



TUGAS AKHIR - RC184803

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MINIHIDRO PADA BENDUNG GERAK
WARU TURI**

Nadira Fildzah Tasya Hutagalung
NRP. 03111640000147

Dosen Pembimbing 1:
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.

Dosen Pembimbing 2:
M. Bagus Ansori, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR - RC184803

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MINIHIDRO PADA BENDUNG GERAK
WARU TURI**

Nadira Fildzah Tasya Hutagalung
NRP. 03111640000147

Dosen Pembimbing 1:
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.

Dosen Pembimbing 2:
M. Bagus Ansori, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – RC 184803

**DESIGN OF MINIHYDRO POWER PLANT IN
WARU TURI BARRAGE**

Nadira Fildzah Tasya Hutagalung
NRP. 03111640000147

Principal Supervisor
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.

Associate Supervisor
M. Bagus Ansori, S.T., M.T

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO PADA BENDUNG GERAK WARU TURI TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NADIRA FILDZAH TASYA HUTAGALUNG

NRP. 03111640000147

Disetujui oleh Pembimbing

1. Dr. Ir. Wasis Wardono, S.T., M.T., M.Sc.

2. Mohamad Bagus, S.T., M.T., M.Sc.



**SURABAYA
JANUARI, 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO PADA BENDUNG GERAK WARU TURI

Nama Mahasiswa : Nadira Fildzah Tasya H.
NRP : 03111640000147
Departemen : Teknik Sipil FTSLK – ITS
Dosen Konsultasi : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus, ST., MT.

Abstrak

Sungai Brantas mempunyai potensi ketersediaan air yang cukup melimpah pada provinsi Jawa Timur. Bendung Gerak Waru Turi yang dilintasi oleh Sungai Brantas memiliki fungsi utama sebagai irigasi pesawahan, air baku, pengendali air dan pariwisata edukasi. Bendung tersebut mensuplai air irigasi pada Warujayeng menuju Ponorogo dengan debit inflow maksimal sebesar $18.36 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan Turi Tunggoro yang menuju Mojokerto memiliki debit inflow maksimal sebesar $18.90 \text{ m}^3/\text{detik}$. Pada saluran irigasi Waru dan Turi terdapat debit intake melimpah dan beda tinggi yang belum dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik untuk keperluan operasional bending tersebut. Sehingga dibutuhkan perencanaan pembangkit listrik yang baik untuk keperluan Bendung Gerak Waru Turi dan sekitar.

Untuk mencapai tujuan ini, langkah-langkah yang diambil adalah menghitung debit andalan Sungai Brantas dan debit andalan saluran irigasi untuk mendapatkan debit perencanaan PLTA. Perhitungan beda tinggi pada hulu bendung ke hilir dilakukan dan diolah untuk mencari perhitungan Analisa daya dan energi yang dihasilkan, sehingga dapat merencanakan komponen-komponen PLTA seperti intake, saluran pengarah, kolam tampung, pipa pesat dan rumah turbin.

Hasil dari tugas akhir ini adalah pembangkit listrik pada saluran irigasi Waru menghasilkan daya sebesar 1158.57 kW selama satu tahun dengan debit sebesar 10.67 m³/detik, sedangkan saluran irigasi Turi menghasilkan daya sebesar 1119.24 kW selama satu tahun dengan debit sebesar 10.44 m³/detik. Sehingga jenis pembangkit listrik dapat dikategorikan pembangkit listrik mini-hidro yang dapat mengurangi biaya tagihan listrik dengan memanfaatkan listrik yang ada sehingga dana dapat dialokasikan ke pengembangan lainnya.

Kata Kunci : Bendung Gerak Waru Turi, Debit Andalan, Listrik, PLTMH.

DESIGN OF MINIHYDRO POWER PLANT IN WARU TURI BARRAGE

Student Name : Nadira Fildzah Tasya H.
Student ID : 03111640000147
Departement : Teknik Sipil FTSLK – ITS
Supervisors : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus, ST., MT.

Abstract

The Brantas River has the potential for abundant water availability in the province of East Java. The Waru Turi weir which is crossed by the Brantas River has the main function as irrigation of rice fields, raw water, water control and educational tourism. The weir supplies irrigation water to Warujayeng to Ponorogo with a maximum inflow of 18.36 m³ / second and Turi Tunggoro to Mojokerto has a maximum inflow of 18.90 m³ / second. In the Waru and Turi irrigation channels there are abundant and high difference intake intakes which have not been utilized as power plants for the bending operational requirements. So we need a good power plant planning for the purposes of the Waru Turi Barrage and surrounding areas.

To achieve this goal, the steps taken are to calculate the main discharge of the Brantas River and the main discharge of the irrigation channel to get the hydropower planning discharge. Calculation of the difference in height upstream of the weir to the downstream is carried out and processed to find the calculation of the analysis of the power and energy produced, so that it can plan

hydropower components such as intakes, steering lines, reservoirs, rapid pipes and turbine houses.

The result of this final project is the power plant in the Waru irrigation channel produces power of 1158.57 kW for one year with a discharge of 10.67 m³ / second, while the Turi irrigation channel produces power of 1119.24 kW for one year with a discharge of 10.44 m³ / second. So that the types of power plants can be categorized as mini-hydro power plants which can reduce the cost of electricity bills by utilizing existing electricity so that funds can be allocated to other developments.

Keywords: Waru Turi Barrage, Dependable Flow, Electricity, Minihydro Power Plant.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap 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 MINI HIDRO DI BENDUNG GERAK WARU TURI”** ini disusun guna melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan 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. Keluarga yaitu ibu saya, Apriani Zaleha, ayah saya, Thodas Totod Tody H. serta adik-adik saya, Ananta Faturrahman P.H dan Gabena Chairunisa Ramadhina H. yang selalu mendukung dan mendoakan kelancaran perkuliahan di ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan membantu menyusun laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Mohammad Bagus, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan membantu menyusun laporan tugas akhir ini.
4. Teman-teman angkatan Teknik Sipil ITS khususnya S59 yang telah memberikan keceriaan, dukungan, motivasi dan semangat selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Sahabat-sahabat saya Bella Brittani, Kalief Kirbani, SKK - KEMBANG DESA, Hublu 2015, 2016 dan 2017 yang telah memberikan semangat, motivasi dan bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Penulis

Surabaya,
Januari 2020

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Lokasi	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH)	5
2.1.1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	5
2.1.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro	6
2.2 Analisa Debit	8
2.2.1 Analisa Debit Sungai	8
2.2.2 Analisa Debit Irigasi.....	9
2.3 Analisa Hidrolika	9

2.3.1 Perencanaan <i>Spillway (intake)</i>	10
2.3.1.1 Kolam Olak	11
2.3.2 Perencanaan Saluran Pengarah (<i>Headrace</i>)	12
2.3.3 Perencanaan <i>Trash rack</i>	13
2.3.4 Perencanaan Pipa Pesat.....	16
2.3.4.1 Diameter Pipa Pesat.....	16
2.3.4.2 Tebal pipa pesat.....	17
2.3.4.3 Jarak Maksimum <i>Support Block</i> Untuk Pipa Pesat	17
2.3.5 Perencanaan <i>Surge tank</i>	18
2.3.6 Perencanaan Kehilangan Energi.....	22
2.3.7 Perencanaan Jenis Turbin	30
2.3.8 Perhitungan Energi Listrik.....	31
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Umum.....	33
3.2 Garis Besar Pengerjaan.....	33
3.3 Pengumpulan Data	34
3.4 Analisa Data dan Perhitungan Debit Andalan.....	34
3.5 Perhitungan Tinggi Air Bruto	34
3.6 Analisa dan Perencanaan Hidrolika.....	34
3.7 Perencanaan Surge Tank.....	35
3.8 Perhitungan Kehilangan Energi	35
3.9 Pemilihan Turbin.....	35
3.10 Perhitungan Energi Listrik.....	35
3.11 Gambar Perencanaan	35

3.12 Kesimpulan dan Saran	35
3.13 Waktu dan Lokasi Penelitian	35
BAB IV PEMBAHASAN.....	39
4.1 Analisa Debit Andalan.....	39
4.1.1. Analisa Debit Sungai	39
4.1.2. Analisa Debit Irigasi	41
4.2 Analisa Elevasi.....	47
4.3 Analisa Pintu Kantong Lumpur	53
4.3.1 Analisa Tinggi Air pada Saluran Irigasi	54
4.4 Perencanaan Spillway.....	58
4.4.1 Perencanaan Pelimpah	83
4.4.2 Perencanaan Kolam Olak.....	92
4.4.3 Perencanaan Pintu pada Pelimpah.....	99
4.5 Perencanaan <i>Headrace</i>	123
4.6 Perencanaan <i>Trash rack</i>	127
4.6.1 Kehilangan energi akibat <i>trash rack</i>	127
4.7 Perencanaan Pipa Pesat	129
4.7.1 Perencanaan Diameter Pipa	131
4.7.2 Perencanaan Tebal Pipa	134
4.7.3 Menentukan Jarak Maksimal <i>Saddle Support</i>	137
4.8 Perencanaan <i>Surge Tank</i>	139
4.9 Perhitungan Kehilangan Energi dan Elevasi.....	140
4.10 Penentuan Alternatif untuk Pembangkit Listrik	151
4.11 Perencanaan Jenis Turbin	153

4.12 Perhitungan Daya dan Energi.....	154
BAB V KESIMPULAN.....	155
5.1 Kesimpulan.....	155
5.2 Saran.....	155
DAFTAR PUSTAKA.....	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Bendung Gerak Waru Turi.....	3
Gambar 2. 1 Bagian dari PLTMH.....	7
Gambar 2. 2 Tipe Pembangkit Listrik Tenaga Air	7
Gambar 2. 3 Gambar Pelimpah dan Kolam Olak	12
Gambar 2. 4 Ilustrasi Trash rack pada Saluran.....	15
Gambar 2. 5 Ilustrasi Tangki Peredam	22
Gambar 2. 6 Diagram Moody.....	24
Gambar 2. 7 Kondisi Aliran masuk dan Koefisien Kehilangan .	25
Gambar 2. 8 Kehilangan energi masuk dengan sudut Inlet Pipa	26
Gambar 2. 9 Aliran Masuk Koefisien Kehilangan untuk Penyempitan Penampang	26
Gambar 2. 10 Kondisi Aliran Keluar dan Koefisien Kehilangan	27
Gambar 2. 11 Aliran Masuk Koefisien Kehilangan untuk Penyempitan Penampang	28
Gambar 2. 12 Koefisien Kehilangan energi akibat Komponen Pipa	29
Gambar 2. 13 Koefisien Kehilangan energi akibat Sudut Belokan Pipa	30
Gambar 2. 14 Grafik Tinggi Jatuh Air dan Debit untuk menentukan Jenis Turbin.....	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	37
Gambar 4. 1 Duration Curve Sungai Brantas	31
Gambar 4. 2 Duration Curve Irigasi Waru	42
Gambar 4. 3 Duration Curve Irigasi Turi	43
Gambar 4. 4 Rating Curve Waru	48
Gambar 4. 5 Rating Curve Turi	49
Gambar 4. 6 Analisa Panjang sisi Irigasi Waru	51
Gambar 4. 7 Analisa Panjang sisi Irigasi Turi.....	52
Gambar 4. 8 Grafik Koefisien C1	82
Gambar 4. 9 Grafik Koefisien C2.....	82

Gambar 4. 10 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{100}	84
Gambar 4. 11 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{80}	86
Gambar 4. 12 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{50}	87
Gambar 4. 13 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{50}	89
Gambar 4. 14 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{20}	90
Gambar 4. 15 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{20}	92
Gambar 4. 16 Grafik Moody	141
Gambar 4. 17 Grafik Tinggi Jatuh Air dan Debit untuk menentukan Jenis Turbin.....	153

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Teknis Saringan.....	14
Tabel 2. 2 Tabel Kisaran Tinggi Jatuh Air Untuk Jenis Turbin .	31
Tabel 4. 1 Tabel Rekapian Debit Alternatif-alternatif	47
Tabel 4. 2 Tabel Perhitungan Rating Curve Waru.....	48
Tabel 4. 3 Tabel Perhitungan Rating Curve Turi.....	49
Tabel 4. 4 Tabel Rekapian Perhitungan Panjang Lahan	50
Tabel 4. 5 Rekapian Debit, Tinggi Air, Elevasi Alternatif-alternatif	57
Tabel 4. 6 Harga-Harga Koefisien Ka dan Kp	59
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{100}	83
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{80}	84
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{50}	86
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Turi Q_{50}	88
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{20}	89
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Turi Q_{20}	91
Tabel 4. 13 Rekapian Kecepatan menuju Headrace dan Kehilangan Energi.....	123
Tabel 4. 14 Rekapian perhitungan Tinggi Pipa penstock tiap Alternatif	130
Tabel 4. 15 Tinggi Pipa Penstock tiap Alternatif.....	130
Tabel 4. 16 Rekapian Data yang dibutuhkan untuk Menghitung Diameter Pipa Pesat tiap Alternatif.....	132
Tabel 4. 17 Rekapian Hasil Perhitungan Diameter Pipa Pesat tiap Alternatif	133
Tabel 4. 18 Rekapian hasil Perhitungan Jarak Saddle Support tiap Alternatif	138
Tabel 4. 19 Rekapian Perhitungan Kebutuhan Panjang Lahan Pembangkit Listrik Tiap Alternatif.....	152

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Brantas adalah sungai terpanjang kedua di Pulau Jawa yang bersumber di Sumber Brantas, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu dan mengalir melewati Malang, Blitar, Tulungagung, Kediri, Jombang dan Mojokerto. Sungai Brantas melewati Bendung Gerak Waru Turi, Kediri berfungsi sebagai pengontrol air sebelum menuju Surabaya dan Mojokerto, pengalir air irigasi ke Warujayeng dan Turi Tunggoro, air baku sekitar dan tempat pariwisata edukasi. Bendung Gerak Waru Turi memiliki lebar 159.8 m dan Panjang 74.5 m dengan debit *inflow* maksimal yang mengalir pada Bendung ini sebesar 436.17 m³/detik.

Pada Bendung Gerak Waru Turi terdapat beda tinggi sekitar 15.68 m sampai 16 m dan melimpahnya debit Sungai Brantas. Hal ini berpotensi sebagai pembangkit listrik tenaga air yang belum dimanfaatkan. Pembangkit listrik tenaga air memiliki klasifikasinya berdasarkan besar daya yang dihasilkan.

Perencanaan pembangkit listrik yang baik pada Bendung Gerak Waru Turi bertujuan untuk membantu kebutuhan operasional listrik, sehingga dapat mengembangkan fasilitas yang ada. Perencanaan meliputi pengambilan titik intake yang tidak mengganggu debit irigasi, Analisa dan perhitungan hidrolika, perhitungan kehilangan energi *major* dan *minor*, penentuan jenis turbin dan perhitungan daya dan energi yang dihasilkan. Perencanaan tersebut dilakukan guna menghasilkan daya yang cukup memadai untuk kebutuhan operasional listrik terutama di Bendung Gerak Waru Turi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, maka dirumuskan beberapa permasalahan yang terjadi anatra lain sebagai berikut :

- 1) Berapa debit andalan pada Sungai Brantas?
- 2) Berapa debit dan tinggi efektif yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik?
- 3) Apa jenis turbin yang digunakan sesuai dengan kebutuhan?
- 4) Bagaimana desain pembangkit listrik yang sesuai
- 5) Berapa daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini memiliki beberapa batasan masalah yang meliputi:

- 1) Tidak membahas tentang metode pelaksanaan.
- 2) Tidak memperhitungkan instalasi *Mechanical Electrical*.
- 3) Tidak menghitung stabilitas bangunan pembangkit dan pondasi rumah turbin.
- 4) Tidak melakukan perhitungan ekonomis.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan ini adalah untuk menjawab rumusan masalah yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, antara lain:

- 1) Memperoleh debit andalan Sungai Brantas.
- 2) Memperoleh debit dan tinggi efektif yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik.
- 3) Memperoleh jenis turbin yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal.
- 4) Memperoleh desain pembangkit listrik yang sesuai.
- 5) Memperoleh daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik.

1.5 Manfaat

Hasil dari penulisan penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan antara lain:

- 1) Pemanfaatan beda tinggi di Bendung Gerak Waru Turi sebagai titik pembangunan pembangkit listrik yang dapat dimanfaatkan energinya.
- 2) Pemanfaatan debit Sungai Brantas yang melewati Bendung Gerak Waru Turi sebagai energi pembangkit listrik tenaga air.
- 3) Hasil tugas akhir ini dapat menjadi acuan pembuatan pembangkit tenaga listrik yang ramah lingkungan khususnya pada Bendung Gerak Waru Turi.

1.6 Lokasi

Di bawah ini merupakan lokasi Bendung Gerak Waru Turi yang terletak di Kediri, Jawa Timur pada Gambar 1.1:



Gambar 1. 1 Lokasi Bendung Gerak Waru Turi

(Sumber : Google Earth)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui dengan memanfaatkan energi dari tinggi jatuh air atau air dengan aliran air sebagai penggerakannya. Energi yang dihasilkan digunakan sebagai penggerak turbin sehingga dapat menghasilkan daya listrik.

