



TUGAS AKHIR – RC 091501

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO DI SALURAN IRIGASI MATARAM**

TITIS HARYANI
NRP 3113105038

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

Dosen Pembimbing II
Ir. Abdullah Hidayat SA, M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR – RC 091501

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO DI SALURAN IRIGASI MATARAM**

TITIS HARYANI
NRP 3113105038

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

Dosen Pembimbing II
Ir. Abdullah Hidayat SA, M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – RC 091501

**DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT
IN MATARAM IRRIGATION CHANNEL**

TITIS HARYANI
NRP 3113105038

Supervisor I
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

Supervisor II
Ir. Abdullah Hidayat SA, M.T.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO
DI SALURAN IIRIGASI MATARAM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
TITIS HARYANI
NRP: 3113105038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.
2. Ir. Abdullah Hidayat, S.A., M.T.



SURABAYA, JUNI 2015

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI SALURAN IRIGASI MATARAM

Nama	: Titis Haryani
NRP	: 3113105038
Jurusan	: Teknik Sipil-FTSP ITS
Dosen Pembimbing	: Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc Ir. Abdullah Hidayat SA, M.T

Abstrak

Saluran Irigasi Mataram adalah saluran irigasi yang menghubungkan Sungai Progo di Yogyakarta sebelah Barat dan Sungai Opak di Yogyakarta sebelah Timur. Meskipun letaknya strategis, namun potensi aliran air di Saluran Irigasi Mataram belum dimanfaatkan secara maksimal dalam hal pembangkit listrik tenaga air. Menurut kapasitas daya yang dihasilkan, ada beberapa macam pembangkit listrik tenaga air, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah pembangkit listrik skala kecil dengan daya kurang dari 100 KW. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran sungai yang dibendung, air terjun, dan aliran air pada sistem irigasi.

Ditinjau dari ketersediaan air di Saluran Irigasi Mataram, yaitu debit andalan 85% sebesar $1,7 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan beda tinggi sebesar 3,56 meter, Saluran irigasi Mataram berpotensi untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini berdasarkan pada studi literatur, survei lapangan, dan analisa data.

Dari perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini akan menghasilkan daya sebesar 59,37 kW dan energi listrik yang dihasilkan sebesar 358938, 69 KWH per tahun.

Kata kunci: Daya, debit andalan, energi listrik, tinggi jatuh

DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT IN MATARAM IRRIGATION CHANNEL

Name : Titis Haryani
NRP : 3113105038
Department : Civil Engineering-ITS
Lecture : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir. Abdullah Hidayat SA, MT

Abstract

Mataram irrigation channel is an irrigation channels that connect Progo river in West Yogyakarta to Opak river in East Yogyakarta. Although it is located in strategic location, but the potential flow of water in Mataram irrigation channel is not fully utilized in terms of hydroelectric power plants. According to the capacity of the power generated, there are several kinds of hydroelectric power plants, one of them is microhydro power plant. Microhydro power plant is defined as a small-scale power plants less than 100 KW. It uses stream of river, waterfall or flow in the irrigation system.

Based on the availability of the discharge in Mataram irrigation channel, the 85% of dependable flow is 1.7 m³/sec and the head is 3.56 meters, Mataram irrigation channel potentially built for micro hydro power plant. The sequence methods of the design of microhydro power plant in Mataram irrigation channel is based on literature study, field surveys, and data analysis.

So the microhydro power plant can produce power of 59.37 kW and electrical energy generated 358938, 69 KWH per year.

Keywords: power, dependable flow, electrical energy, head

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul *“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Saluran Irigasi Mataram”*.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis telah dibantu dan dibimbing oleh banyak pihak. Atas terselesaikannya laporan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan adik saya yang selalu memberi semangat dan doa,
2. Dr.Ir.Wasis Wardoyo M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir,
3. Ir Abdullah Hidayat SA, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir,
4. Ir. Retno Indryani, MT selaku dosen wali,
5. Seluruh dosen dan staff ITS serta semua pihak di lingkungan Teknik Sipil ITS Surabaya,
6. Ir. Nasrun Sidqi, Dipl He selaku narasumber dari BBWS Serayu-Opak Yogyakarta,
7. BBWS Serayu-Opak selaku pemilik data sekunder yang digunakan penulis dalam penyusunan tugas akhir,
8. Aspita Dyah, S.T, M.Eng selaku narasumber dari Kementerian ESDM,
9. Teman-teman kelas lintas jalur Teknik Sipil periode gasal 2013,
10. Teman-teman KAGAMA ITS Surabaya,
11. Teman-teman kos Gang Makam No.16 Sukolilo, Surabaya,
12. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penulisan laporan ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar penulis dapat melengkapi dan menyempurnakan laporan ini.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca pada umumnya.

Surabaya, Mei 2015

Titis Haryani

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan.....	6
1.5. Manfaat.....	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisa Debit Andalan.....	7
2.2. Perencanaan Kapasitas Tenaga Air.....	8
2.3. Perencanaan Bangunan Pembangkit.....	9
2.4. Estimasi Kehilangan Energi.....	26
2.5. Perhitungan Energi Listrik.....	30

BAB III METODOLOGI

3.1. Umum.....	31
3.2. Tahapan Pengerjaan.....	31
3.3. Bagan Alir Metodologi.....	33

BAB IV ANALISA DAN PERENCANAAN

4.1. Analisa Debit Andalan.....	35
4.2. Perencanaan Kapasitas Tenaga Air.....	37
4.3. Perencanaan Bangunan Pembangkit.....	38
4.4. Estimasi Kehilangan Energi.....	58
4.5. Perhitungan Energi Listrik.....	63

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	67
5.2. Saran.....	67
Daftar Pustaka.....	69
Lampiran.....	71
Biodata Penulis	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi jenis turbin air.....	18
Tabel 2.2 Nilai koefisien bentuk mulut <i>entrance</i>	28
Tabel 2.3 Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α	30
Tabel 4.1 Rekapitulasi data debit dalam 10 tahun	36
Tabel 4.2 Rekapitulasi analisa debit	36
Tabel 4.3 Hubungan h dan Q	39
Tabel 4.4 Rekapitulasi perhitungan tinggi muka air	40
Tabel 4.5 Rekapitulasi perhitungan pintu intake	41
Tabel 4.6 Rekapitulasi perhitungan <i>headrace</i>	43
Tabel 4.7 Rekapitulasi perhitungan bangunan ukur	44
Tabel 4.8 Rekapitulasi perhitungan <i>forebay</i>	45
Tabel 4.9 Rekapitulasi perhitungan <i>penstock</i>	53
Tabel 4.10 Rekapitulasi komponen turbin	56
Tabel 4.11 Rekapitulasi perhitungan <i>tailrace</i>	58
Tabel 4.12 Nilai koefisien bentuk mulut <i>entrance</i>	60
Tabel 4.13 Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kab Magelang, Jawa Tengah	2
Gambar 1.2 Desa Karangtalun, Kec Ngluwar, Kab Magelang	3
Gambar 1.3 Pintu sadap Saluran Irigasi Mataram II	4
Gambar 1.4 Pintu sadap Saluran Irigasi Mataram II	4
Gambar 2.1 Turbin Impuls	19
Gambar 2.2 Turbin Reaksi	19
Gambar 2.3 Turbin Pelton	20
Gambar 2.4 Turbin Francis	21
Gambar 2.5 Turbin Kaplan	22
Gambar 2.6 Turbin Propeller	23
Gambar 2.7 Turbin Crossflow	24
Gambar 2.8 Grafik Efisiensi Turbin	25
Gambar 2.9 Koefisien Profil ϕ	27
Gambar 2.10 Grafik Moody	29
Gambar 2.11 Belokan Pipa dengan Sudut α	30
Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi	33
Gambar 4.1 Grafik Hubungan h dan Q	39
Gambar 4.2 Grafik Penentuan Turbin	54
Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Turbin	56
Gambar 4.4 Koefisien Profil ϕ	59
Gambar 4.5 Grafik Moody	61
Gambar 4.6 Belokan Pipa dengan Sudut α	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi semakin meningkat sejalan dengan kemajuan zaman. Salah satu bentuk energi yang tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia adalah energi listrik. Sumber energi listrik yang sudah lazim dipergunakan adalah sumber energi minyak bumi, gas alam, dan batu bara, sedangkan sumber energi air, panas bumi, panas matahari, dan nuklir masih terus dikembangkan. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa persediaan sumber energi minyak bumi, gas alam, dan batu bara sangat terbatas dan apabila digunakan secara terus-menerus maka suatu saat sumber energi tersebut akan habis.

Air merupakan sumber energi yang berpotensi besar sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air semakin strategis sebagai salah satu sumber energi terbarukan, mengingat potensi sumber energi dari fosil dan batu bara akan semakin berkurang. Ada beberapa jenis pembangkit listrik berdasarkan kapasitasnya yaitu sebagai berikut:

- a. PLTA mikro < 100 kW
- b. PLTA mini 100-999 kW
- c. PLTA kecil 1000-10.000 kW
- d. PLTA besar > 10.000 kW

Indonesia adalah negara kepulauan dimana masih banyak daerah terpencil yang belum terjangkau oleh PLN sedangkan listrik sangat dibutuhkan agar daerah tersebut maju dan meningkat produktifitas masyarakatnya. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan listrik daerah terpencil perlu diciptakan alat yang dapat menjangkau tempat terpencil yang murah dan ramah lingkungan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

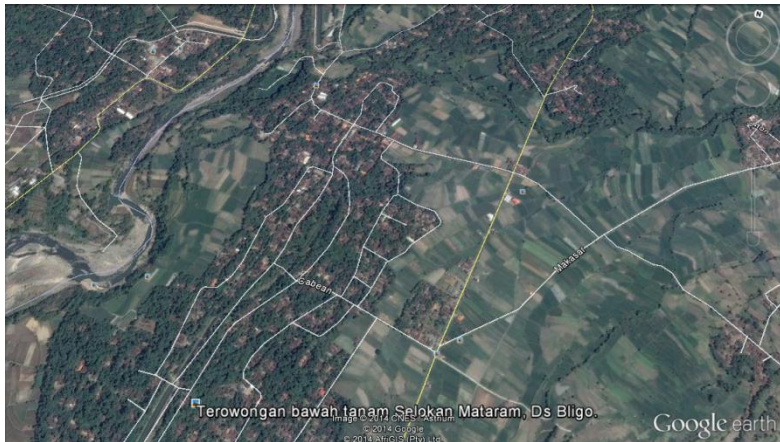
Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro atau yang sering disingkat PLTMH, yaitu pembangkit listrik skala kecil dengan daya kurang dari 100 KW yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber penghasil energi. (Patty,1995). PLTMH termasuk sumber

energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial, PLTMH mudah diterima masyarakat luas. PLTMH biasa dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun.

Di Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang dimana terdapat bendung Karangtalun atau biasa masyarakat menyebutnya dengan bendung Ancol Bligo yang membendung sungai Progo. Bendung Karangtalun mengalir 30000 Ha areal pertanian. Bendung Karangtalun memiliki dua pintu pengambilan (intake), pintu pengambilan sebelah kiri mengalir saluran irigasi Mataram sedangkan pintu pengambilan sebelah kanan mengalir saluran irigasi Kali Bawang. Sebagian besar penduduk di sana bermata pencaharian sebagai petani.



Gambar 1.1 Kab Magelang, Jawa Tengah
(Sumber: Google, 2014)



Gambar 1.2 Desa Bligo, Kec Ngluwar, Kab Magelang
(Sumber: Google Earth, 2014)

Saluran irigasi Mataram atau yang sering disebut dengan selokan Mataram oleh masyarakat Yogyakarta dan sekitarnya adalah saluran irigasi yang menghubungkan Sungai Progo di Yogyakarta sebelah Barat dan Sungai Opak di Yogyakarta sebelah Timur. Pintu pengambilan saluran irigasi Mataram terletak di sebelah hulu bendung Karangtalun yang dibangun pada tahun 1976-1979. Jaringan Induk saluran irigasi Mataram panjangnya 3 km, membentang dari Bendung Karangtalun di Karangtalun, Ngluwar, Magelang sampai pintu sadap saluran irigasi Mataram II (*Van Der Wijck*) di sisi timur Desa Bligo, Ngluwar, Magelang.



Gambar 1.3 Pintu sadap Saluran Irigasi Mataram II
(*Van Der Wijck*)
(Sumber: Google Earth, 2014)



Gambar 1.4 Pintu sadap Saluran Irigasi Mataram II
(*Van Der Wijck*)
(Sumber: dok Titis, 2014)

Balai PSDA WS POO Dinas PU DIY menginformasikan, panjang keseluruhan sistem irigasi Mataram dari Kali Progo hingga Kali Opak adalah 42 km. Sistem Irigasi Mataram terdiri 1 unit bendung, 3 jaringan irigasi utama, 1 terowongan di bawah dusun, 9 unit penguras, 85 lokasi unit sadap, 24 lokasi unit suplesi, 5 lokasi unit penyaring, 3 sipon (terowongan dibawah sungai), dan 24 talang (bangunan di atas sungai).

Pada $7^{\circ}40'13.24''S$ $110^{\circ}16'02.60''T$ yang termasuk dalam wilayah Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang dan masih dalam kawasan hulu dari saluran irigasi Mataram terdapat beda tinggi yang cukup signifikan untuk dapat dibangun PLTMH

Latar belakang di atas mengantarkan penulis sampai pada judul tugas akhir *“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Saluran Irigasi Mataram”*

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Berapa besar debit andalan yang direncanakan?
2. Berapa tinggi efektif yang diperoleh?
3. Bagaimana desain bangunan sipil yang digunakan?
4. Berapa besar kehilangan energi yang terjadi?
5. Berapa energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTMH dalam setahun?

1.3 Batasan Masalah

Karena dalam pengerjaan tugas akhir ini nantinya akan menyangkut berbagai disiplin ilmu, maka perlu adanya batasan-batasan masalah, diantaranya yaitu :

1. Perhitungan hanya dipergunakan data yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak Yogyakarta
2. Perhitungan hanya berdasarkan pada konstruksi sipil

3. Asumsi yang digunakan bahwa air bebas dari sampah, sedimen, dan benda hanyut lainnya
4. Tidak dilakukan perhitungan konstruksi bangunan pembangkit (*power house*)
5. Tidak dilakukan analisa ekonomi

1.4 Tujuan

Penulisan tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis potensi debit andalan saluran irigasi Mataram yang dapat digunakan sebagai tenaga penggerak mikrohidro.
2. Menghitung tinggi efektif yang dapat digunakan untuk merancang PLTMH
3. Membuat desain bangunan sipil yang digunakan pada PLTMH di saluran irigasi Mataram, Yogyakarta
4. Menghitung besar kehilangan energi yang terjadi pada PLTMH
5. Menghitung besarnya energi listrik yang dihasilkan dari PLTMH di saluran irigasi Mataram, Yogyakarta

1.5 Manfaat

Perancangan ini akan memberi dampak positif antara lain yaitu:

1. Dengan memanfaatkan aliran air di saluran irigasi Mataram sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro akan menjadi alternatif tambahan energi listrik di Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang misalkan digunakan untuk kebutuhan pos kampling, pompa air, dan lampu penerangan jalan
2. Hasil rancangan ini bisa digunakan sebagai referensi, pustaka dan sumber pengetahuan untuk memudahkan pengembangan sumber daya air lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisa Debit Andalan

Debit andalan adalah debit dengan tingkat keandalan tertentu yang direncanakan sebagai sumber air untuk operasional PLTMH. (Sulaiman, 2012)

Untuk menentukan besarnya debit andalan dibutuhkan seri data debit yang panjang yang dimiliki oleh setiap stasiun pengamatan debit. Metode yang sering dipakai untuk analisis debit andalan adalah metode statistik (rangking). Penetapan rangking dilakukan menggunakan analisis probabilitas dengan rumus Weibul. Debit andalan 80% berarti bahwa probabilitas debit tersebut untuk disamai atau dilampaui sebesar 80% yang berarti juga bahwa kegagalan kemungkinan terjadi dengan probabilitas sebesar 100% dikurangi 80% atau boleh dikatakan sebesar 20%. (Budiyanto, 2013)

Pada perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini digunakan simulasi sampai ditemukan pada debit andalan berapa persen agar tingkat kegagalan dapat ditekan seminimal mungkin. Langkah-langkah perhitungan debit andalan yaitu sebagai berikut:

1. mengurutkan data dari yang terbesar ke terkecil (m),
2. mencari selisih data terkecil dan terbesar sebagai jarak data (R)

$$R = \text{data terbesar} - \text{data terkecil},$$

3. mencari jumlah data yaitu n ,
4. mencari jumlah kelas data (k)

$$k = 1 + 3,3 \log n,$$

5. mencari kelas interval (i)

$$i = R/k,$$

6. dibagi berkelompok dengan menentukan kelas dalam jarak interval kelas,

7. menghitung banyaknya data tiap kelas sesuai dengan intervalnya,
8. menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan persamaan Weibul:

$$T = \frac{n}{m}$$

$$P = \frac{1}{T} \times 100\% = \frac{m}{n} \times 100\%$$

dimana:

P = besarnya probabilitas (%)

m = nomor urut data

n = jumlah data

Setelah diperoleh debit andalan, maka selanjutnya debit andalan tersebut digunakan untuk perhitungan kapasitas tenaga air.

