



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
MIKRO HIDRO DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN MAGELANG**

YUSUF SETYA PRABOWO  
NRP. 3114 106 014

Dosen Pembimbing :  
Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
MIKRO HIDRO DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN MAGELANG**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**YUSUF SETYA PRABOWO**

NRP. 3114106054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M. Sc. (.....)



**SURABAYA, JANUARI 2017**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DESA SUTOPATI KECAMATAN KAJORAN KABUPATEN MAGELANG**

**Nama Mahasiswa : Yusuf Setya Prabowo**  
**NRP : 3114106014**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.**

## **Abstrak**

Kabupaten Magelang Provinsi Jawa Tengah mempunyai potensi ketersediaan air yang cukup melimpah dan akan tetapi pemanfaatannya masih belum maksimal. Salah satu wilayah yang memiliki potensi ketersediaan air tersebut ialah Desa Sutopati yang berada di Kecamatan Kajoran dan berjarak sekitar 40 km dari Kota Magelang. Desa Sutopati berada di daerah gunung Sumbing bagian selatan dan merupakan daerah yang sebagian penduduknya masih belum terfasilitasi oleh listrik PLN. Kekurangan Listrik yang terjadi tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan potensi ketersediaan air dan kondisi topografi yang ada sebagai tenaga Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.

Aliran sungai dalam perancangan PLMTH ini merupakan sungai alam dimana data debit yang bisa dimanfaatkan tidak tersedia sehingga dilakukan analisa simulasi terjadinya debit sungai berdasarkan data hujan menggunakan metode F.J. Mock.

Hasil dari analisa dan perhitungan yang dilakukakan terpilih jenis turbin crossflow SJ-WG-20/11 dengan spesifikasi debit 0.17- 0.34 m<sup>3</sup>/dt. Dengan menggunakan 2 buah turbin didapat probabilitas debit andalan maksimum yaitu 0.68 m<sup>3</sup>/dt sebesar 53% dan probabilitas debit andalan minimum yaitu 0.17 m<sup>3</sup>/dt sebesar

77%. Dengan beda tinggi efektif yang tersedia sebesar 22.22 m didapatkan daya yang dapat dihasilkan selama satu tahun sebesar 701342,8 kWh.

***Kata Kunci: Debit andalan, Energi listrik, F.J. Mock. Pembangkit Listrik Mikro Hidro, sumber daya air.***

# DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT IN DESA SUTOPATI KECAMATAN KAJORAN KABUPATEN MAGELANG

**Name** : Yusuf Setya Prabowo  
**NRP** : 3114106014  
**Departmen** : *Civil Engineering* FTSP-ITS  
**Advisor** : **Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.**

## ***Abstract***

*Magaelang Regency Central Java have more potensial water resosources, but the usage of it is very minimum. One of the place who have the potensial is in Sutopati village Kajoran district. Its located 40 km from the town center on the south of Sumbing mountain. Today Sutopati village need more electric power because some the citizen are not get electric facility from PLN. The problem can be fixed with take the advantages of potensial water resources and topographic condition to use a microhydro power plant.*

*The river of the plan is a natural river who heven't actual debit data to calculate the design, the debit data are calculated with a debit simulation use F.J. Mock method.*

*From the analysis that has been done, the power plant use two turbine of crossflow turbine SJ-WG-20/11. The turbin can be operation with debit 0.17-0.34 m<sup>3</sup>/sec. Probability 0.68 m<sup>3</sup>/sec of maximum dependable discharge is 53% and probability 0.17m<sup>3</sup>/sec of minimum dependable discharge is 77% to operate the power plant. The electrical energy can be use from the the power plant is 701342,8 kWh for one years.*

***Keywords : Electrical Energy, F.J. Mock, dependable discharge, Microhydro Power Plant, Water Resources***



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan rahmatNya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir dengan judul **“PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DESA SUTOPATI KECAMATAN KAJORAN KABUPATEN MAGELANG”** ini disusun guna melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan pada Program Studi Lintas Jalur S-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga, yang selalu mendukung dan mendoakan kelancaran studi selama 2 tahun di ITS.
2. Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan membantu menyusun laporan tugas akhir ini.
3. Teman-teman Lintas Jalur Genap 2014 Teknik Sipil ITS yang telah memberikan keceriaan, dukungan, dan semangat selama penyusunan laporan ini.
4. Sahabat-sahabat satu kos yang telah memberikan dukungan, bantuan dan motivasi dalam penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Desember 2016

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Lokasi Studi .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Umum.....	7
2.2 Tinjauan Perencanaan .....	7
2.2.1. Analisa hidrologi .....	7
2.2.1.1. Analisa Debit Sungai.....	7
2.2.1.2. Analisa Debit Andalan .....	16
2.2.1.3. Analisa Debit Banjir.....	17
2.2.2. Analisa Hidrolika.....	27
2.2.2.1. Penentuan Debit Rencana.....	27
2.2.2.2. Perencanaan Bangunan <i>Intake</i> dan Pelengkapannya.....	29
2.2.2.3. Perencanaan Bak Penenang.....	32
2.2.2.4. Perencanaan Pipa Pesat ( <i>Penstock</i> ) .....	35
2.2.3. Perhitungan Energi Listrik.....	38
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>39</b>
3.1. Tahap Persiapan .....	39
3.2. Tahap Analisa.....	39
3.3. Kesimpulan .....	40

3.4. Flowchart .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1. Analisa Hidrologi .....	43
4.1.1. Debit Andalan.....	43
4.1.1.1. Simulasi Debit Fj mock.....	43
4.1.1.2. Mencari Debit Andalan .....	52
4.1.2. Debit Banjir Rencana.....	54
4.1.2.1. Curah Hujan Maksimum .....	54
4.1.2.2. Parameter Dasar Statistik .....	54
4.1.2.3. Analisa Distribusi Frekuensi .....	56
4.1.2.4. Uji Kecocokan.....	58
4.1.2.5. Hidograf Nakayasu.....	64
4.2. Perencanaan Bangunan Sipil.....	70
4.2.1. Penentuan Debit Rencana.....	70
4.2.2. Perencanaan Bangunan <i>Intake</i> .....	71
4.2.3. Perencanaan Pipa <i>Penstock</i> .....	75
4.3. Daya dan Energi yang Dapat Dihasilkan .....	76
4.3.1. Perhitungan Tinggi Efektif. ....	76
4.3.2. Perhitungan Besar Daya dan Energi .....	79
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>81</b>
5.1. Kesimpulan .....	81
5.2. Saran.....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA.. .....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Grafik Penentu Jenis Turbin.....	28
<b>Gambar 2.2</b> Potongan <i>intake</i> .....	30
<b>Gambar 2.3</b> Potongan <i>Sand Trap</i> .....	32
<b>Gambar 2.4</b> Grafik Kecepatan Sedimen .....	34
<b>Gambar 2.5</b> Diagram <i>moody</i> .....	36
<b>Gambar 2.6</b> Diagram efisiensi turbin.....	38
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Metodologi.....	41
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Probabilitas .....	53

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hubungan T dengan Ea, W dan f(T).....	10
<b>Tabel 2.2</b> Angka Angot (Ra) Untuk Daerah Indonesia.....	11
<b>Tabel 2.3</b> Angka Koreksi (c) Bulanan Untuk Rumus Penman ...	12
<b>Tabel 2.4</b> Persyaratan Pemilihan Jenis Distribusi.....	18
<b>Tabel 2.5</b> Nilai KT untuk Distribusi <i>Log-Person III</i> .....	20
<b>Tabel 2.6</b> Interpretasi hasil Tes Chi-kuadrat ( $X^2$ ).....	23
<b>Tabel 2.7</b> <i>Smirnov Kolmogorov</i> .....	24
<b>Tabel 2.8</b> Nilai Koefisien Pengaliran.....	25
<b>Tabel 4.1</b> Data iklim .....	44
<b>Tabel 4.2</b> Evapotranpirasi Potensial .....	47
<b>Tabel 4.3</b> Parameter Karakteristik DAS .....	49
<b>Tabel 4.4</b> Debit rata-rata bulanan.....	52
<b>Tabel 4.5</b> Curah Hujan Maksimum.....	54
<b>Tabel 4.6</b> Perhitungan Statistik.....	55
<b>Tabel 4.7</b> Perhitungan <i>Log Person III</i> .....	57
<b>Tabel 4.8</b> Perhitungan Chi-Kuadrat untuk <i>Log Pearson tipe III</i> .....	59
<b>Tabel 4.9</b> Nilai Variabel Reduksi <i>Gauss</i> .....	60
<b>Tabel 4.10</b> Nilai Batas Tiap Kelompok .....	61
<b>Tabel 4.11</b> Perhitungan Chi-Kuadrat hitung .....	62
<b>Tabel 4.12</b> Perhitungan uji <i>Smirnov-Kolmogorov</i> .....	63
<b>Tabel 4.13</b> .Perhitungan uji curah hujan jam-jaman .....	65
<b>Tabel 4.14</b> Perhitungan Hidrograf Satuan kurva naik .....	67
<b>Tabel 4.15</b> Perhitungan Hidrograf Satuan kurva turun .....	67
<b>Tabel 4.16</b> Perhitungan Hidrograf Satuan kurva turun .....	68
<b>Tabel 4.17</b> Perhitungan Hidrograf Satuan kurva turun .....	68
<b>Tabel 4.18</b> Perhitungan Debit Banjir Periode Ulang 25 th .....	69

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kabupaten Magelang mempunyai potensi ketersediaan air yang cukup melimpah baik sebagai mata air, air sungai, maupun air tanah. Pada kondisi saat ini, pemanfaatan sumberdaya air yang ada masih cukup rendah. Salah satu usaha untuk meningkatkan pemanfaatan sumber daya air yang ada ialah penggunaan Pembangkit Listrik Mikro Hidro atau disingkat PLTMH. Kabupaten Magelang sendiri telah berhasil memanfaatkan air sebagai tenaga Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di beberapa lokasi, akan tetapi dirasa masih banyak daerah yang belum terfasilitasi oleh PLTMH tersebut.

Wilayah Kabupaten Magelang merupakan daerah pegunungan dimana tidak sedikit terdapat daerah pedesaan terpencil yang hingga saat ini belum bisa menikmati listrik. Sebagai contoh Desa Sutopati, Kecamatan Kajoran, Kabupaten Magelang, sejak tahun 1990 hingga sekarang, dari 1.686 kepala keluarga yang ada di Desa Sutopati, baru sekitar 40 persen yang menjadi pelanggan PLN. Sebanyak 60 persen sisanya hanya mampu mengambil listrik secara liar dari tetangga karena tarif dasar listrik dan biaya pasang baru dirasakan terlalu mahal. Kairudin, Direktur Eksekutif Bioma yang merupakan sebuah lembaga swadaya masyarakat yang bergerak di bidang pelestarian lingkungan dan energi mengatakan, sungai Tangsi yang memiliki debit air 0,64 m<sup>3</sup>/dt berpotensi menghasilkan listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada. Jika pembangkit listrik mikrohidro ini sudah terbangun, Desa Sutopati bisa memberikan sisa kelebihan listrik yang dihasilkan untuk menambah suplai listrik bagi PLN. *Sumber: <http://www.alpensteel.com>*

Secara umum selain digunakan masyarakat sekitar untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, penggunaan sumberdaya air

lebih besar digunakan dalam bidang pertanian. Jenis pertanian yang digalakan mayoritas ialah jenis pertanian kering seperti tembakau, teh, tumbuhan sayur dan lain-lain. Jenis pertanian kering tersebut tidak membutuhkan air dalam jumlah banyak. Selain itu usaha perikanan dirasa tidak mendukung untuk dikembangkan. Kerena itu pemanfaatan sumber daya air di daerah Sutopati sebagai tenaga PLTMH dapat digunakan untuk memaksimalkan pemanfaatan air yang ada.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini ialah sebagai berikut:

1. Berapa besar debit andalan yang tersedia?
2. Berapa tinggi efektif yang tersedia?
3. Bagaimana desain bangunan sipil yang direncanakan?
4. Berapa besar kehilangan energi yang terjadi?
5. Berapa besar energi listrik dalam kurun waktu satu tahun yang dapat dihasilkan oleh PLTMH tersebut?

## **1.3 Batasan Masalah**

Pembahasan pada tugas akhir ini dibatasi oleh aspek-aspek berikut:

1. Data hidrologi dan iklim yang bersumber stasiun klimatologi terdekat yaitu stasiun hujan Kaliangkrik yang berjarak 3 km dari lokasi untuk data hujan dan stasiun kilmatologi Rawa Pening  $\pm 45$  km dari lokasi untuk data iklim.
2. Perencanaan bangunan sipil yang dibahas tidak meliputi perhitungan kontruksi dari power house.
3. Tidak menghitung stabilitas bangunan peninggi muka air dan dinding penahan banjir.
4. Tidak melakukan perhitungan analisa struktur dari bangunan sipil.
5. Dalam pembahasan tugas akhir ini tidak dilakukan analisa ekonomi.

## **1.4 Tujuan**

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Menganalisa debit andalan yang tersedia di Sungai Tangsi yang berada di Sutopati sebagai tenaga PLTMH.
2. Mendapatkan nilai tinggi efektif yang tersedia yang dapat memenuhi kebutuhan perencanaan PLTMH di lokasi.
3. Membuat desain bangunan PLTMH yang baik dan dapat dibangun di lokasi.
4. Menentukan besar kehilangan energi yang terjadi akibat dari difungsikannya PLTMH di lokasi.
5. Menghitung besar energi yang dapat dihasilkan oleh PLTMH yang direncanakan.

## **1.5 Manfaat**

Penulisan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Perencanaan PLTMH ini dapat memberi solusi bagi permasalahan kekurangan listrik yang terjadi di Sutopati dengan memanfaatkan potensi yang tersedia.
2. Hasil rancangan ini bisa digunakan sebagai referensi, pustaka dan sumber pengetahuan guna pengembangan pemanfaatan sumber daya air sebagai PLTMH dilokasi lain mengingat Kabupaten Magelang masih banyak memiliki potensi di wilayahnya maupun di luar wilayah Kabupaten Magelang.

## **1.6 Lokasi Studi**

Lokasi studi perencanaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini terletak di Desa Sutopati, Kecamatan Kajoran Kabupaten Magelang tepatnya pada anak sungai kali Tangsi. Lokasi berjarak sekitar 40 km dari Kota Magelang dan berada di daerah gunung Sumbing bagian selatan. Lebih jelasnya letak dan lokasi studi dapat dilihat pada gambar 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 dan 1.5 berikut ini:



**Gambar 1.1** Peta Lokasi Desa Sutopati

*Sumber: Google maps*

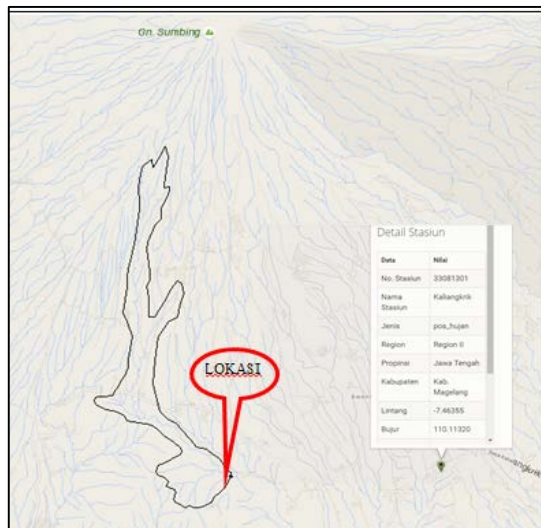


**Gambar 1.2** Tampak Satelit Lokasi Studi

*Sumber: Google maps*

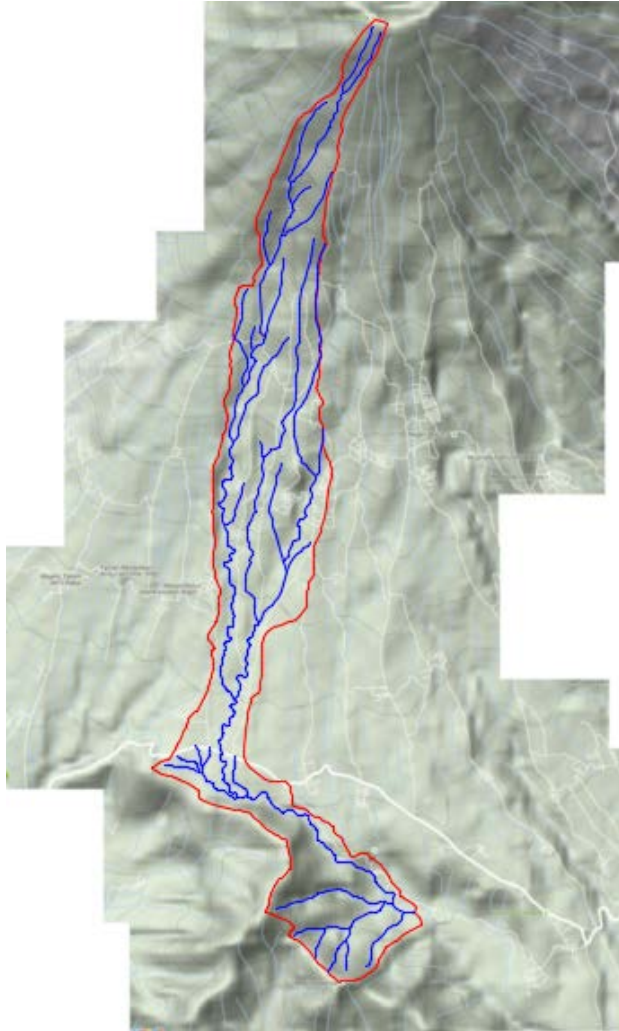


**Gambar 1.3** Lokasi Studi ( Terjunan Anak Sungai Tangsi)



**Gambar 1.4** Lokasi Stasiun Hujan

Sumber: [http://dataonline.bmkg.go.id/mcstation\\_metadata](http://dataonline.bmkg.go.id/mcstation_metadata)



**Gambar 1.5** Daerah Aliran Sungai

Sumber: [http://dataonline.bmkg.go.id/mcstation\\_metadata](http://dataonline.bmkg.go.id/mcstation_metadata)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro adalah bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Air dalam skala kecil dimana daya yang dihasilkan  $< 1$  Mega Watt, yang merupakan bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin dan generator (Hadihardaja dan Sangkawati, 2001).

#### **2.2 Tinjauan Perencanaan**

Perencanaan PLTMH memerlukan bidang ilmu teknik sipil yang dapat mendukung untuk memperoleh hasil perencanaan konstruksi PLTMH yang optimal. Dalam penulisan tugas akhir ini bidang ilmu teknik sipil yang mendukung perencanaan PLTMH bisa kita bagi ke dalam analisa hidrologi, analisa hidrolika, dan perencanaan bangunan sipil.

##### **2.2.1. Analisa hidrologi**

###### **2.2.1.1. Analisa Debit Sungai**

Dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini, dikarenakan minimalnya data maka untuk mendapatkan data debit sungai dilakukan perhitungan menggunakan metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock (KP.01,1986). Diketahui bahwa metode ini sesuai dengan fenomena alam di beberapa tempat di Indonesia. Dengan metode ini besarnya aliran dapat dihitung berdasarkan data curah hujan, karakteristik hidrologi daerah pengaliran dan evapotranspirasi.

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 kedalam tanah (*infiltrasi*), dimana 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*). Adapun pembahasan dari metode ini meliputi perhitungan sebagai berikut:

### 1. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah perpaduan dua istilah yakni evaporasi dan transpirasi. Evaporasi yaitu penguapan di atas permukaan tanah, sedangkan transpirasi yaitu penguapan melalui permukaan dari air yang semula diserap oleh tanaman. Atau dengan kata lain, evapotranspirasi adalah banyaknya air yang menguap dari lahan dan tanamn dalam suatu petakan karena panas matahari (Asdak, 1995).

Dalam metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock evapotranspirasi yang diperhitungkan ialah evapotranspirasi actual. Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau (*exposed surface*) pada musim kemarau. Besarnya *exposed surface* (m) untuk tiap daerah berbeda-beda. F.J. Mock mengklasifikasikan menjadi beberapa daerah dengan masing-masing nilai *exposed surface*. Penentuan harga evapotranspirasi actual ditentukan berdasarkan rumus:

$$Et = Et_0 \times d/30 \times m; \text{ atau } \`$$

$$Et = Et_0 \times (m / 20) \times (18-n) \quad (2-1)$$

$$Ea = Et_0 - Et \quad (2-2)$$

dimana :

Ea = Evapotranspirasi aktual (mm);

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm);

Et<sub>0</sub> = Evapotranspirasi potensial (mm);

d =  $27 - (3/2) \times n$ ;

n = jumlah hari hujan dalam sebulan;

m = Perbandingan permukaan tanah tanah yang tidak tertutup dengan tumbuh-tumbuhan penahan hujan koefisien yang



tergantung jenis areal dan musiman dalam % ,  $m = 0\%$  untuk lahan dengan hutan lebat,  $m = 0\%$  untuk lahan dengan hutan sekunder pada akhir musim dan bertambah  $10\%$  setiap bulan berikutnya.  $m = 10 - 40\%$  untuk lahan yang erosi ,  $m = 30 - 50\%$  untuk lahan pertanian yang diolah ( sawah ).

Sementara itu diperlukan besarnya nilai evapotranspirasi potensial ( $E_{t0}$ ). Untuk mendapatkan nilai evapotanspirasi potensial ini terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Salah satunya ialah metode Penman Modifikasi. Metode Penman adalah metode penduga evapotanspirasi terbaik yang direkomendasikan FAO sebagai metode standar sedangkan metode penduga lain baik digunakan pada iklim tertentu (Lascano dan Bavel 2007; Smith 1992)

Metode Penman Modifikasi (FAO) digunakan untuk luasan lahan dengan data pengukuran temperatur, kelembaban, kecepatan angin dan lama matahari bersinar. Cara Penman menurut diubah sesuai nilai  $E_{t0}$  untuk iklim dan tempat tertentu. Perhitungan  $E_{t0}$  dengan menggunakan persamaan Penman Modifikasi, dilakukan dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut (Dinas PU KP-01,1986):

$$E_{t0} = C \times \{W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)\} \quad (2-3)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2-4)$$

$$R_{ns} = R_s \times (1 - \alpha) \quad (2-5)$$

$$R_s = \{(0,25 + 0,50 (n/N))\} \times R_a \quad (2-6)$$

$$R_{nl} = f(T) \times f(e_d) \times f(n/N) \quad (2-7)$$

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 \times e_d^{0,5} \quad (2-8)$$

$$e_d = RH \times e_a \quad (2-9)$$

$$f(n/N) = 0,10 + 0,9 (n/N) \quad (2-10)$$

$$f(u) = 0,27 \times \{1 + (u/100)\} \quad (2-11)$$

Dimana :

$E_{t0}$  = Evapotranspirasi acuan (mm/hari);

c	= Faktor koreksi terhadap perbedaan cuaca khususnya kecepatan angin antara siang dan malam;
W	= Faktor koreksi temperatur terhadap radiasi;
1 - W	= Faktor pembobot;
f(u)	= Faktor pengaruh kecepatan angin (km/hari);
u	= Kecepatan angin pada ketinggian 2m (km/jam);
Rn	= Radiasi <i>netto</i> (mm/hari);
ea	= Tekanan uap jenuh (mbar);
ed	= Tekanan uap nyata (mbar);
RH	= Kelembaban relatif (%);
ea - ed	= Perbedaan antara tekanan uap jenuh pada temperatur rata-rata udara dengan tekanan rata-rata air di udara yang sebenarnya;
Rns	= Radiasi <i>netto</i> gelombang pendek, dimana $\alpha = 0,25$ ;
Rnl	= Radiasi <i>netto</i> gelombang panjang (mm/hari);
Rs	= Radiasi gelombang pendek (mm/hari);
Ra	= Radiasi <i>Extra Terrestrial</i> atau radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (mm/hari);
f(T)	= Fungsi Temperatur;
f(ed)	= Fungsi tekanan uap nyata;
f(n/N)	= Fungsi rasio lama penyinaran;
n	= Rata-rata lama cahaya matahari yang sebenarnya (jam/hari);
N	= Lama matahari maksimum yang mungkin terjadi;
n/N	= Presentasi penyinaran matahari (%).

Adapun nilai W, ea, f(T), Ra dan c didapatkan berdasarkan tabel 2.1, tabel 2.2 dan tabel 2.3.