2.1.1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

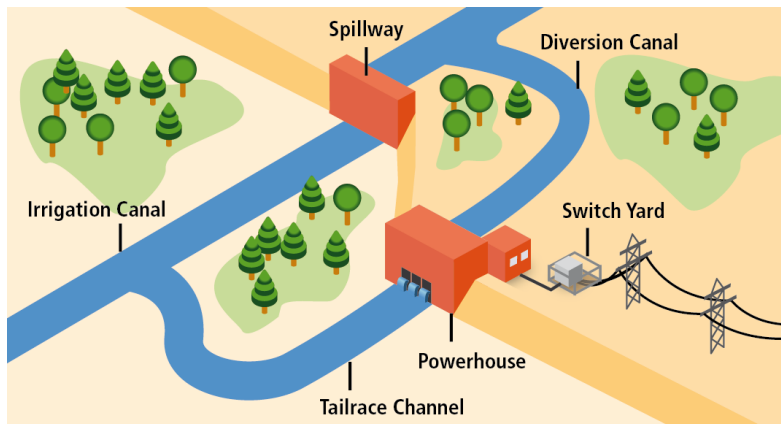
Pembangkit tenaga listrik tenaga air dibedakan menjadi beberapa jenis, berdasarkan faktor (O. F. Patty, 1995:34)

- a) Berdasarkan Aspek Teknis
Pembangkit Listrik Tenaga Air dilihat dari aspek Teknis dapat dibagi atas:
 - PLTA yang menggunakan air sungai atau air waduk;
 - PLTA yang menggunakan air yang telah dipompa ke suatu reservoir yang letaknya lebih tinggi;
 - PLTA yang menggunakan pasang surut air laut dan;
 - PLTA yang menggunakan energi ombak.
- b) Berdasarkan Aspek Kapasitas
Pembangkit Listrik Tenaga Air dilihat dari kapasitas dapat dibagi atas:
 - PLTA mikro yaitu dengan daya yang dihasilkan hingga 99 KW;
 - PLTA kapasitas rendah dengan daya yang dihasilkan 100 hingga 999 kW;
 - PLTA kapasitas sedang dengan daya yang dihasilkan 1.000 hingga 9999 kW dan;

- c) PLTA kapasitas tinggi dengan daya yang dihasilkan 10.000 kW ke atas.
- d) Berdasarkan Aspek Tinggi Jatuh air
Pembangkit Listrik Tenaga Air ditinjau dari tinggi jatuh air dapat dibagi atas:
 - PLTA dengan tekanan rendah dengan $H < 15$ meter;
 - PLTA dengan tekanan sedang dengan $H = 15$ sampai dengan 50 meter; dan
 - PLTA dengan tekanan tinggi dengan $H > 50$ meter.
- e) Berdasarkan Aspek Topografi
Pembangkit ini adalah menurut letak Pembangkit Listrik Tenaga Air yang bersangkutan yaitu:
 - Daerah Lembah;
 - Daerah Berbukit-bukit; dan
 - Daerah Gunung

2.1.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil menghasilkan daya 0.1 - < 1 MW yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya (*head*, dalam meter) dan jumlah debit airnya ($m^3/detik$). Umumnya PLTMH yang dibangun jenis *run off river* dimana head diperoleh tidak dengan membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke satu sisi dari sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan menggunakan pipa, air dialirkan ke *power house* (rumah pembangkit) yang biasanya dibangun di pinggir sungai. Melalui nosel air akan menyemprot keluar memutar roda turbin, kemudian air tersebut dikembalikan ke sungai asalnya. Energi mekanik putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. (*Sumber: Manual Pembangunan PLTMH, JICA*)



Gambar 2. 1 Bagian dari PLTMH

(Sumber : Hydropower, IPCC)

Power Generation Capacity (Watts)	Type of Hydro Power Plant
<100 kW	Micro
100-1000 kW	Mini
1MW-10 MW	Small
10MW-300 MW	Medium
>300 MW	Large

Gambar 2. 2 Tipe Pembangkit Listrik Tenaga Air

(Sumber : Bhattari,2005)

2.2 Analisa Debit

Dalam merencanakan pembangkit listrik tenaga air dibutuhkan debit rencana *inflow* yang didapatkan dari debit andalan Sungai Brantas yang berlebih tanpa mengurangi debit andalan saluran irigasi Waru dan Turi. Untuk mengetahui debit andalan tersebut dibutuhkan data kebutuhan irigasi untuk diolah menjadi grafik *duration curve* dan diambil debit andalan sebesar 80% - 90% (C. D. Soemarto, 1986 : 124) sebagai debit rencana untuk pembangkit listrik. Dalam pengerjaan tugas akhir ini digunakan 50% dari debit andalan sungai dikurangi dengan debit andalan irigasi.

2.2.1 Analisa Debit Sungai

Debit Sungai Brantas yang digunakan pada titik Bendung Gerak Waru Turi, Kediri. Dari data debit bulanan selama 10 tahun akan dihitung debit andalannya lalu diambil debit andalan sungai sebesar 100%. Dalam mencari debit andalan sungai menggunakan cara probabilitas *Weibull* dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah data (n).
2. Mengurutkan data dari data terbesar hingga data terkecil.
3. Memberikan nomor urut pada data yang sudah diurutkan.
4. Menghitung probabilitas *Weibull* dengan rumus:

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

5. Membuat grafik *duration curve* dari perbandingan data debit dan probabilitasnya.

6. Mencari debit andalan dari *duration curve* yang telah dibuat sebesar 100%

2.2.2 Analisa Debit Irigasi

Debit irigasi yang digunakan adalah debit irigasi Warujayeng dan Turi Tunggorono menggunakan data debit bulanan selama 10 tahun akan dihitung debit andalannya lalu diambil debit andalan irigasi sebesar 80%. Dalam mencari debit andalan sungai menggunakan cara probabilitas *Weibull* dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah data (n).
2. Mengurutkan data dari data terbesar hingga data terkecil.
3. Memberikan nomor urut pada data yang sudah diurutkan.
4. Menghitung probabilitas *Weibull* dengan rumus:

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

5. Membuat grafik *duration curve* dari perbandingan data debit dan probabilitasnya.
6. Mencari debit andalan dari *duration curve* yang telah dibuat sebesar 80%

2.3 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dalam perencanaan PLTMH ini meliputi perhitungan-perhitungan komponen PLTMH meliputi:

1. Perencanaan *spillway* sebagai titik pengambilan (*intake*).
2. Perencanaan Saluran Pengarah (*Headrace*)
3. Perencanaan *Trash rack*
4. Perencanaan Pipa pesat
5. Perencanaan *Surge tank*
6. Perencanaan Kehilangan Energi
7. Perencanaan Jenis Turbin
8. Perhitungan Energi Listrik

2.3.1 Perencanaan *Spillway (intake)*

Spillway yang berfungsi sebagai tempat masuknya debit rencana ke dalam pipa pesat yang akan dialirkan ke turbin untuk menghasilkan energi dari perubahan energi potensial ke energi kinetik menjadi listrik. Dalam tugas akhir ini digunakan *spillway* berbentuk Ogee yang berposisi sebelum kantong lumpur saluran irigasi. Pada bangunan *spillway* akan dipasang pintu yang akan digunakan ketika kondisi *emergency*.

$$Q = Cd \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times b \times H1^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

Q = Debit (m³/detik)

Cd = Koefisien Debit (Co x C1 x C2)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

b = Panjang mercu (m)

H1 = Tinggi energi diatas mercu (m)

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka)H1 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

B_{eff} = Lebar efektif pelimpah

B = Lebar mercu

- n = Jumlah pilar
- Kp = Koefisien kontraksi pilar (bundar = 0.01)
- Ka = Koefisien kotraksi tumpuan (bundar = 0.10)
- H1 = Tinggi air dan kehilangan energi

$$X = (2 x hd^{0.85} x Y)^{\frac{1}{1.85}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

- X = Jarak horizontal mercu (m)
- Hd= Tinggi air diatas mercu (m)
- Y = Tinggi vertical mercu (m)

2.3.1.1 Kolam Olak

Tipe kolam olak direncanakan setelah bangunan spillway tergantung energi yang masuk yang dinyatakan dengan bilangan-bilangan *Froude* dan pada bahan konstruksi kolam olak. Dalam perhitungan kolam olak, diperlukan nilai *Froude* (Fr)

$$v1 = \sqrt{2g(\frac{1}{2}H1 + Z)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

- V1 = kecepatan awal loncatan (m/detik)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- H1 = Tinggi energi diatas mercu (m)
- Z = Tinggi jatuh (m)

$$\frac{y2}{yu} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \dots \dots \dots (2.7)$$

$$Fr = \frac{v1}{\sqrt{g * yu}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

y_2 = Kedalaman air diatas ambang ujung (m)

y_u = Kedalaman air awal loncatan air (m)

Fr = Nilai *Froude*

V_1 = Kecepatan awal loncatan (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$L_j = 5 * (n + y_2) \dots \dots \dots (2.9)$$

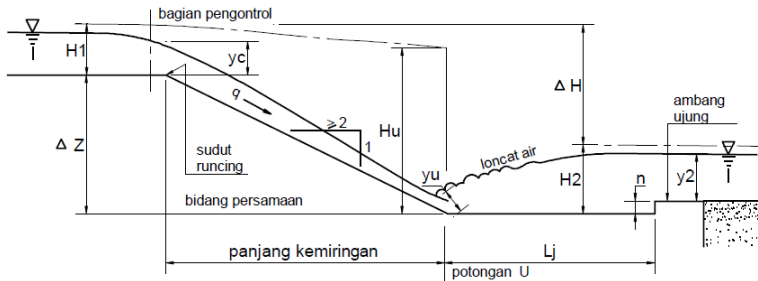
Dimana:

L_j = Panjang kolam (m)

n = Tinggi ambang ujung (m)

y_2 = Kedalaman air diatas ambang ujung (m)

(Sumber : KP-02)



Gambar 2. 3 Gambar Pelimpah dan Kolam Olak

(Sumber: KP-02)

2.3.2 Perencanaan Saluran Pengarah (*Headrace*)

Saluran pengarah adalah saluran yang digunakan untuk mengalirkan air dari intake menuju pipa penstock. Saluran direncanakan saluran terbuka dengan bentuk trapezium. Dalam perencanaannya digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = A * V \dots \dots \dots (2.10)$$

$$A = b * y \dots \dots \dots (2.11)$$

$$P = b + 2y \dots \dots \dots (2.12)$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

Q = Debit (m³/detik)

A = Luas penampang saluran (m²)

V = Kecepatan aliran di saluran (m/s)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi air (m)

m = Kemiringan penampang saluran

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan dasar saluran rencana

P = Keliling basah saluran (m)

2.3.3 Perencanaan *Trash rack*

Trash rack atau saringan sampah adalah peralatan yang berfungsi mencegah sampah masuk ke pipa/saluran, yang dapat dioperasikan secara mekanik atau manual. Menurut jenisnya terdapat dua jenis, yaitu tipe saringan permanen dan tipe saringan tidak permanen, dapat diangkat

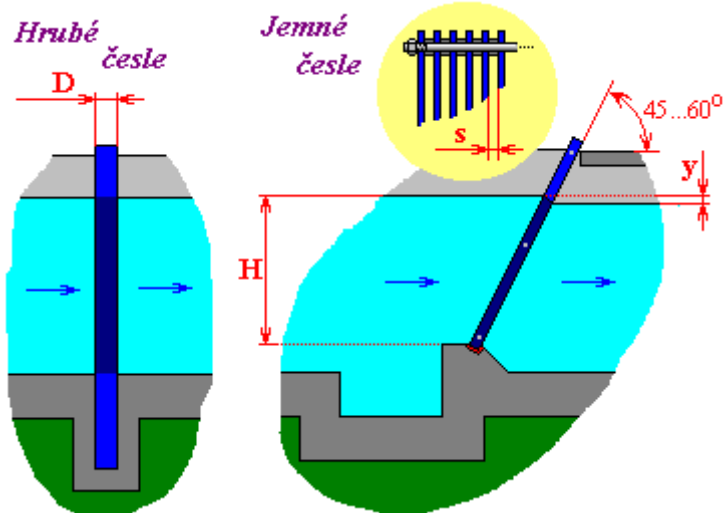
Tabel 2. 1 Persyaratan Teknis Saringan
(Sumber : Tata Cara Pelaksanaan Operasi dan
Pemeliharaan Sistem Pompa PU)

Faktor Desain	Pembersihan Cara Manual	Pembersihan Secara Mekanik
Kecepatan aliran lewat celah (m.dt)	0,3 – 0,6	0,6 – 1,0
<u>Ukuran penampang batang</u>		
Lebar (mm)	4 – 8	8 – 10
Tebal (mm)	25 – 50	50 – 75
Jarak bersih dua batang (mm)	25 – 75	10 – 50
Kemiringan terhadap horizontal (derajat)	45 – 60	75 – 85

Dalam pemasangan *trash rack*, terdapat syarat-syarat antara lain:

1. *Trash rack* tidak boleh terbuat dari bambu atau kayu. *Trash rack* harus dibuat dengan menggunakan besi pejal dengan diameter minimal 4 mm atau besi plat dengan ketebalan minimum 3 mm. Pengelasan harus kuat dan rapi. Pengelasan menggunakan las listrik.
2. *Trash rack* harus dilindungi dari korosi dengan menggunakan pengecatan. Pengecatan dilakukan dengan cat dasar besi kemudian dicat anti karat minimal dua kali pengecatan.
3. *Trash rack* untuk intake dan saluran pembawa memiliki minimal celah 5 cm atau lebih.
4. *Trash rack* untuk inlet penstock harus memiliki celah yang lebih kecil dari *trash rack* di intake.
5. *Trash rack* harus mampu menahan tekanan air karena adanya penyumbatan pada kondisi penuh.
6. Kemiringan *trash rack* paling tidak adalah 65° – 75° derajat dari dataran sehingga memudahkan untuk pembersihan.

7. *Trash rack* harus bias dilepas dari struktur sipil untuk akses perbaikan dan pembersihan.



Gambar 2. 4 Ilustrasi *Trash rack* pada Saluran

(Sumber: Google.co.id)

Kehilangan energi pada *trash rack* dapat terjadi, sehingga untuk menghitungnya menggunakan rumus:

$$hf = \beta * \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

- hf = Kehilangan energi akibat *trash rack* (m)
- β = faktor bentuk
- s = tebal jeruji (m)
- b = jarak antar jeruji (m)
- θ = sudut kemiringan *trash rack*
- v = kecepatan aliran (m/detik)

2.3.4 Perencanaan Pipa Pesat

Debit rencana masuk dari pintu intake, mengalir melalui pipa pesat menuju rumah pembangkit untuk menggerakkan turbin. Pipa pesat dapat dibangun pada atas tanah atau dibawah tanah tergantung kondisi lapangan. Perencanaan pipa pesat menggunakan rumus berikut:

2.3.4.1 Diameter Pipa Pesat

Untuk menghitung diameter pipa pesat menggunakan macam rumus dan digunakan nilai yang terkecil.

1. Warnick (1984)

$$Dp = 0.75 * Q^{0.5} \dots \dots \dots (2.16)$$

2. USBR (1989)

$$Dp = \frac{1.517 * Q^{0.5}}{Hp^{0.65}} \dots \dots \dots (2.17)$$

3. Fahlbusch

$$Dp = \frac{1.12 * Q^{0.45}}{Hp^{0.12}} \dots \dots \dots (2.18)$$

4. ESHA

$$Dp = 2.69 * \frac{n^2 * Q^2 * L}{Hp^{0.1875}} \dots \dots \dots (2.19)$$

5. Sarkaria (1979)

$$Dp = 3.55 * \left(\frac{Q^2}{2gHp} \right)^{0.25} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana:

Q = Debit yang masuk kedalam pipa ($m^3/detik$)

Hp= Tinggi penstock (m)

n = Koefisien manning pipa

Lp = Panjang pipa (m)

2.3.4.2 Tebal pipa pesat

Untuk menghitung tebal pipa pesat menggunakan macam rumus dan digunakan nilai yang terbesar.

$$tp = \frac{Pa * Dp}{2 * \sigma s * g * \eta} + 0,007 \dots \dots \dots (2.21)$$

$$tp = Dp * \sqrt[3]{\frac{nPo}{2E}} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana:

Pa = Daya yang dihasilkan pipa pesat

Dp= Diameter pipa (m)

n = Koefisien manning pipa

Po = Tekanan air dalam pipa pesat (Mpa)

σs = Tegangan ijin besi (kg/cm^2)

E = Modulus elastisitas (Mpa)

2.3.4.3 Jarak Maksimum *Support Block* Untuk Pipa Pesat

Dalam perencanaan pipa pesat dibutuhkan tumpuan untuk pipa dengan jarak maksimum sebagai berikut:

$$Lmaks = 182.61 * \left(\frac{(Dp + 0.0147)^4 - Dp^4}{Wt} \right)^{0.333} \dots \dots (2.23)$$

$$Wp = \frac{1}{4} * \pi * (Dp^2 - Di^2) * \gamma s \dots \dots \dots (2.24)$$

$$W_w = \frac{1}{4} * \pi * D_i^2 * \gamma_w \dots \dots \dots (2.25)$$

$$W_t = W_p + W_w \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana:

W_t = Berat total penstock (berat pipa+air, kg)

W_w = Berat air (kg)

W_p = Berat pipa (kg)

D_p = Diameter pipa (m)

2.3.5 Perencanaan *Surge tank*

Pada suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air dapat memungkinkan terjadi bahaya seperti water hammer akibat penutupan katup secara cepat. Water hammer ini dapat menimbulkan peningkatan tekanan pada saluran pipa sehingga dapat menyebabkan pecahnya pipa apabila tekanan yang terjadi melebihi kekuatan maksimum dari pipa tersebut terutama untuk saluran yang relative Panjang dibagi dengan tinggi terjun yang ada. Untuk itulah perlu dipasang Sugre tank yang berfungsi utama untuk mengurangi water hammer akibat perubahan beban, menampung air saat beban mendadak turun, mensuplai air pada sata pembebanan mendadak dan lain-lain. Menurut O.F Patty, 1995 Surge Tank memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Menghilangkan atau mengurangi tambahan tekanan pada pipa pesat akibat penutupan turbin secara tiba-tiba sehingga menimbulkan tekanan pukulan air. Gelombang yang timbul dapat keluar ke dalam tangka pendatar dan tidak mengakibatkan tambahan tekanan pada pipa pesat.
2. Menyediakan tampungan (*reservoir*) dengan permukaan bebas pada saat penutupan turbin
3. Untuk mensuplai tambahan air bila ada penambahan beban. Air dapat dipenuhi dengan mengambilnya dari tangka pendatar dan dengan demikian timbulnya

kehampaan dalam pipa pesat yang mengakibatkan kerusakan pipa oleh tekanan udara dapat dihindarkan.