2.2. Perencanaan Kapasitas Tenaga Air

Kapasitas tenaga air adalah kemampuan tenaga air memproduksi daya listrik. Kapasitas pembangkit listrik tenaga mikrohidro ditentukan dari debit yang dialirkan ke pembangkit dan tinggi jatuh efektif yang ada. Debit yang diambil adalah debit andalan dan tinggi jatuhnya diusahakan semaksimal mungkin berdasarkan kondisi topografi. Berikut adalah cara perhitungan tinggi jatuh efektif dan daya yang dihasilkan:

2.2.1. Tinggi jatuh efektif

Tinggi jatuh efektif diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh air total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air yang masuk ke turbin) dengan kehilangan tinggi pada saluran air dapat dirumuskan:

$$\begin{aligned} H_{bruto} &= \text{elevasi upstream} - \text{elevasi downstream} \\ H_{losses} &= 10\% \times H_{bruto} \\ H_{eff} &= H_{bruto} - H_{losses} \end{aligned} \quad (2-1)$$

dimana:

H_{bruto} = perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir

H_{losses} = tinggi kehilangan energi

Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka sistem pembangkit harus didesain sedemikian hingga sehingga tekanan maksimal 10% dari head bruto. (Patty, 1995)

2.2.2. Daya yang dihasilkan

Daya adalah usaha yang dihantarkan per satuan waktu. Dalam perencanaan PLTMH, daya diperoleh dengan menggunakan rumusan:

$$P = \eta \times \rho \times g \times H_{eff} \times Q \quad (\text{watt}) \quad (2-2)$$

dimana:

P = perkiraan daya yang dihasilkan (kW)

$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ J}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ Nm}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ Kg m}^2}{\text{s}^3}$$

ρ = massa jenis air (1000 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)

Q = debit andalan (m³/detik)

H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)

(Patty, 1995)

Perkiraan daya yang dihasilkan digunakan sebagai asumsi sementara untuk perhitungan selanjutnya.

2.3. Perencanaan Bangunan Pembangkit

2.3.1. Perhitungan muka air

Grafik hubungan kedalaman muka air dengan debit disebut *rating curve* yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi muka air. Dalam pembuatan *rating curve*, perlu diketahui kecepatan saluran rata-rata yang dapat diketahui dari luas penampang basah dan debit yang mengalir.

$$Q = V \times A$$

$$A = b \times h$$

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

$$Q = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}\right) (b \times h) \quad (2-3)$$

dimana:

- Q = debit aliran (m³/detik)
 A = luas penampang basah (m²)
 b = lebar dasar saluran (m)
 h = kedalaman muka air (m)
 V = kecepatan aliran air (m/detik)
 n = koefisien Manning
 (0,015 untuk pasangan beton)

Dari *rating curve* tersebut dapat diketahui muka air yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan maupun menjadi batasan muka air yang digunakan. (Soesanto, 2010)

2.3.2. Perencanaan bangunan pengatur tinggi muka air

Bangunan pengatur tinggi muka air terletak melintang pada saluran dan berada di depan pintu pengambilan/intake. Bangunan ini berfungsi untuk mengatur tinggi muka air di saluran depan intake sehingga debit yang masuk intake sesuai dengan perencanaan yaitu debit andalan. Bangunan pengatur tinggi muka air direncanakan dengan skot balok. Skot balok diletakkan melintang saluran setinggi rencana dan debit yang berlebih akan melimpah melalui atas balok ke saluran eksisting. (Soesanto, 2010)

2.3.3. Perencanaan pintu pengambilan (*intake*)

Pintu pengambilan berfungsi untuk memasukkan debit rencana dari saluran. Pintu intake direncanakan dengan tipe pintu pengambilan aliran tidak tenggelam. Rumus yang digunakan:

$$Q = \mu \times b \times a \sqrt{2 g z} \quad (2-4)$$

$$h_p = 0,1 + h$$

dimana:

Q = debit aliran (m^3/detik)

μ = koefisien debit (0,8)

b = lebar pintu (m)

a = tinggi bukaan pintu (m)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/detik}^2$)

z = selisih tinggi muka air di hulu dan hilir pintu akibat kehilangan energi

h_p = tinggi pintu (m)

(Soesanto, 2010)

Setelah air yang berasal dari saluran irigasi Mataram masuk melalui pintu pengambilan (*intake*), selanjutnya air mengalir melewati saluran pembawa (*headrace*).

2.3.4. Perencanaan saluran pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa merupakan saluran terbuka berbentuk persegi yang mengalirkan debit sebesar debit andalan.

Direncanakan:

$$Q = V \times A$$

$$Q = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}\right) (b \times h) \quad (2-5)$$

dimana:

Q = debit saluran (m^3/detik)

V = kecepatan aliran air (m/detik)

n = koefisien Manning (0,015 untuk pasangan beton)

R = jari-jari hidraulik ($R = \frac{A}{P}$ dalam m)

S = kemiringan saluran

A = luas penampang basah (m^2)

b = lebar dasar saluran (m)

h = kedalaman muka air (m)

(Soesanto, 2010)

Pada saluran pembawa, debit air diukur menggunakan bangunan ukur untuk mengetahui banyaknya debit yang melewati saluran pembawa.

2.3.5. Perencanaan bangunan ukur

Bangunan ukur diperlukan untuk mengukur banyaknya debit air yang akan digunakan PLTMH. Bangunan ukur direncanakan mampu mengukur sampai debit minimum. Direncanakan menggunakan bangunan ukur drempel dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Q = 1,71 \times b \times h^{\frac{3}{2}} \quad (2-6)$$

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

$$H_{1 maks} = h + \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g} \quad (2-7)$$

$$L = 1,95 \times H_{1 maks} \quad (2-8)$$

$$r = 0,2 \times H_{1 maks} \quad (2-9)$$

(Soesanto, 2010)

Setelah air melewati saluran pembawa (*headrace*) dan diukur menggunakan bangunan ukur Drempel, selanjutnya air memasuki bak penenang (*forebay*)

2.3.6. Perencanaan bak penenang (*Forebay*)

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

$$V_f = A_f \times h_f \quad (2-10)$$

dimana:

V_f = Volume desain bak penenang

A_f = Luas bak penenang

h_f = Tinggi muka air pada bak penenang

L = Panjang bak penenang

Δz = Beda tinggi

(Patty, 1995)

Pada bak penenang, apabila terdapat sampah seperti daun kering, plastik, dll, maka akan disaring oleh trashrack agar nantinya tidak masuk ke pipa pesat dan mengganggu kinerja sistem mikrohidro.

2.3.7. Perencanaan pipa pesat (*Penstock*)

Pipa pesat dalam perencanaan mikrohidro biasanya juga disebut dengan *penstock*. *Penstock* adalah saluran penghubung antara bak penenang (*forebay*) menuju turbin. Pipa ini direncanakan untuk dapat menahan tekanan tinggi. Ada beberapa besaran yang harus dicari untuk memastikan agar pipa pesat dapat bekerja secara optimal, yaitu sebagai berikut:

a) Perencanaan diameter pipa pesat

Perhitungan diameter dilakukan dengan perhitungan menggunakan perumusan dari USBR. Nilai dari kecepatan dalam pipa pesat adalah sebagai berikut:

$$V = 0,125 \sqrt{2 \times g \times H_{eff}} \quad (2-11)$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/detik)

G = percepatan gravitasi (m/detik²)

H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)

Kecepatan dalam pipa pesat diambil nilai 2 – 3 m/detik (Patty, 1995)

Diameter pipa pesat,

$$D = \sqrt{\frac{Q \text{ andalan}}{0,25 \pi v}} \quad (2-12)$$

dimana:

D = diameter pipa pesat

$Q \text{ andalan}$ = debit andalan (m³/detik)

V = kecepatan aliran (m/detik)

(Patty, 1995)

b) Perencanaan posisi pengambilan

Jarak muka air dengan posisi pipa pesat disebut dengan *minimum operational level* (MOL). Menurut Patty, untuk menghitung MOL maka jarak MOL diukur dari sisi bawah pipa dengan perumusan:

$$MOL = D + 1,5 \frac{v^2}{2g} \quad (2-13)$$

c) Perencanaan tebal pipa pesat

Dalam perencanaan tebal pipa pesat, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\delta = \frac{Po D}{2 \times \phi \times \sigma_{baja}} \quad (2-14)$$

dimana:

D = diameter

Po = $\gamma \times H_{eff}$

ϕ = koefisien kekuatan sambung las (0,9)

σ_{baja} = 16×10^6 kg/m² (Fe 360)

Tebal pipa harus ditambah sekitar 1-3 mm untuk cadangan karena karat pada pipa. Syarat minimum tebal pipa perlu diperhatikan dimana:

Sampai dengan diameter 0,8 m yaitu 5 mm

Sampai dengan diameter 1,5 m yaitu 6 mm

Sampai dengan diameter 2,0 m yaitu 7 mm

(Patty, 1995)

d) Tegangan yang terjadi pada pipa pesat

1. Perletakan

Pada perletakan akan terjadi momen maksimum yang terjadi karena berat dari pipa dan air sepanjang jarak dari perletakan. Sehingga dari perencanaan diusahakan agar nilai dari jarak perletakan tidak akan memberikan tegangan yang melebihi tegangan ijin baja.

Untuk berat pipa per meter adalah:

$$G_s = 0,25\pi ((D + 2\delta)^2 - D^2) \gamma_{baja} \quad (2-15)$$

Untuk air per meter adalah:

$$G_s = 0,25\pi \times D^2 \times \gamma_w \quad (2-16)$$

Sehingga momen maksimum yang didapat adalah:

$$M = \frac{1}{12} (G_s + G_w) (b \cos \beta)^2 \quad (2-17)$$

dimana:

M	= momen maksimum	(kgm)
b	= jarak perletakan	
G_s	= berat pipa per meter	(kg/m)
γ_w	= massa jenis air	(1000 kg/m)
G_w	= berat air per meter	(kg/m)
γ_{baja}	= massa jenis baja	(7850 kg/m ³)
β	= sudut kemiringan	(°)

Momen perlawanan yang terjadi:

$$S = \frac{I}{2(D+2\delta)} = \frac{\frac{1}{64}\pi(D+2\delta)^4 - \frac{1}{64}\pi(D)^4}{\frac{1}{2}(D+2\delta)} \quad (2-18)$$

dimana:

S = momen perlawanan (m³)

I = momen inersia pipa (m⁴)

D = diameter pipa (m)

δ = tebal pipa pesat (m)

2. Perubahan temperatur

Tegangan yang terjadi karena perubahan temperatur adalah:

$$\sigma = E \times \lambda \times t < \sigma_{baja} \quad (2-19)$$

dimana:

E = modulus elastis baja (2,1 x 10² kg/cm²)

λ = 1, 2 x 10⁻⁵

t = perubahan temperatur

(dianggap suhu kamar = 25° C)

3. Pergeseran pipa dan perletakan

Pergeseran disebabkan karena terjadinya pemuaian dan penyusutan pada bagian perletakan.

Gaya geser pada perletakan

$$F = f(G_s + G_w) \cos \beta \quad (2-20)$$

Luas tebal pipa

$$A = \frac{1}{4}\pi ((D + 2\delta)^2 - D^2) \quad (2-21)$$

Titik tangkap gaya geser

$$a = R \frac{\sin \theta}{\theta} \quad (2-22)$$

Sehingga tegangan yang terjadi adalah:

$$\sigma = \frac{\Sigma F}{A} + \frac{\Sigma F a}{S}. \quad (2-23)$$

dimana:

F = gaya geser pada perletakan (kg)

f = koefisien gesek pipa

A = luas tebal pipa (m²)

a = titik tangkap gaya geser (m)

S = momen perlawanan (kgm)

D = diameter pipa (m)

δ = tebal pipa pesat (m)

R = jari-jari pipa (m)

θ = 0,5 sudut perletakan

4. Berat pipa kosong

Tegangan tekan yang diakibatkan dari pipa miring adalah:

$$\sigma = \frac{\sin \beta \Sigma G_s}{\pi D \delta} \quad (2-24)$$

dimana:

G_s = berat pipa per meter (kg/m)

δ = tebal pipa

D = diameter pipa (m)

B = sudut kemiringan

5. *Expantion Joint*

Tegangan yang diakibatkan tekanan air pada *expantion joint* adalah:

$$\sigma = \frac{f P a e}{\delta} \quad (2-25)$$

dimana:

f = faktor koefisien diambil sebesar 0, 25

e = lebar packing

P_a = tekanan air = $\gamma_w \cdot H_{eff}$

δ = tebal pipa (m)

6. Gaya tekan pada pipa sambungan
Tegangan pada pipa sambungan dapat diketahui, yaitu:

$$\sigma = \frac{P_a \cdot \delta_{bruto}}{\delta_{netto}} \quad (2-26)$$

dimana:

P_a = tekanan air = $\gamma_w \cdot H_{eff}$ (kg/m²)

$\delta_{bruto} = 2 \delta_{netto}$ (m)

δ_{netto} = tebal pipa (m)

(Patty, 1995)

Setelah air mengalir melewati pipa pesat (*penstock*) selanjutnya air menuju turbin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.3.8. Pemilihan turbin

Fungsi turbin adalah mengubah energi ketinggian air menjadi daya putaran poros. Pemilihan jenis turbin air yang dipakai pada PLTMH berdasarkan pada karakteristik site tempat lokasi PLTMH tersebut, terutama tinggi (*head*) serta besar aliran air yang ada.

Setiap turbin mempunyai kecepatan putar tertentu, dimana turbin tersebut akan beroperasi dengan efisiensi terbaik pada kombinasi *head* dan debit tertentu. Kecepatan putar desain turbin sebagian besar ditentukan oleh besar *head* operasi turbin air tersebut. Turbin air dapat dibagi atas *head* tinggi, *head* menengah dan *head* rendah. Disamping itu dari segi beroperasinya turbin air dibedakan atas turbin impuls dan turbin reaksi sebagaimana tabel berikut :

Tabel 2.1. Klasifikasi Jenis Turbin Air

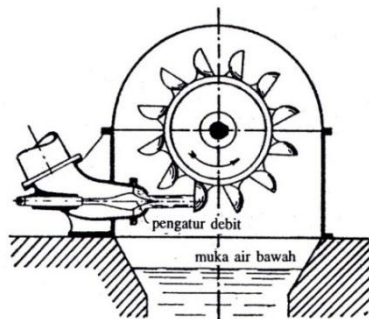
	Head tinggi	Head Menengah	Head rendah
Turbin impuls	Pelton Turgo	Cross-flow Multi-jet pelton Turgo	Cross-flow
Turbin reaksi		Francis	Propeller Kaplan

(Sumber: Adam Harvey et al, 1993)

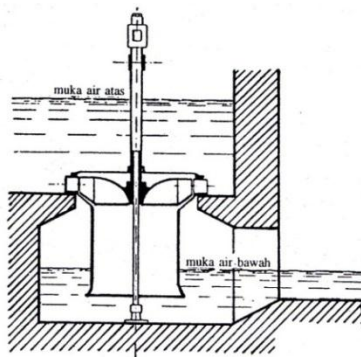
Pada saat beroperasi sudu putar (*runner*) turbin reaksi terendam di dalam air dan bertekanan. Sudu *runner* mempunyai profil sehingga perbedaan tekanan antara satu sisi dengan sisi lainnya sehingga menimbulkan gaya, seperti sayap pesawat terbang. Gaya tersebut yang menyebabkan *runner* berputar.

Sedang pada turbin impuls terjadi hal yang sebaliknya, runner turbin impuls beroperasi di udara (tidak terendam air),

runner tersebut diputar oleh adanya semprotan (jet) air. Pada kondisi tersebut tekanan air sama dengan tekanan udara luar (atmosfer) baik sebelum maupun sesudah mendorong sudu. Pada turbin ini sebelum mendorong sudu, air mengalir melalui nosel yang mengubah air kecepatan rendah dan tekanan tinggi menjadi kecepatan tinggi (jet). Air berkecepatan tinggi tersebut lalu mendorong *runner* sehingga momentum air berpindah ke *runner*. (Havianto, 2012)



Gambar 2.1. Turbin Impuls
(Sumber: Patty, 1995)



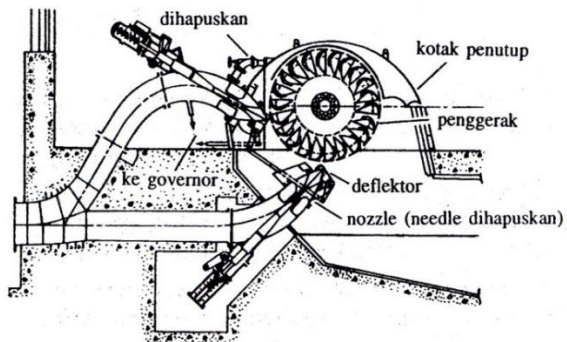
Gambar 2.2. Turbin Reaksi
(Sumber: Patty, 1995)

1. Turbin Pelton

Turbin ini ditemukan sekitar tahun 1880 oleh seorang Amerika yang bernama Pelton, sehingga turbin ini disebut sebagai turbin pelton. Turbin pelton sangat baik pada PLTA dengan *head* yang besar pada debit yang kecil. Bagian-bagian utama dari turbin pelton adalah:

- a) pipa nozzle yang diperlukan untuk mengarahkan aliran jet air
- b) *runner* yang menggunakan energi kinetis aliran jet (semburan) air
- c) kotak penutup untuk mengamankan runner dan nozzle
- d) alat pengatur kecepatan (*governor*) agar kecepatan tetap sama pada beberapa beban.

