggi ini adalah sebesar:

$$P = g \cdot Q \cdot H_{eff} \cdot \eta_{tot} \text{ (kw)}$$

Debit rencana diambil pada probabilitas kejadian 85%, sehingga diperoleh  $Q = 4,94 \text{ m}^3/\text{det}$ , Hnetto diperoleh sebesar 12 m. Pada penelitian ini, efisiensi turbin dan generator dipakai adalah 90% dan efisiensi *penstock* diperoleh 0,72 . Dengan demikian, maka daya listrik *output* adalah:

$$\begin{aligned} P &= g \cdot Q \cdot H_{eff} \cdot \eta_{tot} \\ &= 9,8 \times 4,94 \times 12 \times 0,9 \times 0,72 \\ &= 376,4517 \text{ KW} \\ &\approx 376.451,7 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan besar daya listrik yang dapat dihasilkan sebesar 376,4517 KW maka pembangkit listrik tenaga air di DAS Bingai terklasifikasi dalam pembangkit listrik tenaga mini hidro dikarenakan besarnya daya listrik yang dihasilkan >100 KW.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 9.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya dengan memperhatikan rumusan masalah, maka penulis dapat menyimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Dari perhitungan dan analisis yang telah dilakukan diperkirakan terdapat potensi debit DAS Bingai sebesar  $4,94 \text{ m}^3/\text{det}$  (probabilitas kejadian 85%) dan tinggi jatuh efektif (*head*) 12 m.
2. Dari hasil perhitungan analisis debit andalan dan tinggi jatuh efektif (*head*) maka diindikasikan potensi daya listrik yang dapat dihasilkan oleh DAS Bingai adalah sebesar  $376,4517 \text{ KW} \approx 376.451,7 \text{ Watt}$ .
3. Dari analisa hidrolika dalam perencanaan desain bangunan di PLTMH DAS Bingai, didapatkan:
  - a. Tinggi bukaan pintu intake 0,71 m dengan tinggi pelat pintu intake 0,79 m dan lebar pintu 2 m.
  - b. Saluran pembawa direncanakan berbentuk trapesium dari material beton dengan lebar bawah saluran 2 m dan lebar saluran atas 3,4 m. Tinggi saluran didapatkan 0,7 m dengan total panjang saluran pembawa 508 m.
  - c. Diameter pipa *penstock* 1,42 m dengan panjang pipa 371 m serta didapatkan efisiensi *penstock* sebesar 0,72.

#### 9.2 Saran

1. Perlu dilakukan survey hidrometri dan topografi lebih lanjut di lokasi yang akan direncanakan untuk pembangunan PLTMH, guna mendapatkan hasil potensi debit dan daya listrik yang lebih akurat yang dihasilkan pada DAS Bingai.
2. Perlu adanya analisis mengenai tinggi banjir sungai untuk mendapatkan posisi yang sesuai dan mengantisipasi agar *power house* yang direncanakan tidak terendam pada saat debit sungai sedang banjir.

3. Untuk mendapatkan manfaat ekonomis dalam pembangunan PLTMH, sebaiknya dilakukan analisa studi kelayakan perencanaan pembangunan PLTMH.
4. PLTMH merupakan suatu jenis energi yang baru dan terbarukan yang potensinya cukup besar dan mudah didapat. Mengingat potensi yang dihasilkan oleh PLTMH sangat bermanfaat diharapkan penelitian dan pengembangan serta pembangunan PLMTH ini dapat dioptimalkan semaksimal mungkin oleh siapapun baik melalui pemerintah yang berwenang ataupun pihak swasta.

# LAMPIRAN

Tabel L1: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2007.