**Tabel 2.1** Hubungan T dengan Ea, W dan f(T)

Suhu (T)	Ea	W	(1 - W)	f(T)
	Mbar	Elevasi 1 – 2000 m		
12	14,00	0,64	0,36	13,10
13	15,00	0,65	0,35	13,30
14	16,10	0,66	0,34	13,50
15	17,00	0,67	0,33	13,65
16	18,20	0,69	0,31	13,80
17	19,40	0,70	0,30	14,00
18	20,60	0,71	0,29	14,20
19	22,00	0,72	0,28	14,40
20	23,40	0,73	0,27	14,60
21	24,90	0,74	0,26	14,80
22	26,40	0,75	0,25	15,00
23	28,10	0,76	0,24	15,20

**Tabel 2.2** Angka Angot (Ra) Untuk Daerah Indonesia  
Antara 4° Ls - 10°Ls

Bulan	Letak Lintang			
	4° Ls	6° Ls	8° Ls	10°Ls
Januari	15,5	15,8	16,1	16,1
Februari	15,8	16,0	16,1	16,0
Maret	15,6	15,6	15,5	15,3
April	14,9	14,7	14,4	14,0
Mei	13,8	13,4	13,1	12,6
Juni	13,2	12,8	12,4	12,6
Juli	13,4	13,1	12,7	11,8
Agustus	14,3	14,0	13,7	12,2
September	15,1	15,0	14,9	13,3
Oktober	15,6	15,7	15,8	14,6
Nopember	15,5	15,8	16,0	15,6
Desember	15,4	15,7	16,0	16,0

**Tabel 2.3** Angka Koreksi (c) Bulanan Untuk Rumus Penman

Bulan	C	Bulan	C
Januari	1,04	Juli	0,9
Februari	1,05	Agustus	1
Maret	1,06	September	1,1
April	0,9	Oktober	1,1
Mei	0,9	Nopember	1,1
Juni	0,9	Desember	1,1

*Sumber : Ir. Agus Suroso, MT*

Ketersediaan data yang dibutuhkan dalam metode ini menjadi salah satu kelemahan, dimana hanya ada beberapa stasiun cuaca yang menyediakan data-data tersebut dalam data per jam dan harian. Oleh karena itu perlu adanya upaya pendekatan nilai akibat perbedaan posisi stasiun pencatatan dengan lokasi studi, salah satunya ialah pada data temperatur. Menurut Lakitan (2002), variasi suhu di kepulauan Indonesia tergantung pada ketinggian tempat (*altitude/elevasi*), suhu udara akan semakin rendah seiring dengan semakin tingginya ketinggian tempat dari permukaan laut. Suhu menurun sekitar 0,6°C setiap 100 meter kenaikan ketinggian tempat. Keberadaan lautan disekitar kepulauan Indonesia ikut berperan dalam menekan gejala perubahan suhu udara yang mungkin timbul.

## 2. Keseimbangan air dipermukaan tanah ( $\Delta S$ )

Dalam menentukan keseimbangan air dipermukaan maka diperlukan perhitungan dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- a. Air hujan yang mencapai permukaan tanah dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\Delta S = R - E_a \quad (2-12)$$

dimana:

$\Delta S$  = Keseimbangan air dipermukaan tanah;

R = Hujan Bulanan (mm);  
 Ea = Evapotranspirasi Aktual.

Pada kondisi tertentu apabila harga positif ( $R > E_a$ ) maka air akan masuk ke dalam tanah saat kapasitas kelembapan tanah belum terpenuhi. Sebaliknya apabila kondisi kelembapan tanah sudah tercapai maka akan terjadi limpasan permukaan (*surface runoff*). Bila harga tanah  $\Delta S$  negatif ( $R > E_a$ ), air hujan tidak dapat masuk kedalam tanah (infiltrasi) tetapi air tanah akan keluar dan tanah akan kekurangan air (*defisit*).

- b. Perubahan kandungan air tanah (*soil storage*) tergantung dari harga  $\Delta S$ . Bila  $\Delta S$  negatif maka kapasitas kelembapan tanah akan kekurangan dan bila harga  $\Delta S$  positif akan menambah kekurangan kapasitas kelembapan tanah bulan sebelumnya.
- c. Kapasitas kelembapan tanah (*soil moisture capacity*). Didalam memperkirakan kapasitas kelembapan tanah awal diperlukan pada saat dimulainya perhitungan dan besarnya tergantung dari kondisi porositas lapisan tanah atas dari daerah pengaliran. Biasanya diambil 50 s/d 250 mm, yaitu kapasitas kandungan air didalam tanah per m<sup>3</sup>. semakin besar porositas tanah maka kelembapan tanah akan besar pula.
- d. Kelebihan Air (*water surplus*)

Besarnya air lebih dapat mengikuti formula sebagai berikut:

$$WS = \Delta S - \text{Tampungan tanah} \quad (2-13)$$

dimana :

WS = *water surplus*;

$\Delta S$  = keseimbangan air dipermukaan tanah;

Tampungan Tanah = Perbedaan Kelembapan tanah.

3. Limpasan dan penyimpanan air tanah (*Run off dan Ground Water storage*).

a. Infiltrasi (i)

Infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Daya infiltrasi ditentukan oleh permukaan lapisan atas dari tanah. Misalnya kerikil mempunyai daya infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat yang kedap air. Untuk lahan yang terjal dimana air sangat cepat menikis diatas permukaan tanah sehingga air tidak dapat sempat berinfiltrasi yang menyebabkan daya infiltrasi lebih kecil. Formula dari infiltrasi ini adalah sebagai berikut:

$$i = \text{Koefisien Infiltrasi} \times \text{WS} \quad (2-14)$$

dimana :

i = Infiltrasi;

Koefisien Infiltrasi = 0 s/d 1,0;

WS = kelebihan air ( $\text{m}^3$ ).

b. Penyimpanan air tanah (*ground water storage*).

Pada permulaan perhitungan yang telah ditentukan penyimpanan air awal yang besarnya tergantung dari kondisi geologi setempat dan waktu. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\Delta V_n = V_n - V_{n-1} \quad (2-15)$$

$$V_n = k \cdot (V_{n-1}) + \frac{1}{2} (1 + k) i \quad (2-16)$$

dimana :

$\Delta V_n$  = Perubahan volume simpanan air tanah ( $\text{m}^3$ );

$V_n$  = Volume simpanan air tanah periode n ( $\text{m}^3$ );

$V_{n-1}$  = Volume simpanan air tanah periode n - 1 ( $\text{m}^3$ );

k =  $q_t/q_0$  = Faktor resesi aliran air tanah (*catchment are recession factor*). Faktor resesi aliran tanah (k) berkisar antara 0 s/d 1,  $q_t$  = Aliran tanah pada waktu t (bulan ke t),  $q_0$  =

Aliran tanah pada awal (bulan ke 0),  $i =$   
Infiltrasi bulan ke n (mm).

c. Limpasan (*Run off*)

Limpasan air hujan atau presipitasi akan menempuh tiga jalur menuju kesungai. Satu bagian akan mengalir sebagai limpasan permukaan dan masuk kedalam tanah lalu mengalir ke kiri dan kananya membentuk aliran antara. Bagian ketiga akan berperkolasi jauh kedalam tanah hingga mencapai lapisan air tanah. Aliran permukaan tanah serta aliran antara sering digabungkan sebagai limpasan langsung (*direct runoff*) Untuk memperoleh limpasan, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$BF = i - (\Delta V_n) \quad (2-16)$$

$$Dro = WS - i \quad (2-17)$$

$$Ron = BF + Dro \quad (2-18)$$

dimana :

BF = Aliran dasar ( $m^3/dtk/km$ );

$i$  = Infiltrasi (mm);

$\Delta V_n$  = Perubahan volume aliran tanah ( $m^3$ );

Dro = Limpasan Langsung (mm);

WS = Kelebihan air;

Ron = Limpasan periode n ( $m^3/dtk/km^2$ ).

d. Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya.

Persamaan yang digunakan adalah:

$$Q_n = Ron \times A \quad (2-19)$$

dimana :

$Q_n$  = Banyaknya air yg tersedia dari sumbernya, periode n ( $m^3/dtk$ );

A = Luas daerah tangkapan (*catchment area*)  $km^2$ .

Dengan demikian besarnya air yang mengalir di sungai merupakan jumlah dari aliran langsung (*direct run off*), aliran dalam tanah (*interflow*) dan aliran tanah (*base flow*). Besarnya masing-masing aliran tersebut adalah:

1. *Interflow* = infiltrasi – volume air tanah
2. *Direct run off* = *water surplus* – infiltrasi
3. *Base flow* = aliran yang selalu ada sepanjang tahun
4. *Run off* = *interflow* + *direct run off* + *base flow* (2-20)

### 2.2.1.2. Analisa Debit Andalan

Parameter hidrologi yang ditinjau dari perencanaan ialah debit andalan. 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 di sungai (Soemarto, 1987). Dalam hal ini debit yang ditinjau bertujuan untuk mengoperasikan PLTMH. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit hujan sungai.

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam persentase tertentu, misalnya 90%, 80% atau nilai lainnya, sehingga dapat dipakai untuk kebutuhan tertentu. Tingkat keandalan debit tersebut dapat terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus *Weibull* (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009):

$$P = i/(n+1) \times 100\% \quad (2-21)$$

dimana:

*i* = Nomor urut debit;

*n* = Jumlah data;

*P* = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai selama periode pengamatan (%).



### 2.2.1.3. Analisa Debit Banjir

#### 1. Menentukan jenis distribusi frekuensi curah hujan

Penentuan jenis distribusi frekuensi digunakan untuk mengetahui suatu rangkaian data cocok untuk suatu sebaran tertentu dan tidak cocok untuk sebaran lain. Untuk mengetahui kecocokan terhadap suatu jenis sebaran tertentu, perlu dikaji terlebih dahulu ketentuan-ketentuan yang ada, yaitu meliputi:

- a. Menentukan koefisien kepencengan / *skewness* ( $C_s$ ) dihitung menggunakan persamaan:

$$C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2}{(n-1)(n-2) \cdot S^3} \quad (2-22)$$

dimana :

$n$  = jumlah data;

$R_i$  = Nilai varian ke I;

$R$  = Nilai rata-rata varian;

$C_s$  = Koefisien *Skewness*;

$S$  = Simpangan baku (standar deviasi).

- b. Menentukan koefisien kepuncakan / *curtosis* ( $C_k$ ) dihitung menggunakan persamaan:

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - R)^4}{S^4} \quad (2-23)$$

dimana:

$C_k$  = Koefisien Kepuncakan;

$X_i$  = Nilai varian ke i;

$X$  = Nilai rata-rata varian;

$n$  = Jumlah data;

$S$  = Simpangan baku (standar deviasi).

- c. Koefisien Variansi ( $C_v$ )

$$C_v = \frac{S}{x} \quad (2-24)$$

dimana:

$n$  = Jumlah data;

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian;

$s$  = Simpangan baku (standar deviasi);

$x$  = Data hujan (mm).

Persyaratan dalam pemakaian distribusi frekuensi bisa dilihat dalam tabel 2.4

**Tabel 2.4** Persyaratan Pemilihan Jenis Distribusi/Sebaran Frekuensi

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan	keterangan
1	<i>Normal</i>	$C_s = 0$ $C_k = 3$	0,15 35,08	tidak diterima
2	<i>Log Normal</i>	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v$ + 3	0,77 4,07	tidak diterima
3	<i>Gumbel</i>	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$	0,15 35,08	tidak diterima
4	<i>Log Pearson III</i>	Selain dari nilai diatas/flexibel		<b>Diterima</b>

Sumber : Triadmojo, 1993

## 2. Analisa distribusi frekuensi curah hujan

Terdapat beberapa macam metode analisa distribusi frekuensi dalam ilmu statistik, akan tetapi dalam bidang hidrologi ada empat jenis distribusi yang seringkali digunakan yaitu distribusi *Normal*, distribusi *Log Normal*, distribusi *Log Pearson III* dan distribusi *Gumbel*.

Dalam tugas akhir ini metode yang digunakan ialah distribusi *Log Pearson III*. Metode distribusi *Log-Person III* hampir sama dengan persamaan distribusi *Log Normal*, yaitu sama-sama mengkonversi ke dalam bentuk logaritma. Berikut langkah langkah yang harus dilakukan:

- a. Menyusun data-data curah hujan dari nilai terbesar hingga terkecil

- b. Merubah sejumlah n data curah hujan (R1, R2, R3, ...Rn) ke dalam bentuk logaritma, sehingga menjadi log R1, log R2, log R3, ... log Rn. Kemudian dinyatakan sebagai:  $x_i = \log R_i$
- c. Menghitung besarnya harga rata-rata besaran logaritma tersebut dengan persamaan:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2-25)$$

- d. Menghitung besarnya harga deviasi rata-rata dari besaran log tersebut dengan persamaan:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2-26)$$

- e. Menghitung harga *skew coefficient* (koefisien asimetri) dari besaran logaritma di atas dengan persamaan:

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{S_d^3} \quad (2-27)$$

- f. Berdasarkan harga *skew coefficient* yang diperoleh dan harga periode ulang (T) yang ditentukan, selanjutnya dapat dihitung harga dari  $K_x$  dengan menggunakan tabel 2.5.
- g. Menghitung besarnya harga logaritma dari masing-masing data curah hujan untuk suatu periode ulang tertentu dengan persamaan:

$$xT = \bar{x} + K_x \cdot S_d \quad (2-28)$$

- h. Perkiraan harga hujan harian maksimum

$$RT = \text{antilog } xT \text{ (mm/24 jam)} \quad (2-29)$$

**Tabel 2.5** Nilai KT untuk Distribusi *Log-Person III*

(CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
<b>3,0</b>	-0,36	0,42	1,18	2,27	3,15	4,05	4,97	7,25
<b>2,5</b>	-0,36	0,51	1,25	2,26	3,04	3,84	4,65	6,60
<b>2,2</b>	-0,33	0,57	1,28	2,24	2,97	3,70	4,44	6,20
<b>2,0</b>	-0,30	0,60	1,30	2,21	2,91	3,60	4,29	5,91
<b>1,8</b>	-0,28	0,64	1,31	2,19	2,84	3,49	4,14	5,66
<b>1,6</b>	-0,25	0,67	1,32	2,16	2,78	3,38	3,99	5,39
<b>1,4</b>	-0,22	0,70	1,33	2,12	2,70	3,27	3,82	5,11
<b>1,2</b>	-0,19	0,73	1,34	2,08	2,62	3,14	3,66	4,82
<b>1,0</b>	-0,16	0,75	1,34	2,04	2,54	3,02	3,48	4,54
<b>0,8</b>	-0,13	0,78	1,33	1,99	2,45	2,89	3,31	4,25
<b>0,6</b>	-0,09	0,80	1,32	1,93	2,35	2,75	3,13	3,96
<b>0,5</b>	-0,08	0,80	1,32	1,91	2,31	2,68	3,04	3,81
<b>0,4</b>	-0,06	0,81	1,31	1,88	2,26	2,61	2,94	3,67
<b>0,3</b>	-0,05	0,82	1,30	1,84	2,21	2,54	2,85	3,52
<b>0,2</b>	-0,03	0,83	1,30	1,81	2,15	2,47	2,76	3,38
<b>0,1</b>	-0,01	0,83	1,29	1,78	2,10	2,40	2,67	3,23
<b>0,0</b>	0,00	0,84	1,28	1,75	2,05	2,32	2,57	3,09
<b>-0,1</b>	0,01	0,83	1,27	1,76	2,00	2,25	2,48	3,95
<b>-0,2</b>	0,03	0,85	1,25	1,68	1,94	2,17	2,38	2,81
<b>-0,3</b>	0,05	0,85	1,24	1,64	1,89	2,10	2,29	2,67
<b>-0,4</b>	0,06	0,85	1,23	1,60	1,83	2,02	2,20	2,54
<b>-0,5</b>	0,08	0,85	1,21	1,56	1,77	1,95	2,10	2,40
<b>-0,6</b>	0,09	0,85	1,20	1,52	1,72	1,88	2,01	2,27
<b>-0,7</b>	0,11	0,85	1,18	1,48	1,66	1,80	1,92	2,15
<b>-0,8</b>	0,13	0,85	1,16	1,44	1,60	1,73	1,83	2,03
<b>-0,9</b>	0,14	0,85	1,14	1,40	1,54	1,66	1,74	1,91
<b>-1,0</b>	0,16	0,85	1,12	1,36	1,49	1,58	1,66	1,80

(CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
<b>-1,2</b>	0,19	0,84	1,08	1,28	1,37	1,44	1,50	1,62
<b>-1,4</b>	0,22	0,83	1,04	1,19	1,27	1,31	1,35	1,46
<b>-1,6</b>	0,25	0,81	0,99	1,11	1,16	1,19	1,21	1,28
<b>-1,8</b>	0,28	0,79	0,94	1,03	1,06	1,08	1,09	1,13
<b>-2,0</b>	0,30	0,77	0,89	0,95	0,98	0,99	1,99	1,00
<b>-2,2</b>	0,33	0,75	0,84	0,88	0,90	0,90	0,90	0,91
<b>-2,5</b>	0,36	0,71	0,71	0,79	0,79	0,79	0,80	0,80
<b>-3,0</b>	0,39	0,63	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66

### 3. Analisa uji kecocokan distribusi

Untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi dari contoh data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan data menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter diantaranya adalah pengujian sebagai berikut:

#### a. Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang (metode yang digunakan untuk mencari hujan rencana) dapat mewakili dari distribusi sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $\chi^2$ , oleh karena itu disebut uji Chi-Kuadrat. Parameter  $\chi^2$  dapat dihitung dengan rumus:

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-30)$$

dimana:

$\chi_h^2$  = Parameter Chi Kuadrat terhitung;

$\sum$  = jumlah sub kelompok;

$O_i$  = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i;

$E_i$  = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i.

Sumber: Soewarno, 1995

Parameter  $\chi^2$  merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai  $\chi^2$  sama atau lebih besar dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya ( $\chi^2$ ) dapat dilihat pada tabel 2.6. Langkah-langkah yang dilakukan adalah:

- 1) Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya);
- 2) Kelompokkan data menjadi G sub grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan;
- 3) Jumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub grup;
- 4) Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$ ;
- 5) Tiap-tiap sub grup dihitung nilai  $(O_i - E_i)^2$  dan  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ ;
- 6) Jumlah seluruh G sub grup dan nilai  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung;
- 7) Tentukan derajat kebebasan  $dk = G - R - 1$  (nilai  $R=2$ , untuk distribusi normal dan binomial, nilai  $R=1$ , untuk distribusi *poisson*).

Dimana interpretasi hasilnya adalah:

- Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
- Apabila peluang berada diantara 1-5% adalah tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu tambah data.

**Tabel 2.6** Interpretasi hasil Tes Chi-kuadrat ( $X^2$ )

Chi-square untuk $\alpha$ 5%	
Df	Chi 5%
1	3.84
2	5.99
3	7.81
4	9.49
5	11.07
6	12.59
7	14.07
8	15.51
9	16.92
10	18.31
11	19.68
12	21.03
13	22.36
14	23.68
15	25
16	26.3
17	27.59
18	28.87
19	30.14
20	31.41

b. Uji Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov*, disebut uji kecocokan non *parametric* karena pengujian ini tidak menggunakan

fungsi distribusi tertentu. Berikut langkah-langkaah yang harus dilakukan:

- 1) Urutkan data pengamatan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- 2) Dari kedua peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dan peluang teoritis.
- 3)  $D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)]$
- 4) Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov*) tentukan harga  $D_0$

Dimana interpretasi hasilnya adalah:

- Apabila  $D$  lebih kecil dari  $D_0$  maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan distribusi dapat diterima, apabila  $D$  lebih besar dari  $D_0$ .
- Syarat  $D_0$  ( lihat tabel 2.7 )  $> D_{\text{max}}$ .

*Sumber : Soewarno, 1995*

**Tabel 2.7** Smirnov Kolmogorov

N	$\alpha$			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.67
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23

*Sumber : Soewarno, 1995*

4. Analisa debit banjir
  - a. Perhitungan hujan jam-jaman



Hujan efektif adalah curah hujan yang lamanya sedemikian rupa sehingga lamanya limpasan permukaan tidak menjadi pendek. Berikut perumusannya :

$$R_t = \frac{R_{24}}{T} \left( \frac{T}{t} \right)^{2/3} \quad (2-31)$$

$$R_T = t \cdot R_t - (t - 1)R_{(t-1)} \quad (2-32)$$

dimana:

$R_t$  = Rata tinggi hujan dari permulaan sampai jam ke t (mm);

$R_{24}$  = Tinggi hujan harian dalam 24 jam (mm);

$t$  = Waktu hujan (jam);

$T$  = Lama waktu hujan terpusat (jam);

$R_T$  = Tinggi hujan rata-rata pada jam t (mm);

$R_{(t-1)}$  = Rata-rata tinggi hujan dari permulaan sampai jam ke (t-1) (mm).

Perhitungan tinggi hujan efektif, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R_e = C \cdot R_t \quad (2-33)$$

Dimana:

$R_e$  = Tinggi hujan efektif (mm);

$R_t$  = Tinggi hujan rencana (mm);

$C$  = Koefisien pengaliran rata rata (tabel 2.8).

*Sumber : Suripin, 2003*

**Tabel 2.8** Nilai Koefisien Pengaliran

<b>Deskripsi</b>	<b>Koefisien ( C )</b>
Daerah pegunungan dengan kemiringan tinggi	0,75-0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70-0,80
Daerah hutan dan bergelombang	0,50-0,75
Daerah dataran dengan ditanami	0,45-0,60
Daerah persawahan	0,70-0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75-0,85

Sungai kecil di daerah dataran	0,45-0,75
Sungai dengan daerah aliran sungai yang besar	0,50-0,75

Sumber : Hadisusanto, 2011

#### b. Hidrograf Satuan *Nakayashu*

Hidrograf satuan suatu DAS adalah suatu limpasan langsung yang diakibatkan oleh suatu hujan efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang. Tujuan dari hidrograf adalah untuk memperkirakan hubungan antara hujan efektif dan aliran permukaan.

Sumber : Suripin, 2003

$$Q_p = \frac{C.A.R_0}{3,6 (0,3.T_p.T_{0,3})} \quad (2-34)$$

dimana:

$Q_p$  = Debit puncak banjir ( $m^3/det$ );

$C$  = Koefisien pengaliran;

$A$  = Luas daerah aliran sungai ( $km^2$ );

$R_0$  = Hujan satuan ( $mm$ );

$T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir ( $jam$ );

$T_{0,3}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak ( $jam$ ).

Pada Hidrograf *Nakayasu* dibagi menjadi dua bagian yaitu lengkung naik dan lengkung turun.

- Lengkung Naik

$$Q_a = Q_p \cdot \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (2-35)$$

Keterangan:

$Q_a$  = Limpasan sebelum mencapai debit puncak dan dinyatakan dalam bentuk ( $m^3/detik$ ).

- Lengkung Turun

1) Untuk  $Q_d > 0,30.Q_p$

$$Qd = Qp \cdot 0,3^{\frac{t-Tp}{T_{0,3}}} \quad (2-36)$$

2) Untuk  $0,30 \cdot Qp > Qd > 0,30^2 Qp$

$$Qd = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t-Tp)+(0,5 \cdot T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}} \quad (2-37)$$

3) Untuk  $0,30^2 Qp > Qd$

$$Qd = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t-Tp)+(1,5 \cdot T_{0,3})}{2 \cdot T_{0,3}}} \quad (2-38)$$

Keterangan:

$Qp$  = Debit puncak ( $m^3/det$ );

$T$  = Satuan waktu (jam).

Sumber : Suripin, 2003

## 2.2.2. Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dalam perencanaan PLTMH ini meliputi perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

### 2.2.2.1. Penentuan Debit Rencana

Penentuan debit rencana diperlukan dalam perencanaan bangunan sipil sehingga bangunan sipil yang direncanakan dapat berfungsi semaksimal mungkin sesuai kapasitasnya. Dalam melakukan penentuan debit rencana tersebut dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Menentukan tinggi jatuh efektif rencana

Untuk mendapatkan hasil optimal, PLTMH didesain sedemikian rupa sehingga kehilangan energi yang terjadi tidak lebih dari 10%. (Celso Penche, 1998). Sehingga tinggi jatuh efektif rencana ialah hasil nilai beda tinggi antara muka air di atas pipa pesat hingga elevasi dimana terjadi tumbukan air pada tubin dikurangi 10% nya.