Keuntungan turbin pelton dibanding dengan turbin lainnya adalah pengaturan kecepatan yang lebih baik dan konstruksi yang sederhana.



Gambar 2.3. Turbin Pelton
(Sumber: Patty, 1995)

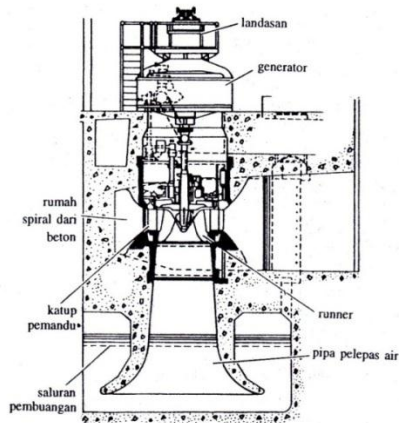
2. Turbin Francis

Turbin francis dapat berupa *volute-case* ataupun *type open-flume*. Konstruksi rumah keong (*spiral case*) memungkinkan air terdistribusi secara seragam sepanjang *perimeter* dari *runner* dan *guide vane* menyalurkan air tersebut pada sudut yang tepat. Sudu *runner* merupakan profil yang kompleks dan terendam air. Dorongan air ke sudu runner memindahkan energi air ke runner sebelum air tersebut keluar turbin lewat *draft tube*.

Turbin Francis biasanya mempunyai *guide-vane* yang dapat diatur (*adjustable*). Gerakan *guide-vane* ini mengatur aliran air yang masuk ke *runner* dan biasanya dihubungkan dengan *system governor* yang mengatur besar laju aliran air. Jika aliran air berkurang maka efisiensi turbin juga turun. (Havianto, 2012)

Bagian-bagian utama dari turbin francis adalah:

- a) rumah spiral (*scroll-case*) yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran ke turbin (*runner*)
- b) bagian turbin yang berputar (*runner*)
- c) pipa pelepas air (*draft-tube*) yang meneruskan air dari turbin ke saluran pembuangan.



Gambar 2.4. Turbin Francis
(Sumber: Patty, 1995)

3. Turbin Kaplan/Propeller

Bagian-bagian turbin ini sama seperti pada turbin francis, yaitu::

- a) rumah spiral
- b) turbin
- c) pipa pelepas air

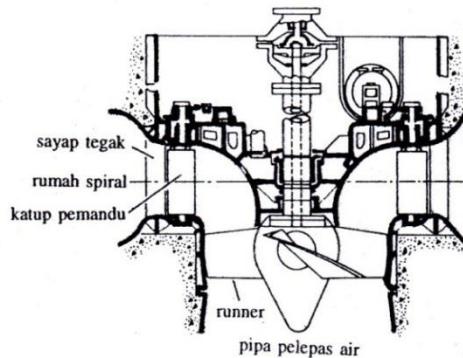
Turbin propeller dalam arti umum terdiri dari 4 macam:

- a) daun-daun turbin tetap – katup pemandu tetap
- b) daun-daun turbin tetap – katup pemandu dapat diatur
- c) daun-daun turbin dan katup pemandu dapat diatur
- d) daun-daun turbin dapat diatur – katup pemandu tetap

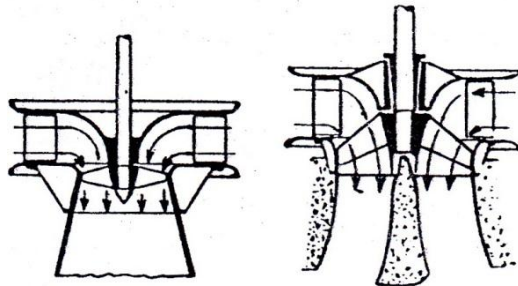
Umumnya turbin dengan daun-daun turbin tetap disebut turbin propeller dan dengan daun-daun turbin yang dapat diatur dinamakan turbin kaplan.

Bagian-bagian pada turbin propeller juga dapat ditemukan pada kaplan.

Turbin kaplan dengan tekanan rendah mempunyai 4-6 daun, sedang dengan tekanan tinggi terdiri dari 8 daun. Daun dibuat dari baja, tetapi ada juga yang dibuat dari baja tahan karat, yang lebih mampu menahan pengaruh kavitasi. (Patty, 1995)



Gambar 2.5. Turbin Kaplan
(Sumber: Patty, 1995)



Gambar 2.6. Turbin Propeller
(Sumber: Patty, 1995)

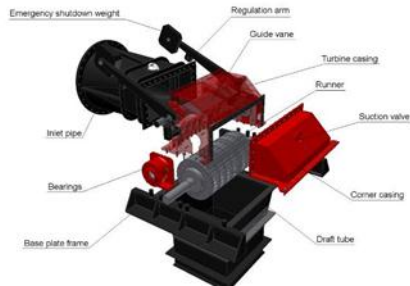
4. Turbin Crossflow

Salah satu turbin jenis impuls yang banyak dipakai pada listrik tenaga mikrohidro adalah turbin Cross-Flow (aliran silang).

Turbin crossflow merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh Anthony Michell (Australia), Donat Banki (Hongaria) dan Fritz Ossberger (Jerman). Michell memperoleh hak paten atas desainnya pada 1903. Turbin jenis ini pertama-tama diproduksi oleh perusahaan Weymouth. Turbin ini juga sering disebut sebagai turbin Ossberger, yang memperoleh hak paten pertama pada 1922. Perusahaan Ossberger tersebut sampai sekarang masih bertahan dan merupakan produsen turbin crossflow yang terkemuka di dunia

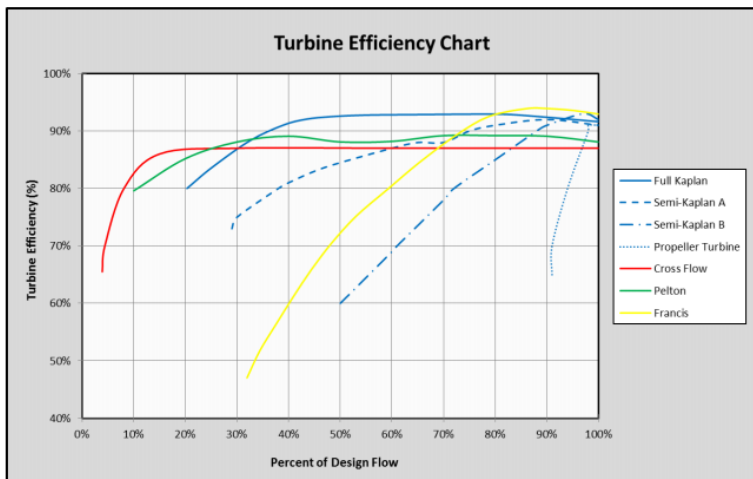
Turbin ini mempunyai *runner* yang berbentuk seperti drum yang mempunyai 2 atau lebih piringan paralel yang masing-masingnya dihubungkan oleh susunan sudu yang berbentuk lengkung.

Dalam pengoperasian turbin crossflow ini sebuah nosel empat persegi mengarahkan pancaran air (jet) ke sepanjang *runner*. Pancaran air tersebut mendorong sudu dan memindahkan sebagian besar energi kinetiknya ke turbin. Pancaran air tersebut lalu melewati *runner* dan kembali mendorong bagian sudu yang lain sebelum keluar dari *runner*, memindahkan sebagian kecil energi kinetiknya yang masih tersisa. (Havianto, 2012)



Gambar 2.7. Turbin Crossflow
(Sumber: Havianto, 2012)

Dari spesifikasi turbin yang digunakan, nantinya akan diperoleh nilai efisiensi turbin yaitu nilai keefektifan turbin yang didapat dengan membandingkan besar daya turbin dengan besar daya air. Berikut adalah grafik efisiensi beberapa turbin.



Gambar 2.8. Grafik Efisiensi Turbin
(Sumber: Nusantara, 2015)

Setelah melewati turbin, selanjutnya air mengalir menuju saluran pembuangan (*tailrace*).

2.3.9. Saluran Pembuangan (*Tailrace*)

Saluran pembuangan berfungsi untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air untuk kemudian dikembalikan ke saluran irigasi. Saluran ini dimensinya harus sama atau lebih besar daripada saluran pemasukan mengingat adanya kemungkinan perubahan mendadak dari debit turbin air. Saluran pembuangan direncanakan sama dengan saluran pembawa (*headrace*) yaitu saluran terbuka berbentuk persegi yang mengalirkan debit sebesar debit andalan.

Direncanakan:

$$Q = V \times A$$

$$Q = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}\right) (b \times h) \quad (2-27)$$

dimana:

Q = debit saluran (m³/detik)

V = kecepatan aliran air (m/detik)

n = koefisien Manning

(0,015 untuk pasangan beton)

R = jari-jari hidraulik ($R = \frac{A}{P}$ dalam m)

S = kemiringan saluran

A = luas penampang basah (m²)

b = lebar dasar saluran (m)

h = kedalaman muka air (m)

(Soesanto, 2010)

2.4. Estimasi Kehilangan Energi

Dalam perjalanan air mengalir dari pintu pengambilan hingga pipa pesat, akan terjadi kehilangan energi seperti kehilangan energi karena saringan kasar, kehilangan energi pada *entrance*, kehilangan energi karena gesekan sepanjang pipa, dan kehilangan energi karena belokan pipa.

2.4.1. Kehilangan energi karena saringan kasar

Posisi saringan kasar berada sebelum pipa pesat, sehingga kehilangan energi yang terjadi tidak mengurangi tinggi yang ada. Hanya saja nilai ini digunakan untuk memberikan gambaran tentang pengaruh dari saringan kasar terhadap muka air di hulu. Kehilangan energi yang terjadi adalah:

$$H_r = \varphi \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \quad (2-28)$$

dimana:

h_r = kehilangan energi sepanjang pipa (m)

φ = koefisien profil

s = lebar profil dari arah aliran (m)

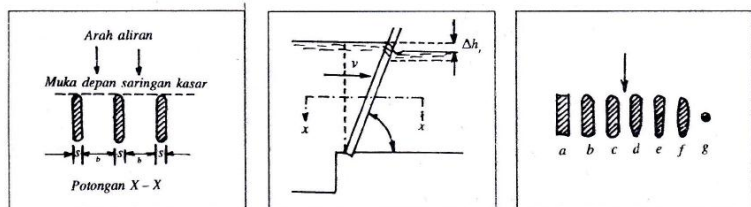
b = jarak antar profil saringan (m)

v = kecepatan aliran (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

α = sudut kemiringan saringan

Profil	a	b	c	d	e	f	g
φ	2,42	1,83	1,67	1,03	0,92	0,76	1,79



Gambar 2.9. Koefisien profil φ
(Sumber: Patty, 1995)

2.4.2. Kehilangan energi pada entrance

Kehilangan energi pada *entrance* tergantung dari bentuk mulut entrance. Nilai dari koefisien masukan dari bentuk mulut entrance dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.2. Nilai koefisien bentuk mulut *entrance*

No.	Entrance Condition	Loss Condition <i>Ke</i>		
		Max.	Min.	Average
1	<i>Gate in thin wall-unsuppressed contraction</i>	1,80	1,00	1,50
2	<i>Gate in thin wall-bottom and side suppressed</i>	1,20	0,50	1,00
3	<i>Gate in thin wall-corners rounded</i>	1,00	0,10	0,50
4	<i>Square cornered entrances</i>	0,70	0,40	0,50
5	<i>Slightly rounded entrances</i>	0,60	0,18	0,25
6	<i>Fully rounded entrance $r/D \geq 0.15$</i>	0,27	0,08	0,10
7	<i>Circular bellmouth entrances</i>	0,10	0,04	0,05
8	<i>Square bellmouth entrances</i>	0,20	0,07	0,16
9	<i>Inward projecting entrances</i>	0,93	0,56	0,80

(Sumber: Patty, 1995)

$$H_e = K_e \cdot \left(\frac{\Delta V^2}{2g} \right) \quad (2-29)$$

dimana:

H_e = kehilangan energi pada entrance (m)

K_e = koefisien bentuk mulut

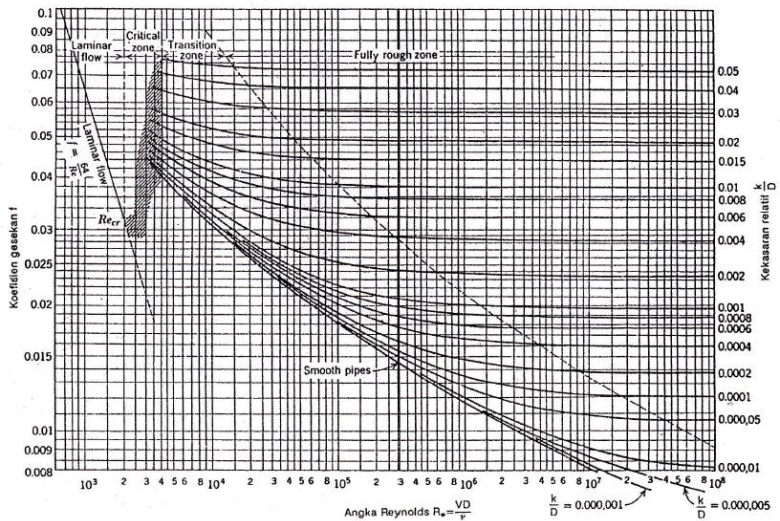
Δv = selisih kecepatan sebelum dan sesudah entrance (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

2.4.3. Kehilangan energi karena gesekan sepanjang pipa

Untuk menentukan nilai f (koefisien gesek) dapat digunakan diagram Moody. Sebelum menentukan harga f terlebih dahulu harus dicari angka Reynold (Re) dari aliran tersebut yang dapat dirumuskan

$Re = \frac{D \cdot V}{\nu}$ dan koefisien kekasaran bahan (ϵ).



Gambar 2.10. Grafik Moody
(Sumber: Triatmodjo, 1993)

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2-30)$$

dimana:

H_f = kehilangan energi sepanjang pipa (m)

f = koefisien gesek pipa

l = panjang pipa (m)

v = kecepatan pada pipa (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

D = diameter pipa (m)

2.4.4. Kehilangan energi karena belokan pipa

Nilai koefisien belokan tergantung dari jari-jari belokan (r) dan diameter (D) yang digunakan.

$$H_1 = K_b \frac{v^2}{2g} \quad (2-31)$$

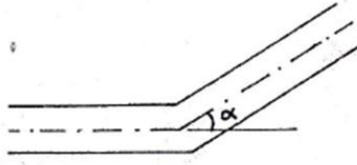
dimana:

H_1 = kehilangan energi karena belokan pipa (m)

v = kecepatan aliran pada pipa (m/detik)

g = gaya gravitasi bumi (m/detik²)

K_b = koefisien kehilangan energi



Gambar 2.11. Belokan pipa dengan sudut α
(Sumber: Triatmodjo, 1993)

Tabel 2.3. Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α

α	20°	40°	60°	80°	90°
K_b	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

(Sumber: B. Triatmodjo, 1993)

2.5. Perhitungan Energi Listrik

Energi listrik total dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

$$E = P \times t \quad (2-32)$$

dengan:

E = Energi dalam satu tahun (kwh)

P = Daya (kw)

t = waktu (jam)

= 365 hari x 24 jam

BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Pengerjaan tugas akhir ini berdasarkan pada studi literatur, survei lapangan, dan data-data dari instansi terkait. Adapun langkah-langkah dan prosedur penyusunan tugas akhir ini secara berurutan dapat dipaparkan sebagai berikut:

3.2. Tahapan Pengerjaan

3.2.1 Studi Literatur

Mempelajari literatur tentang teknologi mikrohidro untuk mengetahui studi sebelumnya agar mendapatkan acuan yang tepat dalam penyusunan tugas akhir. Bahan acuan diperoleh dari berbagai buku dan sumber referensi lain yang mendukung. Seperti untuk:

- a. referensi hidrologi menggunakan buku dari Bambang Triatmodjo, dll
- b. referensi hidrolika dan bangunan air menggunakan buku dari Bambang Triatmodjo, Soekibat R Soesanto, dll
- c. referensi PLTA menggunakan buku dari O.F Patty serta Direktorat Jenderal Listrik Pemanfaatan Energi Departemen energi dan Sumber Daya Mineral, dll

3.2.2 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui dan mengidentifikasi seluruh permasalahan yang ada di lapangan. Survei pendahuluan dilakukan dengan cara:

- a. Meninjau daerah studi
Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya daerah yang akan digunakan untuk studi. Seperti dimana akan diletakkan pintu

pengambilan, saluran pengarah, bak penenang, pipa pesat, dan turbin.

b. Wawancara

Wawancara dengan pihak terkait tentang kondisi dan sejarah bangunan irigasi di saluran irigasi Mataram, Yogyakarta.