4. Fungsi hidraulik:

- Tangki pendatar silinder
- Tangki pendatar diferensial
- Tangki pendatar lobang terbatas
- Tangki pendatar dengan ruangan

Tangki pendatar sederhana berbentuk silinder biasa, mempunyai diameter yang besar, serta mempunyai daya hisap pukulan air yang baik. Bentuk ini jarang dipakai karena membutuhkan kapasitas yang relative besar dan tidak ekonomis.

Tangki pendatar diferensial mempunyai pipa yang berbentuk silinder, dengan luas penampang 70%-100% dari penampang pipa pesat, yang dinamakan pembangkit (*riser*) dan dipasang dalam tangki air. Pembangkit ini dihubungkan langsung dengan pipa pesat. Badan tangka air dan pipa pesat dibuat sedemikian sehingga keduanya terhubung melalui sebuah pintu (lubang kecil). Permukaan air dalam pembangkit akan naik turun dengan cepat sesuai dengan perubahan beban dari air sehingga kecepatan aliran dalam pipa pesat dapat diatur. Bentuk ini umumnya dipakai karena luas penampangnya kecil dan mempunyai daya serap gelombang yang besar.

Tangki pendatar dengan lubang terbatas mempunyai lubang diantara dasar tangka pendatar sederhana dan pipa pesatnya. Bentuknya seperti tangka pendatar diferensial yang pembangkitnya dihilangkan. Kapasitas tangka air sama kecilnya seperti pada jenis diferensial, tetapi disini banyak kekurangannya, yaitu tekanan pukulan air menjadi besar dan daya serap tidak begitu baik.

Tangki pendatar dengan ruangan adalah semacam tangka pendatar sederhana, tetapi ditambah dengan ruang-ruang air di bagian atas dan bawah. Tangki yang berbentuk silinder penampangnya relative keil dan bertugas seperti pembangkit. Ruangan bagian atas gunanya untuk menghisap air yang berkurang. Bentuk ini dipergunakan apabila surut muka air yang besar, sedangkan pipa pesat besar sekali. Untuk keadaan geologis tertentu bentuk ini ekonomis.

Berdasarkan *Alternate Hydro Centrer*, sebuah pusat akademik milik *Indian Institute of Technology*, kebutuhan perencanaan tangka peredam ditinjau antara lain (AHEC, 2008:48):

$$t = \frac{v * L}{g * H} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana:

- v = Kecepatan aliran dari pipa (m/detik)
- L = Panjang pipa pesat (m)
- H = Tinggi energi efektif (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)

$$\frac{L}{H} > 5 \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana:

- L = Panjang pipa pesat (m)
- H = Tinggi bruto (m)

Jika didapatkan nilai $L > 5H_{bruto}$ dan/atau waktu dibutuhkan air menjadi tenang lebih kecil dari 3 detik, waktu yang dibutuhkan air menjadi tenang lebih dari 6 detik maka akan dibutuhkan perencanaan Tangki peredam, menggunakan rumus:

$$A_{st} = \frac{A_p * L_p}{2gcHg} \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana:

A_{st} = Luas penampang minimum Tangki peredam (m^2)

A_p = Luas penampang pipa pesat (m^2)

L_p = Panjang pipa pesat (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

c = Nilai koefisien Thoma

H_g = Tinggi bruto (m)

$$D_{st} = \sqrt{\frac{A_{st}}{0.25 * \pi}} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dimana:

D_{st} = Diameter tangka peredam (m)

A_{st} = Luas penampang minimum Tangki peredam (m^2)

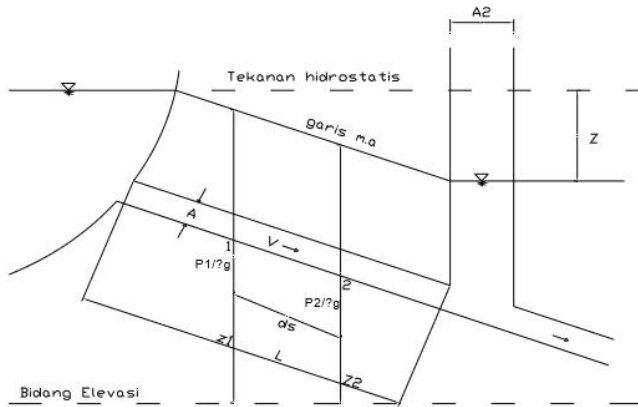
$$Z_m = v * \sqrt{\frac{L * A_p}{g * A_{st}}} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

Z_m = Ketinggian air maksimum (m)

A_{st} = Luas penampang minimum Tangki peredam (m^2)

A_p = Luas penampang pipa pesat (m^2)



Gambar 2. 5 Ilustrsi Tangki Peredam

(Sumber: Patty, 2015: 85)

2.3.6 Perencanaan Kehilangan Energi

Kehilangan energi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu kehilangan energi *major* dan energi *minor*. Kehilangan energi major diakibatkan oleh gesekan antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang di dalam pipa digunakan rumus Darcy sebagai berikut:

$$hf = f * \frac{L * v^2}{D * 2 * g} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana:

Hf = *Head loss major* (m)

f = Koefisien gesekan

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

v = Kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Untuk aliran laminar dan turbulen terdapat rumus yang berbeda. Sebagai patokan apakah aliran termasuk lamiran atau turbulen menggunakan bilangan Reynolds

$$Re = \frac{vD}{\nu} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynolds

v = Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/detik)

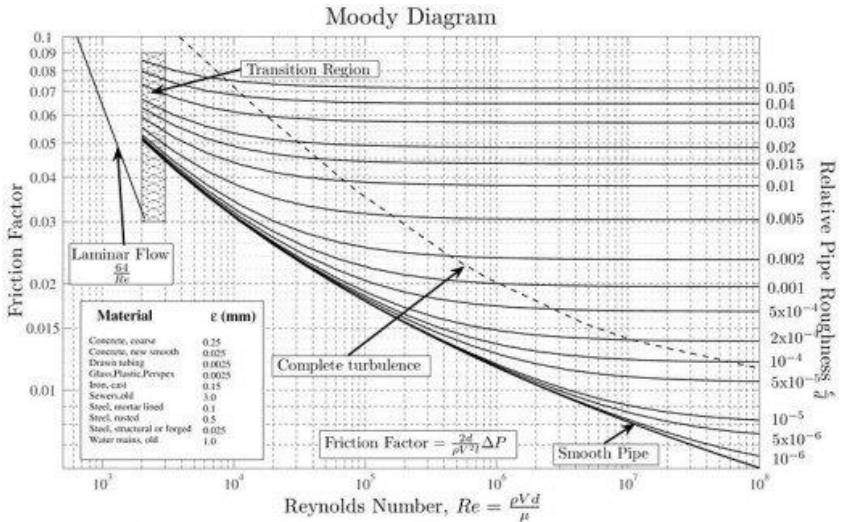
D = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas kinematic cairan (m²/detik)

Pengelompokan nilai Reynolds dapat didapatkan sebagai berikut:

- Re < 2300, aliran bersifat laminar
- 2300 < Re < 4000, aliran bersifat transisi
- Re > 4000, aliran bersifat turbulen

Untuk mengetahui nilai f haru diketahui angka kekasaran pipa (ϵ) dan diameter pipa (Dp). Dengan menggunakan Diagram Moody dapat ditemukan nilai f dari angka Reynolds dan kekasarannya.



Gambar 2. 6 Diagram Moody
(Sumber: *berbagienergi.com*)

Kehilangan minor terjadi ketika adanya perubahan ukuran penampang aliran fluida. Perhitungan kehilangan energi *minor* sebagai berikut:

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana:

hL = Kehilangan minor

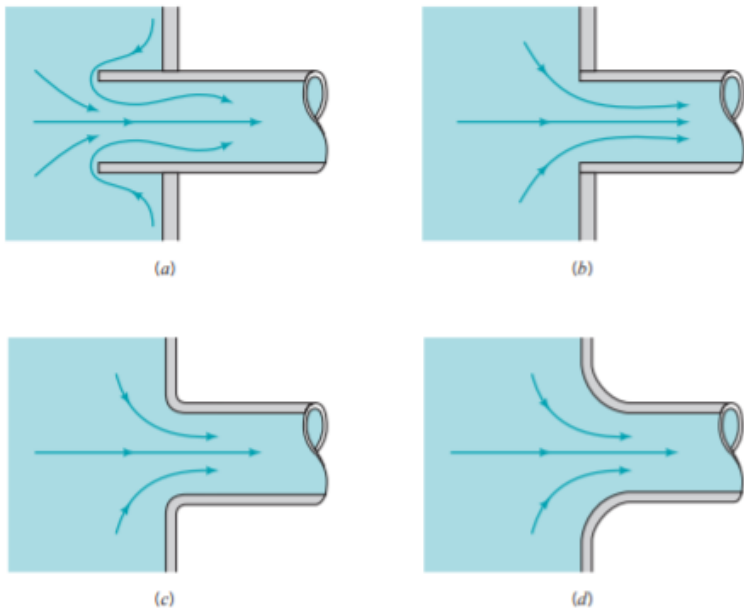
kL = Koefisien kehilangan minor

v = Kecepatan aliran (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

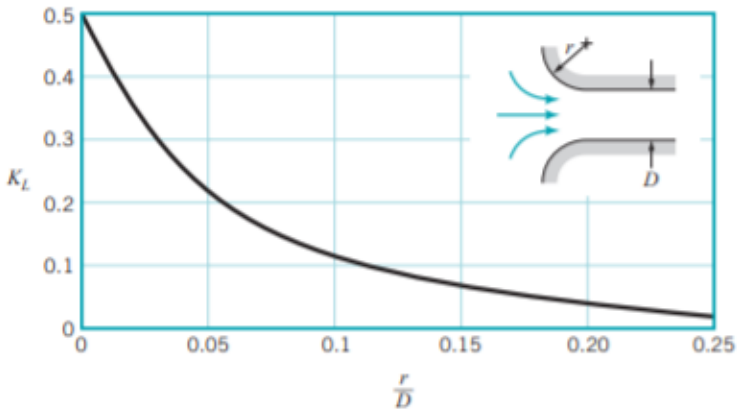
Koefisien ketika aliran masuk kedalam pipa sebagai berikut:

- a) *Reentrant* = 0.8
- b) *Sharp-edged* = 0.5
- c) *Slightly rounded* = 0.2
- d) *Well-rounded* = 0.04



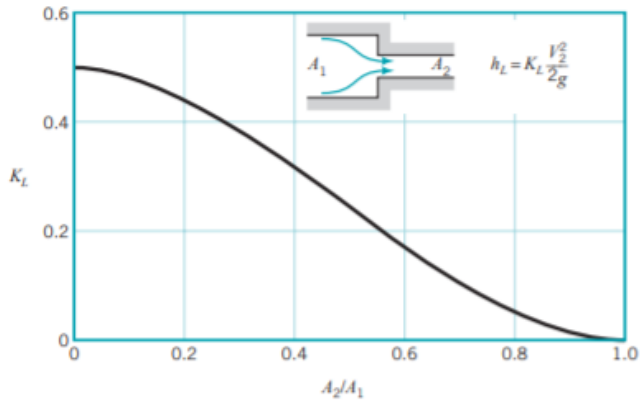
Gambar 2. 7 Kondisi Aliran masuk dan Koefisien Kehilangan

(Sumber: Munson dan Okiishi, 2012: 417)



Gambar 2. 8 Kehilangan energi masuk dengan sudut Inlet Pipa

(Sumber: Munson dan Okiishi, 2012: 418)

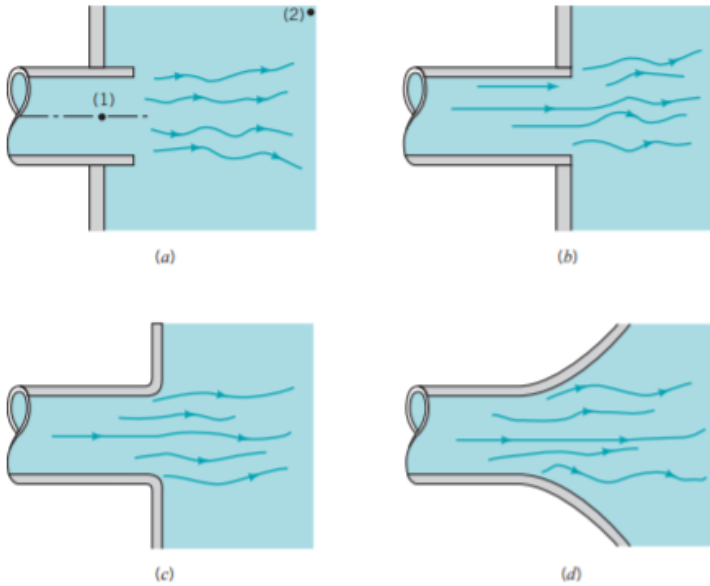


Gambar 2. 9 Aliran Masuk Koefisien Kehilangan untuk Penyempitan Penampang

(Sumber: Munson dan Okiishi, 2012: 419)

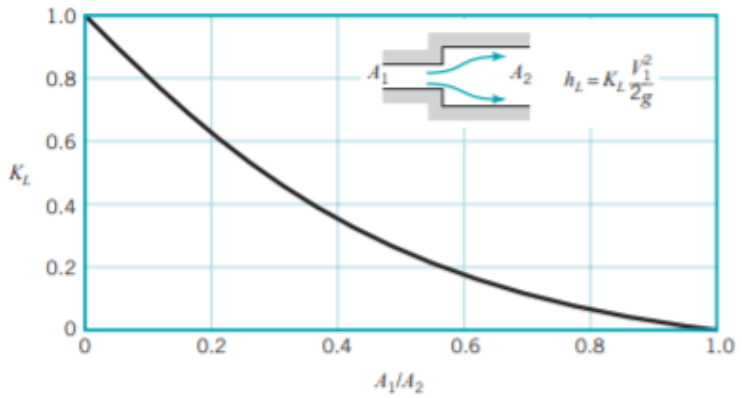
Koefisien ketika aliran keluar pipa sebagai berikut:

- a) *Reentrant* = 1.0
- b) *Sharp-edged* = 1.0
- c) *Slightly rounded* = 1.0
- d) *Well-rounded* = 1.0










Gambar 2. 10 Kondisi Aliran Keluar dan Koefisien Kehilangan

(Sumber: Munson dan Okiishi, 2012: 419)



Gambar 2. 11 Aliran Masuk Koefisien Kehilangan untuk Penyempitan Penampang

(Sumber: Munson dan Okiishi, 2012: 419)

Component	K_L	
a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded		
	0.08	
e. Valves		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, 1/4 closed	0.26	
Gate, 1/2 closed	2.1	
Gate, 3/4 closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, 1/4 closed	5.5	
Ball valve, 3/4 closed	210	

Gambar 2. 12 Koefisien Kehilangan energi akibat Komponen Pipa

(Sumber: Munson dan Okiishi, 2012: 422)

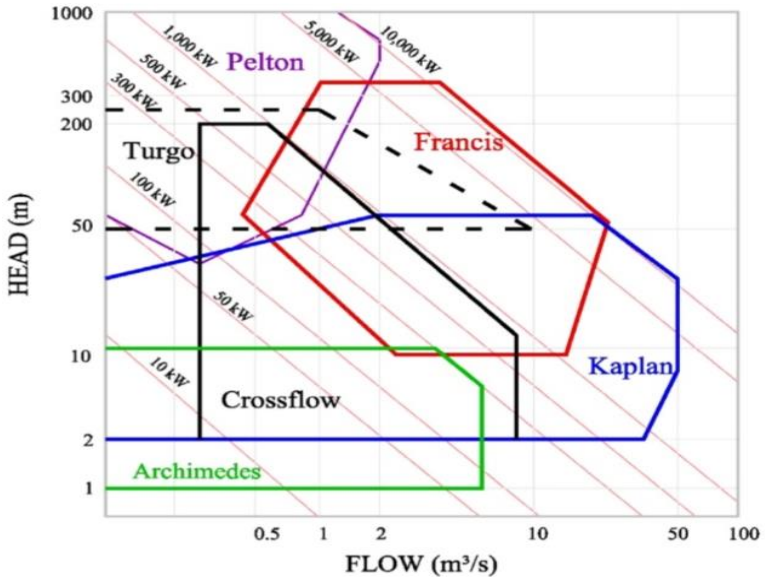
α	20°	40°	60°	80°	90°
Kb	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Gambar 2. 13 Koefisien Kehilangan energi akibat Sudut Belokan Pipa

(Sumber: Hidrolika II, Bambang Triatmodjo)

2.3.7 Perencanaan Jenis Turbin

Dalam merencanakan jenis turbin ditentukan berdasarkan beda tinggi yang dimiliki dan debit yang mengalir. Dalam penentuannya dibantu dengan grafik penentu



Gambar 2. 14 Grafik Tinggi Jatuh Air dan Debit untuk menentukan Jenis Turbin

(Sumber: Elbatran dan Yaakob, 2015:5)

Tabel 2. 2 Tabel Kisaran Tinggi Jatuh Air Untuk Jenis Turbin

(Sumber: ESHA, 2004:175)

Turbine type	Head range in metres
Kaplan and Propeller	$2 < H_n < 40$
Francis	$25 < H_n < 350$
Pelton	$50 < H_n < 1'300$
Crossflow	$5 < H_n < 200$
Turgo	$50 < H_n < 250$

2.3.8 Perhitungan Energi Listrik

Dari perencanaan pembangkit listrik yang direncanakan, dapat dihitung daya dan energi listrik yang dihasilkan secara mekanikal oleh turbin dengan menggunakan rumus:

$$P = \eta * \rho * g * Heff * Q \dots \dots \dots (2.35)$$

$$E = P * t = \eta * \rho * g * Heff * Q * t \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana:

- P = Daya yang dihasilkan (kW)
- E = Energi yang dihasilkan (kWh)
- η = Efisiensi (%)
- ρ = massa jenis air (kg/m^3)
- g = Percepatan gravitasi (m/detik^2)
- Heff = Tinggi efektif (m)
- Q = Debit aliran (m^3/detik)
- t = Waktu (jam)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Secara umum, tujuan dibuatnya metodologi penelitian adalah untuk menguraikan bagaimana tata cara Analisa dan Perencanaan ini dilakukan. Tujuan dari adanya metodologi ini adalah untuk mempermudah pelaksanaan dalam melakukan pekerjaan guna memperoleh pemecahan masalah dengan maksud dan tujuan yang telah ditetapkan. Metodologi yang dilakukan pun mengacu kepada literatur-literatur yang dibutuhkan dalam penelitian ini untuk mencegah terjadinya penyimpangan tujuan dilakukan penelitian.