#### 2. Menentukan debit andalan rencana.

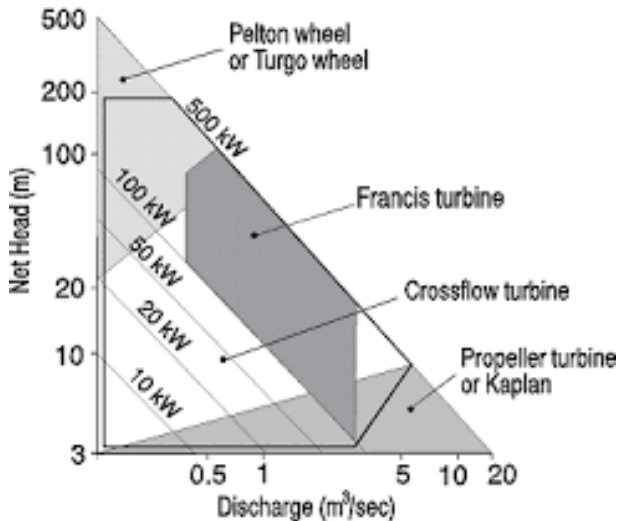
Debit yang diandalkan untuk dapat mengoperasikan turbin harus ditentukan untuk menentukan jenis turbin yang dipakai. Pada umumnya untuk memaksimalkan waktu penggunaan turbin maka debit yang diandalkan diharapkan mampu tersedia dengan probabilitas 80%. Sehingga dari perhitungan debit andalan tentukan besar debit dengan probabilitas yang diharapkan.

3. Menentukan jenis turbin yang dipakai

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan tinggi efektif rencana dan debit andalan rencana dengan menggunakan grafik pada gambar 2.1.

4. Menentukan debit rencana

Dalam perencanaan PLTMH debit rencana yang paling menentukan pada perencanaan bangunan sipil ialah debit maksimal yang bekerja pada turbin. Debit ini ditentukan berdasarkan kapasitas debit dari spesifikasi turbin yang dipilih.



**Gambar 2.1** Grafik Penentu Jenis Turbin

*Sumber: Celco Penche, 1998*

### 2.2.2.2. Perencanaan Bangunan Intake dan Pelengkapnnya

#### 1. Perhitungan dimensi saluran pembawa

Dalam perencanaan ini penampang saluran didesain berbentuk persegi panjang sehingga rumus-rumus yang digunakan antara lain:

$$A = b h \quad (2-39)$$

$$P = b + 2h \quad (2-40)$$

$$R = A / P \quad (2-41)$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (2-42)$$

$$Q = v \cdot A \quad (2-43)$$

dimana:

A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>);

P = keliling penampang basah (m);

R = jari-jari hidrolis (m);

I = kemiringan saluran (%);

n = koefisien manning;

v = kecepatan aliran (m/dt);

Q = debit rencana (m<sup>3</sup>/dt).

#### 2. Perencanaan bangunan peninggi muka air

Dalam perencanaan pembangkit PLTMH perlu diperhatikan beberapa faktor diantaranya:

##### a. Faktor ekonomi.

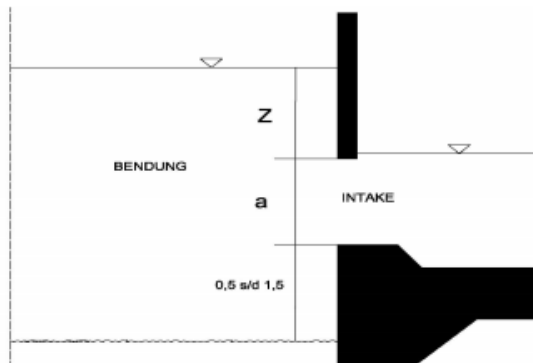
Penentuan jenis bangunan disesuaikan dengan kondisi dimana bangunan PLTMH pada tugas akhir ini diperuntukan untuk daerah tertinggal sehingga jenis untuk bangunan peninggi muka air ialah mercu tetap.

##### b. Faktor kondisi lapangan.

Faktor ini menentukan dimensi dan desain bangunan pelengkap dari bangunan peninggi muka air. Diantaranya debit banjir digunakan untuk mempertimbangkan tinggi bangunan yang akan mempengaruhi tinggi air banjir yang dapat meluap. Tinggi bangunan juga ditentukan dari desain muka air dimana muka air didesain agar dimensi dan elevasi saluran pembawa dapat direncanakan dengan baik dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan seperti jalan yang terlewati oleh saluran. Kemudian lebar sungai dimana jika lebar sungai sempit maka bangunan tidak dilengkapi pintu pembilas ataupun kantong lumpur agar disaat banjir lebar efektif dapat maksimal menampung air yang lewat.

### 3. Perencanaan pintu *intake*

Selain faktor profil sungai, penempatan *intake* juga tergantung faktor penanganan sedimentasi dan pola perawatan (*maintenance*). Ada dua macam bentuk *intake*, yakni *direct intake* dan *side intake*. Profil sungai pada *intake* memungkinkan kita menggunakan bentuk *side intake*. Bentuk *intake* ini dapat didesain tanpa *trashrack* dan pintu air dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Potongan *intake*

Sumber :Harvey, 1993

$$Q_{intake} = \mu \cdot a \cdot b \sqrt{2gz} \quad (2-44)$$

Dimana:

Q = debit rencana (m<sup>3</sup>/s);

$\mu$  = koefisien debit;

g = percepatan gravitasi (= 9.8 m/det<sup>2</sup>);

a = tinggi bersih bukaan (m);

b = lebar bersih bukaan (m);

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan (m).

#### 4. Perhitungan tinggi jatuh efektif

Tinggi jatuh efektif merupakan parameter penentu besar daya yang dihasilkan oleh PLTMH. Tinggi jatuh air efektif didapatkan dari hasil pengurangan tinggi jatuh *brutto* dengan kehilangan energi yang terjadi. (Celso Penche, 1998). Sehingga besar tinggi jatuh efektif dirumuskan sebagai berikut:

$$H_{eff} = H_{brutto} - H_{losses} \quad (2-45)$$

dimana:

$H_{eff}$  = tinggi jatuh efektif (m);

$H_{brutto}$  = perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir (m);

$H_{losses}$  = tinggi kehilangan energi (m).

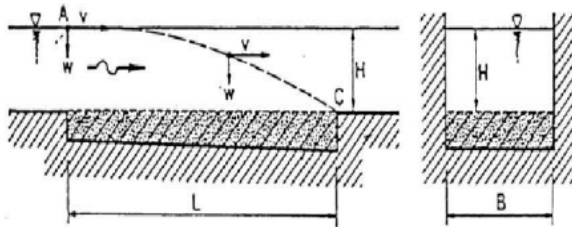
Untuk mendapatkan hasil maksimum, maka sistem pembangkit listrik harus didesain sedemikian sehingga tekanan maksimal 10% dari *head brutto*. (Patty, 1995)

### 2.2.2.3. Perencanaan Bak Penenang

Berdasarkan desain dari bangunan *intake* yang telah dibahas perencanaan bak penenang didesain sedemikian rupa untuk berfungsi menstabilkan air yang akan masuk ke pipa pesat dengan menjaganya dari kelebihan debit rencana dan dari kotoran/lumpur sehingga bak penenang dilengkapi dengan kantung lumpur dan *spillway*.

Perencanaan dimensi bak penenang meliputi tinggi bak serta dimensi bagian output bak yang dipengaruhi tinggi kritis dan posisi mulut pipa yang didesain supaya air yang masuk dapat stabil, lebar bak yang didesain agar air yang mengalir memiliki kecepatan yang diijinkan untuk mengendapkan sedimen dan supaya volume air pada bak dapat menampung 20 kali debit rencana guna menjaga kestabilan. Sedangkan panjang bak disesuaikan pada perencanaan kantong lumpur. (Sumber: Standar Perencanaan Mikro Hidro)

Air yang mengalir dari sungai dan yang akan menuju turbin, tentunya akan membawa beberapa partikel kecil (sedimen). Partikel-partikel ini bersifat keras (*solid*) inilah yang dapat merusak turbin. Untuk meniadakan material-material perusak ini, arus air harus diperlambat di kolam pengendap, maka material-material ini akan mengendap di dasar kolam dan dibersihkan secara periodik. Parameter yang ditinjau adalah panjang ( $L$ ) *sand trap* desain *sand trap* dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Potongan *Sand Trap*

Sumber: Standar Perencanaan Mikro Hidro



### 1. Menentukan diameter sedimen

Diameter sedimen ditentukan berdasarkan jenis PLTA yang direncanakan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Diameter 0,2-0,5 mm untuk PLTA tekanan rendah;
- Diameter 0,1-0,2 mm untuk PLTA tekanan sedang;
- Diameter 0,01-0,05 mm untuk PLTA tekanan tinggi.

### 2. Menentukan kecepatan kritis

Kecepatan kritis dihitung dengan rumus berikut:

$$V_{\text{kritis}} = a\sqrt{d} \quad (2-46)$$

Dimana:

$a = 44$  untuk ukuran diameter sedimen  $1\text{mm} > d > 0.1\text{mm}$ .

### 3. Perencanaan dimensi bak

Panjang bak mempertimbangkan dengan panjang *sand trap* ditinjau dari arah x ( $t_x$ ) dan arah y ( $t_y$ ), sehingga dari kedua tinjauan kita bisa dapat nilai L dari *sand trap*.

$$t_x = L/v \quad (2-47)$$

$$t_y = h_0/w \quad (2-48)$$

$$Q = v \cdot h_0 \cdot B \quad (2-49)$$

$$t_x = t_y \rightarrow L = \frac{Q}{w \cdot B} \quad (2-50)$$

dimana :

L = Panjang *sand trap* (m);

B = Lebar bak penenang (m);

$h_0$  = Tinggi aliran pada bak penenang (m);

Q = Debit *head race* ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

w = Kecepatan alir sediment (m/s) diambil berdasarkan gambar 2.4;

v = Kecepatan alir air pada bak (m/s);

V = Volume bak =  $B \times L \times H$ .

## 4. Menentukan tinggi kritis

Tinggi kritis dihitung dengan rumus berikut:

$$hc = \{(\alpha \times Qd) / (g \times B)\} \quad (2-51)$$

dimana nilai  $\alpha = 1.1$  dan  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  (gravitasi).

## 5. Menentukan posisi mulut pipa

Aliran air sluran terbuka menuju ke sluran pipa akan mengalami turbulensi apabila tidak memiliki kedalaman yang cukup. Turbulensi akan menimbulkan gelombang udara yang masuk pipa dan akan mengganggu kinerja turbin, sehingga perlu diperhatikan perencanaan jarak antara muka air dengan posisi pipa pesat yang disebut dengan *minimum operational level* (MOL) yang ditentukan dengan rumus berikut:

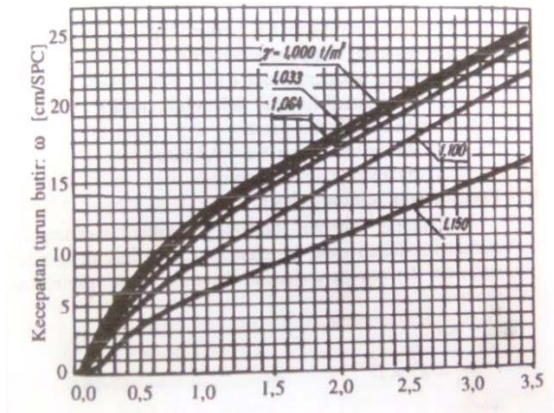
$$\text{MOL} = D + 1.5 \frac{v^2}{2g} \quad (2-52)$$

dimana:

D = diameter pipa pesat (m);

v = kecepatan disaluran (m/detik);

g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>).



**Gambar 2.4** Grafik Kecepatan Sedimen

Sumber: O.F. Patty 1995.

## 6. Perencanaan *spillway*

*Spillway* direncanakan untuk melindungi saluran dan bangunan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh jumlah air yang berlebihan. *spillway* harus direncanakan berdasarkan tinggi muka air maksimum.

### 2.2.2.4. Perencanaan Pipa Pesat (*Penstock*)

*Penstock* atau pipa pesat adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju ke Rumah Pembangkit. Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter dan ketebalan. Berikut perhitungan pada perencanaan pipa pesat:

#### 1. Menghitung hidrolis pipa

Hidrolis pipa meliputi *mayor losses*, *minor losses* dan perhitungan *Hnetto* turbin.

##### 1. *Mayor losses* (kehilangan energi primer)

Kehilangan energi primer adalah kehilangan energi yang disebabkan gesekan didalam pipa.

$$hf = f \cdot \frac{L}{b} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2-54)$$

dimana:

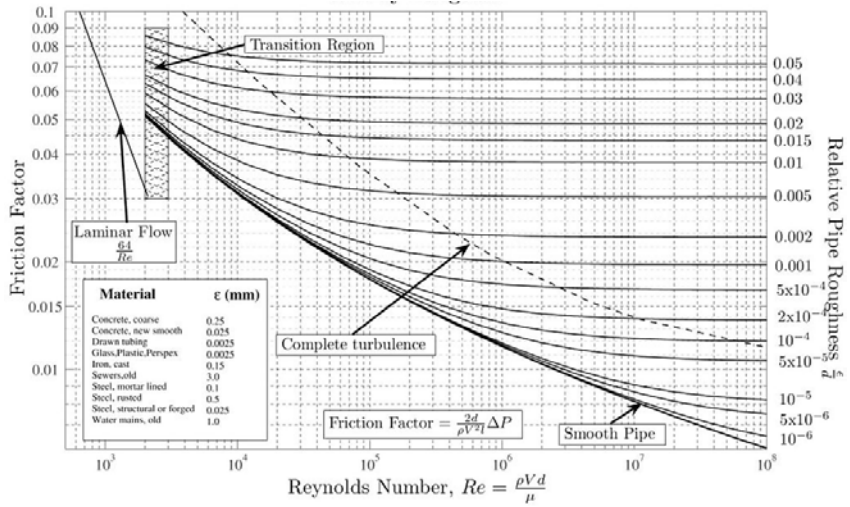
f = Koefisien berdasarkan grafik moody (Gambar 2.5);

L = Panjang pipa (m);

D = Diameter pipa (m);

V = Kecepatan Aliran (m<sup>2</sup>/s);

g = Percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/det).



**Gambar 2.5** Diagram Moody

Sumber: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moody\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart).

## 2. Minor losses (kehilangan energi primer)

- a. Apabila ada *trash rack* pada awalan *penstock* dapat dihitung dengan rumus :

$$h_r = \frac{\left[ k \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot v_0^2 \right]}{2g} \quad (2-55)$$

dimana:

$k$  = Koefisien *losses* untuk elemen;

$t$  = Tebal elemen (cm);

$b$  = Celah antar 2 elemen (cm);

$\alpha$  = Sudut kemiringan *trash rack* ( $^\circ$ );

$Q$  = Debit air yang direncanakan ( $\text{m}^3/\text{det}$ );

$V_0$  = Kecepatan rata-rata dalam aliran ( $\text{m}^3/\text{det}$ ).

## b. Kehilangan energi pada awal pipa

$$hf = k \frac{v^2}{2g} \quad (2-56)$$

dimana :

k = Koefisien bentuk ujung pipa;

v = Kecepatan Aliran (m<sup>2</sup>/s);

g = Percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/det).

2. Menghitung diameter *penstock*

Dalam menghitung diameter *peanstock* digunakan rumus sebagai berikut:

$$D = 0,72 * (Q_{air})^{0.5} \quad (2-57)$$

Dimana :

Q<sub>air</sub> = Debit andalan (m<sup>3</sup>/s);

D = Diameter *penstock* (m).

Sumber: Standar Perencanaan Mikro Hidro

3. Ketebalan *penstock*

$$t_0 = \left( \frac{P \cdot D_0}{\sigma \cdot \eta} \right) + \varepsilon \quad (2-58)$$

dimana:

t<sub>0</sub> = Tebal pipa *penstock* (mm);

D<sub>0</sub> = jari – jari *penstock* (m);

P = Tinggi tekanan air dalam pipa *penstock* (kg/cm<sup>2</sup>);

σ = Tegangan ijin bahan *penstock* (kg/cm<sup>2</sup>);

η = Efisiensi sambungan las;

ε = Korosi plat yang diijinkan.

### 2.2.3. Perhitungan Energi Listrik

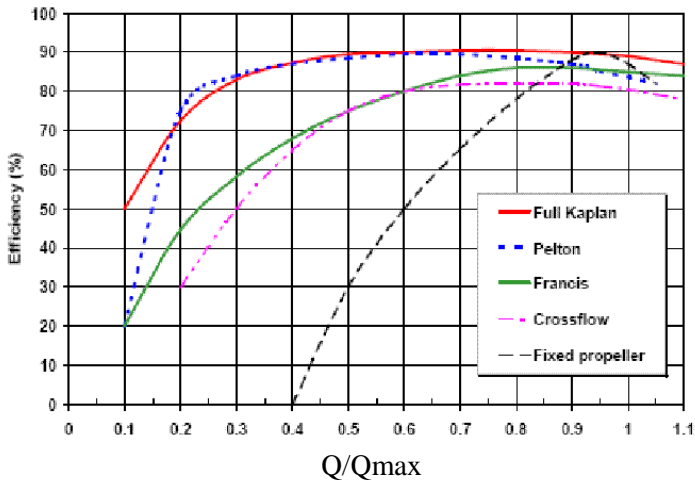
Energi listrik dihitung dengan mengalikan daya listrik yang didapat dengan satuan waktu (O.F. Patty, 1995). Rumus yang digunakan ialah:

$$P = Heff \cdot Q \cdot g \cdot \eta \quad (2.59)$$

$$E = P \cdot t = Heff \cdot Q \cdot g \cdot \eta \cdot t \quad (2.60)$$

dimana:

- E = Energi listrik (Kwh);
- P = Daya terbangkit (Kw);
- Heff = Tinggi terjun bersih (m);
- $\eta$  = Efisiensi (berdasarkan tabel 2.6);
- Q = Deit andalan ( $m^3/dt$ );
- g = Gaya gravitasi bumi ( $m/dt^2$ ).
- t = waktu (jam).



**Gambar 2.6** Diagram efisiensi turbin  
*Sumber : British Hydro Association*

## **BAB III METODOLOGI**

Tahap-tahap dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan menjadi beberapa poin yang berurutan, yaitu sebagai berikut:

### **3.1. Tahap Persiapan**

Dalam tahap persiapan, hal-hal yang akan dipersiapkan adalah:

#### **1. Dasar Teori**

Mempersiapkan dasar-dasar teori, peraturan dan perumusan yang akan dipakai dari sumber yang relevan. Beberapa sumber teori yang akan dipakai antara lain seperti buku “Hidrologi Terapan” *Bambang Triatmodjo* serta buku-buku atau jurnal lain yang terkait.

#### **2. Pengumpulan Data**

Data teknis yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Hujan Kaliangkrik dan Stasiun Klimatologi Rawa Pening, berupa data hujan 10 tahunan dan data iklim terkait perhitungan evapotranspirasi.

### **3.2. Tahap Analisa**

Analisa dan pengolahan data yang telah dikumpulkan meliputi:

#### **1. Analisa Debit Sungai**

Pada lokasi perencanaan PLTMH ini berada pada sungai alam dimana data terkait debit yang dibutuhkan tidak tersedia sehingga perlu dilakukan analisa simulasi debit menggunakan metode F.J. Mock untuk mendapatkan data debit sungai.

#### **2. Analisa Debit Andalan**

Debit andalan merupakan debit minimal yang tersedia. Debit andalan menentukan bahwa debit air yang dibutuhkan dapat terpenuhi dan pembangkit listrik dapat digunakan serta menentukan daya listrik yang akan dihasilkan.

### 3. Menentukan Beda Tinggi Energi yang Tersedia

Beda tinggi juga merupakan salah satu faktor yang menentukan perencanaan pembangkit listrik serta daya listrik yang dihasilkan. Untuk menganalisa beda tinggi energi yang tersedia dilakukan penentuan elevasi rencana pada jalur rencana pipa pesat di lapangan dengan kegiatan *tracking* menggunakan alat GPS.

### 4. Penentuan Jenis Turbin

Jenis turbin yang akan digunakan ditentukan berdasarkan parameter prediksi potensi yang tersedia dari analisa sebelumnya.

### 5. Analisa dan Perencanaan Hidrolika

Tahap ini menganalisa dan merencanakan aspek hidrolika yang meliputi sistem pengambilan air, hingga sistem penyaluran air dengan tujuan mendapatkan hasil yang maksimal.

### 6. Analisa Daya yang Dihasilkan

Pada tahap ini hasil dihitung besar daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga mikro yang direncanakan dalam jangka waktu setahun

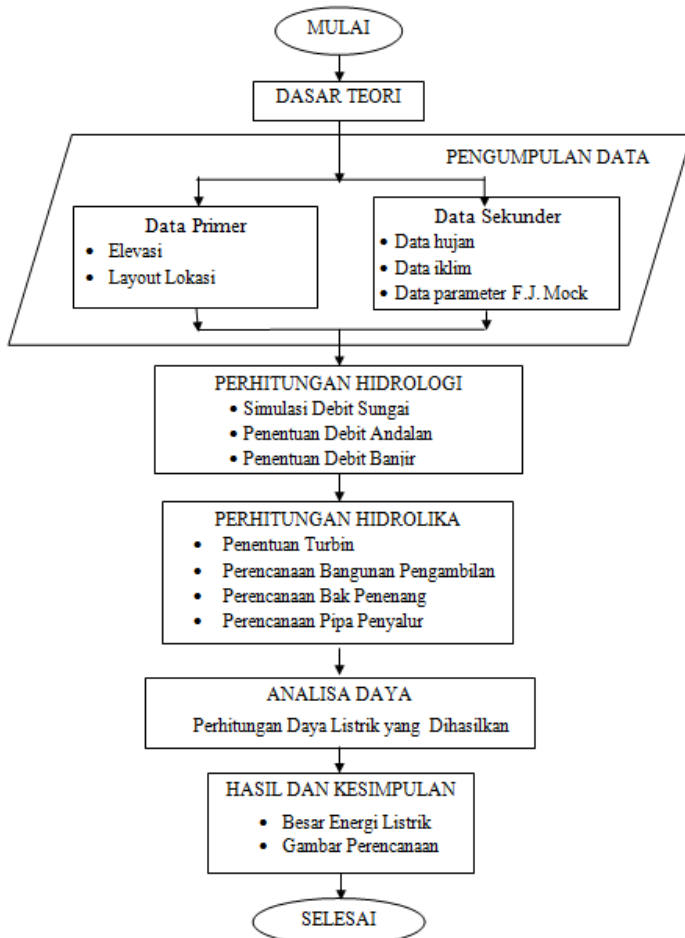
## **3.3. Kesimpulan**

Hasil perencanaan Tugas Akhir ini adalah perencanaan Pembangkit Listrik Mikro Hidro serta besar daya yang dapat dihasilkan.



### 3.4. Flowchart

Pada Gambar 3.1 berikut akan ditunjukkan Diagram Alir Metodologi Pelaksanaan Tugas Akhir.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Pelaksanaan Tugas Akhir

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa Hidrologi

#### 4.1.1. Debit Andalan

##### 4.1.1.1. Simulasi Debit Fj mock

Pada prinsipnya metode F.J. Mock ini didasarkan pada konsep pokok hidrologi “*water balance*” atau konsep keseimbangan air. Pada konsep ini berdasarkan sirkulasi air di bumi atau siklus hidrologi dimana hujan yang jatuh dipermukaan bumi dalam hal ini *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi limpasan langsung (*direct run-off*). Pada perhitungan ini siklus yang disimulasikan merupakan kejadian selama kurun waktu bulanan.

Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan *Water Balance* metode F.J. Mock yang:

#### 1. Menghitung evapotranspirasi aktual ( $E_a$ )

Untuk mendapatkan *limited evapotranspirasi* ( $E_t$ ) yang perlu dilakukan ialah menghitung besar evapotranspirasi potensial menggunakan metode Penman Modifikasi. Data yang digunakan merupakan data rata-rata bulanan hasil pencatatan dari stasiun rawa pening selama 7 tahun dari tahun 2008-2014. Stasiun tersebut merupakan stasiun terdekat dengan lokasi, berjarak kurang lebih 45 km dari lokasi dengan beda ketinggian sekitar 1500 m. Untuk itu pada data suhu dikoreksi berdasarkan parameter umum dimana setiap kenaikan 100 m terjadi penurunan suhu sebesar 0,6 °C. Rekapitulasi data yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1:

**Tabel 4.1** Data iklim

Bulan	Parameter			
	Suhu	Kec. Angin	Kelambaban	Lama Penyinaran
	°C	km/jam	%	%
Januari	13.68	126.11	85.14	30.00
Febuari	13.82	156.61	84.00	35.74
Maret	15.62	90.05	82.14	39.68
April	17.47	104.92	79.57	58.35
Mei	17.40	97.73	76.43	50.72
Juni	15.28	100.92	73.43	60.14
Juli	15.23	108.35	71.57	66.63
Agustus	14.99	163.57	68.43	77.34
September	21.44	161.21	64.86	73.58
Oktober	16.19	142.12	70.14	59.83
Nopember	15.28	110.47	77.00	50.92
Desember	14.95	102.06	80.00	34.32

Berikut adalah contoh langkah-langkah dan hasil perhitungan yang dilakukan pada bulan januari:

- a. Mencari besarnya tekanan uap jenuh ( $e_a$ ), faktor koreksi temperatur terhadap radiasi ( $W$ ), nilai  $(1-W)$ , dan fungsi temperatur  $f(t)$  dari tabel 2.1, 2.2 dan 2.3 berdasarkan nilai suhu rerata bulanan.

- Temperatur rata-rata bulan januari =  $13,68^{\circ}\text{C}$

- Berdasarkan tabel 2.1 didapat:

Tekanan uap jenuh ( $e_a$ ) pada suhu  $13^{\circ}\text{C}$  sebesar 15,0 mbar dan pada suhu  $14^{\circ}\text{C}$  sebesar 16,1 mbar dilakukan interpolasi.

$$e_a = 15,0 + \frac{16,1 - 15,0}{14 - 13} \times (13,68 - 13) = 15,753 \text{ mbar}$$

- Berdasarkan tabel 2.1 didapat:

faktor koreksi temperatur terhadap radiasi ( $W$ ) untuk ketinggian rata-rata 2000 mdpl pada suhu  $12^{\circ}\text{C}$  sebesar 0,64 dan pada suhu  $14^{\circ}\text{C}$  sebesar 0,66 dilakukan interpolasi.

$$W = 0,64 + \frac{0,66-0,64}{14-12} \times (13,68- 12) = 0,657$$

- Nilai  $(1-W) = 1 - 0,657 = 0,343$
- Berdasarkan tabel 2.1 didapat:

Fungsi suhu pada suhu  $12^{\circ}\text{C}$  sebesar 13,1 dan pada suhu  $14^{\circ}\text{C}$  sebesar 13,5 dilakukan interpolasi.

$$f(t) = 13,1 + \frac{13,5-13,1}{14-12} \times (13,68- 12) = 13,237$$

- b. Menghitung tekanan uap aktual (ed) berdasar nilai tekanan uap jenuh (ea) dan kelembaban rata-rata (RH).

Kelembaban rata-rata bulan januari 85,14 % maka didapat,

$$\begin{aligned} \text{ed} &= \text{ea} \times \text{RH} \\ &= 15,753 \times \frac{85,14}{100} \\ &= 13.413 \text{ mbar} \end{aligned}$$

- c. Menghitung nilai (ea-ed)

$$(\text{ea}-\text{ed}) = 15,753 - 13.413 = 2,34 \text{ mbar}$$

- d. Menghitung nilai fungsi tekanan uap nyata (f(ed)) berdasarkan nilai ed.

$$\begin{aligned} f(\text{ed}) &= 0,33- 0,044 \times (\text{ed}) \quad \square \cdot \square \\ &= 0,33- 0,044 \times (13.413) \quad \square \cdot \square \\ &= 0,169 \end{aligned}$$

- e. Mencari data letak lintang daerah yang ditinjau. Lokasi yang ditinjau berada pada  $7,42^{\circ}$  LS.

- f. Menghitung nilai radiasi *extra teresterial* (Ra) dari tabel 2.5. berdasarkan data letak lintang didapatkan nilai radiasi *extra teresterial* pada bulan januari 16,013 mm/hari.

- g. Mencari nilai radiasi gelombang pendek (Rs) dari perhitungan, berdasarkan nilai *radiasi extra teresterial* (Ra) dan lama penyinaran pada bulan januari (n/N).

$$\begin{aligned} \text{Rs} &= (0,25 + 0,5 \times \text{n/N}) \times \text{Ra} \\ &= (0,25 + 0,5 \times 30\%) \times 16.013 \end{aligned}$$

$$= 6,597 \text{ mm/hari}$$

- h. Mencari nilai radiasi *netto* gelombang pendek ( $R_{ns}$ ), berdasarkan rumus dibawah dimana nilai  $\alpha = 0,25$ .

$$\begin{aligned} R_{ns} &= R_s \times (1-\alpha) \\ &= 6,597 \times (1-0,25) \\ &= 4,948 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

- i. Menghitung nilai fungsi rasio lama penyinaran ( $f(n/N)$ ) berdasarkan nilai lama penyinaran ( $n/N$ ).

$$\begin{aligned} f(n/N) &= 0.1 + 0.9 \times (n/N) \\ &= 0.1 + 0.9 \times (30\%) \\ &= 0,37 \end{aligned}$$

- j. Mencari besaran fungsi kecepatan angin  $f(u)$  berdasarkan nilai  $u$ . dimana  $u$  = kecepatan angin rata-rata harian setiap bulan (km/jam).

$$\begin{aligned} f(u) &= 0.27(1 + u /100) \\ &= 0.27(1 + 126.11/100) \\ &= 0.611 \end{aligned}$$

- k. Mencari besaran radiasi *netto* gelombang panjang ( $R_{n1}$ ).

$$\begin{aligned} R_{n1} &= f(t) \times f(ed) \times f(n/N) \\ &= 13,237 \times 0,169 \times 0,37 \\ &= 1,365 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

- l. Mencari nilai radiasi *netto* ( $R_n$ ).

$$\begin{aligned} R_n &= R_{ns} - R_{n1} \\ &= 4,948 - 1,365 \\ &= 3,584 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

- m. Menentukan nilai angka koreksi ( $C$ ) yang merupakan faktor pengali terhadap adanya perbedaan kondisi iklim di malam dan siang hari. berdasarkan tabel 2.4 nilai angka koreksi pada bulan januari sebesar 1,04

- n. Menentukan nilai evapotranspirasi potensial (Eto) dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Eto &= C \times [ W \times Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea-ed) ] \\ &= 1,04 \times [0,657 \times 3,584 + (0,343) \times (0.611) \times (2,34)] \\ &= 2,958 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

- o. Menentukan nilai evapotranspirasi potensial (Eto) bulanan:

$$\begin{aligned} Eto &= Eto \times \text{jumlah hari dalam bulan} \\ &= 2,958 \times 31 \\ &= 91.696 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di setiap langkah dapat dilihat pada tabel perhitungan di bagian lampiran. Sedangkan hasil perhitungan evapotranspirasi potensial dalam setiap bulan dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Evapotranpirasi Potensial

Bulan	Evapotranspirasi Potensial (Eto) mm/bulan
Januari	91.696
Febuari	90.959
Maret	112.776
April	111.872
Mei	99.038
Juni	97.012
Juli	110.193
Agustus	146.129
September	192.580
Oktober	161.060
Nopember	134.585
Desember	110.930

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai evapotranspirasi aktual ( $E_a$ ) dilakukan perhitungan seperti contoh perhitungan bulan januari tahun 1998 berikut ini:

$$\begin{aligned} E_t &= E_{to} \times (m / 20) \times (18-n) \\ &= 91,696 (0,5/20) \times (18 - 26) \\ &= -7,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_a &= E_{to} - E_t \\ &= 91,696 - (-7,34) \\ &= 99,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

dimana :

- $E_a$  = Evapotranspirasi aktual (mm);
- $E_t$  = Evapotranspirasi terbatas (mm);
- $E_{to}$  = Evapotranspirasi potensial (mm);
- $n$  = jumlah hari hujan dalam sebulan, pada bulan januari 1998 tercatat terdapat 26 hari hujan;
- $m$  = Perbandingan permukaan tanah yang tidak tertutupi dengan tumbuh-tumbuhan penahan hujan diambil 0,4 berdasarkan parameter  $m = 30 - 50 \%$  bahwa permukaan tanah yang tidak tertutupi berfungsi untuk lahan pertanian yang diolah ( sawah ).

## 2. Menghitung keseimbangan air

Metode Mock ini memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Hasil dari permodelan ini dapat dipercaya jika ada debit pengamatan sebagai pembanding. 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. Dalam kasus ini sungai yang diteliti merupakan sungai alam dimana tidak tersedia debit pengamatan sebagai pembanding. Sehingga parameter yang digunakan merupakan hasil



penelitian dalam karya ilmiah yang berjudul “PREDIKSI DEBIT PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI MENGGUNAKAN MODEL MOCK DI DAS PROGO HULU” yang mana lokasi studinya berdampingan dengan lokasi studi tugas akhir ini. Berikut beberapa parameter yang digunakan pada dilampirkan pada tabel 4.3:

**Tabel 4.3** Parameter Karakteristik DAS

No	Parameter	Satuan		Nilai
1	Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0.500
2	Koefisien infiltrasi musim basah	-	DIC	0.667
3	Soil Moisture capacity	Mm	SMC	147.297
4	Groundwater Recession Constant	-	K	0.789

Keseimbangan air dipermukaan didapat dengan langkah-langkah seperti pada perhitungan untuk bulan januari 1989 sebagai berikut:

a. Air hujan yang mencapai permukaan tanah

$$\begin{aligned}\Delta S &= R - E_a \\ &= 724 - 99,03 \\ &= 617,63 \text{ mm}\end{aligned}$$

dimana:

$\Delta S$  = Keseimbangan air dipermukaan tanah;

R = Hujan Bulanan (mm);

$E_a$  = Evapotranspirasi Aktual.

b. Kelebihan Air (*water surplus*)

Besarnya air lebih tergantung pada harga kapasitas kelembaban (SMC). Jika kelembaban pada bulan sebelumnya (*initial soil moisture*) penuh maka air yang jatuh ke permukaan sepenuhnya menjadi kelebihan tapi jika SMC berkurang maka air yang jatuh ke permukaan mengisi kekurangan yang terjadi. Sehingga besarnya kelebihan air dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 WS &= \Delta S - \Delta SM \\
 &= 617,63 - 0 \\
 &= 617,63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

dimana :

WS = water surplus,

$\Delta SM$  = Perbedaan Kelembapan tanah atau kekurangan kelembapan tanah yang terjadi. Berdasarkan data yang ada, bulan desember dan bulan januari termasuk bulan bulan dimana kondisi kelembapan tanah selalu jenuh sehingga diasumsikan pada bulan januari 1989 nilai SMC maupun IMC sama penuh yaitu memenuhi kapasitas sebesar 147,297 mm (berdasarkan tabel 4.3). maka tampungan tanah bernilai nol atau tidak adanya selisih perubahan kelembabaan tanah antara bulan desember dan januari.

### 3. Limpasan dan penyimpanan air tanah (*Run off dan Ground Water storage*).

#### a. Infiltrasi (i)

$$\begin{aligned}
 i &= \text{Koefisien Infiltrasi} \times WS \\
 &= 0.5 \times 617,63 \\
 &= 308.82 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

dimana :

i = Infiltrasi;

Koefisien Infiltrasi = 0.5 berdasarkan karakteristik DAS.

#### b. Penyimpanan air tanah (*ground water storage*).

Penyimpanan air tanah didapat dari perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_n &= k \cdot (V_{n-1}) + \frac{1}{2} (1 + k) \times i \\
 &= 0.789 (200) + \left(\frac{1}{2} (1 + 0.79)\right) \times 308.82 \\
 &= 280.02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

dimana :

$V_n$  = Volume air tanah;

$V_{n-1}$  = Volume simpanan air tanah periode  $n - 1$  F.j mock  
mengasumsikan nilai  $V_{n-1}$  diawal perhitungan  
sebesar 200 mm;

$k$  = Faktor resesi aliran air tanah digunakan 0.789  
berdasarkan karakteristik DAS (Tabel 4.3).

c. Limpasan (*Run off*)

Limpasan air hujan atau presipitasi akan menempuh jalur-jalur menuju kesungai. Sebagian akan mengalir sebagai limpasan permukaan dan masuk kedalam tanah lalu mengalir ke kiri dan kananya membentuk aliran antara. Sebagian yang lain akan berperkolasi jauh kedalam tanah hingga mencapai lapisan air tanah. Aliran permukaan tanah serta aliran antara sering digabungkan sebagai limpasan langsung (*direct runoff*) Untuk memperoleh limpasan, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} BF &= i - (\Delta V_n) \\ &= 308.82 - (280.02 - 200) \\ &= 221,093 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Dro &= WS - i \\ &= 617,63 - 308.82 \\ &= 308.82 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ron &= BF + Dro \\ &= 221,093 + 308.82 \\ &= 537,61 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

dimana :

BF = Aliran dasar (mm/bulan);

$i$  = Infiltrasi (mm/bulan);

$\Delta V_n$  = Perubahan volume air tanah (mm/bulan);

Dro = Limpasan Langsung (mm/bulan);

WS = Kelebihan air (mm/bulan);

Ron = Limpasan periode  $n$  (mm/bulan).

4. Debit rata-rata bulanan pada sungai dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= (\text{Ron}/1000) \times A / (\text{jumlah hari dalam sebulan} \times 24 \times 60 \times 60) \\
 &= 537,61 / 1000 \times 86252 / (31 \times 24 \times 60 \times 60) \\
 &= 1.73 \text{ m}^3 / \text{detik}
 \end{aligned}$$

dimana :

Q = Debit air rata-rata per bulan (m<sup>3</sup>/detik);

A = Luas daerah tangkapan (*catchment area*) 86252 km<sup>2</sup>.

Berdasarkan langkah langkah-tersebut didapat data debit rata-rata bulan pada setiap bulan dari tahun 1989-2000 yang bisa dilihat pada tabel 4.4:

**Tabel 4.4** Debit rata-rata bulanan

Tahun	Debit rata-rata (m <sup>3</sup> /detik)											
	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1989	1.73	2.06	1.21	0.58	0.88	0.46	0.33	0.14	0.11	0.09	0.69	0.90
1990	1.12	1.14	1.06	0.74	0.25	0.49	0.12	0.10	0.08	0.06	0.21	1.22
1991	2.48	1.61	0.90	1.59	0.39	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08	0.59	1.29
1992	1.43	1.80	0.87	0.88	0.78	0.19	0.14	0.68	0.30	0.76	1.37	1.01
1993	1.15	1.12	1.18	0.98	0.37	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.49
1994	1.01	1.78	2.26	0.77	0.30	0.17	0.13	0.10	0.09	0.07	0.05	0.45
1995	0.90	1.79	2.37	0.24	0.26	0.90	0.15	0.12	0.10	0.56	2.21	0.74
1996	1.61	1.20	1.43	0.36	1.73	0.24	0.18	0.14	0.12	0.48	1.28	1.14
1997	0.53	0.47	0.29	0.44	0.27	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03	0.61	1.12
1998	1.77	2.85	2.56	0.74	0.30	1.24	1.20	3.64	3.24	6.29	7.32	9.17
1999	8.75	3.00	7.18	3.86	2.20	2.01	0.76	0.81	0.51	2.03	5.55	3.58
2000	3.72	1.92	3.82	3.78	3.31	1.05	0.53	0.42	0.34	2.05	4.64	2.25

#### 4.1.1.2. Mencari Debit Andalan

Debit andalan dicari berdasarkan probabilitas terjadinya tiap debit yang melimpas. Untuk mengetahui probabilitas tiap debit tersebut dilakukan langkah-langkah berikut:

1. Mengurutkan seluruh data yang tersedia

2. Menentukan frekuensi terjadinya debit pada setiap data debit dalam kumpulan data debit dengan pengertian bahwa ketika terjadi debit yang lebih besar maka debit yang ditinjau juga muncul sehingga bisa dianggap frekuensi yang dimaksud merupakan jumlah data debit yang melampaui dan data debit itu sendiri.
3. Menentukan prosentase terjadinya debit dengan rumus

$$P = i/(n+1) \times 100\%$$

dimana:

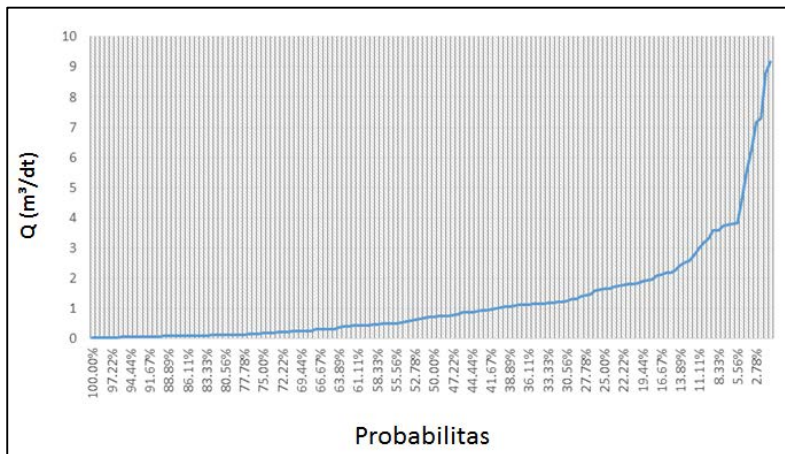
i = Nomor urut debit;

n = Jumlah data;

P = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai selama periode pengamatan (%).

4. Membuat grafik probabilitas debit.

Maka didapatkan data probabilitas tiap debit yang nantinya ditentukan untuk mengetahui berapa persen debit yang direncanakan dapat diandalkan. Hasil pencarian probabilitas tiap debit berupa grafik dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Grafik Probabilitas

#### 4.1.2. Debit Banjir Rencana

##### 4.1.2.1. Curah Hujan Maksimum

Curah hujan maksimum yang digunakan ialah data pada tabel 4.5 berikut:

**Tabel 4.5** Curah Hujan Maksimum

TAHUN	CURAH HUJAN MAKS (mm)
1989	138.00
1990	80.00
1991	95.00
1992	159.00
1993	104.00
1994	165.00
1995	200.00
1996	147.00
1997	152.00
1998	188.00
1999	209.00
2000	156.00

##### 4.1.2.2. Parameter Dasar Statistik

Perhitungan ini digunakan untuk menentukan distribusi frekuensi yang akan digunakan. Dalam perhitungan parameter dasar statistik ini akan dicari nilai  $C_s$ ,  $C_k$ ,  $C_v$ , Standar deviasi, dan  $X_{rata-rata}$ . Adapun perhitungan terlampir pada Tabel 4.6 .

**Tabel 4.6** Perhitungan Statistik

TAHUN	CURAH HUJAN MAKS (mm)	$X_i$	$(X_i - \bar{X}_{rata})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1989	138.00	209.00	59.58	3550.17	211531.18	12603732.67
1990	80.00	200.00	50.58	2558.67	129426.24	6546810.65
1991	95.00	188.00	38.58	1488.67	57437.99	2216149.12
1992	159.00	165.00	15.58	242.84	3784.26	58971.40
1993	104.00	159.00	9.58	91.84	880.14	8434.64
1994	165.00	156.00	6.58	43.34	285.32	1878.38
1995	200.00	152.00	2.58	6.67	17.24	44.54
1996	147.00	147.00	-2.42	5.84	-14.11	34.11
1997	152.00	138.00	-11.42	130.34	-1488.05	16988.59
1998	188.00	104.00	-45.42	2062.67	-93679.76	4254622.43
1999	209.00	95.00	-54.42	2961.17	-161137.20	8768549.16
2000	156.00	80.00	-69.42	4818.67	-334496.26	23219615.37
$\Sigma$	1793.00	1793.00	0.00	17960.92	-187453.01	57695831.04
X rata	149.42	149.42	0.00	1496.74	-15621.08	4807985.92

$$\begin{aligned}
 n &= 12 \\
 n-1 &= 11 \\
 n-2 &= 10 \\
 n-3 &= 9 \\
 n^2 &= 144
 \end{aligned}$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{17960,92}{11}} = 40,4081 \text{ mm}$$

Perhitungan Nilai Koefisien *Skewness* (Cs)

$$\begin{aligned}
 Cs &= \frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \Sigma_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \\
 Cs &= \frac{12}{11 \times 10 \times 40,4081^3} \times (-187453,01) = -0,31
 \end{aligned}$$

Perhitungan Nilai Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)S^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$$

$$Ck = \frac{324}{11 \times 10 \times 40,4081^4} \times 57695831,04$$

$$Ck = 3,148$$

Perhitungan Nilai Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$Cv = \frac{40,4081}{149,42} = 0,27$$

Metode *Log Normal*

$$Cs = Cv^3 + 3(Cv)$$

$$Cs = 0,27^3 + 3(0,27)$$

$$Cs = 0,83$$

$$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$$

$$Ck = 0,27$$

$$Ck = 4,25$$

$$+ 6(0,27^6) + 15(0,27^4) + 16(0,27^2) + 3$$

Setiap distribusi memiliki syarat-syarat parameter statistik. Pada Tabel 2.4. akan dipaparkan penentuan distribusi hujan berdasarkan syarat-syarat parameter statistik.

Dari perhitungan parameter statistik diatas dan ditinjau dari persyaratannya, maka distribusi yang sesuai adalah distribusi *Log Pearson tipe III*.

#### 4.1.2.3. Analisa Distribusi Frekuensi *Log Person III*

Dari perhitungan parameter dasar statistik, distribusi frekuensi yang sesuai adalah distribusi *Log Pearson tipe III*. Dari perhitungan ini akan dihasilkan hujan rencana pada periode yang telah ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:



**Tabel 4.7** Perhitungan *Log Person III*

Jumlah data	Tahun	$X_i$	$\text{Log } X_i$	$\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X}$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3$
1	1999	209.00	2.320	0.162	0.02634	0.00427
2	1995	200.00	2.301	0.143	0.02050	0.00294
3	1998	188.00	2.274	0.116	0.01353	0.00157
4	1994	165.00	2.217	0.060	0.00356	0.00021
5	1992	159.00	2.201	0.044	0.00190	0.00008
6	2000	156.00	2.193	0.035	0.00124	0.00004
7	1997	152.00	2.182	0.024	0.00058	0.00001
8	1996	147.00	2.167	0.009	0.00009	0.00000
9	1989	138.00	2.140	-0.018	0.00032	-0.00001
10	1993	104.00	2.017	-0.141	0.01983	-0.00279
11	1991	95.00	1.978	-0.180	0.03245	-0.00584
12	1990	80.00	1.903	-0.255	0.06490	-0.01654
$\Sigma$			25.894	0.000	0.185	-0.016
$\bar{X}$ rata			2.158			

### 1. Menghitung Standar Deviasi

$$\overline{S \log \bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}}$$

$$\overline{S \log x} = \sqrt{\frac{0,185}{11}} = 0,13 \text{ mm}$$

### 2. Menghitung koefisien skewness (Cs) untuk *Log Pearson III*

$$Cs = \frac{n \sum (\text{Log } X - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{S \log X})^3}$$

$$Cs = \frac{12 \times (-0,016)}{11 \times 10 \times 0,13^3}$$

$$Cs = -0,8$$

### 3. Menghitung Curah Hujan Rencana

Berdasarkan nilai  $C_s = -0,8$  maka dapat ditentukan nilai  $k$  berdasarkan tabel 2.5 untuk setiap periode ulang, sehingga untuk periode ulang :

- 5 tahun :

$$\text{Log } X_5 = \overline{\text{Log } \bar{X}} + k. (\overline{S. \text{Log } \bar{X}})$$

$$\text{Log } X_5 = 2,158 + 0,856 \times 0,13$$

$$X_5 = 185,75 \text{ mm}$$

- 10 tahun

$$\text{Log } X_{10} = \overline{\text{Log } \bar{X}} + k. (\overline{S. \text{Log } \bar{X}})$$

$$\text{Log } X_{10} = 2,158 + 1,116 \times 0,13$$

$$X_{10} = 203,78 \text{ mm}$$

- 25 tahun

$$\text{Log } X_{25} = \overline{\text{Log } \bar{X}} + k. (\overline{S. \text{Log } \bar{X}})$$

$$\text{Log } X_{25} = 2,158 + 1,448 \times 0,13$$

$$X_{25} = 221,69 \text{ mm}$$

#### 4.1.2.4. Uji Kecocokan

##### 1. Uji Chi Kuadrat

Perhitungan Chi Kuadrat untuk *Log Pearson III*:

Banyaknya data (n) = 12

Derajat signifikan ( $\alpha$ ) = 5%

Jumlah kelas/Sub Kelompok (G) =  $1 + 3,322 \text{ Log } n$

$$= 1 + 3,322 \text{ Log } 12$$

$$= 4,59 \sim 5$$

Derajat Kebebasan (DK) =  $G - R - 1$

$$= 5 - 2 - 1 = 2$$

**Tabel 4.8** Perhitungan Chi-Kuadrat untuk *Log Pearson tipe III*

Tahun	Data CH	Peringkat	Peluang	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
	$x_i$	m	$p = \frac{m}{(n+1)}$		
1999	2.32	1	7.69%	0,15	0,02
1995	2.30	2	15.38%	0,14	0,02
1998	2.27	3	23.08%	0,14	0,02
1994	2.22	4	30.77%	0,13	0,02
1992	2.20	5	38.46%	0,11	0,01
2000	2.19	6	46.15%	0,09	0,01
1997	2.18	7	53.85%	0,04	0,00
1996	2.17	8	61.54%	0,03	0,00
1989	2.14	9	69.23%	-0,01	0,00
1993	2.02	10	76.92%	-0,01	0,00
1991	1.98	11	84.62%	-0,04	0,00
1990	1.90	12	92.31%	-0,06	0,00
$\Sigma$	<b>25.89</b>			0,00	<b>0.185</b>
Rata2	<b>2.158</b>				

- Menentukan nilai batas sub kelompok

Dari perhitungan diatas didapatkan ada 5 sub kelompok. Dari 5 sub kelompok tersebut ditentukan nilai batas tiap kelompok. Perhitungan nilai batas sub kelompok menggunakan rumus:

$$X = \bar{X} + k.S$$

dimana nilai k didapat dari tabel variabel reduksi *Gauss*.