3.2.3 Pengumpulan Data

Setelah mengidentifikasi permasalahan, hal selanjutnya adalah mengumpulkan data, yaitu:

- a. Data debit pada saluran irigasi Mataram yang diperoleh dari instansi BBWS Serayu Opak
- b. Data saluran irigasi Mataram yang diperoleh dari instansi BBWS Serayu Opak

3.2.4. Pengolahan Data

Setelah memperoleh data, hal selanjutnya adalah mengolah data, yaitu:

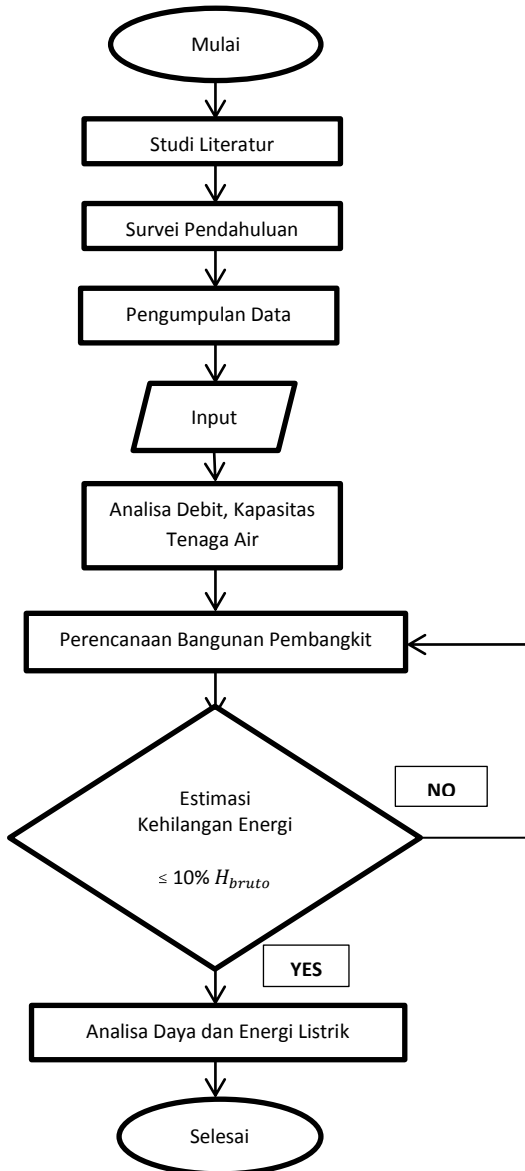
- a. Analisa debit andalan yang berasal dari debit irigasi. Debit andalan adalah debit dengan tingkat keandalan tertentu yang direncanakan sebagai sumber air untuk operasional PLTMH. (Sulaiman, 2012)
- b. Menghitung kapasitas tenaga air
- c. Merencanakan desain bangunan pembangkit
- d. Estimasi kehilangan energi
- e. Perhitungan produksi energi listrik

3.2.5 Kesimpulan dan saran

Merupakan hasil dari analisa dan jawaban akan permasalahan yang ada.

3.3. Bagan Alir Metodologi

Berikut adalah bagan alir metodologi pengerjaan tugas akhir (menunjuk gambar 3.1):



Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

ANALISA DAN PERENCANAAN

4.1. Analisa Debit Andalan

Debit andalan adalah debit dengan tingkat keandalan tertentu yang direncanakan sebagai sumber air untuk operasional PLTMH (Sulaiman, 2012). Untuk menentukan besarnya debit andalan dibutuhkan seri data debit yang panjang yang dimiliki oleh setiap stasiun pengamatan debit. Data yang akan digunakan dalam analisa merupakan data debit selama 10 tahun. Langkah-langkah yang akan diambil adalah:

1. mengurutkan data dari yang terbesar sampai terkecil
2. mencari selisih data terkecil dan terbesar sebagai jarak data (R)

$$R = 17,693 - 0 = 17,693$$

3. mencari jumlah data yaitu $n = 120$
4. mencari jumlah kelas data (k)

$$1 + 3,3 \log n = 1 + 3,3 \log 120 = 7$$

5. mencari kelas interval (i)

$$i = R/k = 17,693/7 = 2,528$$

6. dibagi 7 kelas dalam jarak interval kelas 2,528
7. menghitung banyaknya data tiap kelas sesuai dengan intervalnya
8. menghitung probabilitas tiap kelas dengan perumusan

$$P = \frac{1}{T} \times 100\% = \frac{m}{n} \times 100\%$$

dimana:

P = probabilitas

m = frekuensi kumulatif data kelas

n = jumlah data total

Berikut adalah rekapitulasi data debit dalam 10 tahun yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak:

Tabel 4.1. Rekapitulasi data debit dalam 10 tahun

No	Interval (m ³ /detik)	Nilai Tengah (m ³ /detik)	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Probabilitas (%)
1	17,693 - 15,165	16,429	69	69	57,50
2	15,164 - 12,636	13,900	24	93	77,50
3	12,635 - 10,107	11,371	6	99	82,50
4	10,106 - 7,578	8,842	0	99	82,50
5	7,577 - 5,049	6,313	2	101	84,17
6	5,048 - 2,520	3,784	0	101	84,17
7	2,519 - 0	1,260	19	120	100,00

Setelah dilakukan simulasi, maka diambil debit andalan 85% yaitu pada debit 1,70 m³/detik. Nilai terkecil yang masih sanggup menggerakkan turbin adalah nilai 15% dari debit andalan, yaitu:

$$Q_{min} = 15\% \times 1,70 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,255 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Maka diperoleh rekapitulasi analisa debit sebagai berikut:

Tabel 4.2. Rekapitulasi Analisa Debit

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Debit andalan	$Q_{andalan}$	1,70	m ³ /detik
Debit minimal	Q_{min}	0,255	m ³ /detik

Setelah diperoleh debit andalan, maka selanjutnya debit andalan tersebut digunakan untuk perhitungan kapasitas tenaga air.

4.2. Perencanaan Kapasitas Tenaga Air

Kapasitas daya ditentukan oleh debit yang mengalir dalam saluran dan tinggi jatuh yang ada.

4.2.1. Tinggi jatuh efektif

Tinggi jatuh efektif didapat dengan memperhitungkan kehilangan energi. Dalam perencanaan awal akan diambil kehilangan energi sebesar 10% dari tinggi bruto sebagai asumsi awal.

$$\begin{aligned}
 H_{bruto} &= \text{elevasi upstream} - \text{elevasi downstream} \\
 &= 146,65 - 142,70 \\
 &= 3,95 \text{ m} \\
 H_{losses} &= 10\% \times H_{bruto} \\
 &= 10\% \times 3,95 \text{ m} \\
 &= 0,395 \text{ m}
 \end{aligned}$$

sehingga perkiraan awal tinggi jatuh efektif akan diperoleh sebesar

$$\begin{aligned}
 H_{eff} &= H_{bruto} - H_{losses} \\
 &= 3,95 \text{ m} - 0,395 \text{ m} \\
 &= 3,56 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

$$\begin{aligned}
 H_{eff} &= \text{tinggi jatuh efektif (m)} \\
 H_{bruto} &= \text{tinggi bruto (m)} \\
 H_{losses} &= \text{tinggi kehilangan energi (m)}
 \end{aligned}$$

4.2.2. Daya yang dihasilkan

Dari data debit andalan dan tinggi jatuh efektif akan didapat daya yang dihasilkan.

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times Q_{andalan} \times H_{eff} \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,70 \text{ m}^3/\text{s} \times 3,56 \text{ m} \\
 &= 59370,12 \text{ kg m}^2/\text{s}^3 \\
 &= 59370,12 \text{ watt} \\
 &= 59,37 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

dimana:

P	= perkiraan daya yang dihasilkan (kW)
ρ	= massa jenis air (kg/m ³)
g	= gaya gravitasi (9,81 m/detik ²)
$Q_{andalan}$	= debit andalan (m ³ /detik)
H_{eff}	= tinggi efektif (m)

4.3. Perencanaan Bangunan Pembangkit

4.3.1. Perhitungan muka air

Dari data *existing* di lapangan dapat dihitung tinggi muka air saat debit rencana yaitu sebesar debit andalan.

Diketahui:

Lebar dasar saluran (B) = 6 m

Kemiringan dasar saluran (S) = 0,000109

Koefisien manning (n) = 0,015

Untuk menghitung kecepatan aliran dan debit saluran digunakan rumus:

$$Q = V \times A$$

$$A = b \times h$$

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

$$Q = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \right) (b \times h)$$

dimana:

Q = debit saluran (m³/detik)

A = luas penampang basah (m²)

b = lebar dasar saluran (m)

h = kedalaman muka air (m)

V = kecepatan aliran air (m/detik)

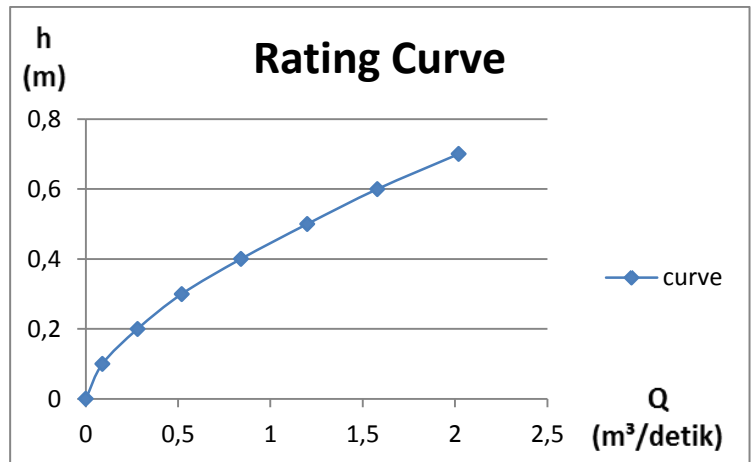
n = koefisien Manning
(0,015 untuk pasangan beton)

Sehingga didapat perbandingan kedalaman muka air dan debit sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hubungan h dan Q

h (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	v (m/detik)	Q (m ³ /detik)
0	0	6	0,00	0	0,00
0,1	0,6	6,2	0,10	0,15	0,09
0,2	1,2	6,4	0,19	0,23	0,28
0,3	1,8	6,6	0,27	0,29	0,52
0,4	2,4	6,8	0,35	0,35	0,84
0,5	3	7	0,43	0,4	1,20
0,6	3,6	7,2	0,50	0,44	1,58
0,7	4,2	7,4	0,57	0,48	2,02

dan diperoleh grafik hubungan h dan Q (*rating curve*) sebagai berikut:

Gambar 4.1. Grafik hubungan h dan Q

Sehingga diperoleh muka air saat debit andalan 1,70 m³/detik adalah 0,65 m

Maka dihasilkan rekapitulasi perhitungan tinggi muka air sebagai berikut:

Tabel 4.4. Rekapitulasi perhitungan tinggi muka air

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Lebar dasar saluran	b	6	m
Kemiringan dasar saluran	S	0,000109	-
Koefisien Manning	n	0,015	-
MA saat debit andalan	h_{andalan}	0,65	m

4.3.2. Perencanaan bangunan pengatur tinggi muka air

Bangunan pengatur tinggi muka air terletak melintang pada saluran dan berada di depan pintu pengambilan (*intake*). Bangunan ini berfungsi untuk mengatur tinggi muka air di saluran depan *intake* sehingga debit yang masuk *intake* sesuai dengan perencanaan yaitu debit andalan. Bangunan pengatur tinggi muka air direncanakan dengan skot balok. Skot balok diletakkan melintang saluran setinggi rencana dan debit yang berlebih akan melimpah melalui atas balok ke saluran eksisting. Dari tabel hubungan h dan Q diperoleh tinggi muka air saat debit andalan adalah 0,65 m, maka elevasi muka air di depan pintu *intake* adalah $+146,65 + 0,65 = +147,3$. Tinggi skot balok disesuaikan dengan yang ada di pasaran yaitu (20cm x 10 cm) sehingga dipasang 4 skot balok dengan tinggi skot balok 0,8 meter dari dasar saluran.

4.3.3. Perencanaan pintu pengambilan (*Intake*)

Pintu pengambilan berfungsi untuk memasukkan debit rencana dari saluran. Pintu *intake* direncanakan menggunakan pintu sorong dengan tipe pintu pengambilan aliran tidak tenggelam. Pintu direncanakan dibuka setinggi 0,65 m, yaitu setinggi

muka air debit rencana. Tinggi pintu direncanakan 0,1 m lebih tinggi dari muka air debit rencana, maka:

$$\begin{aligned} h_p &= 0,65 + 0,1 \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

dan beda kedalaman air di hulu dan hilir pintu intake sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= \mu \times b \times a \sqrt{2 g z} \\ 1,70 &= 0,8 \times 2 \times 0,65 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times z} \\ 1,70 &= 1,04 \times \sqrt{19,62 \times z} \\ z &= 0,14 \text{ m} \end{aligned}$$

dimana:

- Q = debit saluran (m³/detik)
- μ = koefisien debit untuk bukaan di bawah permukaan dengan kehilangan tinggi energi kecil (0,8)
- b = lebar bukaan (m)
- a = tinggi bukaan (m)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)
- z = beda kedalaman air di hulu dan hilir pintu intake (m)

Maka diperoleh rekapitulasi perhitungan pintu intake sebagai berikut:

Tabel 4.5. Rekapitulasi Perhitungan Pintu Intake

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Tinggi pintu	h_p	0,75	m
Beda kedalaman air	z	0,14	m

Setelah air yang berasal dari saluran irigasi Mataram masuk melalui pintu pengambilan (*intake*), selanjutnya air mengalir melewati saluran pembawa (*headrace*).

4.3.4. Perencanaan saluran pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa merupakan saluran terbuka berbentuk persegi yang mengalirkan debit sebesar debit andalan yaitu 1,70 m³/detik.

Direncanakan:

Saluran terbuka berbentuk segiempat dari pasangan beton dengan data berikut:

$$\begin{aligned} Q &= 1,70 \text{ m}^3/\text{detik} \\ A &= b \times h \text{ m}^2 \\ b &= 2h \text{ m} \\ V &= 0,5 \text{ m/detik} \\ n &= 0,015 \text{ untuk pasangan beton} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} Q &= v \times A \\ 1,70 &= 0,5 \times A \\ A &= 3,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi:

$$\begin{aligned} A &= b \times h \\ 3,4 &= 2h \times h \\ h^2 &= 1,7 \\ h &= 1,3 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m} \\ b &= 3 \text{ m} \\ P &= 2h + b \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{0,015} \times \left(\frac{3,4}{6}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 &= 45,65 \times S^{\frac{1}{2}} \\ S^{\frac{1}{2}} &= 0,0109 \\ S &= 0,00011881 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh rekapitulasi perhitungan *headrace* sebagai berikut:

Tabel 4.6. Rekapitulasi Perhitungan *Headrace*

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Debit rencana	$Q_{andalan}$	1,70	m ³ /detik
Kecepatan	v	0,5	m/detik
Koefisien manning	n	0,015	-
Lebar saluran	b	3	m
Tinggi saluran	h	1,5	m
Kemiringan dasar saluran	S	0,0001188	-
Tinggi jagaan	w	0,6	m

4.3.5. Perencanaan bangunan ukur

Bangunan ukur diperlukan untuk mengukur banyaknya debit air yang akan digunakan PLTMH. Bangunan ukur direncanakan mampu mengukur sampai debit minimum. Direncanakan menggunakan bangunan ukur drempel dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_{andalan} = 1,70 \text{ m}^3/\text{detik}$$

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

$$v = 0,5 \text{ m/detik}$$

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

$$1,70 = 1,71 \times 2 \times h^{\frac{3}{2}}$$

$$h^{\frac{3}{2}} = 0,33 \text{ m}$$

$$h = 0,48 \text{ m} = 48 \text{ cm} > 5 \text{ cm OK}$$

$$H_{1 \text{ maks}} = h + \frac{v_0^2}{2g}$$

$$= 0,48 + \frac{0,5^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 0,49 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

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

$$= 1,95 \times 0,5$$

$$= 0,975 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 r &= 0,2 \times H_{1\text{ maks}} \\
 &= 0,2 \times 0,5 \\
 &= 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Setelah diperoleh desain bangunan ukur drempel, maka dikontrol menggunakan debit minimum saluran yang masuk, yaitu:

$$Q_{15} = 0,255 \text{ m}^3/\text{detik}$$

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

$$0,255 = 1,71 \times 3 \times h^{\frac{3}{2}}$$

$$h^{\frac{3}{2}} = 0,0497$$

$$h = 0,135 \text{ m} = 13,5 \text{ cm} > 5 \text{ cm OK}$$

Desain bangunan ukur drempel yang direncanakan mampu mengukur sampai debit minimum yang masuk saluran.

Maka diperoleh rekapitulasi perhitungan bangunan ukur sebagai berikut:

Tabel 4.7. Rekapitulasi Perhitungan Bangunan Ukur

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Debit rencana	$Q_{andalan}$	1,70	m ³ /detik
Lebar alat ukur	b	3	m
Kecepatan	v	0,5	m/detik
Tinggi air batas ambang	h	0,48	m
Tinggi energi hulu	$H_{1\text{ maks}}$	0,5	m
Panjang alat ukur	L	1	m
Jari-jari	r	0,1	m

Setelah air melewati saluran pembawa (*headrace*) dan diukur menggunakan bangunan ukur Drempel, selanjutnya air memasuki bak penenang (*forebay*)

4.3.6. Perencanaan bak penenang (*Forebay*)

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

Direncanakan bak penenang dari konstruksi pasangan batu dengan ukuran sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_f &= 5 \text{ m} \\ h_f &= 0,65 \text{ m} \\ B_f &= 5 \text{ m} \\ \Delta z &= 0,14 \\ V_f &= A_f \times h_f \\ &= 29,4 \times 0,65 \\ &= 19,11 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

dimana:

$$\begin{aligned} V_f &= \text{Volume desain bak penenang (m}^3\text{)} \\ A_f &= \text{Luas bak penenang (m}^2\text{)} \\ h_f &= \text{Tinggi muka air pada bak penenang (m)} \\ B_f &= \text{Lebar bak penenang (m)} \\ L_f &= \text{Panjang bak penenang (m)} \\ \Delta z &= \text{Beda tinggi (m)} \end{aligned}$$

Maka diperoleh rekapitulasi perhitungan *forebay* sebagai berikut:

Tabel 4.8. Rekapitulasi Perhitungan *Forebay*

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Panjang bak	L_f	5	m
Tinggi MA pada bak	h_f	0,65	m
Lebar bak	B_f	5	m
Volume desain bak	V_f	19,11	m ³

Setelah air mengalir melewati bak penenang (*forebay*) selanjutnya air menuju pipa pesat.