No	Data	Unit	Kons	2007											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		188	198	162	268	316	202	122	178	180	436	186	222
2	Hari Hujan	n;hari		12	18	8	14	18	15	14	16	19	17	18	11
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.2	4.6	4	3.3	4.4	3.5	3.8	4.5	3.8	3.2	3.6	3.3
4	Epm	mm/bulan		99.2	128.8	124	99	136.4	105	117.8	139.5	114	99.2	108	102.3
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		9	0	15	6	0	4.5	6	3	-1.5	1.5	0	10.5
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		90.2	128.8	109	93	136.4	100.5	111.8	136.5	115.5	97.7	108	91.8
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		97.80	69.20	53.00	175.00	179.60	101.50	10.20	41.50	64.50	338.30	78.00	130.20
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	347.80	319.20	303.00	425.00	429.60	351.50	260.20	291.50	314.50	588.30	328.00	380.20
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		97.80	69.20	53.00	175.00	179.60	101.50	10.20	41.50	64.50	338.30	78.00	130.20
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		48.90	34.60	26.50	87.50	89.80	50.75	5.10	20.75	32.25	169.15	39.00	65.10
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L1: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2007											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		41.57	29.41	22.53	74.38	76.33	43.14	4.34	17.64	27.41	143.78	33.15	55.34
18	$K \times V_{n-1}$			24.00	18.00	26.19	21.10	49.83	74.31	69.22	36.49	19.89	17.11	95.62	80.14
19	$V_n$			50.00	47.41	48.71	95.47	126.16	117.45	73.55	54.12	47.30	160.89	128.77	135.47
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		26.00	29.41	22.53	74.38	76.33	43.14	4.33	17.64	27.41	143.78	33.15	55.34
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		22.90	5.19	3.98	13.13	13.47	7.61	0.77	3.11	4.84	25.37	5.85	9.77
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		48.90	34.60	26.50	87.50	89.80	50.75	5.10	20.75	32.25	169.15	39.00	65.10
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		94.00	99.00	81.00	0.00	0.00	101.00	61.00	89.00	90.00	0.00	93.00	111.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		165.80	138.79	111.48	100.63	103.27	159.36	66.87	112.86	127.09	194.52	137.85	185.87
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		14.12	13.09	9.50	8.86	8.80	14.03	5.70	9.61	11.19	16.57	12.13	15.83

Tabel L2: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2008.

No	Data	Unit	Kons	2008											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		168	216	538	294	52	264	216	232	170	484	242	242
2	Hari Hujan	n;hari		7	6	12	10	10	9	0	0	0	0	18	0
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.2	3.9	3.3	2.8	4	2.9	2.9	3.6	3.6	2.8	2.9	2.7
4	Epm	mm/bulan		99.2	113.1	102.3	84	124	87	89.9	111.6	108	86.8	87	83.7
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		16.5	18	9	12	12	13.5	27	27	27	27	0	27
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		82.7	95.1	93.3	72	112	73.5	62.9	84.6	81	59.8	87	56.7
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		85.30	120.90	444.70	222.00	-60.00	190.50	153.10	147.40	89.00	424.20	155.00	185.30
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	335.30	370.90	694.70	472.00	190.00	440.50	403.10	397.40	339.00	674.20	405.00	435.30
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	0.00	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		85.30	120.90	444.70	222.00	0.00	190.50	153.10	147.40	89.00	424.20	155.00	185.30
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		42.65	60.45	222.35	111.00	0.00	95.25	76.55	73.70	44.50	212.10	77.50	92.65
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L2: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2008											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		36.25	51.38	189.00	94.35	0.00	80.96	65.07	62.65	37.83	180.29	65.88	78.75
18	$K \times V_{n-1}$			29.00	30.00	45.97	155.48	165.88	108.11	133.35	139.90	142.78	127.42	198.39	185.99
19	$V_n$			50.00	81.38	234.97	249.83	165.88	189.08	198.42	202.54	180.60	307.71	264.27	264.74
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		21.00	51.38	189.00	94.35	0.00	80.96	65.07	62.65	37.83	180.29	65.88	78.75
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		21.65	9.07	33.35	16.65	0.00	14.29	11.48	11.06	6.68	31.82	11.63	13.90
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		42.65	60.45	222.35	111.00	0.00	95.25	76.55	73.70	44.50	212.10	77.50	92.65
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		84.00	108.00	0.00	0.00	51.50	0.00	108.00	116.00	85.00	0.00	121.00	121.00
24	Total Run Off= $B_{flow} + DRO + SRO$	mm/bulan		148.30	177.52	255.70	127.65	51.50	109.54	196.03	200.76	136.18	243.92	210.13	227.55
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		12.63	16.16	21.78	11.24	4.39	9.64	16.70	17.10	11.99	20.78	18.49	19.38

Tabel L3: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2009.