**Tabel 4.9** Nilai Variabel Reduksi *Gauss*

Periode Ulang T (tahun)	Peluang (P)	k
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,01	0,99	-2,33
1,05	0,95	-1,64
1,11	0,9	-1,28
1,25	0,8	-0,84
1,33	0,75	-0,67
1,43	0,7	-0,52
1,67	0,6	-0,25
2	0,5	0
2,5	0,4	0,25
3,33	0,3	0,52
4	0,25	0,67
5	0,2	0,84
10	0,1	1,28
20	0,05	1,64
50	0,2	2,05
100	0,01	2,33
200	0,005	2,58
500	0,002	2,88
1000	0,001	3,09

*Sumber : Soewarno, 1995.*

Untuk  $P = 20\% \rightarrow k = 0,84$ ,  $X_1 = \bar{X} + k \cdot S$

$$X_1 = 1,903 + (0,84 \times 0,13)$$

$$X_1 = 2,267 \text{ mm}$$

Untuk  $P = 40\% \rightarrow k = 0,25$ ,  $X_2 = \bar{X} + k \cdot S$

$$X_2 = 1,903 + (0,25 \times 0,13)$$

$$X_2 = 2,190 \text{ mm}$$

Untuk  $P = 60\% \rightarrow k = -0,25$ ,  $X_3 = \bar{X} + k \cdot S$

$$X_3 = 1,903 + (-0,25 \times 0,13)$$

$$X_3 = 2,125 \text{ mm}$$

Untuk  $P = 80\% \rightarrow k = -1,84, X_3 = \bar{X} + k.S$

$$X_4 = 1,903 + (-1,84 \times 0,13)$$

$$X_4 = 2,049 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas, batas sub kelompok bisa di tabelkan seperti Tabel 4.10 di bawah ini:

**Tabel 4.10** Nilai Batas Tiap Kelompok

Kelompok	Nilai Batas
I	$X \leq 2,049$
II	$2,049 < X \leq 2,125$
III	$2,125 < X \leq 2,190$
IV	$2,190 < X \leq 2,267$
V	$X \geq 2,267$

- Menentukan  $E_i$

$E_i$  adalah frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya. Maka, untuk mencari  $E_i$  menggunakan rumus :

$$E_i = \frac{\text{jumlah kelas } (G)}{\text{jumlah data } (n)}$$

$$E_i = \frac{5}{12} = 2,4$$

- Menentukan Chi-Kuadrat hitung ( $Xh^2$ )

Rumus untuk menentukan Chi-Kuadrat adalah :

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Contoh perhitungan pada kelompok I :

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(3 - 2,4)^2}{2,4}$$

$$Xh^2 = 0,15$$

Untuk perhitungan chi-kuadrat pada setiap kelompok bisa dilihat pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Perhitungan Chi-Kuadrat hitung

nilai batas	O <sub>i</sub>	E <sub>i</sub>	(O <sub>i</sub> - E <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Xh <sup>2</sup>
$X \leq 2,049$	3	2,4	0,36	0,15
$2,049 < X \leq 2,125$	0	2,4	5,76	2,40
$2,125 < X \leq 2,190$	3	2,4	0,36	0,15
$2,190 < X \leq 2,267$	3	2,4	0,36	0,15
$X \geq 2,267$	3	2,4	0,36	0,15
	12	12	nilai chi kuadrat =	3,00

Nilai Chi-Kuadrat hitung = 3,00  
 Derajat Kebebasan (DK) = 2  
 Derajat signifikan alpha = 5%  
 Nilai Chi Teoritis = 5,991

Dari perhitungan Chi-Kuadrat untuk distribusi hujan dengan metode *Log Pearson tipe III*, diperoleh nilai Chi-Kuadrat hitung 3,00. Dengan derajat kebebasan (DK) 2, dan derajat signifikan  $\alpha$  5%, maka diperoleh Chi-Kuadrat teoritis 5,991 (sesuai pada Tabel 2.5) Perhitungan akan diterima apabila nilai Chi-Kuadrat teoritis > nilai Chi-Kuadrat hitung. Dari perhitungan diatas diperoleh nilai  $5,991 > 3,00$ , sehingga perhitungan diterima.

## 2. Uji Smirnov kolmogorov

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov*, sering juga disebut uji kecocokan non parametik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu Perhitungan uji *Smirnov-Kolmogorov* bisa dilihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Perhitungan uji *Smirnov-Kolmogorov*

Peringkat (m)	xi	log xi	$P = \frac{m}{n+1}$	$P(X <)$	Log Xi - Log Xrata	f(t)	$P'(X)$	$P'(X <)$	D
1	209.000	2.320	0.077	0.923	0.328	1.58	0.0571	0.9429	0.020
2	200.000	2.301	0.154	0.846	0.309	1.49	0.0681	0.9319	0.086
3	188.000	2.274	0.231	0.769	0.282	1.36	0.0869	0.9131	0.144
4	165.000	2.217	0.308	0.692	0.226	1.09	0.1379	0.8621	0.170
5	159.000	2.201	0.385	0.615	0.210	1.01	0.1562	0.8438	0.228
6	156.000	2.193	0.462	0.538	0.201	0.97	0.166	0.8340	0.296
7	152.000	2.182	0.538	0.462	0.190	0.92	0.1788	0.8212	0.360
8	147.000	2.167	0.615	0.385	0.175	0.85	0.4977	0.5023	0.118
9	138.000	2.140	0.692	0.308	0.148	0.71	0.6554	0.3446	0.037
10	104.000	2.017	0.769	0.231	0.025	0.12	0.4522	0.5478	0.317
11	95.000	1.978	0.846	0.154	-0.014	-0.07	0.5279	0.4721	0.318
12	80.000	1.903	0.923	0.077	-0.089	-0.43	0.6664	0.3336	0.257
$\Sigma$	1793.000							Dmax	0.360
X rata	149.417							Do	0.361
Sd	0.207336								

Banyaknya data (n) = 12  
 Dmax = 0,1140  
 Derajat kepercayaan = 5%  
 Do = 0,36

Dari perhitungan pada tabel 2.7 diperoleh nilai Dmax = 0,360 pada peringkat (m) = 5. Dengan derajat kepercayaan = 5% dan banyaknya data = 18, maka diperoleh nilai Do=0,361 (sesuai pada Tabel 2.7). Karena nilai Dmax < Do (0,36<0,361), maka persamaan distribusi *Log Pearson Tipe III* diterima.

#### 4.1.2.5. Hidograf Nakayasu

Debit banjir yang direncanakan ialah debit banjir periode ulang 25 tahun. Berikut langkah perhitungan dan hasilnya.

##### 1. Perhitungan hujan jam-jaman

Diketahui hujan periode ulang 25 tahun ialah sebesar 221,69 mm. Pada daerah lokasi studi lama waktu rata-rata hujan terpusat diketahui berlangsung selama 5 jam. Waktu mulai hujan dibagi setiap selisih 1 jam. Berikut perhitungan pada waktu mulai hujan jam pertama.

$$\begin{aligned} R_t &= \frac{R_{24}}{T} \left( \frac{T}{t} \right)^{2/3} \\ &= \frac{221,69}{5} \left( \frac{5}{1} \right)^{2/3} \\ &= 129,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_T &= t \cdot R_t - (t - 1)R_{(t-1)} \\ &= 1 \times 121,54 - (1-1) \times 0 \\ &= 121,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

dimana:

$R_t$  = Rata tinggi hujan dari permulaan sampai jam ke t (mm);

$R_{24}$  = Tinggi hujan harian dalam 24 jam menggunakan data hujan periode ulang 25 tahun (mm);

t = Waktu hujan (jam);

T = Lama hujan waktu terpusat (jam);

$R_T$  = Tinggi hujan rata-rata pada jam t (mm);

$R_{(t-1)}$  = Rata-rata tinggi hujan dari permulaan sampai jam ke (t-1) (mm).

Perhitungan tinggi hujan efektif, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_e &= C \cdot R_t \\ &= 0,8 \times 121,54 \\ &= 97,235 \text{ mm} \end{aligned}$$



dimana:

$R_e$  = Tinggi hujan efektif (mm);

$R_t$  = Tinggi hujan rencana (mm);

$C$  = Koefisien pengaliran rata rata (tabel 2.8).

Hasil perhitungan pada tiap waktu mulai hujan tiap jam disajikan pada tabel 4.13

**Tabel 4.13.** Perhitungan uji curah hujan jam-jaman

curah hujan rencana	waktu mulai hujan	$R_t$	(t-1)	$R_{(t-1)}$	RT	koef pengaliran	Curah Hujan Jam-Jaman
mm	jam	mm	jam	mm	mm	C	R25
221.69	1.00	129.65	0.00	0.00	121.54	0.80	97.24
	2.00	81.67	1.00	129.65	31.59		25.27
	3.00	62.33	2.00	81.67	22.16		17.73
	4.00	51.45	3.00	62.33	16.22		12.97
	5.00	44.34	4.00	51.45	14.90		11.92

## 2. Perhitungan Hidrograf Satuan

Perhitungan banjir rencana pada studi ini dihitung dengan menggunakan hidrograf satuan metode *Nakayasu* dengan periode ulang 25 tahun. Data yang digunakan dalam perhitungan hidrograf adalah sebagai berikut:

Luas DAS (A) = 8,625 km<sup>2</sup>

Panjang sungai (L) = 9,73 km

Koefisien Pengaliran (C)

Sungai di daerah pegunungan = 0,8

$R_0$  = 221,69 mm

Bentuk hidrograf *Nakayasu* didapatkan dengan perhitungan parameter-parameter berikut :

- Waktu konsentrasi ( $t_g$ )

$$t_g = 0.21 \times L^{0.7} \rightarrow \text{untuk } L < 15 \text{ km}$$

$$t_g = 1,649 \text{ jam}$$

- Satuan waktu dari curah hujan ( $t_r$ )

$$T_r = 0,5 \times t_g$$

$$T_r = 0,5 \times 1,649$$

$$T_r = 0,825 \text{ jam}$$

- Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir ( $T_p$ )

$$T_p = t_g + 0,8 \times t_r$$

$$T_p = 1,649 + 0,8 \times 0,825$$

$$T_p = 2,31 \text{ jam}$$

- Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak ( $T_{0,3}$ )

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g$$

$$T_{0,3} = 2 \times 1,649$$

$$T_{0,3} = 3,3 \text{ jam}$$

- Debit puncak banjir ( $Q_p$ )

$$Q_p = \frac{C.A \cdot R_0}{3,6 \times (0,3 \cdot T_p + T_{0,3})}$$

$$Q_p = \frac{0,75 \times 8.625 \times 1}{3,6 \times (0,3 \times 2,31 + 3,3)}$$

$$Q_p = 0,45 \text{ m}^3/\text{det}$$

Hidrogaf satuan yaitu hubungan waktu (t) dengan debit satuan ( $Q_a$  dan  $Q_d$ ) yang nilainya ditentukan dengan perhitungan pada tabel 4.14, 4.15, 4.16 dan 4.17 sebagai berikut:

**Tabel 4.14** Perhitungan Hidrograf Satuan kurva naik  
(  $0 < t < T_p$ )

t (jam)	t/T <sub>p</sub>	(t/T <sub>p</sub> ) <sup>2,4</sup>	Q <sub>a</sub> = [t/t <sub>p</sub> ] <sup>2,4</sup> Q <sub>p</sub>
0.0	0.000	0.000	0.000
0.5	0.217	0.025	0.011
1.0	0.433	0.134	0.060
1.5	0.650	0.355	0.160
2.0	0.866	0.709	0.319
2.1	0.910	0.797	0.359
2.31	1.001	1.001	0.451

**Tabel 4.15** Perhitungan Hidrograf Satuan kurva turun  
(  $T_p < t < T_p + T_{0,3}$ )

t (jam)	(t-T <sub>p</sub> )	(t-T <sub>p</sub> )/T <sub>0,3</sub>	Q <sub>d</sub> = 0.3 <sup>(t-T<sub>p</sub>)/T<sub>0,3</sub></sup> · Q <sub>p</sub>
2.31	0.001	0.0004	0.4500
2.5	0.191	0.0580	0.4199
3.0	0.691	0.2096	0.3498
3.5	1.191	0.3612	0.2915
4.0	1.691	0.5128	0.2428
4.5	2.191	0.6644	0.2023
5.0	2.691	0.8160	0.1686
5.61	3.298	1.0000	0.1351

**Tabel 4.16** Perhitungan Hidrograf Satuan kurva turun

$$(T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

t (jam)	$(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})$	$\frac{((t - T_p) + (0,5 T_{0,3}))}{1,5 T_{0,3}}$	$Qd = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}}$
5.61	4.9471	1.0000	0.1351
6.0	5.3404	1.0795	0.1228
6.5	5.8404	1.1806	0.1087
7.0	6.3404	1.2816	0.0962
7.5	6.8404	1.3827	0.0852
8.0	7.3404	1.4838	0.0754
8.5	7.8404	1.5848	0.0668
9.0	8.3404	1.6859	0.0591
9.5	8.8404	1.7870	0.0524
10.0	9.3404	1.8880	0.0464
10.55	9.8943	2.0000	0.0405

**Tabel 4.17** Perhitungan Hidrograf Satuan kurva turun

$$(t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

t (jam)	$(t - T_p) + (1,5 T_{0,3})$	$\frac{((t - T_p) + (1,5 T_{0,3}))}{2 T_{0,3}}$	$Qd = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}}$
10.55	13.1924	2.0000	0.0405
11.0	13.6385	2.0676	0.0374
11.5	14.1385	2.1434	0.0341
12.0	14.6385	2.2192	0.0311
12.5	15.1385	2.2950	0.0284
13.0	15.6385	2.3708	0.0259
13.5	16.1385	2.4466	0.0237
14.0	16.6385	2.5224	0.0216
14.5	17.1385	2.5982	0.0197
15.0	17.6385	2.6740	0.0180

### 3. Perhitungan debit banjir periode ulang 25 th

Berdasarkan perhitungan distribusi hujan jam-jaman didapatkan besar hujan efektif disetiap jam nya. Kemudian berdasarkan perhitungan hidrogaf didapat hubungan waktu dengan debit satuan yaitu besar debit yang terjadi setiap 1 mm hujan efektif yang terjadi. Sehingga dapat dihitung besar debit yang terjadi setiap waktu dengan mengalikan debit satuan dengan besar hujan yang terdistribusi. Besar debit banjir ialah debit banjir yang terbesar dalam waktu hujan yang terjadi.

**Tabel 4.18** Perhitungan Debit Banjir Periode Ulang 25 th

t	debit	distribusi hujan jam - jaman					debit banjir
(jam)	m <sup>2</sup> /det	97.24	25.27	17.73	12.97	11.92	m <sup>2</sup> /det
0.00	0.000	0.00					0.00
0.50	0.011	1.11	0.00				1.11
1.00	0.060	5.88	0.29	0.00			6.17
1.50	0.160	15.55	1.53	0.20	0.00		17.29
2.00	0.319	31.02	4.04	1.07	0.15	0.00	36.29
2.10	0.359	34.88	8.06	2.84	0.78	0.14	46.70
2.31	0.451	43.84	9.07	5.66	2.08	0.72	61.36
2.50	0.420	40.83	11.40	6.36	4.14	1.91	64.63
3.00	0.350	34.02	10.61	7.99	4.65	3.80	61.08
3.50	0.291	28.34	8.84	7.44	5.85	4.28	54.75
4.00	0.243	23.61	7.37	6.20	5.45	5.37	48.00
4.50	0.202	19.67	6.14	5.17	4.54	5.00	40.52
5.00	0.169	16.39	5.11	4.31	3.78	4.17	33.76
5.61	0.135	13.13	4.26	3.59	3.15	3.47	27.61
6.00	0.123	11.94	3.41	2.99	2.62	2.89	23.86
6.50	0.109	10.57	3.10	2.39	2.19	2.41	20.66
7.00	0.096	9.36	2.75	2.18	1.75	2.01	18.04
7.50	0.085	8.29	2.43	1.93	1.59	1.61	15.85
8.00	0.075	7.34	2.15	1.71	1.41	1.46	14.07
8.50	0.067	6.50	1.91	1.51	1.25	1.30	12.46
9.00	0.059	5.75	1.69	1.34	1.11	1.15	11.03
9.50	0.052	5.09	1.49	1.18	0.98	1.02	9.77
10.00	0.046	4.51	1.32	1.05	0.87	0.90	8.65
10.55	0.041	3.94	1.17	0.93	0.77	0.80	7.60
11.00	0.037	3.63	1.02	0.82	0.68	0.70	6.86

Dari perhitungan hidrograf diatas diperoleh nilai debit banjir puncak di waktu 2,5 jam = 65,18 m<sup>3</sup>/det.

## 4.2. Perencanaan Bangunan Sipil

### 4.2.1. Penentuan Debit Rencana

#### 1. Perkiraan Tinggi Jatuh rencana.

Berdasarkan pengukuran lapangan tinggi jatuh yang tersedia diperkirakan sebesar 24,5 m dengan perencanaan kehilangan energi total maksimum 10% dari tinggi *brutto* sehingga diperkirakan tinggi jatuh efektif sebesar 22,05 m.

#### 2. Perkiraan debit andalan untuk menentukan jenis turbin.

Debit yang diandalkan diharapkan mampu memiliki probabilitas sebesar 80%. Berdasarkan grafik probabilitas yang telah dibuat didapat debit andalan sebesar 0,14 m<sup>3</sup>/dt.

#### 3. Menentukan Jenis dan Spesifikasi Turbin yang dipakai.

Berdasarkan perkiraan tinggi jatuh dan debit yang dapat diandalkan, dengan menggunakan diagram pada gambar 2.1 dibawah ditentukan jenis turbin yang akan dipakai. Berdasarkan grafik dipilih jenis turbin *crossflow* dengan jenis SJ-WG-20/11. dengan spesifikasi tinggi jatuh 5-45 meter dan debit 0,17-0,34 m<sup>3</sup>/dt.

#### 4. Menentukan Debit yang digunakan dalam perencanaan

Untuk memaksimalkan debit yang tersedia maka digunakan 2 buah turbin sehingga debit yang direncanakan sebesar 0,68 m<sup>3</sup>/dt dengan probabilitas 53% yang merupakan debit maksimal perencanaan dimana pada debit tersebut 2 turbin bekerja secara maksimal. Debit minimal yang bisa diandalkan untuk menghidupkan 2 turbin ialah sebesar 0,34 m<sup>3</sup>/dt dengan probabilitas 66%. pada kondisi ini turbin dapat dioperasikan secara bergantian. Debit minimum yang dapat digunakan sebesar 0,17 m<sup>3</sup>/dt dengan probabilitas sebesar 77%.

#### 4.2.2. Perencanaan Bangunan Intake

1. Menentukan tinggi bangunan peninggi muka air dan pengaruh terhadap debit banjir rencana.

Lokasi intake dipilih pada bagian hulu dengan ukuran sungai:

$$\text{lebar sungai} = 7 \text{ m};$$

$$\text{tinggi tepi sungai} = 2 \text{ m}.$$

Tinggi bangunan peninggi muka air pada daerah intake direncanakan 1 m dari dasar. Perlu dihitung tinggi muka air yang terjadi setelah dibangunnya bangunan peninggi muka air tersebut dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= Cd \times (2/3) \times \{(2/3).g\}^{1/2} \times b \times (H1)^{1.5} \times (1) \\ 65 &= 1,48 \times (2/3) \times \{(2/3).9,81\}^{1/2} \times 7 \times (H1)^{1.5} \times (1) \\ H1 &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

dimana:

Q : Debit Banjir rencana = 64 m<sup>3</sup>/dt;

Cd : koefisien debit (Cd = 1,48, mercu bulat);

g : percepatan gravitasi ( 9,8 m/dt<sup>2</sup>);

b : panjang mercu bendung (m);

H1 : tinggi energi diatas mercu (m).

Dari hitungan tersebut diketahui bahwa ketika terjadi banjir periode 25 tahunan air akan naik hingga 1.5 m sehingga pada bagian intake direncanakan tanggul sepanjang 10 m.

2. Perencanaan Dimensi Saluran *Headrace*

Debit perencanaan yang digunakan diambil sebesar 120% dari debit andalan maksimal yaitu sebesar 0.816 m<sup>3</sup>/dt. Direncanakan kecepatan pada saluran *headrace* sebesar 1 m<sup>2</sup>/dt. Dimensi saluran dihitung sebagai berikut:

$$b = 2h$$

$$A = 2h^2$$

$$\begin{aligned} A &= Q/v \\ &= 0,816/1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,816 \text{ m}^2 \\
 2h^2 &= 0,816 \\
 h &= 0,628 \text{ m} \\
 b &= 1,27 \\
 b_{\text{pakai}} &= 1,3 \text{ m} \\
 P &= B + 2 \times h \\
 &= 1,3 + 2 \times 0,628 \\
 &= 2,56 \\
 R &= A/P \\
 &= 0,816/2,56 \\
 &= 0,318 \\
 v &= K R^{2/3} I^{1/2} \\
 I &= (v/(k \times R^{2/3}))^2 \\
 &= (1/(45 \times 0,318^{2/3}))^2 \\
 &= 0,00226
 \end{aligned}$$

dimana:

- A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>);
- P = keliling penampang basah (m);
- R = jari-jari hidrolis (m);
- I = kemiringan saluran (%);
- n = koefisien manning;
- v = kecepatan aliran (m/dt);
- Q = debit rencana (m<sup>3</sup>/dt).

### 3. Perencanaan Pintu *Intake*

Untuk menghitung dimensi pintu pengambilan digunakan persamaan :

$$Q_n = \mu \cdot b \cdot h \sqrt{2gz}$$

Berhubung debit yang dibutuhkan relative kecil, maka pintu pengambilan direncanakan 1 buah. lebar pintu diambil  $b = 1,30$  m dengan koefisien pengaliran  $\mu = 0,80$ . Sehingga beda tinggi di pintu pengambilan :

$$Q_n = Q_n \cdot b \cdot a \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$



$$\begin{aligned} 0,734 &= 0,734 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,6 \sqrt{2} \cdot 9,81 \cdot z \\ z &= 0,106 \text{ m} \end{aligned}$$

dimana:

Q = debit rencana ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\mu$  = koefesien debit;

g = percepatan gravitasi (=  $9.8 \text{ m/det}^2$ ).

a = tinggi bersih bukaan (m);

b = lebar bersih bukaan (m);

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan (m).