Bagan Alir atau dalam Bahasa Inggris sering disebut dengan *Flowchart* ini umum digunakan dalam penelitian untuk menggambarkan langkah pekerjaan sehingga mudah dipahami berdasarkan urutan langkah, dari suatu proses menuju proses lainnya. Bagan alir ini diharapkan hasil penelitian ini sesuai dengan standar pengerjaannya dan tidak menyimpang dari tujuan awal dari penelitian ini.

3.2 Garis Besar Pengerjaan

Secara garis besar, metodologi yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah:

- 1) Tahap Survey lokasi, Studi Literatur dan Pengumpulan Data
- 2) Tahap perhitungan debit andalan Sungai Brantas
- 3) Tahap Perhitungan kebutuhan irigasi,
- 4) Tahap analisa dan perhitungan debit andalan irigasi Waru Turi
- 5) Tahap analisa pengoperasian pintu dan pengairan Bendung Waru Turi

- 6) Tahap analisa dan perhitungan tinggi energi bruto
- 7) Perencanaan penstock
- 8) Perencanaan pintu intake
- 9) Tahap perencanaan surgetank
- 10) Tahap analisa dan perencanaan kehilangan energy
- 11) Pemilihan jenis turbin
- 12) Analisa dan perhitungan daya yang dihasilkan
- 13) Gambar perencanaan
- 14) Kesimpulan dan Saran

3.3 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini diperlukan secara umum dibutuhkan dua data, yaitu Data Debit Andalan Sungai Brantas dan Topografi daerah terkait serta Layout Bendung Waru Turi. Data tersebut didapatkan melalui instansi terkait yaitu Perusahaan Umum Jasa Tirta 1, Jawa Timur.

3.4 Analisa Data dan Perhitungan Debit Andalan

Lokasi perencanaan PLTA ini berada pada Saluran irigasi Bendung Waru Turi. Data yang akan diolah didapatkan dari Laporan Perencanaan Bendung yang dibuat oleh PT Jasa Tirta I, Malang.

3.5 Perhitungan Tinggi Air Bruto

Selisih beda tinggi antara permukaan sumber air dengan ketinggian perencanaan turbin menjadi penentu tinggi sebagai energi untuk menggerakkan turbin.

3.6 Analisa dan Perencanaan Hidrolika

Pada tahap ini, Direncanakan Penstock dan Pintu Intake yang termasuk dalam tahap perencanaan Hidrolika. Dalam perencanaan ini, kehilangan energi yang dihasilkan harus kurang dari 10% dari tinggi bruto agar perencanaan tersebut termasuk dalam perencanaan yang efisien dan efektif. Jika didapati hasil perencanaan lebih dari 10% maka dilakukan pengurangan perencanaan pada pipa Penstock dan Pintu intake.

3.7 Perencanaan Surge Tank

Merencanakan Surge Tank apabila panjang pipa pesat lebih dari $5 \times H_{\text{gross}}$ dan perbandingan antara tinggi gross dan panjang pipa lebih dari 4 – 8 meter. Jika kriteria tersebut tidak terpenuhi, tidak dibutuhkan perencanaan Surge Tank.

3.8 Perhitungan Kehilangan Energi

Memperhitungkan kehilangan primer dan sekunder yang disebabkan oleh gesekan pada pipa saat masuk, saat berada didalam pipa dan keluar dari pipa. Perhitungan ini dibantu dengan grafik Moddy untuk mendapatkan angka Reynolds.

3.9 Pemilihan Turbin

Dalam pemilihan jenis turbin perlu dipertimbangkan tinggi jatuh efektif dan debit aliran untuk menggerakkan turbin. Dalam pemilihan ini dibantu dengan Tabel kisaran tinggi untuk beberapa jenis turbin dan grafik antara debit dan ketinggian untuk mengenai jenis Turbin.

3.10 Perhitungan Energi Listrik

Memperhitungkan daya energi listrik yang dihasilkan oleh turbin. Kecepatan perputaran turbin memiliki keperluan tertentu sehingga dapat bekerja dengan baik.

3.11 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan akan terlampir jika memang diperlukan untuk menunjang penyelesaian tugas akhir ini.

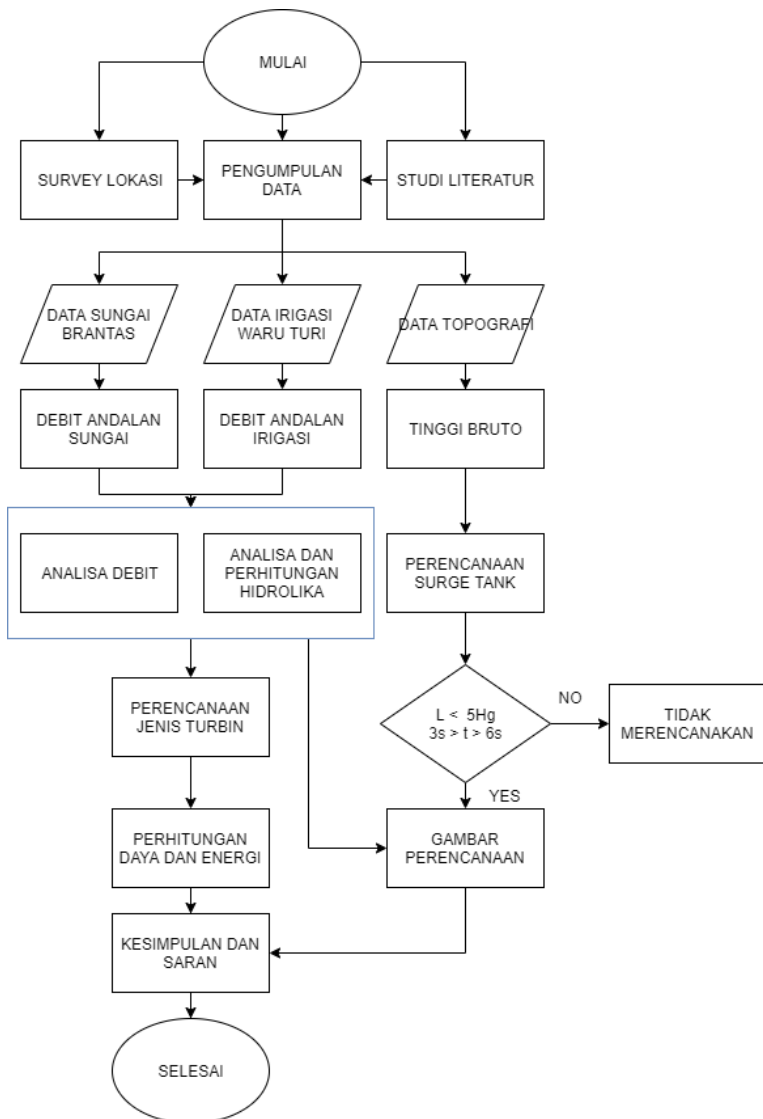
3.12 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan hasil dari analisa dan jawaban akan permasalahan yang ada.

3.13 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Bendungan Bendung Gerak Waru Turi yang terletak di Gampengrejo, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Penelitian ini dilaksanakan selama 7 hari, dimulai Agustus 2019 sampai dengan Januari 2020. Akan dilakukan

Survey Lapangan di daerah Bendung Gerak Waru Turi dan pengambilan data yang dibutuhkan di Perusahaan Umum Jasa Tirta 1, Jawa Timur.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisa Debit Andalan

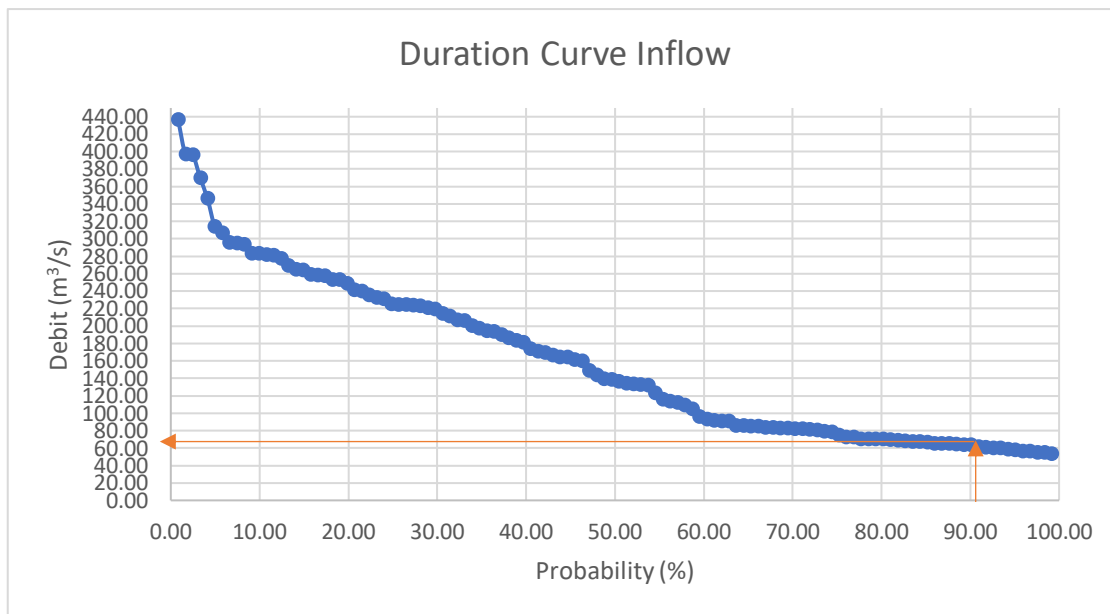
Analisa dan perhitungan debit andalan didapatkan dengan menggunakan rumus probabilitas *Weibull*. Debit andalan yang dicari adalah debit andalan Sungai Brantas dan Debit andalan Irigasi Waru dan Turi.

4.1.1. Analisa Debit Sungai

Debit Sungai Brantas yang dihitung adalah debit bulanan selama 10 tahun yaitu dari tahun 2005-2014 (Lampiran 1). Langkah-langkah untuk mendapatkan debit andalan dengan probabilitas *Weibull* sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah data (n).
2. Mengurutkan data dari data terbesar hingga data terkecil.
3. Memberikan nomor urut pada data yang sudah diurutkan.
4. Menghitung probabilitas tiap data.
5. Membuat grafik *duration curve* dari perbandingan data debit dan probabilitasnya.
6. Mencari debit andalan dari *duration curve* yang telah dibuat sebesar 100%

Dari perhitungan dibuatlah grafik *Duration Curve* dengan mendapatkan $Q_{100\%} = 53.32 \text{ m}^3/\text{detik}$.



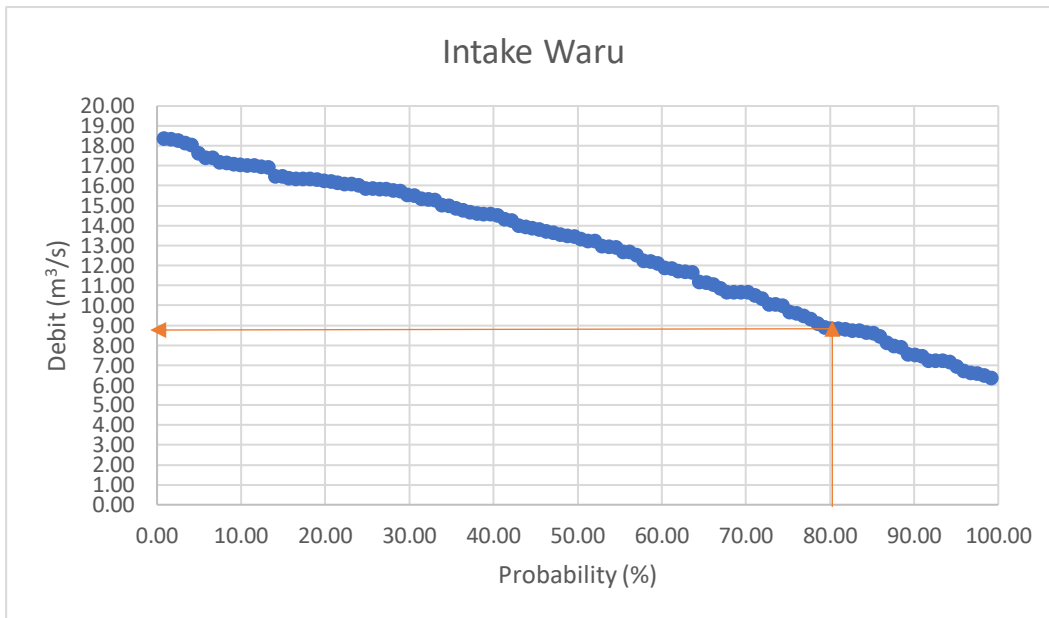
Gambar 4. 1 Duration Curve Sungai Brantas

4.1.2. Analisa Debit Irigasi

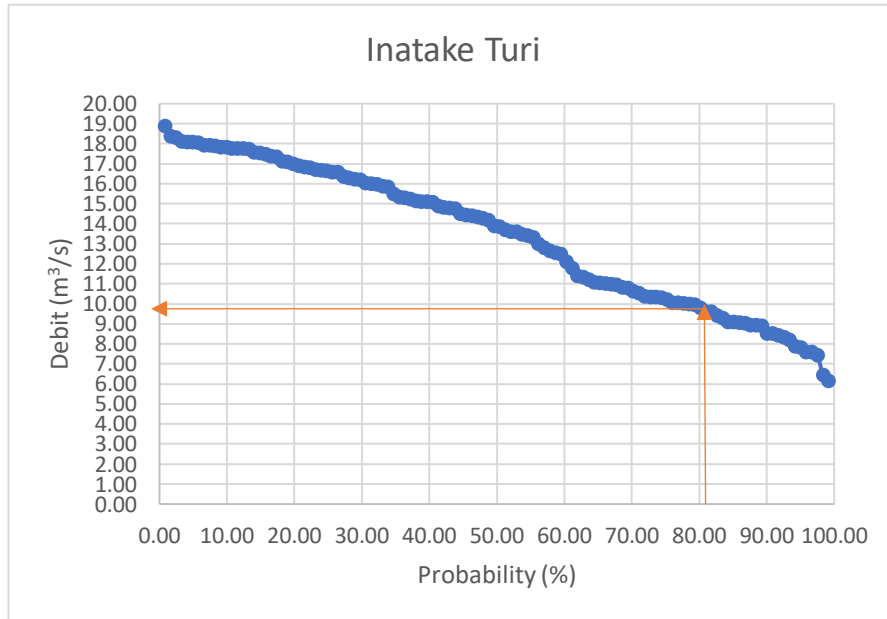
Debit Irigasi Waru dan Turi yang dihitung adalah debit bulanan selama 10 tahun yaitu dari tahun 2005-2014 (Lampiran 2 dan Lampiran 3). Langkah-langkah untuk mendapatkan debit andalan dengan probabilitas *Weibull* sebagai berikut:

7. Menghitung jumlah data (n).
8. Mengurutkan data dari data terbesar hingga data terkecil.
9. Memberikan nomor urut pada data yang sudah diurutkan.
10. Menghitung probabilitas tiap data.
11. Membuat grafik *duration curve* dari perbandingan data debit dan probabilitasnya.
12. Mencari debit andalan dari *duration curve* yang telah dibuat sebesar 80%

Dari perhitungan dibuatlah grafik *Duration Curve* dengan mendapatkan Q80% Waru = 8.86 m³/detik dan Q80% Turi = 9.83 m³/detik.