No	Data	Unit	Kons	2009											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		336	96	288	268	154	58	50	86	134	320	400	306
2	Hari Hujan	n;hari		16	10	21	15	22	7	14	22	22	25	22	9
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.2	3.9	3.3	2.8	4	2.9	2.9	3.6	3.6	2.8	2.9	2.7
4	Epm	mm/bulan		99.2	109.2	102.3	84	124	87	89.9	111.6	108	86.8	87	83.7
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		3	12	-4.5	4.5	-6	16.5	6	-6	-6	-10.5	-6	13.5
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		96.2	97.2	106.8	79.5	130	70.5	83.9	117.6	114	97.3	93	70.2
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		239.80	-1.20	181.20	188.50	24.00	-12.50	-33.90	-31.60	20.00	222.70	307.00	235.80
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	489.80	248.80	431.20	438.50	274.00	237.50	216.10	218.40	270.00	472.70	557.00	485.80
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	12.50	33.90	31.60	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		239.80	0.00	181.20	188.50	24.00	0.00	0.00	0.00	20.00	222.70	307.00	235.80
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		119.90	0.00	90.60	94.25	12.00	0.00	0.00	0.00	10.00	111.35	153.50	117.90
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50



Tabel L3: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2009											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		101.92	0.00	77.01	80.11	10.20	0.00	0.00	0.00	8.50	94.65	130.48	100.22
18	$K \times V_{n-1}$			20.00	26.00	-1.80	38.65	62.13	44.63	18.24	-8.23	-26.76	-36.78	19.51	96.99
19	$V_n$			50.00	26.00	75.21	118.76	72.33	44.63	18.24	-8.23	-18.26	57.86	149.98	197.20
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		30.00	0.00	77.01	80.11	10.20	0.00	0.00	0.00	8.50	94.65	130.48	100.22
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		89.90	0.00	13.59	14.14	1.80	0.00	0.00	0.00	1.50	16.70	23.03	17.69
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		119.90	0.00	90.60	94.25	12.00	0.00	0.00	0.00	10.00	111.35	153.50	117.90
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		0.00	48.00	0.00	0.00	77.00	29.00	25.00	43.00	67.00	0.00	0.00	0.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		209.80	48.00	104.19	108.39	90.80	29.00	25.00	43.00	78.50	128.05	176.53	135.59
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		17.87	4.53	8.87	9.54	7.73	2.55	2.13	3.66	6.91	10.91	15.54	11.55

Tabel L4: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2010.