#### 4. Perencanaan bangunan ukur

Bangunan ukur yang digunakan adalah bangunan ukur jenis drempel dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_{\text{andalan}} = 0,68 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$b = 1,3 \text{ m}$$

$$v = 1 \text{ m/dt}$$

$$Q = 1,71 \times b \times h^{3/2}$$

$$0,68 = 1,71 \times 1,3 \times h^{3/2}$$

$$h^{3/2} = 0,45 \text{ m}$$

$$H_{1 \text{ maks}} = h + \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,45 + \frac{1^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 0,46 \text{ m}$$

$$L = 1,95 \times H_{1 \text{ maks}}$$

$$= 1,95 \times 0,46$$

$$= 0,975$$

$$= 1 \text{ m}$$

$$r = 0,2 \times H_{1 \text{ maks}}$$

$$= 0,2 \times 0,5$$

$$= 0,1 \text{ m}$$

#### 4.2.1 Perencanaan Bak Penenang

##### 1. Menentukan diameter sedimen

Berdasarkan jenis PLTA dengan tekanan rendah diameter sedimen yang diijinkan sbesar 0,2-0,5 mm sehingga ditentukan dimter sedimen yang dihitung sebesar 0,2 mm.

##### 2. Menentukan kecepatan kritis

Kecepatan kritis dihitung denbgan rumus berikut:

$$V_{\text{kritis}} = a\sqrt{d}$$

dimana besar  $a = 44$  untuk ukuran diameter sedimen  $1 \text{ mm} > d > 0.1 \text{ mm}$ .

$$\begin{aligned} V_{\text{kritis}} &= 44\sqrt{0.2d} \\ &= 0,197 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Direncanakan kecepatan pada kolam penenang 0,19 m/detik untuk mengendapkan sedimen yang ada.

##### 3. Dimensi bak Penenang

Berikut Beberapa parameter dan dimensi yang dapat dihitung ialah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= 0,83 \text{ m}^3/\text{dt} \\ v &= 0,19 \text{ m/s} \\ w &= 0,24 \text{ m/s} \\ h0_{\text{maks}} &= H_{\text{maks headrace}} \\ &= 0,628 \text{ m} \\ h0_{\text{main}} &= H_{\text{min headrace}} \\ &= 0,209 \text{ m} \\ hc &= ((\alpha \times Q^2)/(g \times B^2))^{1/3} \\ &= 0,27 \text{ m} \\ H &= 1 \text{ m} \\ B &= Q/(v.h) \\ &= 0,816/(0.19 \times 1) \\ &= 4,29 \text{ m} \\ B_{\text{pakai}} &= 4,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= (H / w) \times v \\
 &= (1 / 0,024) \times 0,19 \\
 &= 7,9 \text{ m} \\
 L_{\text{pakai}} &= 8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

- $Q$  = debit rencana ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  
 $v$  = Kecepatan rencana di bak ( m/det);  
 $w$  = Kecepatan penurunan sedimen ( m/det);  
 $L$  = Panjang Bak (m);  
 $B$  = lebar bak (m);  
 $h_0$  = Tinggi air diatas dasar ujung *headrace* (m);  
 $h_c$  = Tinggi kritis di mercu bak (m);  
 $H$  = Tinggi aliran air pada bak (m).

#### 4.2.3. Perencanaan Pipa *Penstock*

Pipa yang digunakan ialah pipa baja dengan kekasaran permukaan 0,0025 mm. Berikut perhitungan perencanaan pipa *penstock*:

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,34 \text{ m}^3/\text{dt} \\
 L &= 172 \text{ m} \\
 H &= 28,59 \text{ m} \\
 n &= 2 \\
 D &= (2.69(K^2 \times Q^2 \times L/H))^{0.1875} \\
 &= (2.69 \times (0.0025^2 \times 0.34^2 \times 172/28.59))^{0.1875} \\
 &= 0.48 \text{ m} \\
 D_{\text{digunakan}} &= 16 \text{ inch} = 406,4 \text{ mm (spesifikasi pasaran)} \\
 \delta_{\text{digunakan}} &= 7,29 \text{ mm (spesifikasi pasaran)} \\
 D_{\text{dalam}} &= 406,4 - 2 \times 7.29 \text{ mm} \\
 &= 391,8 \text{ mm} \\
 v &= 2,821 \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

dimana:

$$Q = \text{debit rencana (m}^3/\text{s)};$$

- L = Panjang Pipa (m);  
 H = Beda tinggi (m);  
 n = jumlah saluran;  
 D = Diameter Pipa (m);  
 $\delta$  = Tebal Pipa (m);  
 v = Kecepatan aliran di pipa ( m/det).

Posisi mulut pipa

$$\begin{aligned}
 \text{MOL} &= D + 1,5 \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,3918 + 1,5 \frac{2,821^2}{2 \times 9,81} \\
 &= 1,00043 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

- MOL = jarak antara muka air dengan posisi dasar pipa pesat yang disebut dengan *minimum operational level* (m);  
 D = diameter pipa pesat (m);  
 v = kecepatan disaluran (m/detik);  
 g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>).

### 4.3. Daya dan Energi yang Dapat Dihasilkan

#### 4.3.1. Perhitungan Tinggi Efektif.

##### 1. kehilangan energi primer (*Mayor losses*)

Kehilangan energi yang akibat gesekan didalam pipa.

$$\begin{aligned}
 k &= 0,000025 \text{ m} \\
 \vartheta &= 0,000001052 \text{ m}^2/\text{dt} \text{ ( suhu rata-rata } 18^\circ \text{ c)} \\
 \text{Re} &= \frac{D V}{\vartheta} \\
 &= \frac{0,391 \times 2,821}{0,000001052} \\
 &= 1050821,836
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K/D &= \frac{0.000025}{0.391} \\
 hf &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \\
 &= 0.012 \cdot \frac{172}{391,8} \cdot \frac{2.821^2}{2 \times 9.81} \\
 &= 2,13 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

$k$  = Angka kekasaran

$\vartheta$  = Viskositas

$f$  = Koefisien gesekan = 0,013 (gambar 2.5 diagram *Moody*);

$L$  = Panjang pipa 172 (m);

$D$  = Diameter pipa (m);

$V$  = Kecepatan Aliran ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m}^2/\text{det}$ ).

## 2. kehilangan energi sekunder (*Minor losses*)

a. Kehilangan energi akibat *trash rack* pada awalan *penstock*.

$$\begin{aligned}
 hr &= \frac{\left[ k \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot v_0^2 \right]}{2g} \\
 &= \frac{\left[ 1.79 \left( \frac{0.01}{0.1} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot 60^2 \right]}{2 \times 9.81} \\
 &= 0,00013 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

$k$  = Koefisien *losses* untuk profil bulat (1.79);

$t$  = Tebal elemen (cm);

$b$  = Celah antar 2 elemen (cm);

$\alpha$  = Sudut kemiringan *trash rack* ( $^\circ$ );

$Q$  = Debit air yang direncanakan ( $\text{m}^3/\text{det}$ );

$V_o$  = Kecepatan rata-rata dalam aliran ( $m^3/det$ ).

b. Kehilangan energi pada awal pipa (*enterence*)

$$\begin{aligned} h_e &= k \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,5 \frac{2,821^2}{2 \times 9,81} \\ &= 0,203 \end{aligned}$$

dimana :

$k$  = Koefisien bentuk ujung pipa = 0.5 (Pemasukan air secara tajam);

$v$  = Kecepatan Aliran ( $m^2/s$ );

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m^2/det$ ).

c. Kehilangan energi total ( $H_{bruto}$ )

$$\begin{aligned} H_{bruto} &= hf + hr + h_e \\ &= 2,13 + 0,00013 + 0,203 \\ &= 2,33 \text{ m} < 10\% H_{bruto} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga besar tinggi jatuh efektif dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_{eff} &= H_{bruto} - H_{losses} \\ &= 24,5 - 2,33 \\ &= 22,22 \text{ m} \end{aligned}$$

dimana:

$H_{eff}$  = tinggi jatuh efektif (m);

$H_{bruto}$  = perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir (m);

$H_{losses}$  = tinggi kehilangan energi (m).

Untuk mendapatkan hasil maksimum, maka sistem pembangkit listrik harus didesain sedemikian sehingga kehilangan energi maksimal 10% dari *head bruto*.

### 4.3.2. Perhitungan Besar Daya dan Energi

Berdasarkan hasil perencanaan didapat hasil yang menentukan daya dan energi yang dapat dihasilkan dari pembangkit. Daya yang dapat dihasilkan dihitung berdasarkan besar debit yang dapat membuat turbin beroperasi dan juga efisiensi kinerja turbin yang dipengaruhi oleh perbandingan tiap debit yang terjadi terhadap kapasitas debit maksimum pada pipa berdasarkan tabel efisiensi turbin. Berikut contoh perhitungan daya dan energi pada debit maksimum:

Pada debit maksimum debit yang masuk pipa = kapasitas maksimum dari pipa sehingga  $Q_{\text{pipa}}/Q_{\text{pipamaksimum}} = 1 \rightarrow \eta = 0,80$  (gambar 2.6)

Daya yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} P &= \eta \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{eff}} \\ &= 0,8 \times 9,81 \times 0,68 \times 22,22 \\ &= 119,02 \text{ kW} \end{aligned}$$

Energi yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} E &= P \times 52,78\% \times 365 \times 24 \\ &= 550273,82 \text{ kWh} \end{aligned}$$

dimana:

- $\eta$  = efisiensi turbin;
- $g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m}^2/\text{det}$ );
- $Q$  = Debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $H_{\text{eff}}$  = tinggi jatuh efektif (m).

Perhitungan daya dan energi serta pengoperasionalan jumlah turbin ditabelkan pada tabel di lampiran. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan kedua turbin bekerja pada debit 0,68 m<sup>3</sup>/dt yang menghasilkan daya sebesar 119,02 kW. Pada saat terjadi debit sebesar 0,34 m<sup>3</sup>/dt turbin hanya dioperasikan 1 unit saja dengan cara bergantian yang mana daya yang dihasilkan sebesar 59,22 kW. Pada debit minimum rencana sebesar 0,17 m<sup>3</sup>/dt daya yang dihasilkan ialah sebesar 27,28 kW. Dari perhitungan juga

didapatkan energi yang dihasilkan selama 1 tahun ialah sebesar 701342,8 kWh.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Debit yang yang dapat dimanfaatkan ialah sebesar 0,68 m<sup>3</sup>/dt dengan probabilitas 53% yang merupakan debit maksimal perencanaan dimana pada debit tersebut 2 turbin bekerja secara maksimal. Pada saat terjadi debit sebesar 0,34 m<sup>3</sup>/dt dimana probabilitasnya 67%, turbin hanya dioperasikan 1 unit saja dengan cara bergantian. Debit minimum yang dapat digunakan ialah sebesar 0,17 m<sup>3</sup>/dt dengan probailitas sebesar 77%.
2. Tinggi efektif yang tersedia sebesar 22,22 m
3. Desain Bangunan yang direncanakan
  - Bangunan peninggi muka air  
Didesain mempunyai tinggi 1 meter agar saluran headrace dan bak pengendap tidak terlalu dalam. Bangunan peninggi menyebabkan tinggi muka air meluap 1,5 m diatas mercu saat terjadi banjir periode ulang 25 tahun sehingga harus diatasi dengan bangunan dinding penahan banjir sepanjang 10 meter.
  - Pintu *intake*  
Dimensi pintu *intake* didapat lebar 1,4 m dan tinggi 0,7 meter
  - Saluran *Headrace*  
Pada saluran *headrace*, lebar *headrace* direncanakan 1,3 m dengan tinggi air maksimum 0,628 m dengan elevasi 1,6 m dibawah permukaan tanah sekeliling.
  - Bak Penenang  
Bak penenang dilengkapi dengan bak pengendap untuk mengendapkan sedimen dengan diameter 0,2 mm sehingga panjang dari bak penenang didapat 9m dengan lebar 4,3 m

sehingga kecepatan di dalam bak tidak melampaui kecepatan kritis pengendapan sedimen. Bak pengendap juga dilengkapi dengan *spillway* agar kelebihan air yang terjadi dapat dikembalikan ke sungai.

- Pipa Penstock

Pipa penstock yang digunakan menggunakan pipa baja dengan diameter 16 inch dan tebal 7,29 mm dengan panjang total 172 m.

4. Kehilangan energi yang terjadi:

- Akibat gesekan sepanjang pipa = 2,13 m
- Akibat *trashrack* = 0,00013 m
- Akibat pemasukan awal pipa (*enterence*) = 0,203 m

Kehilangan energi total yang terjadi kurang dari 10% tinggi jatuh efektif. Maka perencanaan dapat diterima.

5. Besaran Energi yang dapat dihasilkan ialah sebesar 701342,8 kWh

## 5.2. Saran

1. Perlunya dilakukan observasi terhadap debit dilapangan agar hasil simulasi debit yang didapatkan lebih akurat .
2. Perlu dilakukan observasi penggunaan listrik di lokasi sehingga analisa keuntungan ekonomi dapat dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Harvey et al, 1993. **Microhydro Design Manual, Intermediate Technology Publications**, London.
- Anonim, ( 1986 ), Standar **Perencanaan Irigasi KP – 01**, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Asdak, C., 1995. **Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai**, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- British Hydropower Association (BHA), 2009. **La Rance Tidal Power Plant**, Liverpool.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009, **Pedoman Studi Kelayakan Sipil**.
- Hadihardaja, Joetata dan Sangkawati, Sd, 2001, **Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air**. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Lakitan, B. 2002. **Dasar-Dasar Klimatologi**. Cetakan Ke-2. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Patty,O.F.1995. **Tenaga Air**. Jakarta: Erlangga.
- Penche, Celso dan Ingeniero de Minas. **On how to develop a small site**. 1998. Layman’s Guidebook, Commission of the European Communities.
- Soemarto, C.D., 1987. **Hidrologi Teknik**. Usaha Nasional, Surabaya.
- Soewarno, 1995, **Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid Satu**, Nova, Bandung.
- Suripin, 2003. **Sistem Drainase Kota Yang Berkelanjutan**. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Triatmodjo, B.1993. **Hidrologi terapan**. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ulfiana, Desyta. 2016. Laporan Tugas Akhir: **Pengaruh Pemanfaatan Got Miring Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Nilai Manfaat Biaya (Benefit**

**Cost Ratio) Saluran B.LT-9 Di Desa Pladen Kecamatan  
Jekulo Kabupaten Kudus.** Surabaya.

Zahro, S.H., 2016. Laporan Tugas Akhir: **Prediksi Debit pada  
Daerah Aliran Sungai Menggunakan Model Mock di DAS  
Progo Hulu.** Yogyakarta.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Moody\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart).

# **LAMPIRAN 1**

## **Perhitungan Evapotranspirasi**

No	Uraian	Satuan	Bulan												
			JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGTS	SEPT	OKT	NOP	DES	
1	Temperatur Udara	Data	c°	13.685	13.823	15.625	17.472	17.402	15.278	15.229	14.989	21.443	16.192	15.278	14.949
2	ea	Tabel	mm	15.753	15.906	17.750	19.966	19.882	17.333	17.275	16.990	25.565	18.430	17.333	16.954
3	W	Tabel		0.657	0.658	0.684	0.705	0.704	0.679	0.678	0.670	0.744	0.692	0.673	0.669
4	1-W			0.343	0.342	0.316	0.295	0.296	0.321	0.322	0.330	0.256	0.308	0.327	0.331
5	f(t)	Tabel		13.237	13.265	13.744	14.094	14.080	13.692	13.684	13.648	14.889	13.838	13.692	13.642
6	Kelembapan Relatif (RH)	Data		0.851	0.840	0.821	0.796	0.764	0.734	0.716	0.684	0.649	0.701	0.770	0.800
7	ed	= RH*Ea	mbar	13.413	13.361	14.580	15.888	15.196	12.728	12.364	11.626	16.581	12.928	13.347	13.563
8	f(ed)	= 0.33- 0.044 . (ed) <sup>0.5</sup>		0.169	0.169	0.162	0.155	0.158	0.173	0.175	0.180	0.151	0.172	0.169	0.168
9	Letak Lintang Daerah	Data		7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42
10	Ra	Tabel		16.013	16.071	15.529	14.487	13.187	12.516	12.816	13.787	14.929	15.771	15.942	15.913
11	Penyinaran Matahari	Data		0.300	0.357	0.397	0.583	0.507	0.601	0.666	0.773	0.736	0.598	0.509	0.343
12	Rs	= (0.25 + 0.5 . n/N). Ra		6.597	7.119	7.210	8.186	6.909	7.194	7.815	9.205	9.664	9.038	8.369	6.928
13	Rns	= Rs . (1-α)		4.948	5.339	5.407	6.140	5.182	5.395	5.861	6.904	7.248	6.779	6.277	5.196
14	f(n/N)	= 0.1 + 0.9 * n/N		0.370	0.422	0.457	0.625	0.557	0.641	0.700	0.796	0.762	0.638	0.558	0.409
15	Kecepatan Angin (u)	Data	km/jam	126.115	156.608	90.051	104.925	97.731	100.920	108.351	163.575	161.210	142.117	110.467	102.061
16	f(u)	= 0.27(1 +u/100)		0.611	0.693	0.513	0.553	0.534	0.542	0.563	0.712	0.705	0.654	0.568	0.546
17	Rn1	= f(t)*f(n/N)*f(u)		1.365	1.555	1.142	1.206	1.191	1.285	1.349	1.748	1.584	1.554	1.317	1.250
18	Rn	= Rns-Rn1		3.584	3.785	4.265	4.934	3.990	4.110	4.512	5.156	5.664	5.224	4.960	3.946
19	angka koreksi	Tabel		1.04	1.05	1.06	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.1
21	Eto	= c. [W. Rn + (1-W). f (u). (ea-ed)]	mm/hari	2.958	3.249	3.638	3.729	3.195	3.234	3.555	4.714	6.419	5.195	4.486	3.578
22	Jumlah hari dalam satu bulan			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
23	Eto		mm/bulan	91.696	90.959	112.776	111.872	99.038	97.012	110.193	146.129	192.580	161.060	134.585	110.930

**LAMPIRAN 2**

**Perhitungan**

**Simulasi Debit F.J. Mock**

### Perhitungan Tahun 1989

<b>Data Meteorologi</b>		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	724	753	504	237	356	182	168	79	47	304	359	441
Hari Hujan		26	26	24	18	16	12	15	4	4	12	16	24
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n) \times E_{to}$	mm/bulan	-14.67	-14.55	-13.53	0.00	3.96	11.64	6.61	40.92	53.92	19.33	5.38	-13.31
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	106.37	105.51	126.31	111.87	95.08	85.37	103.58	105.21	138.66	141.73	129.20	124.24
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	617.63	647.49	377.69	125.13	260.92	96.63	64.42	-26.21	-91.66	162.27	229.80	316.76
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	121.08	29.43	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	121.08	29.43	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.21	91.66	-117.87	0.00	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	617.63	647.49	377.69	125.13	260.92	96.63	64.42	0.00	0.00	0.00	229.80	316.76
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	308.82	323.74	188.85	62.56	130.46	48.31	32.21	0.00	0.00	0.00	114.90	158.38
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		122.22	128.11	74.89	25.08	51.86	19.45	13.10	0.39	0.39	0.39	45.72	62.88
$L = k(V_n - 1)$		157.80	220.94	275.40	276.38	237.85	228.58	195.70	164.75	130.30	103.11	81.67	100.51
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	280.02	349.05	350.29	301.46	289.71	248.04	208.80	165.14	130.69	103.51	127.39	163.39
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	80.02	69.03	1.24	-48.84	-11.75	-41.67	-39.23	-43.66	-34.45	-27.18	23.88	36.00
Aliran Dasar	mm/bulan	228.79	254.72	187.60	111.40	142.21	89.99	71.44	43.66	34.45	27.18	91.02	122.38
Limpasan Langsung	mm/bulan	308.82	323.74	188.85	62.56	130.46	48.31	32.21	0.00	0.00	0.00	114.90	158.38
Total Limpasan	mm/bulan	537.61	578.46	376.45	173.96	272.67	138.30	103.65	43.66	34.45	27.18	205.92	280.76
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.73	2.06	1.21	0.58	0.88	0.46	0.33	0.14	0.11	0.09	0.69	0.90



### Perhitungan Tahun 1990

Data Meteorologi		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	495	443	466	318	129	209	0	79	186	136	272	577
Hari Hujan		24	22	20	15	16	7	0	4	17	8	13	23
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-11.00	-7.28	-4.51	6.71	3.96	21.34	39.67	40.92	3.85	32.21	13.46	-11.09
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	102.70	98.24	117.29	105.16	95.08	75.67	70.52	105.21	188.73	128.85	121.13	122.02
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	392.30	344.76	348.71	212.84	33.92	133.33	-70.52	-26.21	-2.73	7.15	150.87	454.98
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	76.77	50.56	47.83	54.98	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	76.77	50.56	47.83	54.98	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-70.52	-26.21	-2.73	7.15	92.31	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	392.30	344.76	348.71	212.84	33.92	133.33	0.00	0.00	0.00	0.00	58.56	454.98
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	196.15	172.38	174.36	106.42	16.96	66.67	0.00	0.00	0.00	0.00	29.28	227.49
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		77.78	68.40	69.18	42.38	7.09	26.69	0.39	0.39	0.39	0.39	11.95	90.14
$L = k(V_n - 1)$		128.91	163.08	182.63	198.68	190.19	155.65	143.87	113.83	90.12	71.42	56.66	54.13
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	206.69	231.48	251.81	241.06	197.28	182.35	144.27	114.22	90.52	71.81	68.60	144.27
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	43.30	24.79	20.34	-10.76	-43.78	-14.93	-38.08	-30.05	-23.71	-18.70	-3.21	75.66
Aliran Dasar	mm/bulan	152.85	147.59	154.02	117.18	60.74	81.60	38.08	30.05	23.71	18.70	32.49	151.83
Limpasan Langsung	mm/bulan	196.15	172.38	174.36	106.42	16.96	66.67	0.00	0.00	0.00	0.00	29.28	227.49
Total Limpasan	mm/bulan	349.00	319.98	328.38	223.60	77.70	148.26	38.08	30.05	23.71	18.70	61.77	379.31
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.12	1.14	1.06	0.74	0.25	0.49	0.12	0.10	0.08	0.06	0.21	1.22

### Perhitungan Tahun 1991

Data Meteorologi		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	1032	579	365	629	133	0	36	0	0	115	492	596
Hari Hujan		28	20	13	20	4	0	2	0	0	4	23	24
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-18.34	-3.64	11.28	-4.47	27.73	34.92	35.26	52.61	69.33	45.10	-13.46	-13.31
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	110.04	94.60	101.50	116.35	71.31	62.09	74.93	93.52	123.25	115.96	148.04	124.24
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	921.96	484.40	263.50	512.65	61.69	-62.09	-38.93	-93.52	-123.25	-0.96	343.96	471.76
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.21	46.28	0.00	0.00	0.00	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.21	46.28	0.00	0.00	0.00	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-62.09	-38.93	-46.28	0.00	0.00	147.30	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	921.96	484.40	263.50	512.65	61.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	196.66	471.76
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	460.98	242.20	131.75	256.33	30.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.33	235.88
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		182.25	95.94	52.37	101.52	12.56	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	39.19	93.45
$L = k(V_n - 1)$		113.83	233.61	260.01	246.47	274.56	226.54	179.05	141.58	112.02	88.70	70.29	86.38
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	296.08	329.55	312.38	347.99	287.12	226.94	179.45	141.98	112.42	89.09	109.48	179.83
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	151.81	33.47	-17.16	35.60	-60.86	-60.19	-47.49	-37.47	-29.56	-23.33	20.39	70.35
Aliran Dasar	mm/bulan	309.17	208.73	148.92	220.72	91.71	60.19	47.49	37.47	29.56	23.33	77.94	165.53
Limpasan Langsung	mm/bulan	460.98	242.20	131.75	256.33	30.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.33	235.88
Total Limpasan	mm/bulan	770.15	450.93	280.67	477.05	122.55	60.19	47.49	37.47	29.56	23.33	176.27	401.41
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	2.48	1.61	0.90	1.59	0.39	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08	0.59	1.29