4.3.7. Perencanaan pipa pesat (*Penstock*)

Penstock adalah saluran penghubung antara bak penenang (*forebay*) menuju turbin. Pipa ini direncanakan untuk dapat menahan tekanan tinggi.

a) Perencanaan diameter pipa

Perhitungan diameter dilakukan dengan perhitungan menggunakan perumusan dari USBR. Nilai dari kecepatan dalam pipa pesat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= 0,125 \sqrt{2 \times g \times H_{eff}} \\ &= 0,125 \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,56} \\ &= 1,04 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/detik)

G = percepatan gravitasi (m/detik²)

H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)

Kecepatan dalam pipa pesat diambil nilai 2 – 3 m/detik. Sehingga dengan diambil nilai 3 m/detik

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa pesat, } D &= \sqrt{\frac{Q \text{ andalan}}{0,25 \pi v}} \\ &= \sqrt{\frac{1,70}{0,25 \pi 3}} \\ &= 0,85 \text{ m} \end{aligned}$$

dimana:

D = diameter pipa pesat

Q andalan = debit andalan (m³/detik)

V = kecepatan aliran (m/detik)

Sehingga kecepatan aliran dalam pipa pesat yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{0,25 \pi D^2} \\ &= \frac{1,70}{0,25 \pi 0,85^2} \\ &= 2,99 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

b) Perencanaan posisi pengambilan

Jarak muka air dengan posisi pipa pesat disebut dengan *minimum operational level* (MOL). Untuk menghitung MOL maka jarak MOL diukur dari sisi bawah pipa dengan perumusan:

$$\begin{aligned} MOL &= D + 1,5 \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,85 + 1,5 \frac{3^2}{2 \times 9,81} \\ &= 1,53 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai MOL yang dipakai diukur dari muka air saat debit minimum $Q_{\min} = 0,255 \text{ m}^3/\text{detik}$ yaitu 0,18 m. Sehingga perlu dicari nilai selisih dari ketinggian muka air minimum dan muka air saat debit andalan, yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_{\text{andalan}} - h_{\min} \\ &= 0,65 - 0,11 \\ &= 0,54 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga jika diukur dari muka air debit andalan, dibutuhkan ketinggian:

$$\begin{aligned} h_{MOL} &= \Delta h + MOL \\ &= 0,54 + 1,53 \\ &= 2,07 \text{ m} \end{aligned}$$

Elevasi muka air pada posisi pengambilan pipa pesat adalah:

$$\begin{aligned} z_1 &\text{ (akibat pintu)} \\ z_1 &= 0,14 \text{ m} \\ z_2 &\text{ (kemiringan saluran pengarah sebelum} \\ &\text{ A.U Drempe)} \\ z_2 &= L \times 0,00011881 \\ &= 36 \times 0,00011881 \\ &= 0,0043 \text{ m} \end{aligned}$$

z_3 (akibat A. U Drempel)

$$\begin{aligned} z_3 &= \frac{1}{3} H \\ &= \frac{1}{3} \times 0,63 \\ &= 0,21 \text{ m} \end{aligned}$$

z_4 (kemiringan saluran pengarah setelah A.U Drempel)

$$\begin{aligned} &= L \times 0,00011881 \\ &= 50 \times 0,00011881 \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

z_5 (kemiringan bak pengendap)

$$\begin{aligned} &= L \times 0,0000092 \\ &= 5 \times 0,0000092 \\ &= 0,000046 \text{ m} \end{aligned}$$

z_6 (akibat saringan kasar)

$$= 0,0036 \text{ m}$$

Maka elevasi muka air pada posisi pengambilan pipa pesat adalah:

$$\begin{aligned} MA &= MA \text{ pada intake} - z_1 - z_2 - z_3 - z_4 - z_5 - z_6 \\ &= +146,65 - 0,14 - 0,0043 - 0,21 - 0,006 - \\ &\quad 0,000046 - 0,0036 \\ &= +146,28 \end{aligned}$$

Sehingga elevasi sisi bawah pipa pengambilan adalah:

$$\begin{aligned} &= +146,28 - 2,07 \text{ m} \\ &= +144,21 \end{aligned}$$

c) Perencanaan tebal pipa pesat

Dalam perencanaan tebal pipa pesat data yang digunakan sebagai berikut:

$$H_{eff} = 3,56 \text{ m}$$

$$\sigma_{baja} = 16 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \phi \text{ (koefisien kekuatan sambungan las)} \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$D = 0,85$$

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \gamma \times H_{eff} \\
 &= 1000 \times 3,56 \text{ m} \\
 &= 3560 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Sehingga tebal pipa didapat:

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{P_0 \times D}{2 \times \varphi \times \sigma_{baja}} \\
 &= \frac{3560 \times 0,85}{2 \times 0,9 \times 16 \times 10^6} \\
 &= 0,000105 \text{ m} \\
 &= 0,105 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tebal pipa harus ditambah sekitar 1-3 mm untuk cadangan karena karat pada pipa. Syarat minimum tebal pipa perlu diperhatikan dimana:

Sampai dengan diameter 0,8 m yaitu 5 mm

Sampai dengan diameter 1,5 m yaitu 6 mm

Sampai dengan diameter 2,0 m yaitu 7 mm

(Patty, 1995)

Sehingga diambil ketebalan pipa yaitu 6 mm.

Dengan penambahan penebalan pipa, sehingga tebal pipa rencana diiperoleh:

$$\begin{aligned}
 \delta &= 6 + 2 \\
 &= 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga memenuhi syarat pipa tipis, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{\delta} &\geq 20 \\
 \frac{850}{8} &\geq 20 \\
 106,25 &\geq 20
 \end{aligned}$$

d) Tegangan yang terjadi pada pipa pesat

1. Perletakan

Pada perletakan akan terjadi momen maksimum yang terjadi karena berat dari pipa dan air sepanjang jarak dari perletakan. Sehingga dari perencanaan diusahakan agar nilai dari jarak perletakan tidak akan

memberikan tegangan yang melebihi tegangan ijin baja.

Untuk berat pipa per meter adalah:

$$\begin{aligned} G_s &= 0,25\pi ((D + 2\delta)^2 - D^2) \gamma_{baja} \\ G_s &= 0,25\pi ((0,85 + 2 \times 0,008)^2 - 0,85^2) 7850 \\ &= 184,87 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Untuk air per meter adalah:

$$\begin{aligned} G_w &= 0,25\pi \times D^2 \times \gamma_w \\ &= 0,25\pi \times 0,85^2 \times 1.000 \\ &= 567,16 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Sehingga momen maksimum yang didapat adalah:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{12} (G_s + G_w) (b \cos \beta)^2 \\ &= \frac{1}{12} (184,87 + 567,16) (16 \cos 10^\circ) \\ &= \frac{1}{12} (752,03) (15,76) \\ &= 987,67 \text{ kgm} \end{aligned}$$

dimana:

$$\begin{aligned} M &= \text{momen maksimum} && (\text{kgm}) \\ b &= \text{jarak perletakan} && (16 \text{ m}) \\ G_s &= \text{berat pipa per meter} && (\text{kg/m}) \\ \gamma_w &= \text{massa jenis air} && (1000 \text{ kg/m}) \\ G_w &= \text{berat air per meter} && (\text{kg/m}) \\ \gamma_{baja} &= \text{massa jenis baja} && (7850 \text{ kg/m}^3) \\ \beta &= \text{sudut kemiringan} && (^\circ) \end{aligned}$$

Momen perlawanan yang terjadi:

$$\begin{aligned} S &= \frac{I}{2(D+2\delta)} \\ &= \frac{\frac{1}{64}\pi(D+2\delta)^4 - \frac{1}{64}\pi(D)^4}{\frac{1}{2}(D+2\delta)} \\ &= \frac{\frac{1}{64}\pi(0,85+2(0,008))^4 - \frac{1}{64}\pi(0,85)^4}{\frac{1}{2}(0,85+2(0,008))} \\ &= 0,0046 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

dimana:

S = momen perlawanan (m^3)

I = momen inersia pipa (m^4)

D = diameter pipa (m)

δ = tebal pipa pesat (m)

Sehingga tegangan yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M}{S} < \sigma_{baja} \\ &= \frac{987,67}{0,0046} < 16.10^6 \\ &= 214710,9 \text{ kg/m}^2 < 16.10^6 \text{ kg/m}^2 \dots \text{OK}\end{aligned}$$

2. Perubahan temperatur

Tegangan yang terjadi karena perubahan temperatur adalah:

$$\begin{aligned}\sigma &= E \cdot \lambda \cdot t < \sigma_{baja} \\ &= 2,1.10^6 \times 1,2.10^{-5} \times 25 < 16.10^2 \\ &= 630 \text{ kg/cm}^2 < 16.10^2 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{OK}\end{aligned}$$

dimana:

E = modulus elastis baja
($2,1 \times 10^2 \text{ kg/cm}^2$)

λ = $1,2 \times 10^{-5}$

t = perubahan temperatur
(dianggap suhu di kamar = 25°C)

3. Pergeseran pipa dan perletakan

Pergeseran disebabkan karena terjadinya pemuaian dan penyusutan pada bagian perletakan.

Gaya geser pada perletakan

$$\begin{aligned}F &= f(G_s + G_w) \cos \beta \\ &= 0,5(184,87 + 567,16) \cos 10^\circ \\ &= 370,3 \text{ kg}\end{aligned}$$

Luas tebal pipa

$$\begin{aligned}A &= \frac{1}{4}\pi ((D + 2\delta)^2 - D^2) \\ &= \frac{1}{4}\pi ((0,85 + 2 \times 0,008)^2 - 0,85^2) \\ &= 0,024 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Titik tangkap gaya geser

$$\begin{aligned} a &= R \frac{\sin \theta}{\theta} \\ &= 0,425 \frac{\sin 45}{45} \\ &= 0,0067 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{\Sigma F}{A} + \frac{\Sigma F a}{S} \\ &= \frac{370,3}{0,024} + \frac{370,3 \times 0,0067}{0,0046} \\ &= 15968,5 \text{ kg/m}^2 < 16.10^6 \text{ kg/m}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

dimana:

- F = gaya geser pada perletakan (kg)
- f = koefisien gesek pipa (0,5)
- A = luas tebal pipa (m²)
- a = titik tangkap gaya geser (m)
- S = momen perlawanan (kgm)
- D = diameter pipa (m)
- δ = tebal pipa pesat (m)
- R = jari-jari pipa (m)
- θ = sudut perletakan (45°)

4. Berat pipa kosong

Tegangan tekan yang diakibatkan dari pipa miring adalah:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{\sin \beta \Sigma G_s}{\pi D \delta} \\ &= \frac{\sin 10^\circ \times 184,87}{\pi \times 0,85 \times 0,008} \\ &= 1503,48 \text{ kg/m}^2 < 16.10^6 \text{ kg/m}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

dimana:

- G_s = berat pipa per meter (kg/m)
- δ = tebal pipa (0,008 m)
- D = diameter pipa (m)
- β = sudut kemiringan (10°)

5. *Expantion Joint*

Tegangan yang diakibatkan tekanan air pada *expantion joint* adalah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{f Pa e}{\delta} \\ &= \frac{0,25 \times (1 \times 3,56) \times 0,2}{0,008} \\ &= 22,25 \text{ kg/m}^2 < 16.10^6 \text{ kg/m}^2 \dots \text{OK}\end{aligned}$$

dimana:

f = faktor koefisien (0,25)

e = lebar *packing* (0,2)

Pa = tekanan air = $\gamma_w \cdot H_{eff}$

δ = tebal pipa (m)

6. Gaya tekan pada pipa sambungan

Tegangan pada pipa sambungan dapat diketahui, yaitu:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{Pa \cdot \delta_{bruto}}{\delta_{netto}} \\ &= \frac{(1 \times 3,56) \times 0,016}{0,008} \\ &= 7,12 \text{ kg/m}^2 < 16.10^6 \text{ kg/m}^2 \dots \text{OK}\end{aligned}$$

dimana:

Pa = tekanan air = $\gamma_w \cdot H_{eff}$ (kg/m²)

δ_{bruto} = $2\delta_{netto}$ (m)

δ_{netto} = tebal pipa (m)

Maka diperoleh rekapitulasi perhitungan *penstock* sebagai berikut:

Tabel 4.9. Rekapitulasi Perhitungan *Penstock*

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Diameter penstok	D	0,85	m
Tebal penstok	δ	0,008	m

Setelah air mengalir melewati pipa pesat (*penstock*) selanjutnya air menuju turbin.

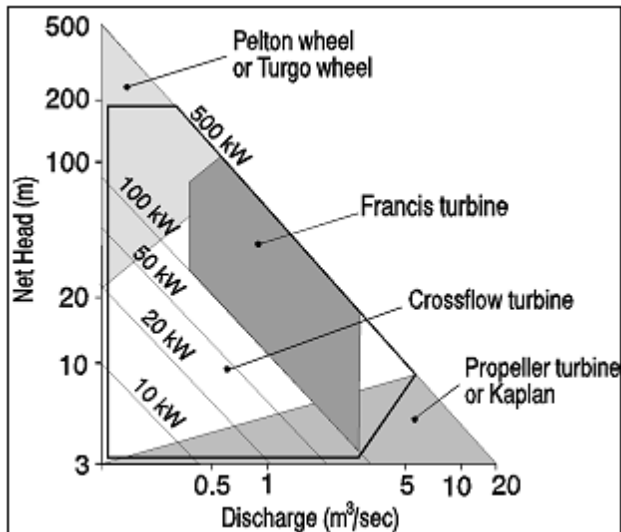
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

ANALISA DAN PERENCANAAN

4.3.8. Pemilihan Turbin

Faktor yang menentukan dalam merencanakan jenis turbin adalah besar debit rencana dan beda tinggi. Dengan debit sebesar $1,70 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan beda tinggi sebesar $3,56 \text{ m}$ maka dipilih turbin *Crossflow*. Turbin *Crossflow* adalah salah satu turbin yang sangat berguna bagi PLTMH, yang mana semprotan airnya menumbuk turbin pada dua tempat, sehingga kecepatan air yang keluar sangat kecil.



Gambar 4.2. Grafik penentuan turbin
(Sumber: Patty, 1995)

Setiap turbin mempunyai kecepatan putar tertentu, dimana turbin tersebut akan beroperasi dengan efisiensi terbaik pada kombinasi *head* dan debit tertentu.

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran, antara lain sebagai berikut:

- Turbin pelton $12 < N_s < 25$
- Turbin francis $60 < N_s < 300$
- Turbin crossflow $40 < N_s < 200$
- Turbin propeller $250 < N_s < 1000$

Untuk estimasi perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{h^{\frac{5}{4}}}$$

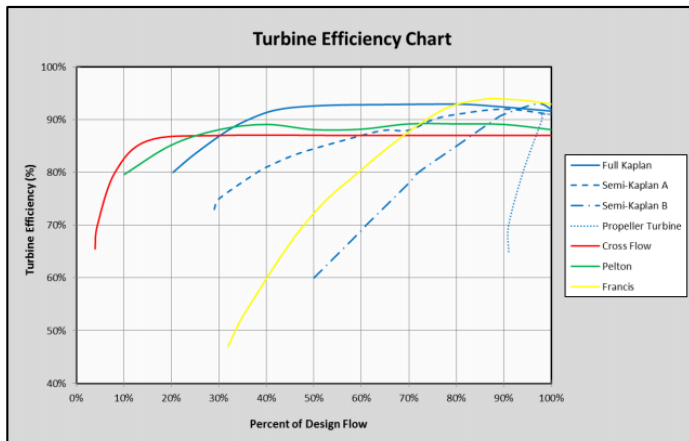
$$120 = \frac{N\sqrt{59,37}}{3,56^{\frac{5}{4}}}$$

$$N = 76,16 \text{ rpm}$$

dengan:

- N = kecepatan pada turbin (rpm)
- Ns = kecepatan spesifik (rpm) diambil 120 rpm
- h = tinggi jatuh efektif (m)
- P = daya yang dihasilkan (kW)

Dari spesifikasi turbin yang digunakan, nantinya akan diperoleh nilai efisiensi turbin yaitu nilai keefektifan turbin yang didapat dengan membandingkan besar daya turbin dengan besar daya air. Berikut adalah grafik efisiensi beberapa turbin:



Gambar 4.3. Grafik Efisiensi Turbin
(Sumber: Nusantara, 2015)

Maka diperoleh rekapitulasi komponen turbin sebagai berikut:

Tabel 4.10. Rekapitulasi Komponen Turbin

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Turbin	Turbin Crossflow		
Kecepatan spesifik	N_s	120	rpm
Kecepatan pada turbin	N	76,16	rpm
Efisiensi turbin	η	0,87	-

Setelah melewati turbin, selanjutnya air mengalir menuju saluran pembuangan (*tailrace*).