No	Data	Unit	Kons	2010											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		206	204	124	266	160	202	248	268	284	68	364	334
2	Hari Hujan	n;hari		9	7	14	14	21	20	22	16	21	20	27	22
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.2	4.2	4.1	3.6	4.2	4	4.2	4.5	3.7	3.2	3.4	3.6
4	Epm	mm/bulan		99.2	117.6	127.1	108	130.2	120	130.2	139.5	111	99.2	102	111.6
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		13.5	16.5	6	6	-4.5	-3	-6	3	-4.5	-3	-13.5	-6
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		85.7	101.1	121.1	102	134.7	123	136.2	136.5	115.5	102.2	115.5	117.6
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		120.30	102.90	2.90	164.00	25.30	79.00	111.80	131.50	168.50	-34.20	248.50	216.40
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	370.30	352.90	252.90	414.00	275.30	329.00	361.80	381.50	418.50	215.80	498.50	466.40
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		120.30	102.90	2.90	164.00	25.30	79.00	111.80	131.50	168.50	0.00	248.50	216.40
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		60.15	51.45	1.45	82.00	12.65	39.50	55.90	65.75	84.25	0.00	124.25	108.20
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L4: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2010											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		51.13	43.73	1.23	69.70	10.75	33.58	47.52	55.89	71.61	0.00	105.61	91.97
18	$K \times V_{n-1}$			27.00	29.00	37.91	14.40	38.87	15.74	13.52	27.72	38.53	58.10	14.67	63.20
19	$V_n$			50.00	72.73	39.15	84.10	49.62	49.31	61.03	83.61	110.14	58.10	120.28	155.17
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		23.00	43.73	1.23	69.70	10.75	33.58	47.52	55.89	71.61	0.00	105.61	91.97
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		37.15	7.72	0.22	12.30	1.90	5.93	8.39	9.86	12.64	0.00	18.64	16.23
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		60.15	51.45	1.45	82.00	12.65	39.50	55.90	65.75	84.25	0.00	124.25	108.20
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		103.00	102.00	62.00	0.00	80.00	101.00	124.00	0.00	0.00	34.00	0.00	0.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		200.30	161.17	63.67	94.30	94.55	146.43	188.29	75.61	96.89	34.00	142.89	124.43
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		17.06	15.20	5.42	8.30	8.05	12.89	16.04	6.44	8.53	2.90	12.58	10.60

Tabel L5: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2011.

No	Data	Unit	Kons	2011											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		258	226	188	252	216	126	6	596	158	208	320	234
2	Hari Hujan	n;hari		15	5	23	8	15	11	9	11	12	22	21	17
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.5	4.5	4	3.6	4.2	4.2	3.9	4.1	3.8	3.6	3.5	3.4
4	Epm	mm/bulan		108.5	126	124	108	130.2	126	120.9	127.1	114	111.6	105	105.4
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		4.5	19.5	-7.5	15	4.5	10.5	13.5	10.5	9	-6	-4.5	1.5
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		104	106.5	131.5	93	125.7	115.5	107.4	116.6	105	117.6	109.5	103.9
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		154.00	119.50	56.50	159.00	90.30	10.50	101.40	479.40	53.00	90.40	210.50	130.10
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	404.00	369.50	306.50	409.00	340.30	260.50	148.60	729.40	303.00	340.40	460.50	380.10
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		154.00	119.50	56.50	159.00	90.30	10.50	0.00	479.40	53.00	90.40	210.50	130.10
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		77.00	59.75	28.25	79.50	45.15	5.25	0.00	239.70	26.50	45.20	105.25	65.05
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L5: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2011											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		65.45	50.79	24.01	67.58	38.38	4.46	0.00	203.75	22.53	38.42	89.46	55.29
18	$K \times V_{n-1}$			21.00	31.00	35.25	34.48	57.44	57.07	35.08	14.55	141.81	94.03	72.72	97.53
19	$V_n$			50.00	81.79	59.26	102.06	95.82	61.54	35.08	218.30	164.33	132.45	162.18	152.82
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		29.00	50.79	24.01	67.58	38.38	4.46	0.00	203.75	22.53	38.42	89.46	55.29
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		48.00	8.96	4.24	11.93	6.77	0.79	0.00	35.96	3.97	6.78	15.79	9.76
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		77.00	59.75	28.25	79.50	45.15	5.25	0.00	239.70	26.50	45.20	105.25	65.05
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		0.00	113.00	94.00	0.00	108.00	63.00	3.00	0.00	79.00	104.00	0.00	117.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		125.00	181.71	126.49	91.43	159.92	69.04	3.00	275.66	109.48	155.98	121.04	191.81
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		10.65	17.14	10.77	8.05	13.62	6.08	0.26	23.48	9.64	13.29	10.65	16.34

Tabel L6: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2012.