## Perhitungan Tahun 1992

<b>Data Meteorologi</b>		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	614	689	380	366	325	64	55	408	253	436	614	448
Hari Hujan		27	24	22	18	17	9	6	11	16	26	24	22
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-16.51	-10.92	-9.02	0.00	1.98	17.46	26.45	20.46	7.70	-25.77	-16.15	-8.87
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	108.20	101.87	121.80	111.87	97.06	79.55	83.75	125.67	184.88	186.83	150.74	119.80
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	505.80	587.13	258.20	254.13	227.94	-15.55	-28.75	282.33	68.12	249.17	463.26	328.20
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	131.75	103.00	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	131.75	103.00	147.30	147.30	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-15.55	-28.75	44.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	505.80	587.13	258.20	254.13	227.94	0.00	0.00	238.03	68.12	249.17	463.26	328.20
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	252.90	293.56	129.10	127.06	113.97	0.00	0.00	158.77	45.44	124.58	231.63	164.10
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		100.16	116.21	51.32	50.52	45.36	0.39	0.39	63.03	18.32	49.54	91.77	65.13
$L = k(V_n - 1)$		141.88	190.97	242.36	231.72	222.69	211.49	167.18	132.21	154.04	136.00	146.39	187.91
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	242.05	307.18	293.69	282.24	268.05	211.88	167.57	195.24	172.36	185.54	238.16	253.04
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	62.22	65.13	-13.49	-11.45	-14.20	-56.16	-44.31	27.67	-22.88	13.17	52.62	14.88
Aliran Dasar	mm/bulan	190.68	228.43	142.59	138.51	128.17	56.16	44.31	131.10	68.31	111.41	179.01	149.22
Limpasan Langsung	mm/bulan	252.90	293.56	129.10	127.06	113.97	0.00	0.00	79.26	22.68	124.58	231.63	164.10
Total Limpasan	mm/bulan	443.58	521.99	271.69	265.58	242.14	56.16	44.31	210.36	91.00	236.00	410.64	313.32
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.43	1.80	0.87	0.88	0.78	0.19	0.14	0.68	0.30	0.76	1.37	1.01

### Perhitungan Tahun 1993

<b>Data Meteorologi</b>		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	482	414	507	407	150	81	6	25	0	49	58	441
Hari Hujan		25	19	23	20	10	12	3	2	0	12	14	22
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t=(m/20)\times(18-n)$	mm/bulan	-12.84	-1.82	-11.28	-4.47	15.85	11.64	33.06	46.76	69.33	19.33	10.77	-8.87
$E_a=E_t-E_t$	mm/bulan	104.53	92.78	124.05	116.35	83.19	85.37	77.14	99.37	123.25	141.73	123.82	119.80
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	377.47	321.22	382.95	290.65	66.81	-4.37	-71.14	-74.37	-123.25	-92.73	-65.82	321.20
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	142.93	71.79	0.00	0.00	0.00	0.00	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	142.93	71.79	0.00	0.00	0.00	0.00
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.37	-71.14	-71.79	0.00	0.00	0.00	147.30
Kelebihan Air	mm/bulan	377.47	321.22	382.95	290.65	66.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	173.90
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	188.73	160.61	191.47	145.33	33.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.95
Vol. Air Tanah $G=0.5(1+k)i$		74.85	63.76	75.93	57.73	13.57	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	34.70
$L=k(V_n-1)$		199.65	216.58	221.19	234.42	230.51	192.58	152.26	120.44	95.34	75.53	59.91	47.58
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	274.50	280.34	297.12	292.15	244.08	192.97	152.65	120.84	95.73	75.93	60.30	82.27
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	21.46	5.84	16.78	-4.97	-48.07	-51.11	-40.32	-31.81	-25.10	-19.81	-15.63	21.97
Aliran Dasar	mm/bulan	167.28	154.77	174.69	150.29	81.48	51.11	40.32	31.81	25.10	19.81	15.63	64.98
Limpasan Langsung	mm/bulan	188.73	160.61	191.47	145.33	33.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.95
Total Limpasan	mm/bulan	356.01	315.39	366.17	295.62	114.88	51.11	40.32	31.81	25.10	19.81	15.63	151.93
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.15	1.12	1.18	0.98	0.37	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.49

### Perhitungan Tahun 1994

Data Meteorologi		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	480	686	942	308	112	0	0	0	0	69	112	416
Hari Hujan		28	22	24	16	7	0	0	0	0	4	8	19
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-18.34	-7.28	-13.53	4.47	21.79	34.92	39.67	52.61	69.33	45.10	26.92	-2.22
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	110.04	98.24	126.31	107.40	77.25	62.09	70.52	93.52	123.25	115.96	107.67	113.15
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	369.96	587.76	815.69	200.60	34.75	-62.09	-70.52	-93.52	-123.25	-46.96	4.33	302.85
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.21	14.69	0.00	0.00	0.00	4.33	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.21	14.69	0.00	0.00	0.00	4.33
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-62.09	-70.52	-14.69	0.00	0.00	4.33	142.97
Kelebihan Air	mm/bulan	369.96	587.76	815.69	200.60	34.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	159.89
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	184.98	293.88	407.85	100.30	17.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.94
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		73.37	116.33	161.29	39.96	7.25	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	31.93
$L = k(V_n - 1)$		64.91	109.11	177.87	267.60	242.67	197.18	155.89	123.31	97.60	77.32	61.32	48.69
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	138.28	225.44	339.16	307.56	249.91	197.58	156.28	123.70	97.99	77.71	61.71	80.62
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	56.01	87.15	113.72	-31.60	-57.65	-52.34	-41.29	-32.58	-25.71	-20.28	-16.00	18.91
Aliran Dasar	mm/bulan	128.97	206.73	294.12	131.90	75.02	52.34	41.29	32.58	25.71	20.28	16.00	61.03
Limpasan Langsung	mm/bulan	184.98	293.88	407.85	100.30	17.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.94
Total Limpasan	mm/bulan	313.95	500.61	701.97	232.20	92.40	52.34	41.29	32.58	25.71	20.28	16.00	140.98
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.01	1.78	2.26	0.77	0.30	0.17	0.13	0.10	0.09	0.07	0.05	0.45

### Perhitungan Tahun 1995

Data Meteorologi		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	434	700	1002	0	177	359	56	0	44	469	927	333
Hari Hujan		26	28	31	0	7	9	4	0	2	10	17	19
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-14.67	-18.19	-29.32	40.27	21.79	17.46	30.85	52.61	61.63	25.77	2.69	-2.22
$E_a = E_t - E_t$	mm/bulan	106.37	109.15	142.10	71.60	77.25	79.55	79.34	93.52	130.95	135.29	131.89	113.15
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	327.63	590.85	859.90	-71.60	99.75	279.45	-23.34	-93.52	-86.95	333.71	795.11	219.85
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	75.70	147.30	147.30	123.96	30.44	0.00	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	75.70	147.30	147.30	123.96	30.44	0.00	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	-71.60	71.60	0.00	-23.34	-93.52	-30.44	147.30	0.00	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	327.63	590.85	859.90	0.00	28.15	279.45	0.00	0.00	0.00	186.41	795.11	219.85
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	163.82	295.42	429.95	0.00	14.08	139.73	0.00	0.00	0.00	93.21	397.55	109.93
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		65.02	116.94	170.01	0.39	5.95	55.52	0.39	0.39	0.39	37.16	157.23	43.76
$L = k(V_n - 1)$		63.61	101.49	172.34	270.11	213.43	173.09	180.37	142.62	112.84	89.34	99.81	202.81
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	128.63	218.43	342.35	270.51	219.38	228.61	180.76	143.02	113.24	126.51	257.04	246.57
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	48.01	89.80	123.92	-71.84	-51.13	9.23	-47.84	-37.75	-29.78	13.27	130.54	-10.48
Aliran Dasar	mm/bulan	115.81	205.63	306.03	71.84	65.21	130.50	47.84	37.75	29.78	79.93	267.02	120.40
Limpasan Langsung	mm/bulan	163.82	295.42	429.95	0.00	14.08	139.73	0.00	0.00	0.00	93.21	397.55	109.93
Total Limpasan	mm/bulan	279.62	501.05	735.98	71.84	79.28	270.22	47.84	37.75	29.78	173.14	664.57	230.33
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	0.90	1.79	2.37	0.24	0.26	0.90	0.15	0.12	0.10	0.56	2.21	0.74

### Perhitungan Tahun 1996

Data Meteorologi		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	668	455	587	145	675	55	34	166	49	422	592	507
Hari Hujan		28	23	19	12	7	3	4	8	8	16	23	20
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-18.34	-9.10	-2.26	13.42	21.79	29.10	30.85	29.23	38.52	6.44	-13.46	-4.44
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	110.04	100.06	115.03	98.45	77.25	67.91	79.34	116.90	154.06	154.62	148.04	115.37
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	557.96	354.94	471.97	46.55	597.75	-12.91	-45.34	49.10	-105.06	267.38	443.96	391.63
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	134.39	89.05	138.15	33.08	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	134.39	89.05	138.15	33.08	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.91	-45.34	49.10	-105.06	114.22	0.00	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	557.96	354.94	471.97	46.55	597.75	0.00	0.00	0.00	0.00	153.17	443.96	391.63
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	278.98	177.47	235.98	23.28	298.88	0.00	0.00	0.00	0.00	76.58	221.98	195.82
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		110.45	70.41	93.49	9.58	118.30	0.39	0.39	0.39	0.39	30.61	87.96	77.64
$L = k(V_n - 1)$		194.54	240.64	245.42	267.40	218.53	265.76	210.00	166.00	131.28	103.89	106.12	153.13
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	304.99	311.05	338.91	276.97	336.83	266.16	210.39	166.39	131.68	134.50	194.09	230.78
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	58.43	6.05	27.86	-61.93	59.86	-70.68	-55.76	-44.00	-34.71	2.82	59.59	36.69
Aliran Dasar	mm/bulan	220.56	171.42	208.13	85.21	239.02	70.68	55.76	44.00	34.71	73.76	162.39	159.12
Limpasan Langsung	mm/bulan	278.98	177.47	235.98	23.28	298.88	0.00	0.00	0.00	0.00	76.58	221.98	195.82
Total Limpasan	mm/bulan	499.54	348.89	444.11	108.49	537.89	70.68	55.76	44.00	34.71	150.34	384.37	354.94
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.61	1.20	1.43	0.36	1.73	0.24	0.18	0.14	0.12	0.48	1.28	1.14

### Perhitungan Tahun 1997

<b>Data Meteorologi</b>		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	229	198	159	234	157	0	0	0	0	0	479	514
Hari Hujan		13	17	11	17	14	0	0	0	0	0	10	14
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t=(m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	9.17	1.82	15.79	2.24	7.92	34.92	39.67	52.61	69.33	57.98	21.53	8.87
$E_a=E_t-E_t$	mm/bulan	82.53	89.14	96.99	109.63	91.11	62.09	70.52	93.52	123.25	103.08	113.05	102.06
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	146.47	108.86	62.01	124.37	65.89	-62.09	-70.52	-93.52	-123.25	-103.08	365.95	411.94
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.21	14.69	0.00	0.00	0.00	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.21	14.69	0.00	0.00	0.00	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-62.09	-70.52	-14.69	0.00	0.00	147.30	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	146.47	108.86	62.01	124.37	65.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	218.65	411.94
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	73.24	54.43	31.01	62.18	32.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.33	205.97
Vol. Air Tanah $G=0.5(1+k)i$		29.29	21.87	12.63	24.93	13.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	43.52	81.65
$L=k(V_n-1)$		182.08	166.77	148.84	127.39	120.18	105.39	83.46	66.16	52.51	41.74	33.25	60.57
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	211.37	188.64	161.46	152.32	133.57	105.78	83.86	66.56	52.91	42.14	76.77	142.22
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	-19.41	-22.73	-27.18	-9.14	-18.75	-27.79	-21.93	-17.30	-13.65	-10.77	34.63	65.45
Aliran Dasar	mm/bulan	92.64	77.16	58.18	71.33	51.69	27.79	21.93	17.30	13.65	10.77	74.69	140.52
Limpasan Langsung	mm/bulan	73.24	54.43	31.01	62.18	32.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.33	205.97
Total Limpasan	mm/bulan	165.88	131.59	89.19	133.51	84.63	27.79	21.93	17.30	13.65	10.77	184.02	346.49
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	0.53	0.47	0.29	0.44	0.27	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03	0.61	1.12



### Perhitungan Tahun 1998

<b>Data Meteorologi</b>		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	722	1005	1019	240	75	465	470	1569	1313	2380	2591	3313
Hari Hujan		8	7	24	7	1	11	9	12	13	17	17	21
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t=(m/20)\times(18-n)$	mm/bulan	18.34	20.01	-13.53	24.61	33.67	13.58	19.83	17.54	19.26	3.22	2.69	-6.66
$E_a=E_t-E_t$	mm/bulan	73.36	70.95	126.31	87.26	65.37	83.43	90.36	128.59	173.32	157.84	131.89	117.59
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	648.64	934.05	892.69	152.74	9.63	381.57	379.64	1440.41	1139.68	2222.16	2459.11	3195.41
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	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
Kelebihan Air	mm/bulan	648.64	934.05	892.69	152.74	9.63	381.57	379.64	1440.41	1139.68	2222.16	2459.11	3195.41
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	324.32	467.03	446.35	76.37	4.82	190.78	189.82	960.75	760.16	1111.08	1229.55	1597.71
Vol. Air Tanah $G=0.5(1+k)i$		128.34	184.64	176.48	30.52	2.30	75.66	75.28	379.41	300.28	438.72	485.45	630.69
$L=k(V_n-1)$		112.21	189.80	295.43	372.33	317.85	252.60	258.99	263.74	507.45	637.30	848.97	1052.86
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	240.55	374.43	471.91	402.86	320.15	328.26	334.27	643.15	807.73	1076.01	1334.43	1683.55
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	98.33	133.88	97.47	-69.05	-82.71	8.11	6.02	308.88	164.57	268.29	258.41	349.13
Aliran Dasar	mm/bulan	225.99	333.15	348.87	145.42	87.53	182.68	183.80	651.87	595.59	842.79	971.14	1248.58
Limpasan Langsung	mm/bulan	324.32	467.03	446.35	76.37	4.82	190.78	189.82	479.66	379.51	1111.08	1229.55	1597.71
Total Limpasan	mm/bulan	550.31	800.17	795.22	221.79	92.34	373.46	373.62	1131.53	975.10	1953.88	2200.69	2846.29
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	1.77	2.85	2.56	0.74	0.30	1.24	1.20	3.64	3.24	6.29	7.32	9.17

### Perhitungan Tahun 1999

<b>Data Meteorologi</b>		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	3050	639	2462	1089	516	486	0	263	5	915	2081	1283
Hari Hujan		27	19	16	13	7	9	0	4	1	17	26	21
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-16.51	-1.82	4.51	11.19	21.79	17.46	39.67	40.92	65.48	3.22	-21.53	-6.66
$E_a = E_t - E_t$	mm/bulan	108.20	92.78	108.27	100.68	77.25	79.55	70.52	105.21	127.10	157.84	156.12	117.59
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	2941.80	546.22	2353.73	988.32	438.75	406.45	-70.52	157.79	-122.10	757.16	1924.88	1165.41
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	76.77	147.30	25.19	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	76.77	147.30	25.19	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-70.52	70.52	-122.10	122.10	0.00	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	2941.80	546.22	2353.73	988.32	438.75	406.45	0.00	87.26	0.00	635.06	1924.88	1165.41
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	1470.90	273.11	1176.87	494.16	219.38	203.23	0.00	58.20	0.00	317.53	962.44	582.71
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		580.66	108.14	464.67	195.34	86.94	80.57	0.39	23.36	0.39	125.66	380.08	230.27
$L = k(V_n - 1)$		1328.32	1506.19	1273.70	1371.58	1236.30	1044.03	887.31	700.40	571.04	450.86	454.88	658.78
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	1908.99	1614.33	1738.37	1566.92	1323.23	1124.60	887.70	723.75	571.44	576.52	834.95	889.05
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	225.43	-294.66	124.05	-171.46	-243.68	-198.64	-236.90	-163.95	-152.32	5.09	258.43	54.10
Aliran Dasar	mm/bulan	1245.46	567.77	1052.82	665.61	463.06	401.86	236.90	222.15	152.32	312.44	704.01	528.61
Limpasan Langsung	mm/bulan	1470.90	273.11	1176.87	494.16	219.38	203.23	0.00	29.06	0.00	317.53	962.44	582.71
Total Limpasan	mm/bulan	2716.36	840.88	2229.69	1159.77	682.43	605.09	236.90	251.21	152.32	629.97	1666.45	1111.32
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	8.75	3.00	7.18	3.86	2.20	2.01	0.76	0.81	0.51	2.03	5.55	3.58

### Perhitungan Tahun 2000

Data Meteorologi		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Hujan Bulanan	mm/bulan	1306	539	1370	1295	1135	219	13	77	169	895	1777	793
Hari Hujan		22	18	16	20	19	7	2	3	3	14	26	12
<b>Evapotranspirasi Aktual (Ea)</b>													
Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bulan	91.70	90.96	112.78	111.87	99.04	97.01	110.19	146.13	192.58	161.06	134.59	110.93
Permukaan Lahan yang Terbuka		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$E_t = (m/20) \times (18-n)$	mm/bulan	-7.34	0.00	4.51	-4.47	-1.98	21.34	35.26	43.84	57.77	12.88	-21.53	13.31
$E_a = E_{to} - E_t$	mm/bulan	99.03	90.96	108.27	116.35	101.02	75.67	74.93	102.29	134.81	148.18	156.12	97.62
<b>Keseimbangan Air</b>													
$\Delta S = R - E_a$	mm/bulan	1206.97	448.04	1261.73	1178.65	1033.98	143.33	-61.93	-25.29	34.19	746.82	1620.88	695.38
Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.37	60.08	94.27	147.30	147.30	147.30
Kapasitas Kelembaban Tanah Bulan Sebelumnya (IMS)	mm/bulan	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	147.30	85.37	60.08	94.27	147.30	147.30
Perubahan Nilai Kelembaban Tanah ( $\Delta SM$ )	mm/bulan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-61.93	-25.29	34.19	53.03	0.00	0.00
Kelebihan Air	mm/bulan	1206.97	448.04	1261.73	1178.65	1033.98	143.33	0.00	0.00	0.00	693.80	1620.88	695.38
<b>Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah</b>													
Koefisien infiltrasi (i)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.67	0.67	0.50	0.50	0.50
Faktor resesi aliran air tanah (k)		0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Infiltrasi	mm/bulan	603.48	224.02	630.87	589.33	516.99	71.67	0.00	0.00	0.00	346.90	810.44	347.69
Vol. Air Tanah $G = 0.5(1+k)i$		238.47	88.77	249.27	232.88	204.35	28.67	0.39	0.39	0.39	137.25	320.11	137.56
$L = k(V_n - 1)$		701.46	741.61	655.17	713.60	746.78	750.44	614.71	485.32	383.23	302.68	347.10	526.43
Volume Penyimpanan ( $V_n$ )	mm/bulan	939.93	830.38	904.44	946.49	951.12	779.10	615.11	485.71	383.62	439.92	667.21	663.99
$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$	mm/bulan	50.88	-109.55	74.06	42.05	4.64	-172.02	-164.00	-129.39	-102.09	56.30	227.29	-3.22
Aliran Dasar	mm/bulan	552.61	333.58	556.80	547.28	512.35	243.69	164.00	129.39	102.09	290.60	583.15	350.91
Limpasan Langsung	mm/bulan	603.48	224.02	630.87	589.33	516.99	71.67	0.00	0.00	0.00	346.90	810.44	347.69
Total Limpasan	mm/bulan	1156.09	557.60	1187.67	1136.61	1029.34	315.35	164.00	129.39	102.09	637.49	1393.59	698.61
Luas Daerah Tangkapan	Ha	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52	862.52
Debit	m <sup>3</sup> /detik	3.72	1.92	3.82	3.78	3.31	1.05	0.53	0.42	0.34	2.05	4.64	2.25

## **LAMPIRAN 3**

### **Perhitungan Daya dan Energi**

Tabel Perhitungan Daya dan Energi serta Operasional Turbin

Debit (m3/detik)	Probabilitas	$\frac{Q}{Q_{max}}$	Efisiensi Turbin	Heff (m)	Daya (kW)	Persentase kejadian	Energi (kWh)	Operasional Turbin
0.143	79.86%	0.42	68%	22.22	21.15	0.69%	1286.352	Turbin Berhenti
0.153	79.17%	0.45	70%		23.32	0.69%	1418.651	Bekerja
0.154	78.47%	0.45	71%		23.82	0.69%	1449.169	
0.170	77.78%	0.50	75%		27.78	0.69%	1689.889	1 Turbin Bekerja
0.174	77.08%	0.51	76%		28.85	0.69%	1754.883	
0.180	76.39%	0.53	77%		30.13	0.69%	1832.956	
0.187	75.69%	0.55	78%		31.77	0.69%	1932.453	
0.197	75.00%	0.58	79%		33.89	0.69%	2061.854	
0.200	74.31%	0.59	80%		34.91	0.69%	2123.396	
0.235	73.61%	0.69	82%		42.02	0.69%	2556.458	
0.239	72.92%	0.70	82%		42.70	0.69%	2597.729	
0.251	72.22%	0.74	83%		45.33	0.69%	2757.342	
0.256	71.53%	0.75	83%		46.28	0.69%	2815.314	
0.273	70.83%	0.80	83%		49.35	0.69%	3002.081	
0.285	70.14%	0.84	83%		51.60	0.69%	3138.907	
0.298	69.44%	0.88	83%		53.83	0.69%	3274.861	
0.298	68.75%	0.88	83%		53.88	0.69%	3277.872	
0.300	68.06%	0.88	83%		54.37	0.69%	3307.295	
0.332	67.36%	0.98	81%		58.54	0.69%	3560.896	
0.340	66.67%	1.00	80%		59.22	0.69%	3602.693	
0.361	65.97%	0.53	77%		60.62	0.69%	3688.02	
0.370	65.28%	0.54	77%		62.12	0.69%	3778.953	
0.395	64.58%	0.58	78%		67.13	0.69%	4083.439	
0.417	63.89%	0.61	80%		72.64	0.69%	4418.856	
0.444	63.19%	0.65	81%		78.47	0.69%	4773.613	
0.452	62.50%	0.66	81%		79.74	0.69%	4850.561	
0.458	61.81%	0.67	82%		81.92	0.69%	4983.376	
0.469	61.11%	0.69	82%		83.92	0.69%	5104.936	
0.476	60.42%	0.70	82%		85.15	0.69%	5179.874	
0.489	59.72%	0.72	82%		87.39	0.69%	5316.114	
0.492	59.03%	0.72	83%		88.94	0.69%	5410.684	
0.507	58.33%	0.74	83%		91.66	0.69%	5575.894	
0.528	57.64%	0.77	83%		95.52	0.69%	5810.599	
0.534	56.94%	0.78	83%		96.67	0.69%	5880.505	
0.555	56.25%	0.81	83%		100.46	0.69%	6111.094	
0.579	55.56%	0.85	83%		104.80	0.69%	6375.222	
0.584	54.86%	0.86	83%	105.58	0.69%	6422.769		
0.610	54.17%	0.89	83%	110.37	0.69%	6714.222		
0.674	53.47%	0.99	80%	117.52	0.69%	7149.211		
0.683	52.78%	1.00	80%	119.02	52.78%	550273.8		
Jumlah Energi yang dapat dihasilkan selama satu tahun							701342.8 kwh	

**LAMPIRAN 4**

**Gambar Perencanaan**



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO  
DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN  
MAGELANG