4.3.9. Saluran Pembuangan (*Tailrace*)

Saluran pembuangan berfungsi untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air untuk kemudian dibuang ke saluran irigasi. Saluran ini dimensinya

harus sama atau lebih besar daripada saluran pemasukan mengingat adanya kemungkinan perubahan mendadak dari debit turbin air. Maka direncanakan dimensi saluran pembuangan sama dengan saluran pembawa (*headrace*) yaitu:

Saluran terbuka berbentuk segiempat dari pasangan beton dengan data berikut:

$$\begin{aligned} Q &= 1,70 \text{ m}^3/\text{detik} \\ A &= b \times h \text{ m}^2 \\ b &= 2h \text{ m} \\ V &= 0,5 \text{ m/detik} \\ n &= 0,015 \text{ untuk pasangan beton} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} Q &= v \times A \\ 1,70 &= 0,5 \times A \\ A &= 3,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi:

$$\begin{aligned} A &= b \times h \\ 3,4 &= 2h \times h \\ h^2 &= 1,7 \\ h &= 1,3 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m} \\ b &= 3 \text{ m} \\ P &= 2h + b \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{0,015} \times \left(\frac{3,4}{6}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 &= 45,65 \times S^{\frac{1}{2}} \\ S^{\frac{1}{2}} &= 0,0109 \\ S &= 0,00011881 \end{aligned}$$

Maka diperoleh rekapitulasi perhitungan *tailrace* sebagai berikut:

Tabel 4.11. Rekapitulasi Perhitungan *Tailrace*

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Debit rencana	$Q_{andalan}$	1,70	m ³ /detik
Kecepatan	v	0,5	m/detik
Koefisien manning	n	0,015	-
Lebar saluran	b	3	m
Tinggi saluran	h	1,5	m
Kemiringan dasar saluran	S	0,0001188	-
Tinggi jagaan	w	0,6	m

4.4. Estimasi Kehilangan Energi

Dalam perjalanan air mengalir dari pintu pengambilan hingga pipa pesat, akan terjadi kehilangan energi seperti kehilangan energi karena saringan kasar, kehilangan energi pada *entrance*, kehilangan energi karena gesekan sepanjang pipa, dan kehilangan energi karena belokan pipa.

3.4.1. Kehilangan energi karena saringan kasar

Posisi saringan kasar berada sebelum pipa pesat, sehingga kehilangan energi yang terjadi tidak mengurangi tinggi yang ada. Nilai ini digunakan untuk memberikan gambaran tentang pengaruh dari saringan kasar terhadap muka air di hulu. Direncanakan profil oval dengan lebar profil dari arah aliran 1 cm dan jarak 5 cm. Kehilangan energi yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned}
 H_r &= \varphi \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \\
 &= 1,67 \left(\frac{0,01}{0,05} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{0,6^2}{2 \times 9,81} \sin 70 \\
 &= 0,0037 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

H_r = kehilangan energi karena saringan kasar (m)

ϕ = koefisien profil (1,67-dari gambar)

s = lebar profil dari arah aliran (m)

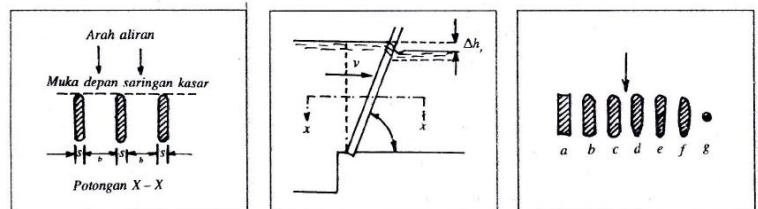
b = jarak antar profil saringan (m)

v = kecepatan aliran (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

α = sudut kemiringan saringan

Profil	a	b	c	d	e	f	g
ϕ	2,42	1,83	1,67	1,03	0,92	0,76	1,79



Gambar 4.4. Koefisien profil ϕ
(Sumber: Patty, 1995)

4.4.2. Kehilangan energi pada *entrace*

Kehilangan energi pada *entrace* tergantung dari bentuk mulut *entrace*. Nilai dari koefisien masukan dari bentuk mulut *entrace* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4.12. Nilai koefisien bentuk mulut *entrance*

No.	Entrance Condition	Loss Condition K_e		
		Max.	Min.	Average
1	Gate in thin wall-unsuppressed contraction	1,80	1,00	1,50
2	Gate in thin wall-bottom and side suppressed	1,20	0,50	1,00
3	Gate in thin wall-corners rounded	1,00	0,10	0,50
4	Square cornered entrances	0,70	0,40	0,50
5	Stighly rounded entrances	0,60	0,18	0,25
6	Fully rounded entrance $r/D \geq 0.15$	0,27	0,08	0,10
7	Circular bellmouth entrances	0,10	0,04	0,05
8	Square bellmouth entrances	0,20	0,07	0,16
9	Inward projecting entrances	0,93	0,56	0,80

(Sumber: Patty, 1995)

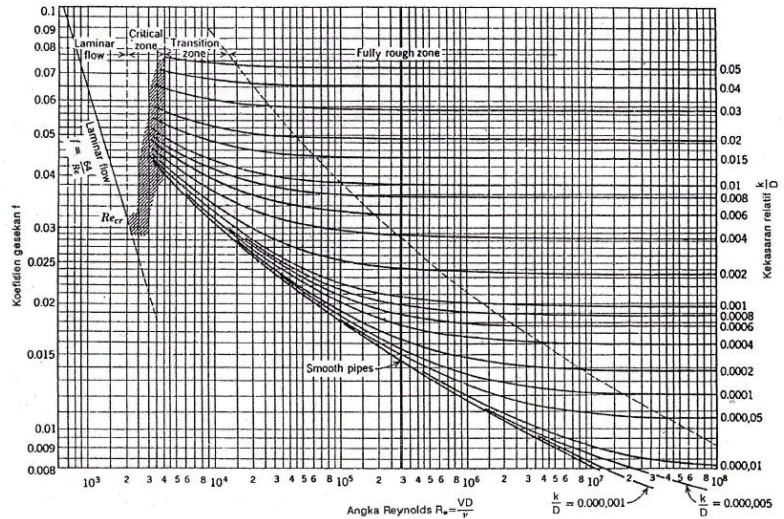
$$\begin{aligned}
 H_e &= K_e \cdot \left(\frac{\Delta V^2}{2g} \right) \\
 &= 0,05 \left(\frac{(2,99 - 0,6)^2}{2 \times 9,81} \right) \\
 &= 0,0146 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

 H_e = kehilangan energi pada entrance (m) K_e = koefisien bentuk mulut Δv = selisih kecepatan sebelum dan sesudah entrance (m/detik) g = gaya gravitasi (m/detik²)

4.4.3. Kehilangan energi karena gesekan sepanjang pipa

Untuk menentukan nilai f (koefisien gesek) dapat digunakan diagram Moody. Sebelum menentukan harga f terlebih dahulu harus dicari angka Reynold (Re) dari aliran tersebut yang dapat dirumuskan $Re = \frac{D \cdot V}{\nu}$ dan koefisien kekasaran bahan (ϵ).



Gambar 4.5. Grafik Moody
(Sumber: Triatmodjo, 1993)

Direncanakan pipa dari bahan baja galvanis, maka nilai kekasaran bahan adalah 0,09, pada suhu 25° maka viskositas kinematis, ν adalah $0,890 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{D \cdot V}{\nu} \\
 &= \frac{0,85 \times 2,99}{0,890 \times 10^{-6}} \\
 &= 2855618 \\
 \frac{k}{D} &= \frac{0,09}{850} \\
 &= 1,06 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan grafik Moody diperoleh nilai $f = 0,015$

$$\begin{aligned}
 H_f &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,015 \times \frac{16}{0,85} \times \frac{2,99^2}{2 \times 9,81} \\
 &= 0,11 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dimana:

H_f = kehilangan energi sepanjang pipa (m)

f = koefisien gesek pipa

l = panjang pipa (m)

v = kecepatan pada pipa (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

D = diameter pipa (m)

4.4.4. Kehilangan energi karena belokan pipa

Kehilangan tenaga yang terjadi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa (α). Rumus kehilangan tenaga pada belokan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_l &= K_b \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,025 \times \frac{2,99^2}{2 \times 9,81} \\ &= 0,011 \text{ m} \end{aligned}$$

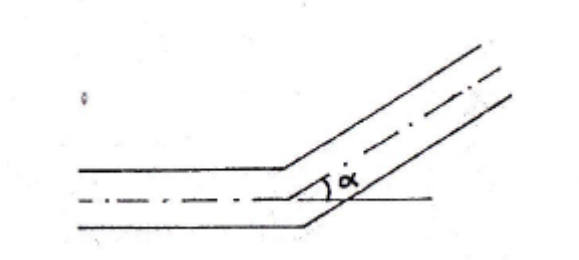
dimana:

H_l = kehilangan energi karena belokan pipa (m)

v = kecepatan aliran pada pipa (m/detik)

K_b = koefisien kehilangan energi

α = sudut belokan pipa (10°)



Gambar 4.6. Belokan pipa dengan sudut α
(Sumber: Triatmodjo, 1993)

Tabel 4.13. Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α

α	20°	40°	60°	80°	90°
K_b	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

(Sumber: Triatmodjo, 1993)

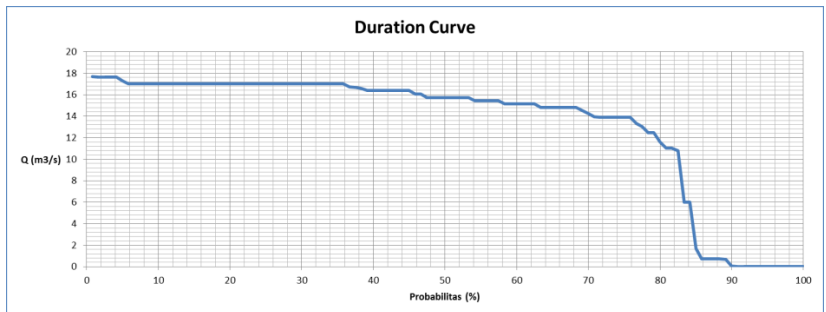
Dari perhitungan beberapa faktor kehilangan energi pada pipa pesat dapat diketahui kehilangan energi total yaitu:

$$\begin{aligned}
 H_{total} &= H_r + H_e + H_f + H_l \\
 &= 0,0037 + 0,0146 + 0,11 + 0,011 \\
 &= 0,14 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini lebih kecil dari asumsi awal kehilangan energi sebesar 10% dari tinggi bruto sebesar 0,395 m. Sehingga perencanaan ini dapat digunakan.

4.5. Perhitungan Energi Listrik

Energi listrik total yang didapat dalam satu tahun dibagi dalam tiga perhitungan. Perhitungan pertama berdasarkan pada Q_{85} selama 85% dari satu tahun. Sedangkan 2,5% selanjutnya direncanakan diantara Q_{85} dan $Q_{87,5}$ dan 2,5% sisanya diantara $Q_{87,5}$ dan Q_{90} . Sehingga pembagian tersebut pada *duration curve* adalah:



Gambar 4.7 Duration Curve

Dari grafik diketahui nilai Q yaitu:

$$Q_{85} = 1,7 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{87,5} = 0,722 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{90} = 0,069 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Efisiensi yang digunakan adalah:

$$\text{efisiensi turbin } (\eta_t) = 0,87$$

$$\text{efisiensi generator } (\eta_g) = 0,95$$

$$\text{efisiensi transformator } (\eta_{tr}) = 0,95$$

Sehingga efisiensi total yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \text{efisiensi total } (\eta_{total}) &= 0,87 \times 0,95 \times 0,95 \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

Daya yang didapatkan adalah:

$$\begin{aligned} P_{85} &= \eta \times \rho \times g \times Q_{85} \times H_{eff} \\ &= 0,79 \times 1000 \times 9,81 \times 1,7 \times 3,56 \\ &= 46,902 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{87,5} &= \eta \times \rho \times g \times Q_{87,5} \times H_{eff} \\ &= 0,79 \times 1000 \times 9,81 \times 0,722 \times 3,56 \\ &= 19,919 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{90} &= \eta \times \rho \times g \times Q_{90} \times H_{eff} \\ &= 0,79 \times 1000 \times 9,81 \times 0,069 \times 3,56 \\ &= 1,903 \text{ kW} \end{aligned}$$

Energi yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} E_1 &= P_{85} \times 85\% \times 365 \times 24 \\ &= 46,902 \times 0,85 \times 365 \times 24 \\ &= 349.232,292 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2 &= \left(\frac{P_{85} + P_{87,5}}{2} \right) \times 2,5\% \times 365 \times 24 \\ &= \left(\frac{46,902 + 19,919}{2} \right) \times 0,025 \times 365 \times 24 \\ &= 7316,8995 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_3 &= \left(\frac{P_{87,5} + P_{90}}{2} \right) \times 2,5\% \times 365 \times 24 \\ &= \left(\frac{19,919 + 1,903}{2} \right) \times 0,025 \times 365 \times 24 \\ &= 2389,5 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jadi total energi keseluruhan yang diperoleh dalam satu tahun:

$$\begin{aligned} E_{\text{total}} &= E_1 + E_2 + E_3 \\ &= 349.232,292 \text{ kWh} + 7316,8995 \text{ kWh} + 2389,5 \text{ kWh} \\ &= 358938,69 \text{ kWh} \end{aligned}$$

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan, maka diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh debit andalan sebesar 1,7 m³/detik
2. Tinggi efektif yang digunakan dalam perencanaan PLTMH di Saluran Irigasi Mataram ini adalah 3,56 m
3. Bangunan sipil yang digunakan pada PLTMH di Saluran Irigasi Mataram ini adalah bangunan pengatur tinggi muka air, pintu pengambilan (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), bangunan ukur, bak penenang (*forebay*), pipa pesat (*penstock*), dan saluran pembuang (*tailrace*)
4. Kehilangan energi yang terjadi pada PLTMH ini adalah sebesar 0,14 m. Nilai ini lebih kecil dari asumsi awal kehilangan energi sebesar 10% dari tinggi bruto sebesar 0,395 m.
5. Energi listrik yang dihasilkan dari PLTMH di Saluran Irigasi Mataram sebesar 85% sepanjang tahun adalah 358938, 69 kWh.

5.2. Saran

Saran yang dapat diajukan untuk perencanaan di kemudian hari adalah:

1. Untuk mendapatkan daya listrik yang lebih besar maka dipilih lokasi perencanaan dengan debit dan tinggi jatuh (*head*) yang besar.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- Adam Harvey et al, 1993. **Microhydro Design Manual, Intermediate Technology Publications**, London
- Budiyanto, MA. 2013. Materi kuliah: **Hidrologi Terapan-Analisa Debit Andalan dan Debit Banjir**, Yogyakarta
- Eko, Galih. 2011. Laporan Tugas Akhir: **Pemanfaatan Beda Energi Pada Bangunan Terjun Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**. Surabaya
- Kusdiana, D. 2008. **Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral
- Nusantara, DAD. 2015. Materi kuliah: **Hydropower Plant-PLTA**, Surabaya
- Patty, O.F. 1995. **Tenaga Air**. Jakarta: Erlangga
- Soesanto, Soekibat R. 2010. **Perencanaan Bangunan Air**, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya.
- Soesanto, Soekibat R. 2010. **Waduk & PLTA**, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya.
- Sulaiman, Muhammad. 2012. Materi kuliah: **Pengantar Hidrologi untuk PLTMH**, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 1993. **Hidraulika I**. Yogyakarta: Beta Offset

Triatmodjo, B. 2010. **Hidrologi Terapan**. Yogyakarta:
Beta Offset

Havianto, Jonny. Mei 2012. **Penggunaan Turbin Crossflow pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**.<URL:
<http://jonny-havianto.blogspot.com/2012/05/penggunaan-turbin-cross-flow-pada.html> >

Google. 2014. **Peta Jawa Tengah**. <URL:
https://www.google.co.id/search?q=peta+jawa+tengah&source=lms&tbm=isch&sa=X&ei=Ng9MVZCCDoypuwTlhYCQDA&ved=0CAgQ_AUoAg#imgsrc=U-K2nCTUwacBDM%253A%3Brv4PWa4DqJGmNM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252F1%252F11%252FPeta_administratif_jawa_tengah.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fid.wikipedia.org%252Fwiki%252FJawa_Tengah%3B558%3B360 >

Google. 2014. **Desa Karangtalun**. <URL:
<https://www.google.co.id/maps/search/desa+karangtalun,+kecamatan+ngluwar,+magelang/@-7.6582635,110.2715766,14z/data=!3m1!4b1> >