No	Data	Unit	Kons	2012											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
<b>A</b>	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		62	292	224	334	224	104	230	202	76	464	482	328
2	Hari Hujan	n;hari		15	12	30	3	19	7	6	15	13	18	20	17
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>B</b>	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.5	4.3	4.1	3.7	4.4	4.2	3.9	4.5	3.9	3.3	4.1	3.6
4	Epm	mm/bulan		108.5	124.7	127.1	111	136.4	126	120.9	139.5	117	102.3	123	111.6
<b>C</b>	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		4.5	9	-18	22.5	-1.5	16.5	18	4.5	7.5	0	-3	1.5
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		104	115.7	145.1	88.5	137.9	109.5	102.9	135	109.5	102.3	126	110.1
<b>D</b>	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		-42.00	176.30	78.90	245.50	86.10	-5.50	127.10	67.00	-33.50	361.70	356.00	217.90
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	208.00	426.30	328.90	495.50	336.10	244.50	377.10	317.00	216.50	611.70	606.00	467.90
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		42.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	0.00	33.50	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		0.00	176.30	78.90	245.50	86.10	0.00	127.10	67.00	0.00	361.70	356.00	217.90
<b>E</b>	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		0.00	88.15	39.45	122.75	43.05	0.00	63.55	33.50	0.00	180.85	178.00	108.95
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L6: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2012											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		0.00	74.93	33.53	104.34	36.59	0.00	54.02	28.48	0.00	153.72	151.30	92.61
18	$K \times V_{n-1}$			21.00	24.00	40.25	49.65	89.79	82.47	52.73	60.72	50.44	18.31	101.42	160.90
19	$V_n$			50.00	98.93	73.78	153.98	126.38	82.47	106.74	89.20	50.44	172.03	252.72	253.51
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		29.00	74.93	33.53	104.34	36.59	0.00	54.02	28.48	0.00	153.72	151.30	92.61
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		-29.00	13.22	5.92	18.41	6.46	0.00	9.53	5.03	0.00	27.13	26.70	16.34
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		0.00	88.15	39.45	122.75	43.05	0.00	63.55	33.50	0.00	180.85	178.00	108.95
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		31.00	0.00	112.00	0.00	112.00	52.00	115.00	101.00	38.00	0.00	0.00	0.00
24	Total Run Off= $B_{flow} + DRO + SRO$	mm/bulan		2.00	101.37	157.37	141.16	161.51	52.00	188.08	139.53	38.00	207.98	204.70	125.29
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		0.17	9.23	13.40	12.42	13.76	4.58	16.02	11.88	3.34	17.72	18.02	10.67

Tabel L7: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2013.

No	Data	Unit	Kons	2013											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		328	502	178	332	264	110	46	234	190	468	350	466
2	Hari Hujan	n;hari		12	19	5	9	14	10	10	17	14	17	14	20
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.9	4.3	4.5	3.7	4.6	4	4	4	3.8	3.4	3.4	3.1
4	Epm	mm/bulan		120.9	124.7	139.5	111	142.6	120	124	124	114	105.4	102	96.1
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		9	-1.5	19.5	13.5	6	12	12	1.5	6	1.5	6	-3
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		111.9	126.2	120	97.5	136.6	108	112	122.5	108	103.9	96	99.1
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		216.10	375.80	58.00	234.50	127.40	2.00	-66.00	111.50	82.00	364.10	254.00	366.90
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	466.10	625.80	308.00	484.50	377.40	252.00	184.00	361.50	332.00	614.10	504.00	616.90
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		216.10	375.80	58.00	234.50	127.40	2.00	0.00	111.50	82.00	364.10	254.00	366.90
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		108.05	187.90	29.00	117.25	63.70	1.00	0.00	55.75	41.00	182.05	127.00	183.45
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50



Tabel L7: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2014											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		91.84	159.72	24.65	99.66	54.15	0.85	0.00	47.39	34.85	154.74	107.95	155.93
18	$K \times V_{n-1}$			24.00	17.00	119.70	93.05	121.90	114.23	71.55	34.09	44.03	39.22	122.77	142.51
19	$V_n$			50.00	176.72	144.35	192.71	176.04	115.08	71.55	81.48	78.88	193.96	230.72	298.44
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		26.00	159.72	24.65	99.66	54.15	0.85	0.00	47.39	34.85	154.74	107.95	155.93
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		82.05	28.19	4.35	17.59	9.55	0.15	0.00	8.36	6.15	27.31	19.05	27.52
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		108.05	187.90	29.00	117.25	63.70	1.00	0.00	55.75	41.00	182.05	127.00	183.45
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		0.00	0.00	89.00	0.00	0.00	55.00	23.00	117.00	95.00	0.00	0.00	0.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		190.10	216.09	122.35	134.84	73.26	56.15	23.00	181.11	142.15	209.36	146.05	210.97
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		16.19	19.67	10.42	11.87	6.24	4.94	1.96	15.43	12.51	17.83	12.85	17.97