Gambar 4. 2 Duration Curve Irigasi Waru



Gambar 4. 3 Duration Curve Irigasi Turi

Dari grafik *duration curve* kita dapat menghitung debit pembangkit yang akan digunakan untuk PLTMH. Pada pengerjaan tugas akhir ini jika digunakan debit rencana pembangkit Q_{100} , Q_{80} dan Q_{50} sebagai alternatif tidak memungkinkan karena dibutuhkan lahan yang lebih besar dari lahan yang tersedia untuk komponen-komponen pembangkit, sehingga digunakan Q_{20} sebagai pilihan yang baik untuk kedua sisi. Berikut adalah pembuktian bahwa Q_{20} yang berikutnya disebut Alternatif 4 adalah pilihan yang baik dimana kebutuhan lahan untuk komponen tidak melebihi lahan yang tersedia, tidak merubah dimensi saluran irigasi yang tersedia dan tidak mengganggu debit irigasi. Berikut perhitungan debit rencana PLTMH.

a) Alternatif 1 (Q_{100})

- Waru

$$Q_n = 100\% * (Q_{sungai} - Q_{irigasi})$$

$$Q_n = 100\% * (53.32 - 8.86)$$

$$Q_n = 44.46 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 44.46 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 53.35 \frac{m^3}{detik}$$

- Turi

$$Q_n = 100\% * (Q_{sungai} - Q_{irigasi})$$

$$Q_n = 100\% * (53.32 - 9.83)$$

$$Q_n = 43.49 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 52.19 \frac{m^3}{detik}$$

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

- Waru

$$Q_n = 80\% * (Q_{\text{sungai}} - Q_{\text{irigasi}})$$

$$Q_n = 80\% * (53.32 - 8.86)$$

$$Q_n = 35.57 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 35.57 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

$$Q_{PLTA} = 42.68 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

- Turi

$$Q_n = 80\% * (Q_{\text{sungai}} - Q_{\text{irigasi}})$$

$$Q_n = 80\% * (53.32 - 9.83)$$

$$Q_n = 34.80 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 34.80 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

$$Q_{PLTA} = 41.75 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

- Waru

$$Q_n = 50\% * (Q_{\text{sungai}} - Q_{\text{irigasi}})$$

$$Q_n = 50\% * (53.32 - 8.86)$$

$$Q_n = 22.23 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 22.23 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

$$Q_{PLTA} = 26.68 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

- Turi

$$Q_n = 50\% * (Q_{sungai} - Q_{irigasi})$$

$$Q_n = 50\% * (53.32 - 9.83)$$

$$Q_n = 21.75 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 21.75 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 26.09 \frac{m^3}{detik}$$

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

- Waru

$$Q_n = 20\% * (Q_{sungai} - Q_{irigasi})$$

$$Q_n = 20\% * (53.32 - 8.86)$$

$$Q_n = 8.89 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 8.89 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 10.67 \frac{m^3}{detik}$$

- Turi

$$Q_n = 20\% * (Q_{sungai} - Q_{irigasi})$$

$$Q_n = 20\% * (53.32 - 9.83)$$

$$Q_n = 8.69 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 120\% * 8.69 \frac{m^3}{detik}$$

$$Q_{PLTA} = 10.44 \frac{m^3}{detik}$$

Tabel 4. 1 Tabel Rekapian Debit Alternatif-alternatif

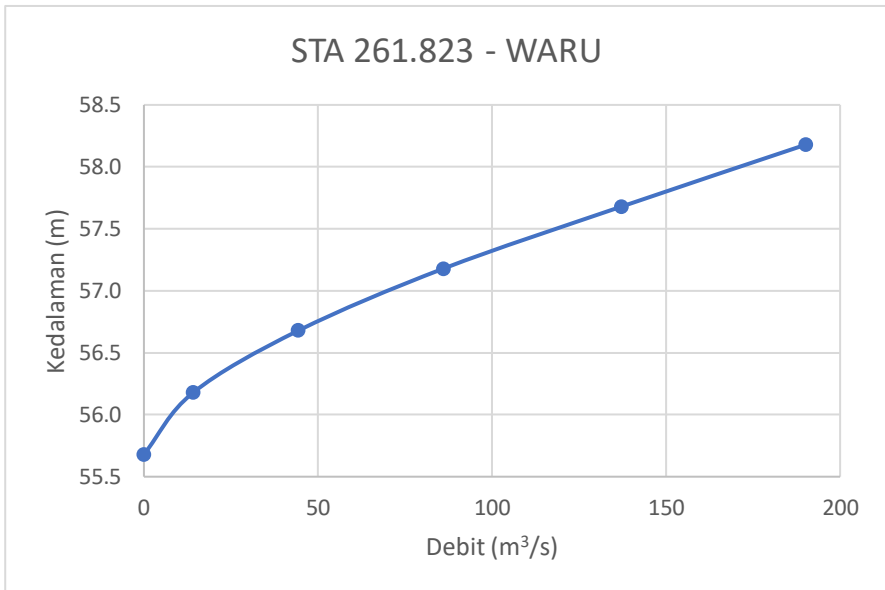
Alternatif	Debit Waru (m ³ /s)	Debit Turi (m ³ /s)
1 (Q ₁₀₀)	53.35	52.19
2 (Q ₈₀)	42.68	41.75
3 (Q ₅₀)	26.68	21.75
4 (Q ₂₀)	10.67	10.44

4.2 Analisa Elevasi

Analisa elevasi didapatkan dari data sekunder Bendung Gerak Waru Turi. Data yang didapatkan berupa potongan penampang di pada saluran irigasi Waru dan Turi. Dari potongan penampang dapat dihitung *rating curve* sehingga mengetahui elevasi air pada saluran irigasi. Penampang yang diambil adalah penampang pada stasiun yang terdekat dengan pintu kantong lumpur sebagai titik pengambilan *intake*. Data akan terlampir (Lampiran 4)

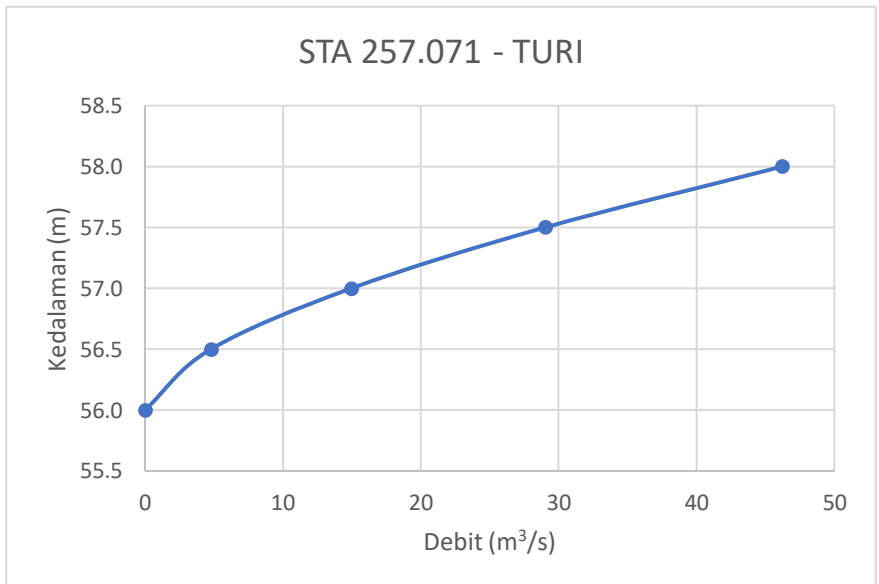
Tabel 4. 2 Tabel Perhitungan Rating Curve Waru

No.	Depth (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
0	55.7	0	0	0	0	0
1	56.2	9.28	38.11	0.24	1.53	14.20
2	56.7	18.60	39.22	0.47	2.39	44.43
3	57.2	27.98	40.32	0.69	3.08	86.12
4	57.7	37.41	41.43	0.90	3.67	137.24
5	58.2	45.94	42.43	1.08	4.14	190.24

**Gambar 4. 4 Rating Curve Waru**

Tabel 4. 3 Tabel Perhitungan Rating Curve Turi

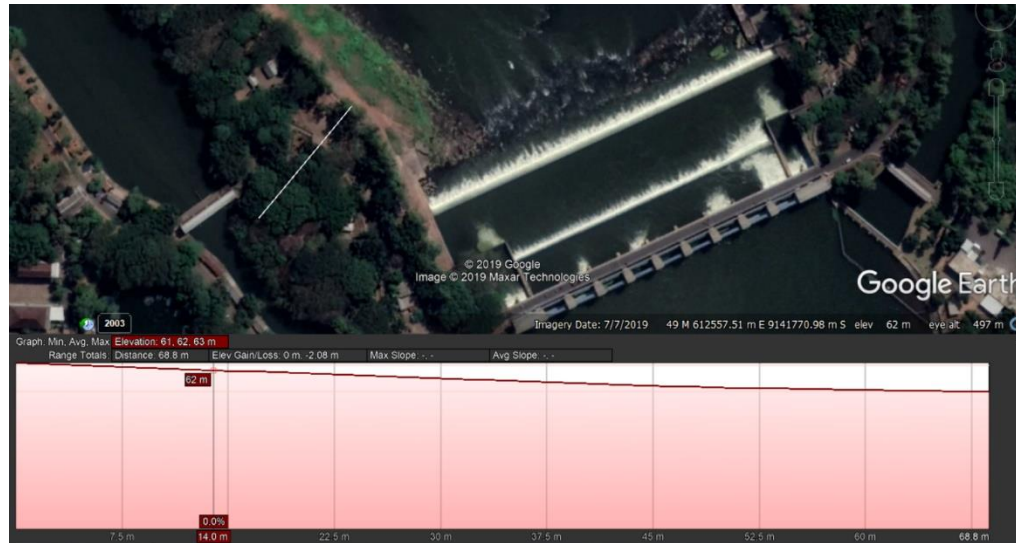
No.	Depth (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
0	56.0	0	0	0	0	0
1	56.5	11.25	46.00	0.24	0.43	4.78
2	57.0	22.50	47.00	0.48	0.67	14.97
3	57.5	33.75	48.00	0.70	0.86	29.02
4	58.0	45.00	49.00	0.92	1.03	46.23

**Gambar 4. 5 Rating Curve Turi**

Sedangkan untuk mengetahui lebar lahan yang tersedia pada sisi-sisi saluran irigasi yang akan digunakan sebagai komponen PLTMH menggunakan bantuan program *Google Earth*. Akurasi dari *Google Earth* tidak pasti persis dengan kondisi eksisting., sehingga menggunakan koreksi dengan pembulatan kebawah hasil perhitungan yang didapatkan dari *Google Earth*. Hasil perhitungan lebar lahan yang tersedia sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Tabel Rekap Perhitungan Panjang Lahan

Nama	Panjang Google Earth (m)	Panjang Pembulatan (m)
Waru	68.50	68
Turi	114	100



Gambar 4. 6 Analisa Panjang sisi Irigasi Waru



Gambar 4. 7 Analisa Panjang sisi Irigasi Turi

4.3 Analisa Pintu Kantong Lumpur

Pengambilan titik *intake* yang berdekatan dengan pintu kantong lumpur, sehingga diperlukan peninjauan bukaan pintu dari *waterway* irigasi menuju kantong lumpur sebagai dasar pengoperasian bukaan pintu pada Bendung Waru Turi. Berikut hasil perhitungan bukaan pintu Kantong Lumpur pada Waru dan Turi.

a) Waru

- Debit menuju kantong lumpur = 8.86 m³/detik
- Lebar pintu pembilas = 6.75 m
- Jumlah pintu pembilas = 4 buah
- Lebar pilar = 1 m
- Jumlah pilar = 3 buah

$$a = \frac{Q}{\mu * b * \sqrt{2gz}} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana:

- a = Tinggi bukaan pintu (m)
- Q = Debit aliran (m³/detik)
- b = lebar pintu (kg/m³)
- g = Percepatan gravitasi (m/detik²)
- z = Kehilangan energi akibat pintu (m)
- μ = koefisien debit (0.5-0.7)

$$a = \frac{8.86}{0.7 * 6.75 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.20}} = 0.12 \text{ m (perpintu)}$$

Sehingga tinggi bukaan pintu yang dibuka sebesar 0.12 m untuk tiap pintu kantong lumpur.

b) Turi

- Debit menuju kantong lumpur = 9.83 m³/detik
- Lebar pintu pembilas = 6.75 m
- Jumlah pintu pembilas = 4 buah
- Lebar pilar = 1 m
- Jumlah pilar = 3 buah

$$a = \frac{Q}{\mu * b * \sqrt{2gz}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Dimana:

a = Tinggi bukaan pintu (m)

Q = Debit aliran (m³/detik)

b = lebar pintu (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

z = Kehilangan energi akibat pintu (m)

μ = koefisien debit (0.5-0.7)

$$a = \frac{9.83}{0.7 * 6.75 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.2}} = 0.14 \text{ m (perpintu)}$$

Sehingga tinggi bukaan pintu yang dibuka sebesar 0.14 m untuk tiap pintu kantong lumpur.

4.3.1 Analisa Tinggi Air pada Saluran Irigasi

Saluran yang telah terisi debit irigasi dan debit rencana PLTMH akan memiliki perbedaan tinggi pada tiap alternatifnya. Pada kondisi ini dilakukan pengecekan untuk memastikan tinggi bukaan pintu kantong lumpur lebih kecil dari tinggi air dan debit yang diterima saluran tidak melebihi kapasitas dimensi yang telah

ada. Dalam menghitung ketinggian air dapat menggunakan *rating curve* pada Waru dan Turi.

a) Alternatif 1 (Q_{100})

- Debit pada saluran Irigasi Waru

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80} \text{ Irigasi} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 8.86 + 53.35$$

$$Q \text{ pada saluran} = 62.21 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 62.21 m^3/s memiliki tinggi air sebesar 1.23 m dengan tinggi elevasi 56.91 m.

- Debit pada saluran Irigasi Turi

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80} \text{ Irigasi} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 9.83 + 52.19$$

$$Q \text{ pada saluran} = 62.02 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 62.02 m^3/s melebihi kapasitas dimensi saluran irigasi eksisiting dimana debit maksimum yang dapat ditampung saluran hanya 46.23 m^3/s sehingga alternatif ini **tidak dapat digunakan**.

b) Alternatif 2 (Q_{80})

- Debit pada saluran Irigasi Waru

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80} \text{ Irigasi} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 8.86 + 42.68$$

$$Q \text{ pada saluran} = 51.54 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 51.54 m^3/s memiliki tinggi air sebesar 1.10 m dengan tinggi elevasi 56.78 m.

- Debit pada saluran Irigasi Turi

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80 \text{ Irigasi}} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 9.83 + 51.58$$

$$Q \text{ pada saluran} = 51.58 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 51.58 m³/s melebihi kapasitas dimensi saluran irigasi eksisting dimana debit maksimum yang dapat ditampung saluran hanya 46.23 m³/s sehingga alternatif ini **tidak dapat digunakan**.

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

- Debit pada saluran Irigasi Waru

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80 \text{ Irigasi}} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 8.86 + 26.68$$

$$Q \text{ pada saluran} = 35.54 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 35.54 m³/s memiliki tinggi air sebesar 0.87 m dengan tinggi elevasi 56.55 m.

- Debit pada saluran Irigasi Turi

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80 \text{ Irigasi}} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 9.83 + 26.09$$

$$Q \text{ pada saluran} = 35.92 \frac{m^3}{\text{detik}}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 35.92 m³/s memiliki tinggi air sebesar 1.70 m dengan tinggi elevasi 57.70 m.

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

- Debit pada saluran Irigasi Waru

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80} \text{ Irigasi} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 8.86 + 10.67$$

$$Q \text{ pada saluran} = 19.53 \frac{m^3}{detik}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 19.53m³/s memiliki tinggi air sebesar 0.60 m dengan tinggi elevasi 56.28 m.

- Debit pada saluran Irigasi Turi

$$Q \text{ pada saluran} = Q_{80} \text{ Irigasi} + Q_{PLTA}$$

$$Q \text{ pada saluran} = 9.83 + 10.44$$

$$Q \text{ pada saluran} = 20.27 \frac{m^3}{detik}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan dengan debit sebesar 20.27 m³/s memiliki tinggi air sebesar 1.18 m dengan tinggi elevasi 57.18 m.