### NAMA MAHASISWA

Yusuf Setya Prabowo

### NRP

3114106014

### DOSEN PEMBIMBING

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

### JUDUL GAMBAR

LAYOUT

### SKALA GAMBAR

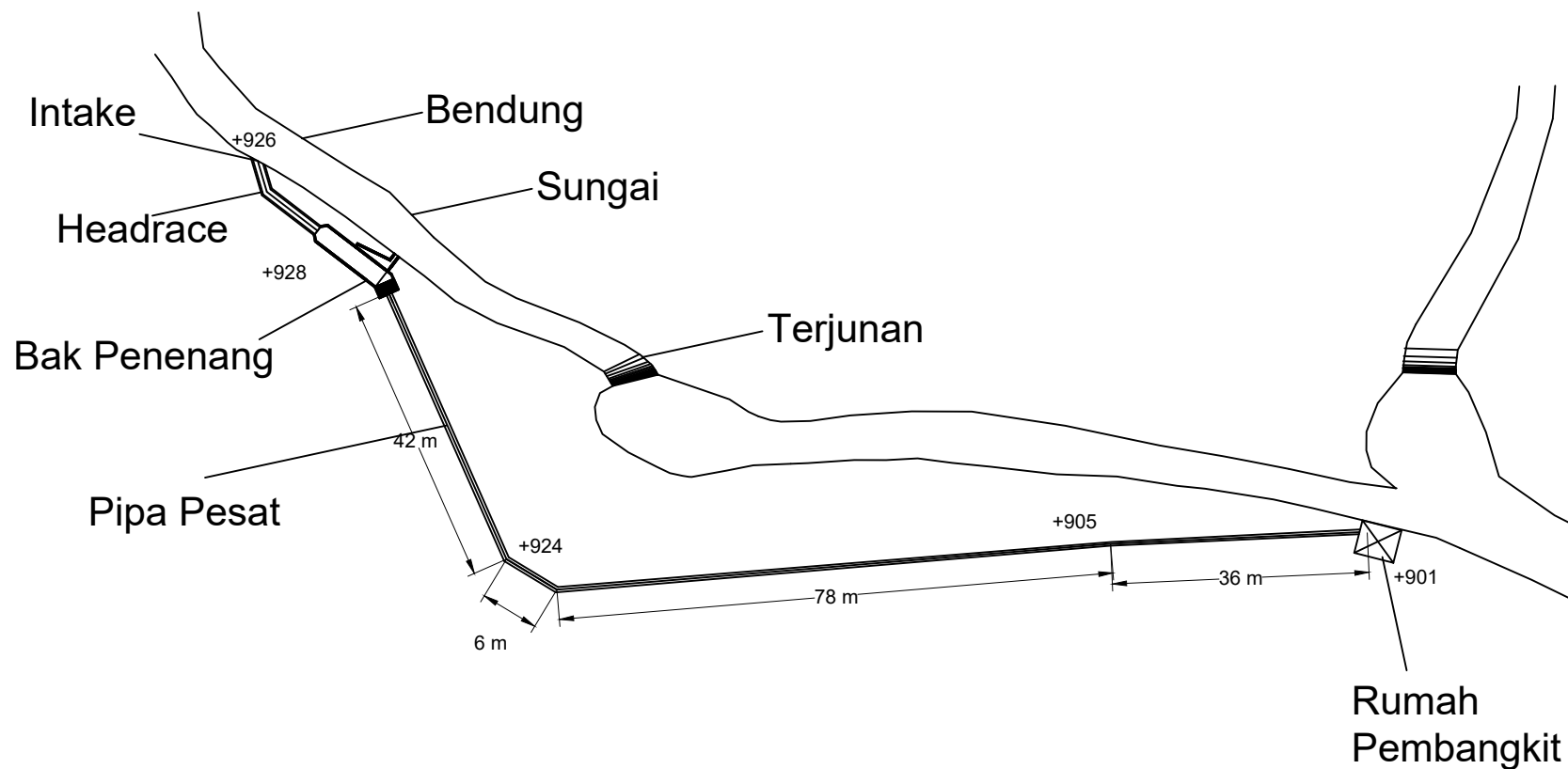
1: 1000

### NOMOR GAMBAR

1

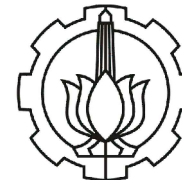
### JUMLAH GAMBAR

6



### LAYOUT

SKALA 1: 1000



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO  
DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN  
MAGELANG

NAMA MAHASISWA

Yusuf Setya Prabowo

NRP

3114106014

DOSEN PEMBIMBING

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

Denah Bangunan Intake

SKALA GAMBAR

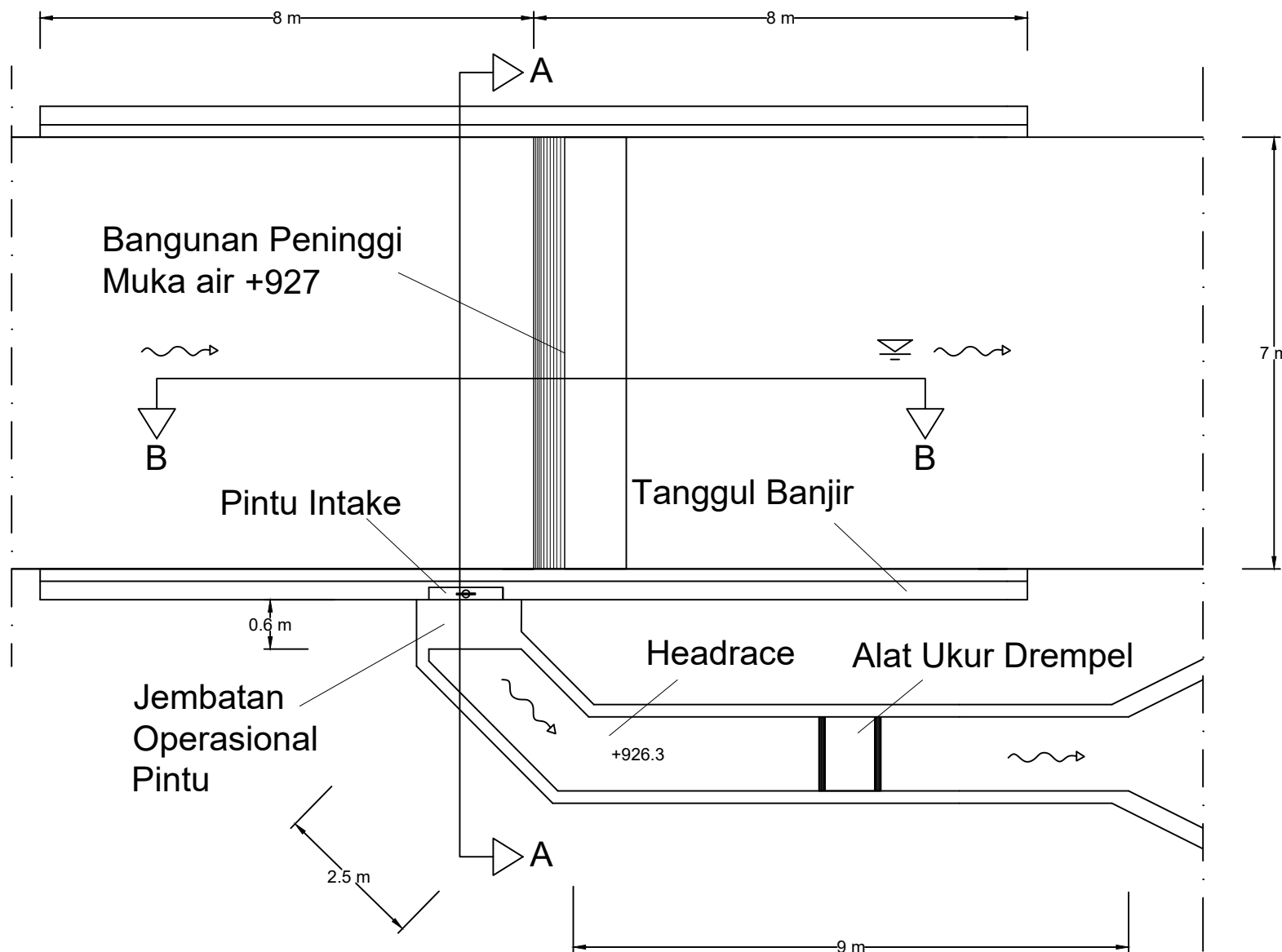
1: 100

NOMOR GAMBAR

2

JUMLAH GAMBAR

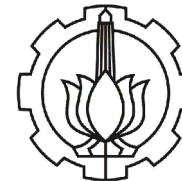
6



**DENAH BANGUNAN INTAKE**

SKALA 1: 100





INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO  
DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAAN KABUPATEN  
MAGELANG

### NAMA MAHASISWA

Yusuf Setya Prabowo

### NRP

3114106014

### DOSEN PEMBIMBING

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

### JUDUL GAMBAR

Potongan Bangunan  
Intake

### SKALA GAMBAR

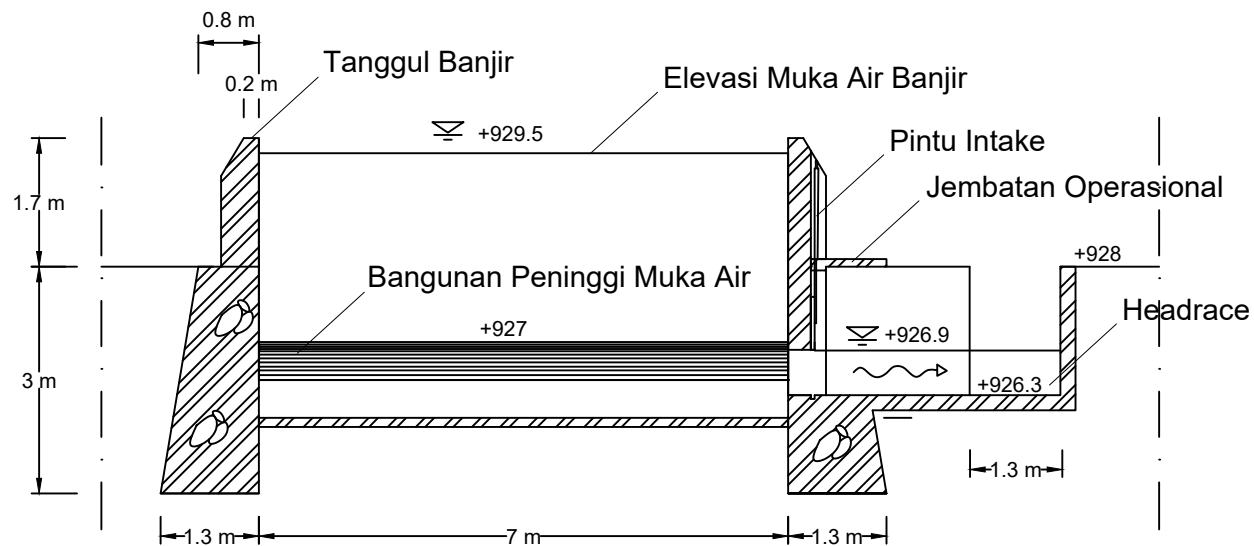
1: 100

### NOMOR GAMBAR

3

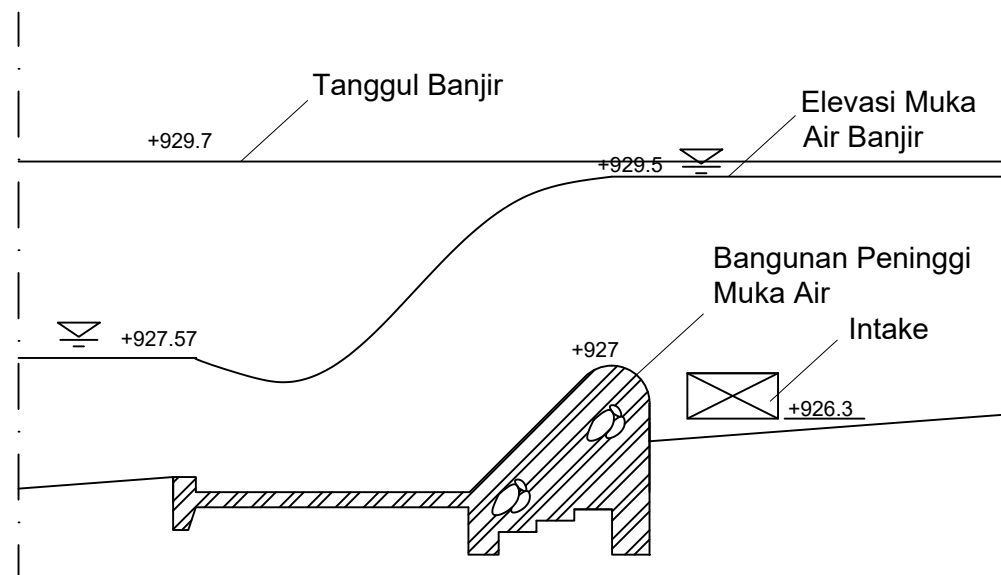
### JUMLAH GAMBAR

6



### POTONGAN A-A

SKALA 1: 100



### POTONGAN B-B

SKALA 1: 100



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO  
DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN  
MAGELANG

### NAMA MAHASISWA

Yusuf Setya Prabowo

### NRP

3114106014

### DOSEN PEMBIMBING

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

### JUDUL GAMBAR

Saluran Headrace  
Alat Ukur Drempel

### SKALA GAMBAR

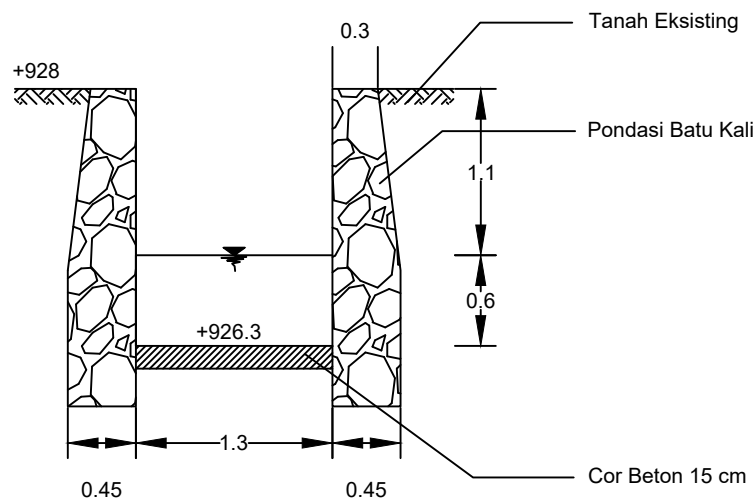
1: 50

### NOMOR GAMBAR

4

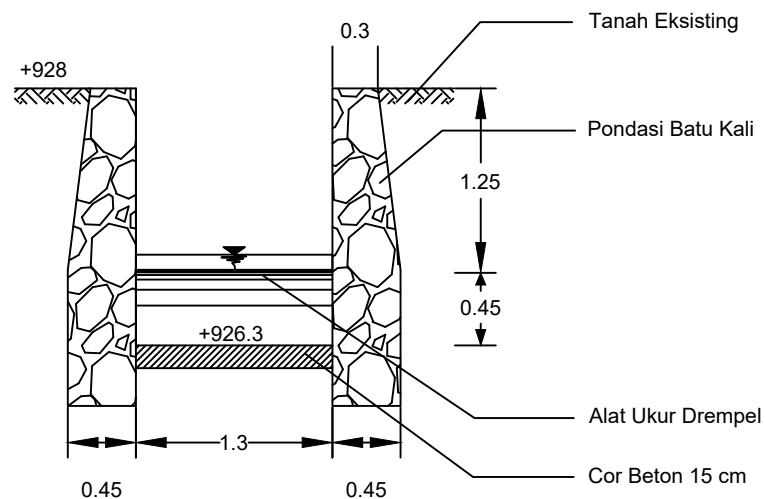
### JUMLAH GAMBAR

6



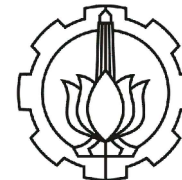
## SALURAN HEADRACE

SKALA 1: 50



## ALAT UKUR DREMPEL

SKALA 1: 50



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO  
DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN  
MAGELANG

### NAMA MAHASISWA

Yusuf Setya Prabowo

### NRP

3114106014

### DOSEN PEMBIMBING

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

### JUDUL GAMBAR

Bak Penenang

### SKALA GAMBAR

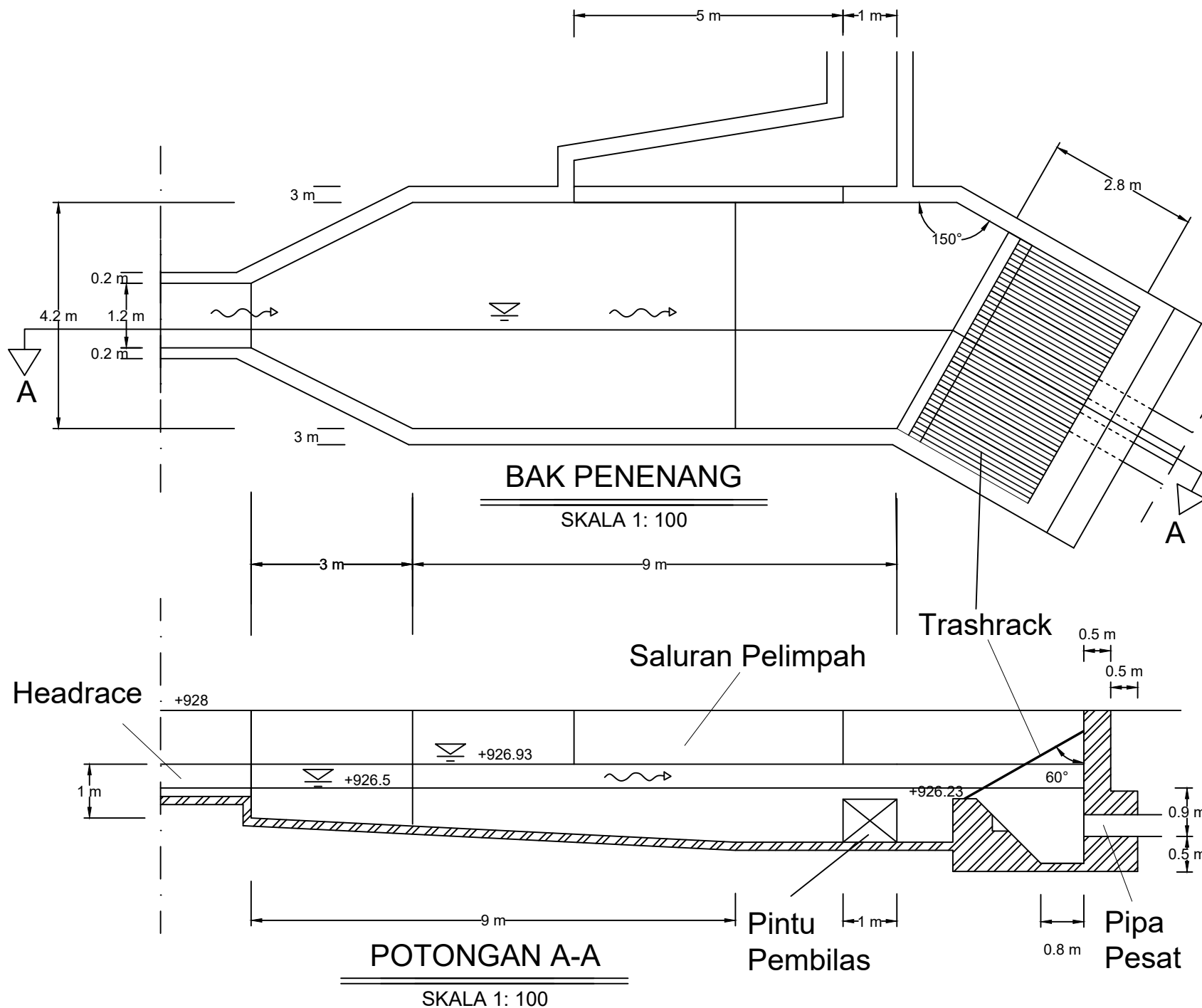
1: 100

### NOMOR GAMBAR

5

### JUMLAH GAMBAR

6





INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO  
DESA SUTOPATI KECAMATAN  
KAJORAN KABUPATEN  
MAGELANG

**NAMA MAHASISWA**

Yusuf Setya Prabowo

**NRP**

3114106014

**DOSEN PEMBIMBING**

Dr.techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

Pot Memanjang Pipa Pesat  
Potongan A-A  
Potongan B-B  
Detail C

**SKALA GAMBAR**

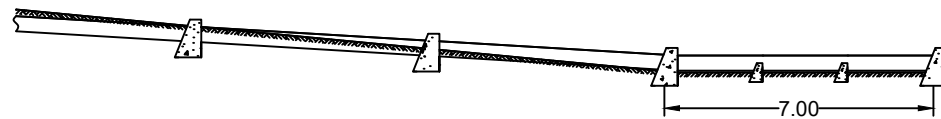
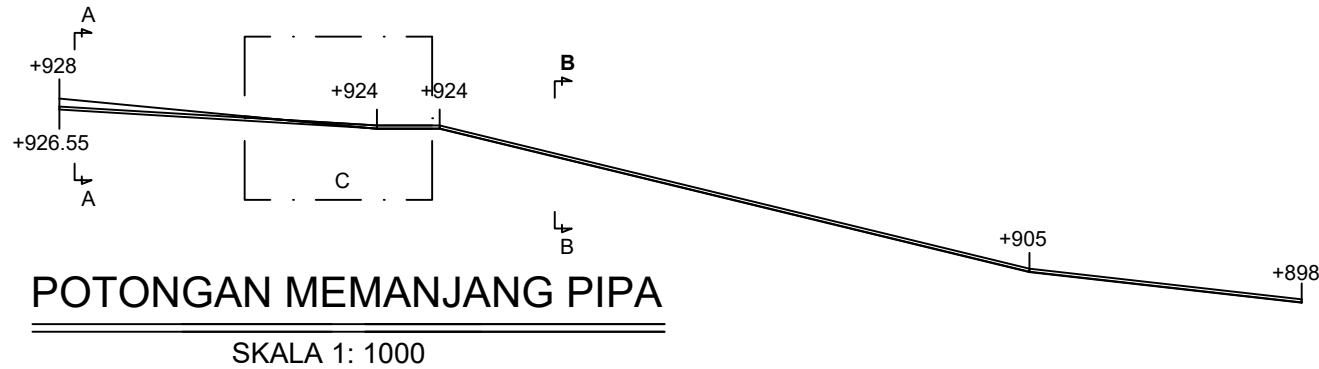
-

**NOMOR GAMBAR**

6

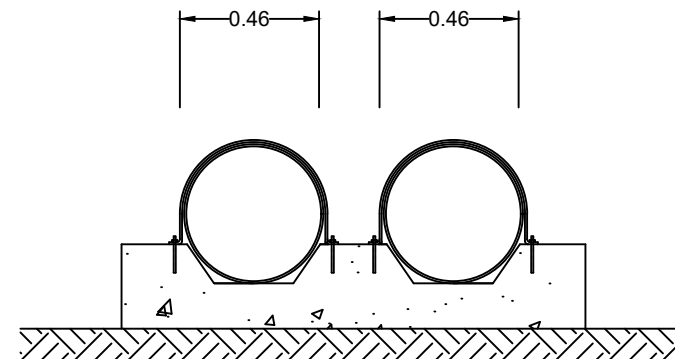
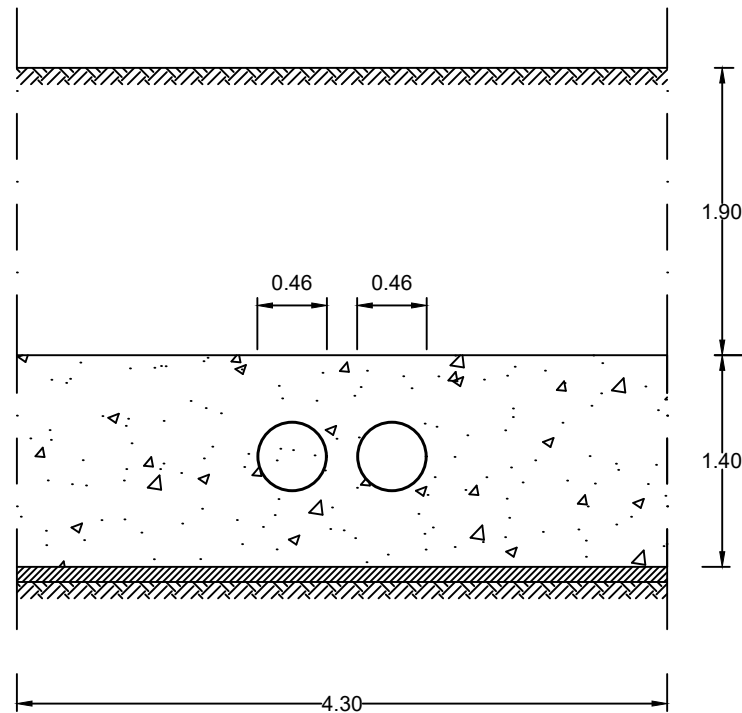
**JUMLAH GAMBAR**

6



**DETAIL C**

SKALA 1: 200



**POTONGAN B-B**

SKALA 1: 25

## BIODATA PENULIS



### **Yusuf Setya Prabowo**

Lahir di Kabupaten Bandung pada tanggal 14 Januari 1993, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 2 Kajoran Kab. Magelang lulus pada tahun 2005, SMPN 1 Salaman Kab. Magelang lulus pada tahun 2008, SMAN 1 Salaman Kab. Magelang lulus pada tahun 2011 dan Diploma III Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada lulus pada tahun 2014. Di tahun 2015 penulis melanjutkan studi pada jenjang sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil melalui program lintas jalur dan terdaftar dengan NRP 3114106014. Di jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil minat hidroteknik dalam menempuh tugas akhir dengan judul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Sutopati Kecamatan Kajoran Kabupaten Magelang”. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberi kritik dan saran dapat berkorespondensi melalui alamat surel [yusufsetyaprabowo@gmail.com](mailto:yusufsetyaprabowo@gmail.com) .