Tabel L8: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2014.

No	Data	Unit	Kons	2014											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
<b>A</b>	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		158	68	136	530	144	68	36	244	184	492	412	372
2	Hari Hujan	n;hari		6	3	5	9	15	7	6	15	19	17	15	16
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>B</b>	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.5	4.3	4.1	3.8	4.1	3.9	3.9	3.5	3.4	3.1	3.6	3.2
4	Epm	mm/bulan		108.5	124.7	127.1	114	127.1	117	120.9	108.5	102	96.1	108	99.2
<b>C</b>	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		18	22.5	19.5	13.5	4.5	16.5	18	4.5	-1.5	1.5	4.5	3
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		90.5	102.2	107.6	100.5	122.6	100.5	102.9	104	103.5	94.6	103.5	96.2
<b>D</b>	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		67.50	-34.20	28.40	429.50	21.40	-32.50	-66.90	140.00	80.50	397.40	308.50	275.80
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	317.50	215.80	278.40	679.50	271.40	217.50	183.10	390.00	330.50	647.40	558.50	525.80
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	34.20	0.00	0.00	0.00	32.50	66.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		67.50	0.00	28.40	429.50	21.40	0.00	0.00	140.00	80.50	397.40	308.50	275.80
<b>E</b>	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		33.75	0.00	14.20	214.75	10.70	0.00	0.00	70.00	40.25	198.70	154.25	137.90
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L8: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2014											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		28.69	0.00	12.07	182.54	9.10	0.00	0.00	59.50	34.21	168.90	131.11	117.22
18	$K \times V_{n-1}$			30.00	33.00	19.10	13.82	123.45	86.78	55.75	25.02	41.17	36.76	129.96	167.75
19	$V_n$			50.00	33.00	31.17	196.36	132.54	86.78	55.75	84.52	75.38	205.66	261.07	284.97
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		20.00	0.00	12.07	182.54	9.10	0.00	0.00	59.50	34.21	168.90	131.11	117.22
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		13.75	0.00	2.13	32.21	1.61	0.00	0.00	10.50	6.04	29.81	23.14	20.69
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		33.75	0.00	14.20	214.75	10.70	0.00	0.00	70.00	40.25	198.70	154.25	137.90
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		79.00	34.00	68.00	0.00	72.00	34.00	18.00	122.00	92.00	0.00	0.00	0.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		126.50	34.00	84.33	246.96	84.31	34.00	18.00	202.50	138.29	228.51	177.39	158.59
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		10.77	3.10	7.18	21.74	7.18	2.99	1.53	17.25	12.17	19.46	15.61	13.51

Tabel L9: Hasil perhitungan debit andalan menggunakan Metode Mock tahun 2015.