Data Debit

Lokasi: Sal Irigasi Mataram

Satuan: m³/detik

	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2004	17,321	15,742	16,368	16,594	17,643	17,001	17,001	15,433	11,043	15,742	0	17,001
2005	17,001	15,742	14,819	15,125	17,001	17,001	17,001	14,819	17,643	17,693	17,643	17,643
2006	13,915	15,742	16,368	17,001	17,001	10,768	16,368	13,915	13,915	12,451	17,001	17,001
2007	17,001	17,001	17,001	16,683	16,368	1,7001	17,001	15,433	11,043	14,516	17,001	16,054
2008	17,001	16,368	17,001	15,433	15,125	17,001	17,001	13,323	11,599	14,819	14,819	0,069
2009	15,125	15,125	14,819	15,125	14,215	15,125	16,742	17,001	13,03	17,001	17,001	17,001
2010	17,001	17,001	17,001	17,001	16,368	17,001	14,819	17,001	17,001	17,001	13,925	13,915
2011	6,011	12,451	15,433	6,011	14,819	15,742	16,054	17,001	17,001	16,368	17,001	16,368
2012	0,742	0,742	0	0	0	0	0	0	0	0,701	0,722	0,722
2013	17,001	15,742	15,742	15,742	17,001	13,915	15,433	13,915	0	0	0	0

Probabilitas

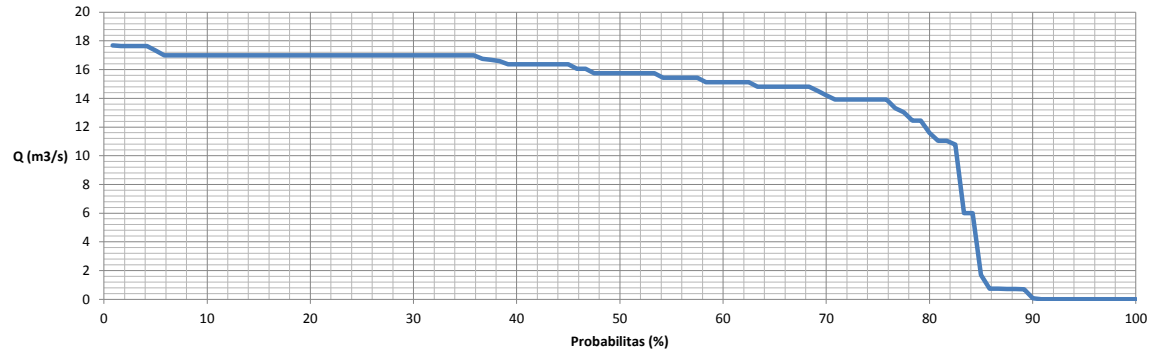
No	P	Q
1	0,83	17,693
2	1,67	17,643
3	2,50	17,643
4	3,33	17,643
5	4,17	17,643
6	5,00	17,321
7	5,83	17,001
8	6,67	17,001
9	7,50	17,001
10	8,33	17,001
11	9,17	17,001
12	10,00	17,001
13	10,83	17,001
14	11,67	17,001
15	12,50	17,001
16	13,33	17,001
17	14,17	17,001
18	15,00	17,001
19	15,83	17,001
20	16,67	17,001
21	17,50	17,001
22	18,33	17,001
23	19,17	17,001
24	20,00	17,001
25	20,83	17,001
26	21,67	17,001
27	22,50	17,001
28	23,33	17,001
29	24,17	17,001
30	25,00	17,001
31	25,83	17,001
32	26,67	17,001
33	27,50	17,001
34	28,33	17,001
35	29,17	17,001
36	30,00	17,001
37	30,83	17,001
38	31,67	17,001
39	32,50	17,001
40	33,33	17,001

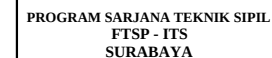
No	P	Q
41	34,17	17,001
42	35,00	17,001
43	35,83	17,001
44	36,67	16,742
45	37,50	16,683
46	38,33	16,594
47	39,17	16,368
48	40,00	16,368
49	40,83	16,368
50	41,67	16,368
51	42,50	16,368
52	43,33	16,368
53	44,17	16,368
54	45,00	16,368
55	45,83	16,054
56	46,67	16,054
57	47,50	15,742
58	48,33	15,742
59	49,17	15,742
60	50,00	15,742
61	50,83	15,742
62	51,67	15,742
63	52,50	15,742
64	53,33	15,742
65	54,17	15,433
66	55,00	15,433
67	55,83	15,433
68	56,67	15,433
69	57,50	15,433
70	58,33	15,125
71	59,17	15,125
72	60,00	15,125
73	60,83	15,125
74	61,67	15,125
75	62,50	15,125
76	63,33	14,819
77	64,17	14,819
78	65,00	14,819
79	65,83	14,819
80	66,67	14,819

No	P	Q
81	67,50	14,819
82	68,33	14,819
83	69,17	14,516
84	70,00	14,215
85	70,83	13,925
86	71,67	13,915
87	72,50	13,915
88	73,33	13,915
89	74,17	13,915
90	75,00	13,915
91	75,83	13,915
92	76,67	13,323
93	77,50	13,03
94	78,33	12,451
95	79,17	12,451
96	80,00	11,599
97	80,83	11,043
98	81,67	11,043
99	82,50	10,768
100	83,33	6,011
101	84,17	6,011
102	85,00	1,7001
103	85,83	0,742
104	86,67	0,742
105	87,50	0,722
106	88,33	0,722
107	89,17	0,701
108	90,00	0,069
109	90,83	0
110	91,67	0
111	92,50	0
112	93,33	0
113	94,17	0
114	95,00	0
115	95,83	0
116	96,67	0
117	97,50	0
118	98,33	0
119	99,17	0
120	100,00	0

Keterangan:
P: Probabilitas
Q: Debit (m³/detik)

Duration Curve





TUGAS AKHIR

Dr.Ir.Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir.Abdullah Hidayat SA,MT

TITIS HARYANI 3113105038

Denah	1:500
-------	-------

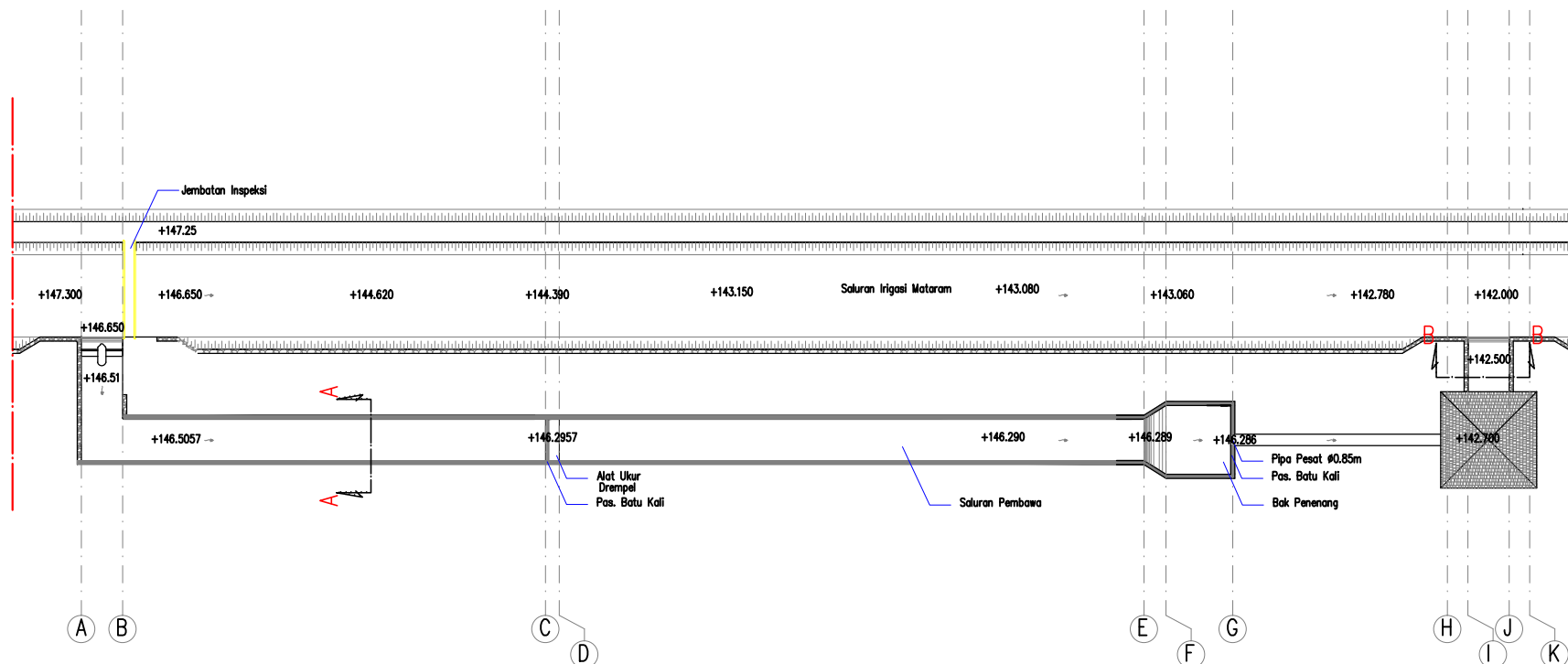
Denah

1:500

--	--

NO. GAMBAR

JML. GAMBAR



Sal.Mataram
Q=5,114 m ³ /dtk
b=6 m
h=0,8 m
i=0,000109
m=0,5
k=40
w=0,6m

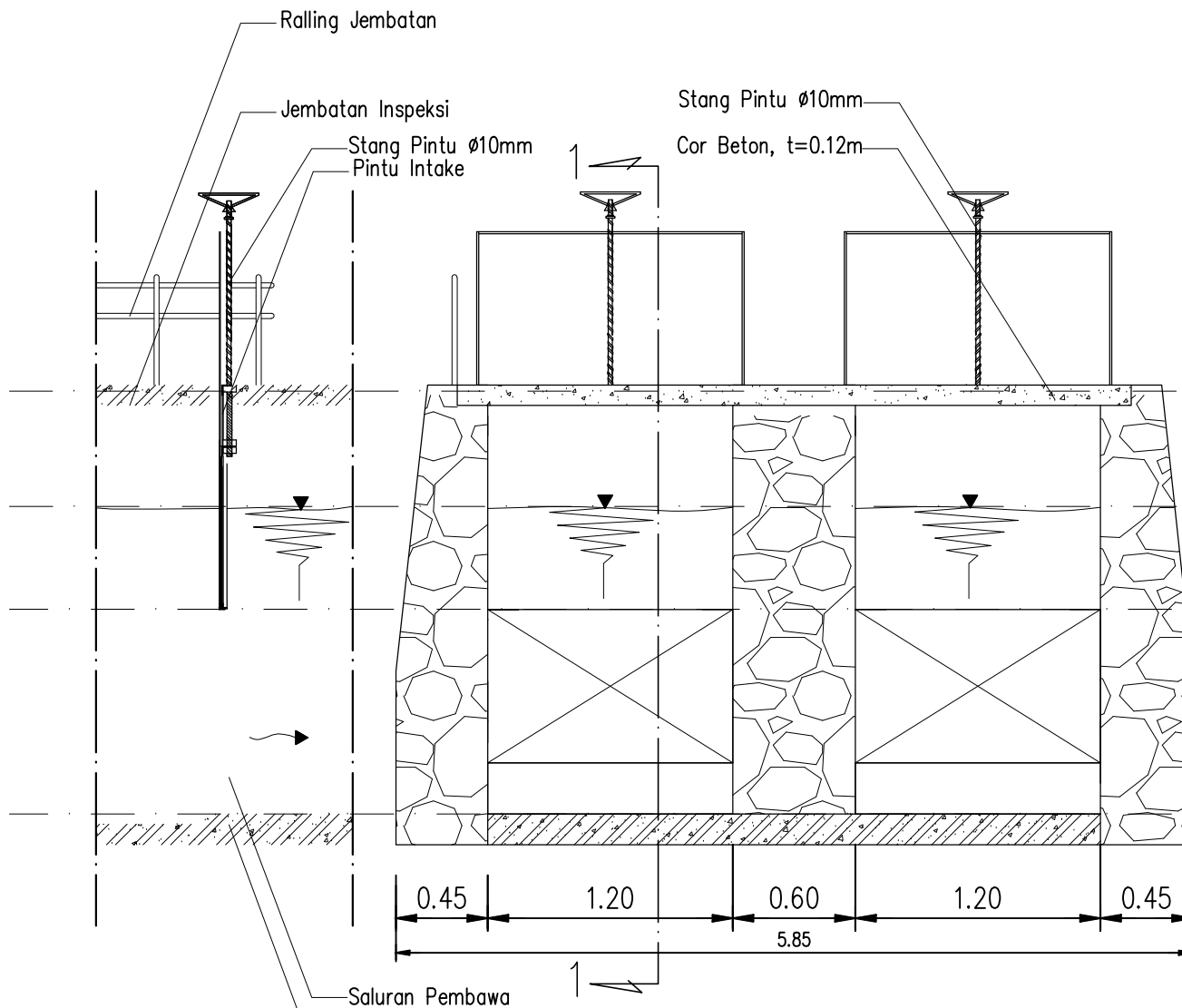
Sal. Pembawa
$Q = 1,70 \text{ m}^3/\text{dtk}$
$v = 0,5 \text{ m/dtk}$
$n = 0,015$
$b = 3 \text{ m}$
$h = 1,5 \text{ m}$
$i = 0,0001188$
$w = 0,6 \text{ m}$

Alat Ukur
 $Q = 1,70 \text{ m}^3/\text{dtk}$
 $b = 3 \text{ m}$
 $v = 0,5 \text{ m}/\text{dtk}$
 $h = 0,48 \text{ m}$
 $H1 \text{ maks} = 0,5 \text{ m}$
 $L = 1 \text{ m}$
 $r = 0,1 \text{ m}$

Bak Penenang
 $L_f = 5 \text{ m}$
 $h_f = 0,65 \text{ m}$
 $b_f = 5 \text{ m}$
 $V_f = 19,11 \text{ m}^3$

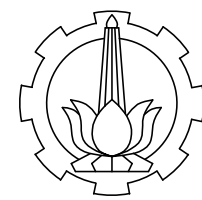
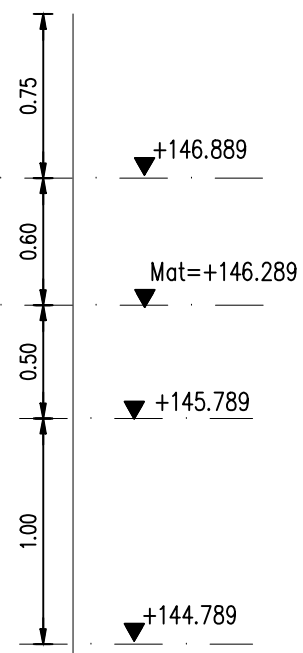
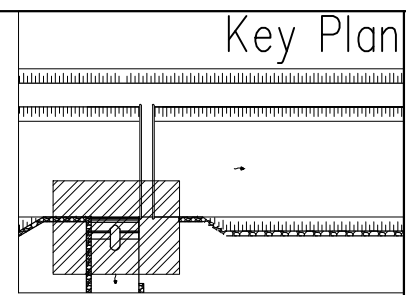
Pipa Pesat
 $D=0,85 \text{ m}$
 $t=0,008 \text{ m}$

Denah
SKALA 1:500



POTONGAN 1-1
SKALA 1:50

DET. PINTU PENGAMBILAN
SKALA 1:50



PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Dr.Ir.Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir.Abdullah Hidayat SA,MT