Tabel 4. 5 Rekapitan Debit, Tinggi Air, Elevasi Alternatif-alternatif

Alternatif	Debit (m ³ /s)		Tinggi Air (m)		Elevasi (m)	
	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi
1 (Q ₁₀₀)	62.21	62.02	1.23	-	56.91	-
2 (Q ₈₀)	51.54	51.58	1.10	-	56.78	-
3 (Q ₅₀)	35.54	35.92	0.87	1.70	56.55	57.70
4 (Q ₂₀)	19.53	20.27	0.60	1.18	56.28	57.18

4.4 Perencanaan Spillway

Pengambilan debit *intake* untuk pembangkit menggunakan *spillway* dengan pintu *emergency*. Digunakan mercu Ogee sebagai pelimpah dengan perencanaan sebagai berikut:

a) Alternatif 1 (Q₁₀₀)

➤ Waru

Direncanakan:

Q _n	=	53.35 m ³ /detik
Lebar mercu (B)	=	21 m
Lebar pintu (b pintu)	=	3.4 m
Jumlah pintu (n pintu)	=	5 buah
Lebar pilar (b pilar)	=	1 m
Jumlah pilar (n pilar)	=	4 buah
Tinggi Spillway (P)	=	0.6 m

Untuk mencari tinggi air dan energi diatas mercu (H1) menggunakan cara iterasi sampai menemukan nilai yang tidak berubah-ubah lagi. Perhitungan iterasi dibantu dengan grafik CO, C1 dan C2. Menggunakan persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bending mercu Ogee

$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g * Beff * H1^{1.5}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

Q	=	Debit (m ³ /detik)
Cd	=	Koefisien Debit (C0*C1*C2)
g	=	Percepatan gravitasi (m/detik ²)
Beff	=	Lebar efektif mercu (m)
H1	=	Tinggi energi diatas mercu (m)

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1 \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana:

- B_{eff} = Lebar efektif (m)
- B = Lebar mercu (m)
- n = Jumlah pilar
- K_p = Koefisien kontraksi pilar
- K_a = Koefisien kontraksi pangkal bendung
- H₁ = Tinggi energi diatas mercu (m)

Tabel 4. 6 Harga-Harga Koefisien Ka dan Kp

Bentuk Pilar	K _p
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0
Bentuk Pangkal Tembok	K _a
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan 0,5 H ₁ > r > 0,15 H ₁	0,10
Untuk pangkal tembok bulat dimana r > 0,5 H ₁ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0

• **Iterasi 1**

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H_1$$

Asumsi Cd = 1.5

$$B_{eff} * H_1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * 1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = \frac{53.35}{1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = 20.8$$

H₁ = 1.01 m (Trial and Error)

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.80 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.80)^2}{2 * 9.81} = 0.40 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 1.01 - 0.40 = 0.60\text{m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{1.01}{0.60} = 1.66$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.60}{0.60} = 0.99$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.60}{0.60} = 0.60$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{1.01}{0.60} = 1.66$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 1.01$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 1.01 = 1.44$$

- **Iterasi 2**

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * H1} = \frac{53.35}{1.44 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81}$$

$$= 21.7$$

$$H1 = 1.03 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.80 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.80)^2}{2 * 9.81} = 0.40 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 1.03 - 0.40 = 0.63\text{m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{1.03}{0.63} = 1.63$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.63}{0.60} = 0.95$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{1.03}{0.60} = 0.58$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 1.01$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 1.01 = 1.44$$

- **Iterasi 3**

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$Beff = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$Beff = 21 - 0.28 H1$$

$$Beff * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g} = \frac{53.35}{1.42 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81}$$

$$= 21.7$$

$$H1 = 1.03 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.80 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.80)^2}{2 * 9.81} = 0.40 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 1.03 - 0.40 = 0.63 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{1.03}{0.63} = 1.63$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.63}{0.60} = 0.95$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{1.03}{0.60} = 0.58$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 1.01$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 1.01 = 1.44$$

Dikarenakan nilai Cd dan H1 sudah tidak berubah maka dianggap Iterasi selesai. Dilakukan koreksi dengan rumus Mercu Ogee untuk memastikan hasil benar..

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1 = 21 - (0.28 * 1.03) = 20.71 \text{ m}$$

$$Q = 1.44 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9,81 * 20.71 * 1.01^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = 53.35 \frac{m^3}{detik} \dots \dots \dots (OK!)$$

➤ Turi

Pada alternative Turi Q_{100} tidak dapat dilakukan karena debit melebihi kapasitas dimensi saluran eksisting.

b) Alternatif 2 (Q_{80})

➤ Waru

Direncanakan:

Q_n	=	42.68 m ³ /detik
Lebar mercu (B)	=	21 m
Lebar pintu (b pintu)	=	3.4 m
Jumlah pintu (n pintu)	=	5 buah
Lebar pilar (b pilar)	=	1 m
Jumlah pilar (n pilar)	=	4 buah
Tinggi Spillway (P)	=	0.6 m

Untuk mencari tinggi air dan energi diatas mercu (H1) menggunakan cara iterasi sampai menemukan nilai yang tidak berubah-ubah lagi. Perhitungan iterasi dibantu dengan grafik CO,

C1 dan C2. Menggunakan persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bending mercu Ogee

$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g} * Beff * H1^{1.5} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

- Q = Debit (m³/detik)
 Cd = Koefisien Debit (C0*C1*C2)
 g = Percepatan gravitasi (m/detik²)
 Beff = Lebar efektif mercu (m)
 H1 = Tinggi energi diatas mercu (m)

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1 \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana:

- Beff = Lebar efektif (m)
 B = Lebar mercu (m)
 n = Jumlah pilar
 Kp = Koefisien kontraksi pilar
 Ka = Koefisien kontraksi pangkal bendung
 H1 = Tinggi energi diatas mercu (m)

Bentuk Pilar	K _p
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0
Bentuk Pangkal Tembok	K _a
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90 ^o ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90 ^o ke arah aliran dengan 0,5 H ₁ > r > 0,15 H ₁	0,10
Untuk pangkal tembok bulat dimana r > 0,5 H ₁ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0

- **Iterasi 1**

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H_1$$

Asumsi $C_d = 1.5$

$$B_{eff} * H_1^{1.5} = \frac{Q}{C_d * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} * g * H_1} = \frac{42.68}{1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} * 9.81} = 16.7$$

$$H_1 = 0.87 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.53 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.53)^2}{2 * 9.81} = 0.33 \text{ m}$$

$$h_d = H_1 - \Delta H = 0.87 - 0.33 = 0.54 \text{ m}$$

$$\frac{H_1}{h_d} = \frac{0.87}{0.56} = 1.60$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.60}{0.54} = 1.1$$

$$\frac{hd}{H_1} = \frac{0.54}{0.87} = 0.69$$

$$C_1 = 1.1$$

$$C_2 = 1.00$$

$$C_d \text{ baru} = C_0 * C_1 * C_2 = 1.3 * 1.1 * 1.00 = 1.43$$

- **Iterasi 2**

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H_1$$

$$\begin{aligned}
 Beff * H1^{1.5} &= \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g *} = \frac{42.68}{1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} \\
 &= 17.5
 \end{aligned}$$

$$H1 = 0.89 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.53 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.53)^2}{2 * 9.81} = 0.33 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.89 - 0.33 = 0.56 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.89}{0.56} = 1.58$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.60}{0.56} = 1.06$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.89}{0.60} = 0.67$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 1.01$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 1.01 = 1.44$$

• Iterasi 3

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$Beff = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$Beff = 21 - 0.28 H1$$

$$\begin{aligned}
 Beff * H1^{1.5} &= \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g *} = \frac{42.68}{1.44 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} \\
 &= 17.48
 \end{aligned}$$

$$H1 = 0.89 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.53 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.53)^2}{2 * 9.81} = 0.33 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.89 - 0.33 = 0.56m$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.89}{0.56} = 1.58$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.56}{0.60}$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.56}{0.60} = 1.06$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.89}{0.60} = 0.67$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 1.01$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 1.01 = 1.44$$

Dikarenakan nilai Cd dan H1 sudah tidak berubah maka dianggap Iterasi selesai. Dilakukan koreksi dengan rumus Mercu Ogee untuk memastikan hasil benar..

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1 = 21 - (0.28 * 0.89) = 20.75 \text{ m}$$

$$Q = 1.44 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9.81 * 20.75 * 0.891^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = 42.68 \frac{m^3}{detik} \dots \dots \dots (OK!)$$

➤ Turi

Pada alternative Turi Q_{80} tidak dapat dilakukan karena debit melebihi kapasitas dimensi saluran eksisting.

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

Direncanakan:

Q _n	=	26.68 m ³ /detik
Lebar mercu (B)	=	21 m
Lebar pintu (b pintu)	=	3.4 m
Jumlah pintu (n pintu)	=	5 buah
Lebar pilar (b pilar)	=	1 m
Jumlah pilar (n pilar)	=	4 buah
Tinggi Spillway (P)	=	0.5 m

Untuk mencari tinggi air dan energi diatas mercu (H1) menggunakan cara iterasi sampai menemukan nilai yang tidak berubah-ubah lagi. Perhitungan iterasi dibantu dengan grafik CO, C1 dan C2. Menggunakan persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bending mercu Ogee

$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g * Beff * H1^{1.5}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

Q	=	Debit (m ³ /detik)
Cd	=	Koefisien Debit (C0*C1*C2)
g	=	Percepatan gravitasi (m/detik ²)
Beff	=	Lebar efektif mercu (m)
H1	=	Tinggi energi diatas mercu (m)

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1 \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana:

Beff	=	Lebar efektif (m)
------	---	-------------------

- B = Lebar mercu (m)
 n = Jumlah pilar
 Kp = Koefisien kontraksi pilar
 Ka = Koefisien kontraksi pangkal bendung
 H1 = Tinggi energi diatas mercu (m)

Bentuk Pilar	K _p
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0
Bentuk Pangkal Tembok	K _s
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan 0,5 H ₁ > r > 0,15 H ₁	0,10
Untuk pangkal tembok bulat dimana r > 0,5 H ₁ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0

• Iterasi 1

$$\begin{aligned}
 B_{eff} &= B - 2(n * Kp + Ka) * H1 \\
 B_{eff} &= 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1 \\
 B_{eff} &= 21 - 0.28 H1
 \end{aligned}$$

Asumsi Cd = 1.5

$$\begin{aligned}
 B_{eff} * H1^{1.5} &= \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g} * 1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} 9.81}} = \frac{26.68}{10.43} \\
 &= 10.43
 \end{aligned}$$

$$H1 = 0.63 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.22 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.22)^2}{2 * 9.81} = 0.25 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.63 - 0.25 = 0.38 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.63}{0.38} = 1.66$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.50}{0.38} = 1.31$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.63}{0.50} = 0.79$$

$$C1 = 1.08$$

$$C2 = 1.002$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.08 * 1.002 = 1.41$$

- **Iterasi 2**

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * H1} = \frac{26.68}{1.41 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81}$$

$$= 11.21$$

$$H1 = 0.66 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.22 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.22)^2}{2 * 9.81} = 0.25 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.66 - 0.25 = 0.41 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.66}{0.41} = 1.61$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.50}{0.41} = 1.22$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.66}{0.50} = 0.76$$

$$C1 = 1.06$$

$$C2 = 1.004$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.06 * 1.004 = 1.38$$

- **Iterasi 3**

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$Beff = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$Beff = 21 - 0.28 H1$$

$$Beff * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * H1} = \frac{42.68}{1.38 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81}$$

$$= 11.3$$

$$H1 = 0.67 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.53 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.53)^2}{2 * 9.81} = 0.33 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.67 - 0.33 = 0.42 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.67}{0.42} = 1.60$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.50}{0.42} = 1.19$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.67}{0.50} = 0.75$$

$$C1 = 1.06$$

$$C2 = 1.003$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.06 * 1.003 = 1.38$$

- **Iterasi 4**

$$\begin{aligned}
 B_{eff} &= B - 2(n * K_p + K_a) * H1 \\
 B_{eff} &= 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1 \\
 B_{eff} &= 21 - 0.28 H1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{eff} * H1^{1.5} &= \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * 1.38 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = \frac{42.68}{11.3} \\
 &= 11.3
 \end{aligned}$$

$$H1 = 0.67 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 2.53 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(2.53)^2}{2 * 9.81} = 0.33 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.67 - 0.33 = 0.42 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.67}{0.42} = 1.60$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.50}{0.42} = 1.19$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.67}{0.50} = 0.75$$

$$C1 = 1.06$$

$$C2 = 1.003$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.06 * 1.003 = 1.38$$

Dikarenakan nilai Cd dan H1 sudah tidak berubah maka dianggap Iterasi selesai. Dilakukan koreksi dengan rumus Mercu Ogee untuk memastikan hasil benar..

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1 = 21 - (0.28 * 0.67) = 20.81 \text{ m}$$

$$Q = 1.38 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9.81 * 20.81 * 0.67^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = 26.68 \frac{m^3}{detik} \dots \dots \dots (OK!)$$

➤ Turi

• **Iterasi 1**

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 18 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H_1$$

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H_1$$

Asumsi $C_d = 1.5$

$$B_{eff} * H_1^{1.5} = \frac{Q}{C_d * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g} = \frac{26.09}{1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = 10.2$$

$$H_1 = 0.69 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 0.93 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(0.93)^2}{2 * 9.81} = 0.04 \text{ m}$$

$$hd = H_1 - \Delta H = 0.69 - 0.04 = 0.65 \text{ m}$$

$$\frac{H_1}{hd} = \frac{0.69}{0.65} = 1.07$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{1.10}{0.65} = 1.70$$

$$\frac{H_1}{P} = \frac{0.69}{1.10} = 1.59$$

$$C_1 = 1.1$$

$$C_2 = 0.994$$

$$C_d \text{ baru} = C_0 * C_1 * C_2 = 1.3 * 1.1 * 0.994 = 1.43$$

• **Iterasi 2**

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 18 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * 1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = \frac{26.09}{10.76}$$

$$H1 = 0.71 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 0.93 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(0.93)^2}{2 * 9.81} = 0.04 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.71 - 0.04 = 0.67 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.71}{0.67} = 1.07$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{1.10}{0.67} = 1.65$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.71}{1.10} = 1.55$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.994$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.994 = 1.42$$

• Iterasi 3

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * 1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = \frac{26.09}{10.76}$$

$$H1 = 0.71 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 0.93 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(0.93)^2}{2 * 9.81} = 0.04 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.71 - 0.04 = 0.67 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.71}{0.67} = 1.07$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{1.10}{0.67} = 1.65$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.67}{1.10} = 1.55$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.71}{1.10} = 1.55$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.994$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.994 = 1.42$$

Dikarenakan nilai Cd dan H1 sudah tidak berubah maka dianggap Iterasi selesai. Dilakukan koreksi dengan rumus Mercu Ogee untuk memastikan hasil benar..

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H1 = 18 - (0.28 * 0.71) = 17.80 \text{ m}$$

$$Q = 1.42 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9.81 * 17.80 * 0.72^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = 26.09 \frac{m^3}{detik} \dots \dots \dots (OK!)$$

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

Direncanakan:

Qn	=	10.67 m ³ /detik
Lebar mercu (B)	=	21 m
Lebar pintu (b pintu)	=	3.4 m
Jumlah pintu (n pintu)	=	5 buah
Lebar pilar (b pilar)	=	1 m
Jumlah pilar (n pilar)	=	4 buah
Tinggi Spillway (P)	=	0.5 m

Untuk mencari tinggi air dan energi diatas mercu (H1) menggunakan cara iterasi sampai menemukan nilai yang tidak berubah-ubah lagi. Perhitungan iterasi dibantu dengan grafik CO, C1 dan C2. Menggunakan persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bending mercu Ogee

$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g} * Beff * H1^{1.5} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

Q	=	Debit (m ³ /detik)
Cd	=	Koefisien Debit (C0*C1*C2)
g	=	Percepatan gravitasi (m/detik ²)
Beff	=	Lebar efektif mercu (m)
H1	=	Tinggi energi diatas mercu (m)

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1 \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana:

Beff	=	Lebar efektif (m)
B	=	Lebar mercu (m)
n	=	Jumlah pilar
Kp	=	Koefisien kontraksi pilar
Ka	=	Koefisien kontraksi pangkal bendung

H1 = Tinggi energi diatas mercu (m)

Bentuk Pilar	K_p
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0
Bentuk Pangkal Tembok	K_a
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0

- Iterasi 1

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H_1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H_1$$

Asumsi $C_d = 1.5$

$$B_{eff} * H_1^{1.5} = \frac{Q}{C_d * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} g * 1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = \frac{10.67}{1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}} 9.81} = 4.17$$

$$H_1 = 0.35 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 1.70 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(1.70)^2}{2 * 9.81} = 0.15 \text{ m}$$

$$hd = H_1 - \Delta H = 0.35 - 0.15 = 0.20 \text{ m}$$

$$\frac{H_1}{hd} = \frac{0.35}{0.20} = 1.73$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.40}{0.20} = 1.98$$

$$\frac{P}{H1} = \frac{0.40}{0.35} = 1.14$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.997$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.997 = 1.42$$

- **Iterasi 2**

$$Beff = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$Beff = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$Beff = 21 - 0.28 H1$$

$$Beff * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g}} = \frac{10.67}{1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} 9.81}}$$

$$= 4.38$$

$$H1 = 0.36 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 1.70 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(1.70)^2}{2 * 9.81} = 0.15 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.36 - 0.15 = 0.21 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.36}{0.21} = 1.70$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.40}{0.21} = 1.88$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.36}{0.40} = 1.11$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.996$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.996 = 1.43$$

- **Iterasi 3**

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$B_{eff} = 21 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g} * 1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} 9.81}} = \frac{10.67}{4.38}$$

$$H1 = 0.36 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 1.70 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(1.70)^2}{2 * 9.81} = 0.15 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.36 - 0.15 = 0.21 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.36}{0.21} = 1.70$$

$$\frac{P}{hd} = \frac{0.40}{0.21} = 1.88$$

$$\frac{H1}{P} = \frac{0.36}{0.40} = 1.11$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.996$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.996 = 1.43$$