No	Data	Unit	Kons	2015											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
A	<b>Meteorologi Data</b>														
1	Curah Hujan	P;mm/bulan		220	125	44	343	200	299	61	206	169	494	338	269
2	Hari Hujan	n;hari		11	6	6	14	11	5	11	17	13	19	25	13
3	Jumlah Hari	Hr;hari		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B	<b>Evapotranspirasi Potensial (Eto)</b>	mm/hari		3.5	4.5	4	3.6	4.2	4.2	3.9	4.1	3.8	3.6	3.5	3.4
4	Epm	mm/bulan		108.5	130.5	124	108	130.2	126	120.9	127.1	114	111.6	105	105.4
C	<b>Limited Evapotranspirasi (EI)</b>														
5	Expose Surface (m)	%		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
6	Epm/Eto	%		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	$E = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan		10.5	18	18	6	10.5	19.5	10.5	1.5	7.5	-1.5	-10.5	7.5
8	$EI = Epm - E$	mm/bulan		98	112.5	106	102	119.7	106.5	110.4	125.6	106.5	113.1	115.5	97.9
D	<b>Water Surplus</b>														
9	$As = (P - EI)$ (air hujan sampai ke tanah)	mm/bulan		122.00	12.50	-62.00	241.00	80.30	192.50	-49.40	80.40	62.50	380.90	222.50	171.10
10	$SMC = ISMC + (P-EI)$ ; ISMC $\rightarrow$ 250 mm	mm/bulan	250	372.00	262.50	188.00	491.00	330.30	442.50	200.60	330.40	312.50	630.90	472.50	421.10
11	Soil storage mm/bulan	mm/bulan		0.00	0.00	62.00	0.00	0.00	0.00	49.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Water surplus (8+12)	mm/bulan		122.00	12.50	0.00	241.00	80.30	192.50	0.00	80.40	62.50	380.90	222.50	171.10
E	<b>Total Run Off</b>														
13	Koefisien Infiltrasi	(if)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Infiltrasi (13 x 14)	(i;mm/bulan)		61.00	6.25	0.00	120.50	40.15	96.25	0.00	40.20	31.25	190.45	111.25	85.55
15	Konstanta resesi aliran	(K)		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	Percentage factor	(PF)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Tabel L9: Lanjutan.

No	Data	Unit	Kons	2015											
				Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
17	$1/2 \times (1+K) \times I$	Gs		51.85	5.31	0.00	102.43	34.13	81.81	0.00	34.17	26.56	161.88	94.56	72.72
18	$K \times V_{n-1}$			25.00	30.00	19.72	0.80	62.26	63.47	91.70	48.19	45.65	32.55	112.10	132.67
19	$V_n$			50.00	35.31	19.72	103.23	96.39	145.28	91.70	82.36	72.21	194.43	206.66	205.38
20	$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$	mm/bulan		25.00	5.31	0.00	102.43	34.13	81.81	0.00	34.17	26.56	161.88	94.56	72.72
21	Base Flow = $i - \Delta V_n$	mm/bulan		36.00	0.94	0.00	18.08	6.02	14.44	0.00	6.03	4.69	28.57	16.69	12.83
22	Direct Run Off = $WS - i$	mm/bulan		61.00	6.25	0.00	120.50	40.15	96.25	0.00	40.20	31.25	190.45	111.25	85.55
23	Storm run off= $P \times PF$ (jika $P > 250, SRO = 0$ )	mm/bulan		110.00	62.50	22.00	0.00	100.00	149.50	30.50	103.00	84.50	0.00	0.00	0.00
24	Total Run Off= $Bflow + DRO + SRO$	mm/bulan		207.00	69.69	22.00	138.58	146.17	260.19	30.50	149.23	120.44	219.02	127.94	98.38
25	Catchment Area	km <sup>2</sup>		228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14	228.14
26	Stream flow	(m <sup>3</sup> /second)		17.63	6.35	1.87	12.20	12.45	22.90	2.60	12.71	10.60	18.66	11.26	8.38

LAMPIRAN III PERATURAN KEPALA  
 BADAN  
 METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA  
 : KEP.15 TAHUN  
 NOMOR 2009  
 TANGGAL : 31 Juli 2009