NAMA MAHASISWA

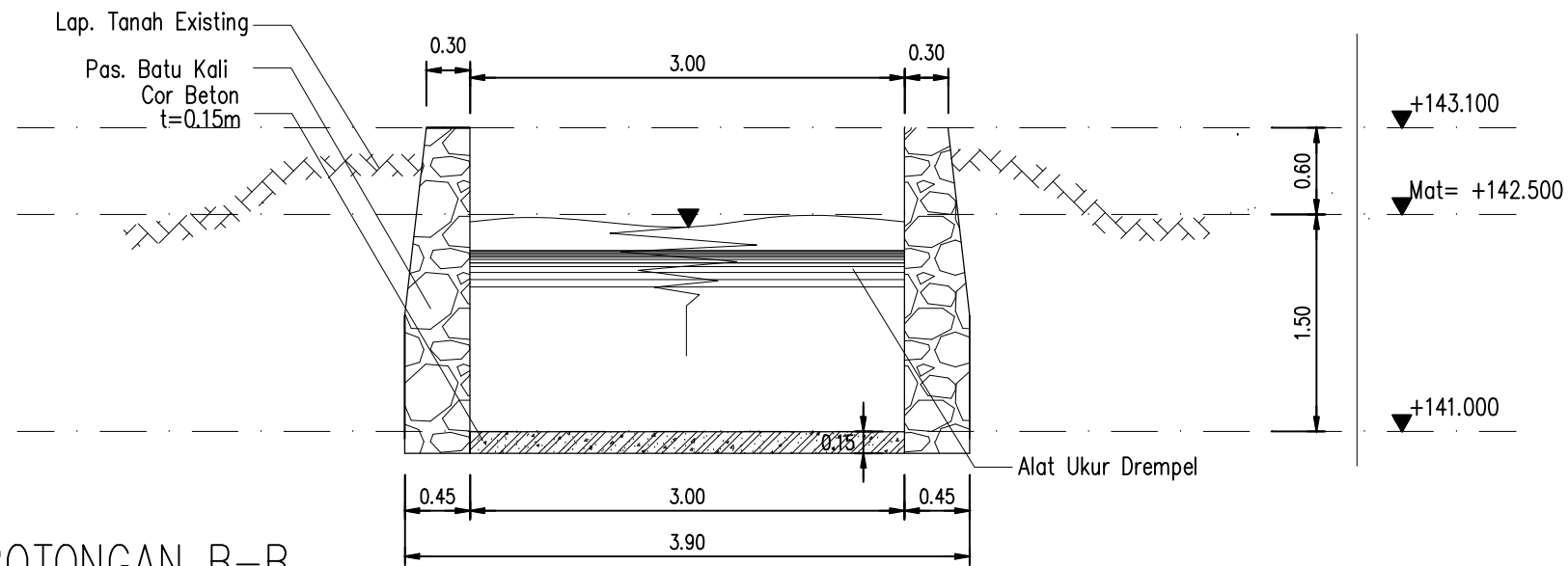
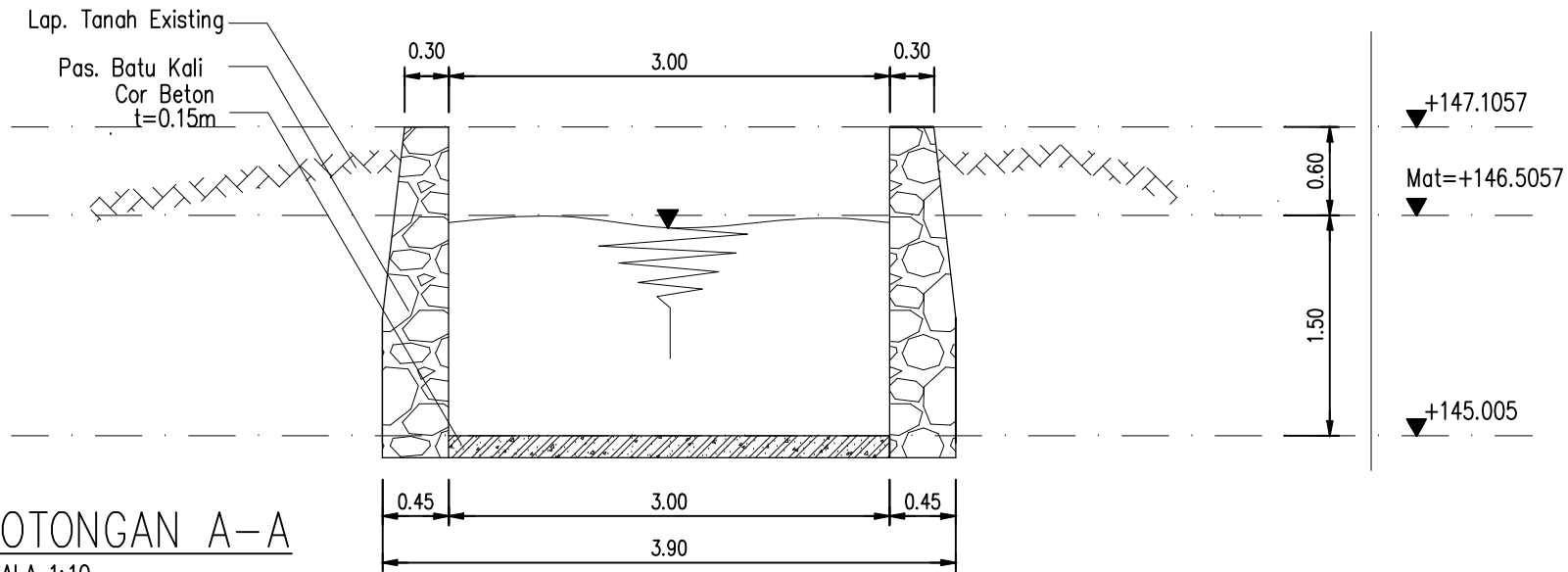
TITIS HARYANI 3113105038

JUDUL GAMBAR

POT. A-A 1:50

CATATAN

NO. GAMBAR JML. GAMBAR



PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Dr.Ir.Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir.Abdullah Hidayat SA,MT

NAMA MAHASISWA

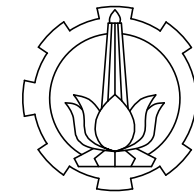
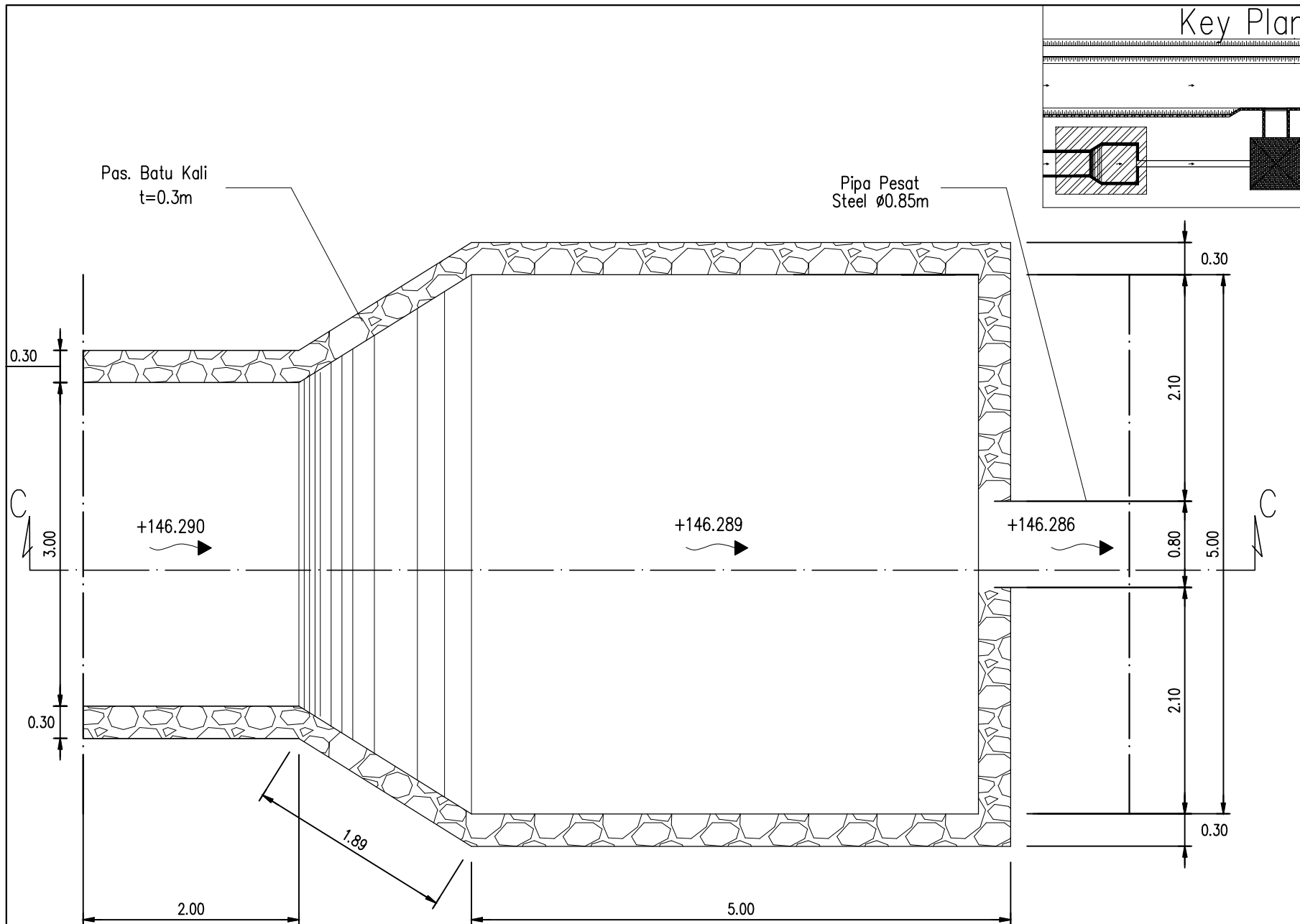
TITIS HARYANI 3113105038

JUDUL GAMBAR

POT. A-A	1:10
POT. B-B	1:10

CATATAN

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR



PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Dr.Ir.Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir.Abdullah Hidayat SA,MT

NAMA MAHASISWA

TITIS HARYANI 3113105038

JUDUL GAMBAR

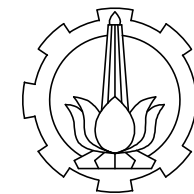
BAK PENENANG 1:100

CATATAN

NO. GAMBAR JML. GAMBAR

DENAH BAK PENENANG

SKALA 1:100



PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Dr.Ir.Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir.Abdullah Hidayat SA,MT

NAMA MAHASISWA

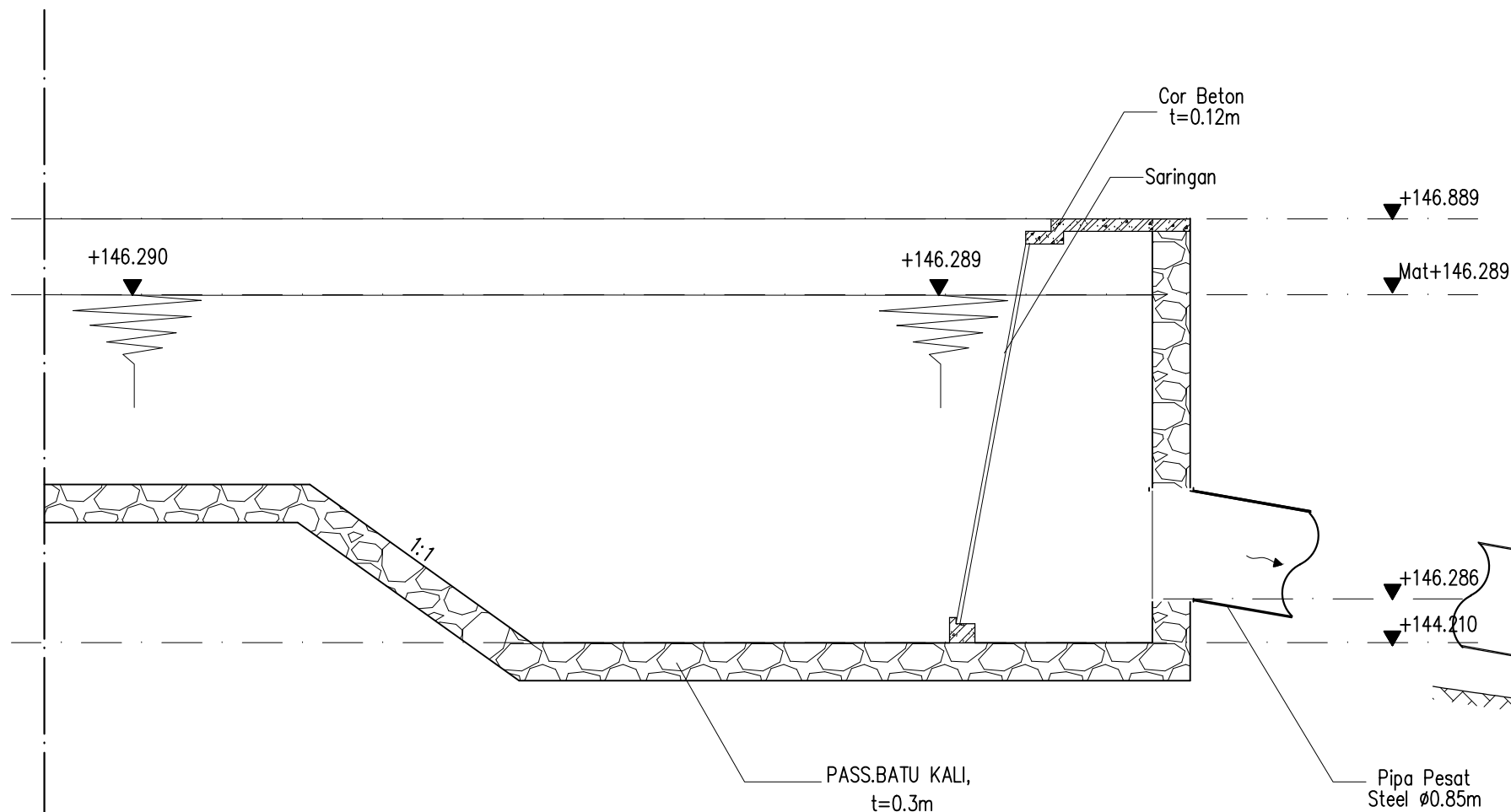
TITIS HARYANI 3113105038

JUDUL GAMBAR

POT. C-C 1:100

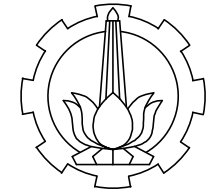
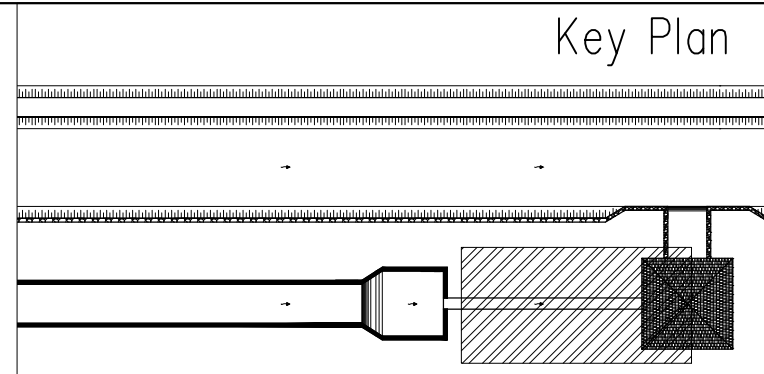
CATATAN

NO. GAMBAR JML. GAMBAR



POTONGAN C-C

SKALA 1:100



PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Dr.Ir.Wasis Wardoyo, M.Sc
Ir.Abdullah Hidayat SA,MT

NAMA MAHASISWA

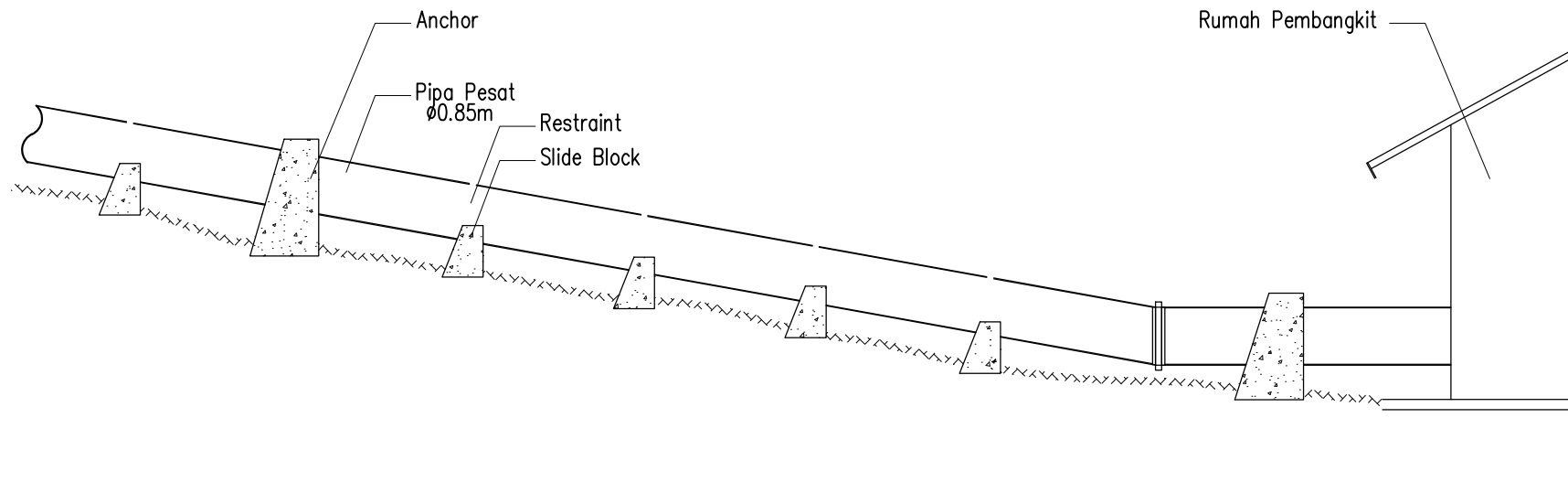
TTTIS HARYANI 3113105038

JUDUL GAMBAR

POT. PIPA PESAT 1:100

CATATAN

NO. GAMBAR JML. GAMBAR



POT.MEMANJANG PIPA PESAT
SKALA 1:100

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jepara, pada September 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyah Bustanul Atfal VII Boyolali, SD Negeri Surodadi Boyolali, SMP Negeri 1 Boyolali di Kelas Imersi, SMA Negeri 1 Klaten di Kelas Akselerasi, dan Program Diploma Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Setelah memperoleh gelar A.Md dari Universitas Gadjah Mada, penulis melanjutkan jenjang pendidikan S1 pada program Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Saat sekolah, penulis kerap mengikuti perlombaan dan memperoleh juara dalam bidang akademik dan non akademik seperti Olimpiade Sains Nasional bidang Biologi, lomba cerdas cermat, lomba MIPA, Jambore Pramuka dll. Saat kuliah, penulis aktif di organisasi kampus yaitu HMTS SV UGM, kepanitiaan beberapa *event* kampus, dan *volunteer* fotografi Kelas Inspirasi Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email: titisharyani@gmail.com