Dikarenakan nilai Cd dan H1 sudah tidak berubah maka dianggap Iterasi selesai. Dilakukan koreksi dengan rumus Mercu Ogee untuk memastikan hasil benar..

$$B_{eff} = 21 - 0.28 H1 = 21 - (0.28 * 0.35) = 20.90 \text{ m}$$

$$Q = 1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9.81 * 20.90 * 0.35^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = 10.67 \frac{m^3}{detik} \dots \dots \dots (OK!)$$

➤ Turi

• **Iterasi 1**

$$B_{eff} = B - 2(n * K_p + K_a) * H_1$$

$$B_{eff} = 18 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H_1$$

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H_1$$

Asumsi $C_d = 1.5$

$$B_{eff} * H_1^{1.5} = \frac{Q}{C_d * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g}} = \frac{10.44}{1.5 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} 9.81}} = 4.08$$

$$H_1 = 0.38 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 0.75 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(0.75)^2}{2 * 9.81} = 0.03 \text{ m}$$

$$h_d = H_1 - \Delta H = 0.38 - 0.03 = 0.35 \text{ m}$$

$$\frac{H_1}{h_d} = \frac{0.38}{0.35} = 1.08$$

$$\frac{P}{h_d} = \frac{0.80}{0.35} = 2.28$$

$$\frac{H_1}{P} = \frac{0.38}{0.80} = 2.11$$

$$C_1 = 1.1$$

$$C_2 = 0.994$$

$$C_d \text{ baru} = C_0 * C_1 * C_2 = 1.3 * 1.1 * 0.994 = 1.43$$

- **Iterasi 2**

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g}} = \frac{10.44}{1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} 9.81}} = 4.3$$

$$H1 = 0.39 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 0.75 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(0.75)^2}{2 * 9.81} = 0.03 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.39 - 0.03 = 0.36 \text{ m}$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.39}{0.36} = 1.08$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.36}{0.80} = 2.21$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.36}{0.80} = 2.21$$

$$\frac{H1}{hd} = \frac{0.39}{0.36} = 2.05$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.992$$

$$Cd \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.994 = 1.42$$

- **Iterasi 3**

$$B_{eff} = B - 2(n * Kp + Ka) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 2(4 * 0.01 + 0.1) * H1$$

$$B_{eff} = 18 - 0.28 H1$$

$$B_{eff} * H1^{1.5} = \frac{Q}{C_d * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * g}} = \frac{10.44}{1.43 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9.81}} = 4.3$$

$$H1 = 0.39 \text{ m (Trial and Error)}$$

Kecepatan pada saluran irigasi Waru sebesar 0.75 m/s didapatkan dari interpolasi, maka

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{(0.75)^2}{2 * 9.81} = 0.03 \text{ m}$$

$$hd = H1 - \Delta H = 0.39 - 0.03 = 0.36 \text{ m}$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.39}{0.80} = 1.08$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.36}{0.80} = 2.21$$

$$\frac{hd}{P} = \frac{0.39}{0.80} = 2.05$$

$$C1 = 1.1$$

$$C2 = 0.992$$

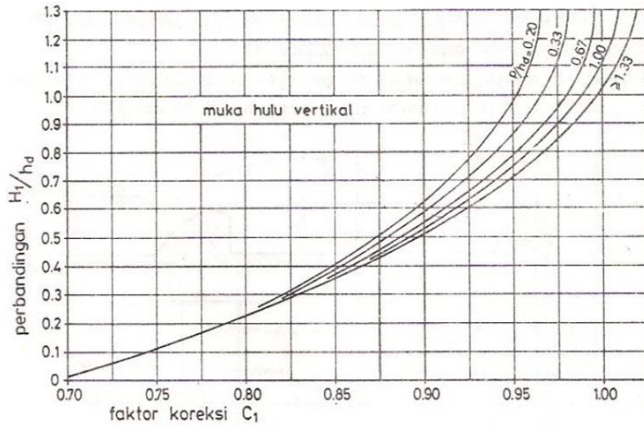
$$C_d \text{ baru} = C0 * C1 * C2 = 1.3 * 1.1 * 0.994 = 1.42$$

Dikarenakan nilai C_d dan $H1$ sudah tidak berubah maka dianggap Iterasi selesai. Dilakukan koreksi dengan rumus Mercu Ogee untuk memastikan hasil benar..

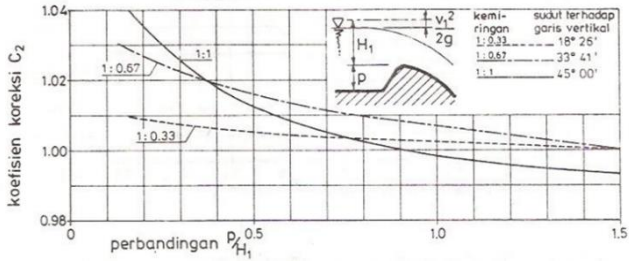
$$B_{eff} = 18 - 0.28 H1 = 18 - (0.28 * 39) = 17.89 \text{ m}$$

$$Q = 1.42 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9.81 * 17.89 * 0.39^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = 10.44 \frac{m^3}{detik} \dots \dots \dots (OK!)$$



Gambar 4. 8 Grafik Koefisien C_1



Gambar 4. 9 Grafik Koefisien C_2

4.4.1 Perencanaan Pelimpah

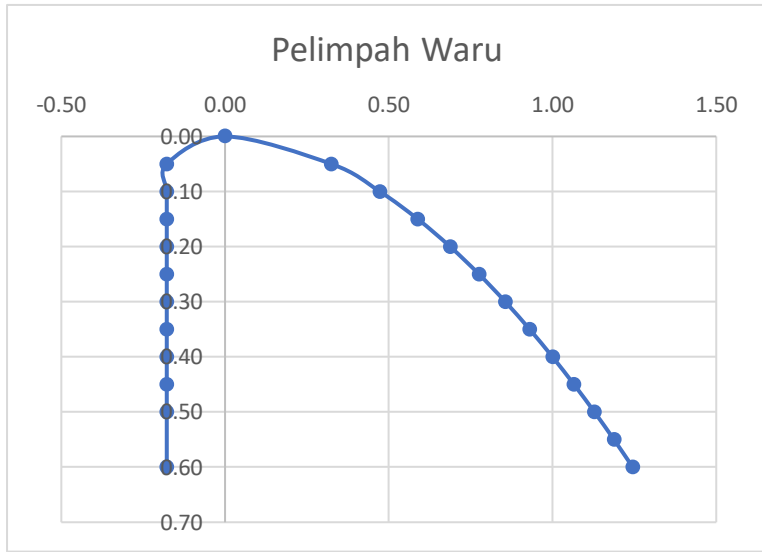
Untuk mengetahui bentuk pelimpah Ogee menggunakan persamaan (2.5) didapatkan hasil sebagai berikut:

a) Alternatif 1 (Q_{100})

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{100}

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Y	X
0.60	-0.18
0.50	-0.18
0.45	-0.18
0.40	-0.18
0.35	-0.18
0.30	-0.18
0.25	-0.18
0.20	-0.18
0.15	-0.18
0.10	-0.18
0.05	-0.18
0.00	0.00
0.05	0.32
0.10	0.47
0.15	0.59
0.20	0.69
0.25	0.78
0.30	0.86
0.35	0.93
0.40	1.00
0.45	1.07
0.50	1.13
0.55	1.19
0.60	1.24



Gambar 4. 10 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{100}

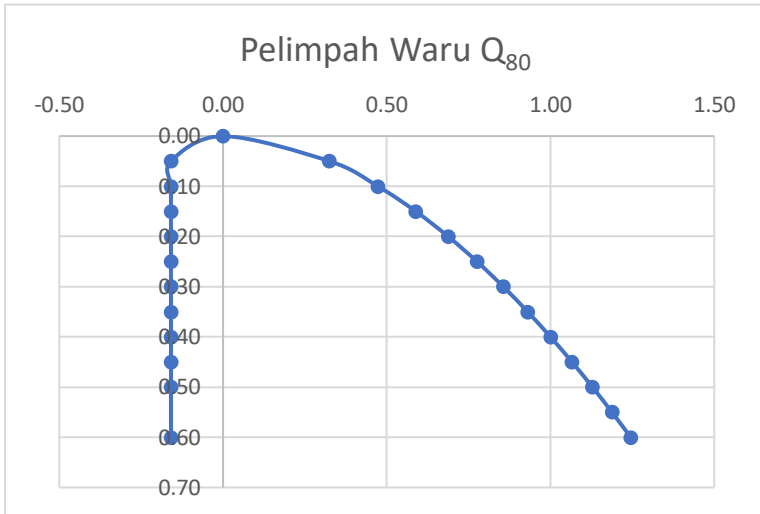
Alternatif 2 (Q_{80})

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{80}

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Y	X
0.60	-0.16
0.50	-0.16
0.45	-0.16
0.40	-0.16
0.35	-0.16
0.30	-0.16
0.25	-0.16
0.20	-0.16

0.15	-0.16
0.10	-0.16
0.05	-0.16
0.00	0.00
0.05	0.32
0.10	0.47
0.15	0.59
0.20	0.69
0.25	0.78
0.30	0.86
0.35	0.93
0.40	1.00
0.45	1.07
0.50	1.13
0.55	1.19
0.60	1.24



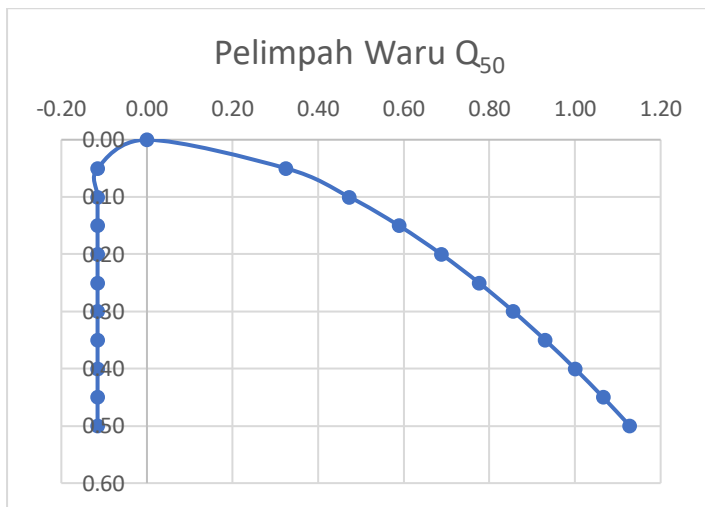
Gambar 4. 11 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{80}

b) Alternatif 3 (Q_{50})

**Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{50}
(Sumber : Hasil Perhitungan)**

Y	X
0.50	-0.12
0.45	-0.12
0.40	-0.12
0.35	-0.12
0.30	-0.12
0.25	-0.12
0.20	-0.12
0.15	-0.12
0.10	-0.12

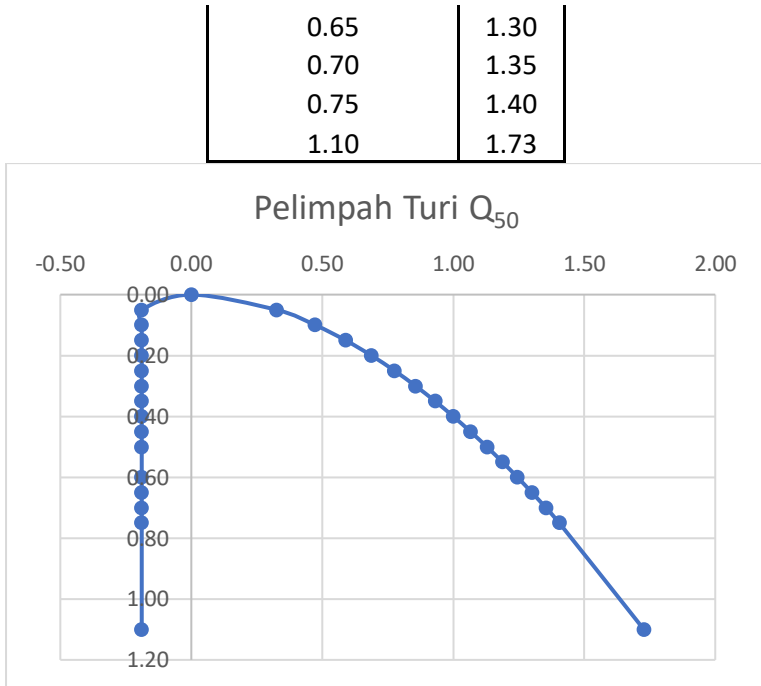
0.05	-0.12
0.00	0.00
0.05	0.32
0.10	0.47
0.15	0.59
0.20	0.69
0.25	0.78
0.30	0.86
0.35	0.93
0.40	1.00
0.45	1.07
0.50	1.13



Gambar 4. 12 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{50}

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Turi Q_{50}
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Y	X
1.10	-0.19
0.75	-0.19
0.70	-0.19
0.65	-0.19
0.60	-0.19
0.50	-0.19
0.45	-0.19
0.40	-0.19
0.35	-0.19
0.30	-0.19
0.25	-0.19
0.20	-0.19
0.15	-0.19
0.10	-0.19
0.05	-0.19
0.00	0.00
0.05	0.32
0.10	0.47
0.15	0.59
0.20	0.69
0.25	0.78
0.30	0.86
0.35	0.93
0.40	1.00
0.45	1.07
0.50	1.13
0.55	1.19
0.60	1.24



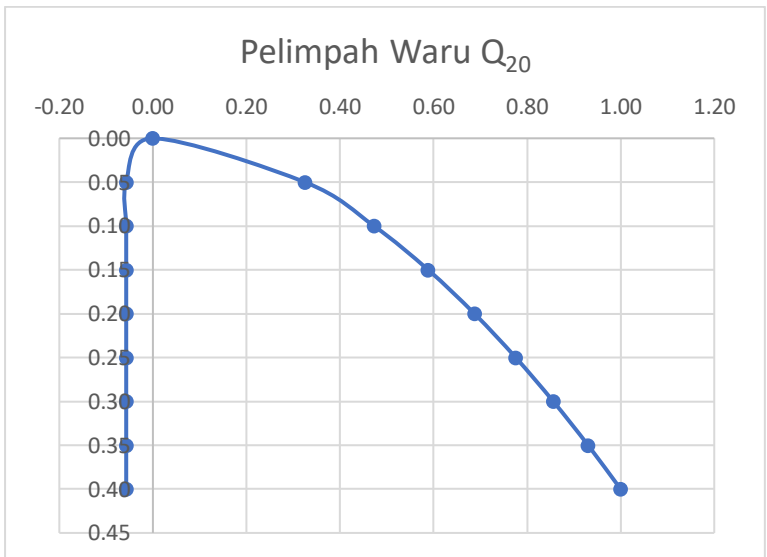
Gambar 4. 13 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{50}

c) Alternatif 4 (Q_{20})

**Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Waru Q_{20}
(Sumber : Hasil Perhitungan)**

Y	X
0.40	-0.06
0.35	-0.06
0.30	-0.06
0.25	-0.06
0.20	-0.06
0.15	-0.06

0.10	-0.06
0.05	-0.06
0.00	0.00
0.05	0.32
0.10	0.47
0.15	0.59
0.20	0.69
0.25	0.78
0.30	0.86
0.35	0.93
0.40	1.00

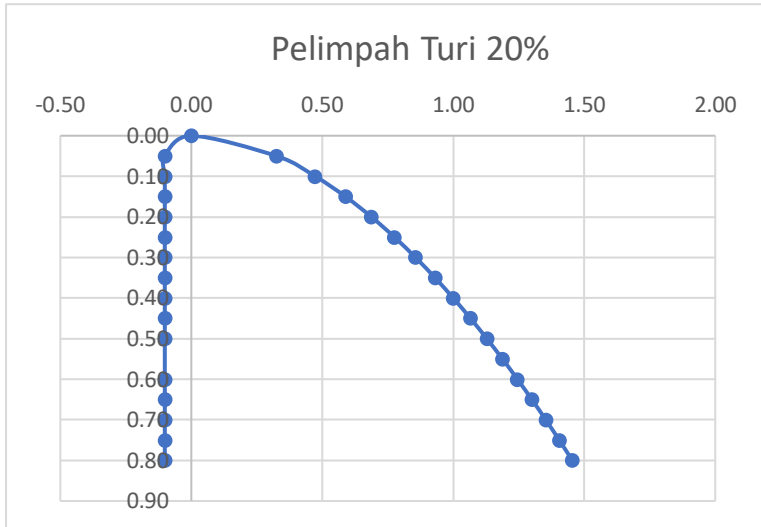


Gambar 4. 14 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{20}

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Mercu Ogee Turi Q_{20}
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Y	X
0.80	-0.10
0.75	-0.10
0.70	-0.10
0.65	-0.10
0.60	-0.10
0.50	-0.10
0.45	-0.10
0.40	-0.10
0.35	-0.10
0.30	-0.10
0.25	-0.10
0.20	-0.10
0.15	-0.10
0.10	-0.10
0.05	-0.10
0.00	0.00
0.05	0.32
0.10	0.47
0.15	0.59
0.20	0.69
0.25	0.78
0.30	0.86
0.35	0.93
0.40	1.00
0.45	1.07
0.50	1.13
0.55	1.19
0.60	1.24