PELAYANAN JASA INFORMASI KLIMATOLOGI  
 DATA RATA-RATA EVAPORASI BULANAN

**LOKASI PENGAMATAN / STASIUN** : KECAMATAN SERAPIT  
 (LANGKAT)  
**KOORDINAT** : 3.573029 LU; 98.317506  
 BT

**RATA-RATA EVAPORASI  
 (mm)**

TAHUN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2005	3,2	4,6	4,0	3,8	4,2	4,1	3,8	4,6	3,9	3,0	3,8	3,4
2006	3,3	4,0	3,9	3,6	4,0	3,6	3,8	4,2	3,4	3,0	3,2	3,5
2007	3,2	4,6	4,0	3,3	4,4	3,5	3,8	4,5	3,8	3,2	3,6	3,3
2008	3,2	3,9	3,3	2,8	4,0	2,9	2,9	3,6	3,6	2,8	2,9	2,7
2009	3,2	3,9	3,3	2,8	4,0	2,9	2,9	3,6	3,6	2,8	2,9	2,7
2010	3,2	4,2	4,1	3,6	4,2	4,0	4,2	4,5	3,7	3,2	3,4	3,6
2011	3,5	4,5	4,0	3,6	4,2	4,2	3,9	4,1	3,8	3,6	3,5	3,4
2012	3,5	4,3	4,1	3,7	4,4	4,2	3,9	4,5	3,9	3,3	4,1	3,6
2013	3,9	4,3	4,5	3,7	4,6	4,0	4,0	4,0	3,8	3,4	3,4	3,1
2014	3,5	4,3	4,1	3,8	4,1	3,9	3,9	3,5	3,4	3,1	3,6	3,2

Ket. : X = Data tidak ada

Sumber : STASIUN KLIMATOLOGI DELI SERDANG (Data ECMWF)

LAMPIRAN III PERATURAN KEPALA BADAN  
 METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA  
 NOMOR : KEP.15 TAHUN 2009  
 TANGGAL : 31 Juli 2009

PELAYANAN JASA INFORMASI KLIMATOLOGI  
 DATA CURAH HUJAN BULANAN

LOKASI PENGAMATAN / STASIUN : PMPK TONGKOH (KARO)  
 KOORDINAT : 3.202 LU , 98.54032 BT

Curah Hujan Bulanan (mm)

TAHUN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2007	188	198	162	268	316	202	122	178	180	436	186	222
2008	168	216	538	294	52	164	216	232	170	484	242	242
2009	336	96	288	268	154	58	50	86	134	320	400	306
2010	206	204	124	266	160	202	248	268	284	68	364	224
2011	258	226	188	252	216	126	6	596	158	208	320	234
2012	62	292	224	334	224	104	230	202	76	464	482	328
2013	328	502	178	332	264	110	46	234	190	468	350	466
2014	158	68	136	530	144	68	36	244	184	492	412	372
2015	220	125	44	343	200	299	61	206	169	494	338	269
2016	304	296	265	192	304	82	101	84	89	35	287	241

Suhu Udara Bulanan ( °Celcius )

TAHUN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2016	18.9	18.6	18.5	19.6	19.2	19.1	18.5	18.8	18.9	18.4	18.7	18.3

Keterangan: x = data tidak masuk / alat rusak

Sumber : STASIUN KLIMATOLOGI DELI SERDANG

Medan, April 2017  
 Mengetahui,  
 KEPALA STASIUN KLIMATOLOGI  
 DELI SERDANG  
 KLAUS J.A. SAMANIK, ST  
 NIP. 19700603 199103 1 003



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

NamaLengkap : Khaidir Affandi Batubara  
Tempat, TanggalLahir : Medan, 29 Juni 1995  
JenisKelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. Raimuna VII No. 193 Binjai  
Nomor KTP : 1275022906950005  
Nomor HP : 085242758390  
E-mail : khaidirafandi@gmail.com  
NamaOrangTua, Ayah : Drs. Abdurrahman Batubara  
Ibu : Aida Adlifah, BA

### RIWAYAT PENDIDIKAN

NomorIndukMahasiswa : 1307210138  
Fakultas : Teknik  
ProgrsmStudi : TeknikSipil  
PerguruanTinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
AlamatPerguruanTinggi : Jl.KaptenMughtarBasri No.3, Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	NamadanTempat	TahunKelulusa n
1	SekolahDasar	SD Negeri 95/96	2007
2	SMP	SMP Negeri 1 Binjai	2010
3	SMA	SMA Negeri 1 Binjai	2013
4	Melanjutkan Kuliah Di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampaiselesai.		