0.65	1.30
0.70	1.35
0.75	1.40
0.80	1.45



Gambar 4. 15 Grafik Bentuk Mercu Ogee Q_{20}

4.4.2 Perencanaan Kolan Olak

Dalam bangunan *spillway* dibutuhkan kolan olak yang berfungsi untuk meredam energi setelah pelimpah. Menggunakan persamaan (2.6), (2.7), (2.8) dan (2.9) untuk mencari perencanaan kolan olak.

a) Alternatif 1 (Q_{100})

➤ Waru

Menggunakan persamaan (2.6) didapatkan

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2}H1 + Z\right)}$$

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} * 1.03 + 0.60\right)} = 4.68 \text{ m/detik}$$

$$y1 = \frac{q}{v1} = \frac{53.35}{4.68} = \frac{2.54}{4.68} = 0.54 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.8)

$$Fr = \frac{v1}{\sqrt{g * y1}} = \frac{4.68}{\sqrt{9.81 * 0.54}}$$

$$Fr = 2.03$$

Menggunakan persamaan (2.7)

$$\frac{y2}{y1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + Fr^2 - 1}$$

$$y2 = \frac{1}{2} * \sqrt{1 + (2.03)^2 - 1} * 0.54 = 0.55 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.9)

$$Lj = 5 * (n + y2)$$

$$Lj = 5 * (0.68 + 0.55) = 6.15 \text{ m}$$

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

➤ Waru

Menggunakan persamaan (2.6) didapatkan

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2}H1 + Z\right)}$$

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} * 0.89 + 0.60\right)} = 4.53 \text{ m/detik}$$

$$y1 = \frac{q}{v1} = \frac{\frac{42.68}{21}}{4.53} = \frac{2.03}{4.53} = 0.45 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.8)

$$Fr = \frac{v1}{\sqrt{g * y1}} = \frac{4.53}{\sqrt{9.81 * 0.45}}$$

$$Fr = 2.16$$

Menggunakan persamaan (2.7)

$$\frac{y2}{y1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + Fr^2 - 1}$$

$$y2 = \frac{1}{2} * \sqrt{1 + (2.16)^2 - 1} * 0.45 = 0.48 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.9)

$$Lj = 5 * (n + y2)$$

$$Lj = 5 * (0.56 + 0.48) = 5.23 \text{ m}$$

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

Menggunakan persamaan (2.6) didapatkan

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} H1 + Z\right)}$$

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} * 0.67 + 0.50\right)} = 4.04 \text{ m/detik}$$

$$y1 = \frac{q}{v1} = \frac{26.68}{4.04} = \frac{1.27}{4.04} = 0.31 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.8)

$$Fr = \frac{v1}{\sqrt{g * y1}} = \frac{4.04}{\sqrt{9.81 * 0.31}}$$

$$Fr = 2.30$$

Menggunakan persamaan (2.7)

$$\frac{y2}{y1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + Fr^2 - 1}$$

$$y2 = \frac{1}{2} * \sqrt{1 + (2.30)^2 - 1} * 0.31 = 0.36 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.9)

$$Lj = 5 * (n + y2)$$

$$Lj = 5 * (0.39 + 0.36) = 3.77 \text{ m}$$

➤ Turi

Menggunakan persamaan (2.6) didapatkan

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} H1 + Z\right)}$$

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} * 0.72 + 1.10\right)} = 5.35 \text{ m/detik}$$

$$y1 = \frac{q}{v1} = \frac{26.09}{5.35} = \frac{1.45}{5.35} = 0.27 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.8)

$$Fr = \frac{v1}{\sqrt{g * y1}} = \frac{5.35}{\sqrt{9.81 * 0.27}}$$

$$Fr = 3.28 \text{ (Menggunakan USBR IV)}$$

Menggunakan persamaan (2.7)

$$\frac{y2}{y1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + Fr^2 - 1}$$

$$y2 = \frac{1}{2} * \sqrt{1 + (3.28)^2 - 1} * 0.27 = 0.44 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.9)

$$Lj = 5 * (n + y2)$$

$$Lj = 5 * (0.34 + 0.44) = 3.92 \text{ m}$$

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

Menggunakan persamaan (2.6) didapatkan

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} H1 + Z\right)}$$

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} * 0.35 + 0.40\right)} = 3.36 \text{ m/detik}$$

$$y1 = \frac{q}{v1} = \frac{\frac{10.67}{21}}{3.36} = \frac{0.51}{3.36} = 0.31 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.8)

$$Fr = \frac{v1}{\sqrt{g * y1}} = \frac{3.36}{\sqrt{9.81 * 0.15}}$$

$$Fr = 2.76 \text{ (USBR IV)}$$

Menggunakan persamaan (2.7)

$$\frac{y2}{y1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + Fr^2 - 1}$$

$$y2 = \frac{1}{2} * \sqrt{1 + (2.76)^2 - 1} * 0.15 = 0.33 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.9)

$$Lj = 5 * (n + y2)$$

$$Lj = 5 * (0.41 + 0.31) = 3.61 \text{ m}$$

➤ Turi

Menggunakan persamaan (2.6) didapatkan

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} H1 + Z\right)}$$

$$v1 = \sqrt{2 * 9.81 * \left(\frac{1}{2} * 0.39 + 0.80\right)} = 4.42 \text{ m/detik}$$

$$y1 = \frac{q}{v1} = \frac{\frac{10.44}{18}}{4.42} = \frac{0.58}{4.42} = 0.13 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.8)

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * y_1}} = \frac{4.42}{\sqrt{9.81 * 0.13}}$$

$$Fr = 3.89 \text{ (Menggunakan USBR IV)}$$

Menggunakan persamaan (2.7)

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + Fr^2 - 1}$$

$$y_2 = \frac{1}{2} * \sqrt{1 + (3.89)^2 - 1} * 0.13 = 0.26 \text{ m}$$

Menggunakan persamaan (2.9)

$$L_j = 5 * (n + y_2)$$

$$L_j = 5 * (0.16 + 0.26) = 2.10 \text{ m}$$

4.4.3 Perencanaan Pintu pada Pelimpah

Perencanaan pintu pada pelimpah Waru dan Turi bertujuan sebagai salah satu cara untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Sehingga jika ada keperluan untuk menutup air masuk ke pipa dapat dengan menutup pintu. Berikut perencanaannya:

a) Alternatif 1 (Q₁₀₀)

➤ Waru

1) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

- Q Rencana : 53.35 m³/s
- B Saluran Pintu : 21 m
- H air : 1.23 m

Karena B saluran terlalu lebar, sehingga perlu adanya pilar di antara pintu.

- N pilar : 4 buah
- Lebar pilar : 1 m
- B pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - \text{Lebar pilar}}{N \text{ Pilar} + 1} = \frac{21-1}{4+1} = 4 \text{ m}$
- N Pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - (n \times \text{Lebar Pilar})}{B \text{ Pintu}} = \frac{21-(4 \times 1)}{3.4} = 5 \text{ buah}$

- g (percepatan gravitasi) : 9.81 m/s²
- Z (kehilangan energi) : 0.16 m
- μ (koefisien) : 0.70
- a (tinggi bukaan pintu)

$$a = \frac{\frac{Q}{N \text{ Pintu}}}{\mu b \sqrt{2gz}} = \frac{\frac{53.35}{5}}{0,8 \times 4 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,16}} = 0.42 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$$

Dimana :

μ = koefisien debit untuk bukaan dibawah permukaan dengan tinggi energi kecil

z = kehilangan energi akibat pintu (meter)

$$H_{\text{pintu}} = H_{\text{sal irigasi}} + 0.1 = 2.5 + 0.1 = 2.6 \text{ m}$$

2) Dimensi Pintu Air

Diketahui

- γ air : $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ t/m}^3$
- H air (H_a) : 1.23 m
- H Pintu (H_p) : 2.6 m
- B Pintu (B_p) : 3.4 m

3) Perhitungan gaya hidrostatik akibat air

- γ air : 1 t/m^3
- $P1 = \gamma \text{ air} \times h \text{ air}$: $1 \times 1.23 = 1.23 \text{ t/m}^2$
- Gaya yang bekerja

$$F = \frac{P1}{2} \times H_a \times B_p = \frac{1.23}{2} \times 1.23 \times 3.4 = 2.57 \text{ t/m}$$

4) Perhitungan gaya akibat endapan

- e = $\gamma_e \times H_a \times \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$

$$= 1.6 \text{ t/m} \times 2.57 \text{ m} \times \left(\frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} \right)$$

$$= 0.63 \text{ t/m}^2$$
- Fe = $0.5 \times e \times H_a \times B_p$

$$= 0.5 \times 0.63 \times 1.23 \times 3.4$$

$$= 1.31 \text{ t/m}$$

5) Perhitungan M_{max} pada daun pintu (sendi-sendiri)

- q = $\left(\frac{F + Fe}{B_p} \right) = \left(\frac{1.31 + 2.57}{3.4} \right) = 1.14 \text{ t/m}$
- $M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \times q \times B_p^2 \times 1000 \times 100$

$$= \frac{1}{8} \times 1.14 \times 3.4^2 \times 1000 \times 100$$

$$= 164870 \text{ kg.cm}$$

6) Perhitungan tebal daun pintu

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$w \geq \frac{M_{max}}{\sigma} \rightarrow w \geq \frac{164870 \text{ kg.cm}}{1600}$$

$$w \geq 103.04 \text{ cm}^3$$

σ = tegangan ijin baja (1600 kg/cm²)

$$t = \sqrt{\frac{6 \times w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 103.04}{3.4 \times 100}} = 1.35 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$$

7) Perhitungan Stang Pintu

- H Pintu : 2.6 m

- B Pintu : 3.4 m

- T Pintu : 0.015 m

- W Pintu : $2.6 \times 3.4 \times 0.015 \times 7950 \text{ kg/cm}^3$
= 1054.17 kg

- W Tambahan : $25\% \times W \text{ pintu} = 263.55 \text{ kg}$

- W Total : $1054.17 + 263.55 = 1317.72 \text{ kg}$

➤ Saat Pintu Dinaikkan

- Gaya Gesek = $0.4 \times q \times B_p \times 1000$
= $0.4 \times 1.29 \times 3.4 \times 1000$
= 1754.4 kg

- Beban yang Bekerja = W Total + Gaya Gesek
= $1317.72 + 1754.4$

$$\text{Str} = \frac{3072.12 \text{ kg}}{2 \text{ Stick As Drat}} = 1536.06 \text{ kg}$$

- Diameter stang naik = $Str = F \times \sigma_{tr}$
 $F (A) = \frac{Str}{\sigma_{tr}}$
 $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1536.06 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$
 $D = \sqrt{\frac{4 \times 1536.06}{\pi \times 1600}}$
 $D = 1.10 \text{ cm}$

➤ Saat Pintu Diturunkan

- Gaya Tekuk (Pk) = W Total – Gaya Gesek
 $= 1317.72 - 1754.4$
 $= -436.68 \text{ kg}$
- Panjang Stang (L) = a + 1
 $= 0.5 + 1.2$
 $= 1.7 \text{ m}$
- Panjang Tekuk (Lk) = $\frac{1}{2} \sqrt{2} \times L$
 $= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 170$
 $= 120.21 \text{ cm}$
- $Pk = \frac{l^2 \times E \times I}{Lk^2}$
 $I = \frac{Pk \times Lk^2}{l^2 \times E}$
 $= \frac{568.31 \times 120.21^2}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}$
 $= 0.4 \text{ kg.cm}^2$
- Diameter stang turun
 $I = 1/64 \times \pi \times D^4$
 $D = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$
 $D = \sqrt[4]{\frac{0.4 \times 64}{\pi}}$
 $D = 1.69 \text{ cm}$
- Diameter Stang Pakai
 Diameter stang turun = 1.69 cm
 Pakai 1 inch = 2.54 cm

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

➤ Waru

1) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

- Q Rencana : 42.68 m³/s
- B Saluran Pintu : 21 m
- H air : 1.10 m

Karena B saluran terlalu lebar, sehingga perlu adanya pilar di antara pintu.

- N pilar : 4 buah
 - Lebar pilar : 1 m
 - B pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - \text{Lebar pilar}}{N \text{ Pilar} + 1} = \frac{21-1}{4+1} = 3.4 \text{ m}$
 - N Pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - (n \times \text{Lebar Pilar})}{B \text{ Pintu}} = \frac{21-(4 \times 1)}{3.4} = 5 \text{ buah}$
 - g (percepatan gravitasi) : 9.81 m/s²
 - Z (kehilangan energi) : 0.16 m
 - μ (koefisien) : 0.70
 - a (tinggi bukaan pintu)
- $$a = \frac{\frac{Q}{N \text{ Pintu}}}{\mu b \sqrt{2gz}} = \frac{\frac{42.68}{5}}{0.8 \times 3.4 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.16}} = 0.33 \text{ m} = 0.40 \text{ m}$$

Dimana :

- μ = koefisien debit untuk bukaan dibawah permukaan dengan tinggi energi kecil
- z = kehilangan energi akibat pintu (meter)

$$H_{\text{pintu}} = H_{\text{sal irigasi}} + 0.1 = 2.5 + 0.1 = 2.6 \text{ m}$$

3) Dimensi Pintu Air

Diketahui

- γ air : 1000 kg/m³ = 1 t/m³

- H air (H_a) : 1.10 m
- H Pintu (H_p) : 2.6 m
- B Pintu (B_p) : 3.4 m

3) Perhitungan gaya hidrostatik akibat air

- γ air : 1 t/m³
- $P1 = \gamma \text{ air} \times h \text{ air} : 1 \times 1.10 = 1.10 \text{ t/m}^2$
- Gaya yang bekerja

$$F = \frac{P1}{2} \times H_a \times B_p = \frac{1.10}{2} \times 1.10 \times 3.4 = 2.06 \text{ t/m}$$

4) Perhitungan gaya akibat endapan

- $e = \gamma e \times H_a \times \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$

$$= 1.6 \text{ t/m} \times 1.10 \text{ m} \times \left(\frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} \right)$$

$$= 0.63 \text{ t/m}^2$$
- $F_e = 0.5 \times e \times H_a \times B_p$

$$= 0.5 \times 0.63 \times 1.10 \times 3.4$$

$$= 1.17 \text{ t/m}$$

5) Perhitungan M_{max} pada daun pintu (sendi-sendi)

- $q = \left(\frac{F + F_e}{B_p} \right) = \left(\frac{12.06 + 1.17}{3.4} \right) = 0.94 \text{ t/m}$
- $M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times B_p^2 \times 1000 \times 100$

$$= \frac{1}{8} \times 0.94 \times 3.4^2 \times 1000 \times 100$$

$$= 137113 \text{ kg.cm}$$

6) Perhitungan tebal daun pintu

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$w \geq \frac{M_{max}}{\sigma} \rightarrow w \geq \frac{137113 \text{ kg.cm}}{1600}$$

$$w \geq 185.70 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \text{tegangannya ijin baja (1600 kg/cm}^2\text{)}$$

$$t = \sqrt{\frac{6 \times w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 185.70}{3.4 \times 100}} = 1.23 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$$

7) Perhitungan Stang Pintu

- H Pintu : 2.6 m
- B Pintu : 3.4 m
- T Pintu : 0.015 m
- W Pintu : $2.6 \times 3.4 \times 0.015 \times 7950 \text{ kg/cm}^3$
= 1054.17 kg
- W Tambahan : $25\% \times W \text{ pintu} = 263.55 \text{ kg}$
- W Total : $1054.17 + 263.55 = 1317.72 \text{ kg}$
- Saat Pintu Dinaikkan
 - Gaya Gesek = $0.4 \times q \times B_p \times 1000$
= $0.4 \times 1.29 \times 3.4 \times 1000$
= 1754.4 kg
 - Beban yang Bekerja = W Total + Gaya Gesek
= $1317.72 + 1754.4$
Str = $\frac{3072.12 \text{ kg}}{2 \text{ Stick As Drat}} = 1536.06 \text{ kg}$

- Diameter stang naik = $Str = F \times \sigma_{tr}$
 $F (A) = \frac{Str}{\sigma_{tr}}$
 $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1536.06 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$
 $D = \sqrt{\frac{4 \times 1536.06}{\pi \times 1600}}$
 $D = 1.10 \text{ cm}$

➤ Saat Pintu Diturunkan

- Gaya Tekuk (Pk) = W Total – Gaya Gesek
 $= 1317.72 - 1754.4$
 $= -436.68 \text{ kg}$
- Panjang Stang (L) = a + 1
 $= 0.5 + 1.2$
 $= 1.7 \text{ m}$
- Panjang Tekuk (Lk) = $\frac{1}{2} \sqrt{2} \times L$
 $= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 170$
 $= 120.21 \text{ cm}$
- $Pk = \frac{l^2 \times E \times I}{Lk^2}$
 $I = \frac{Pk \times Lk^2}{l^2 \times E}$
 $= \frac{568.31 \times 120.21^2}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}$
 $= 0.4 \text{ kg.cm}^2$
- Diameter stang turun
 $I = 1/64 \times \pi \times D^4$
 $D = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$
 $D = \sqrt[4]{\frac{0.4 \times 64}{\pi}}$
 $D = 1.69 \text{ cm}$
- Diameter Stang Pakai
 Diameter stang turun = 1.69 cm
 Pakai 1 inch = 2.54 cm

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

1) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

- Q Rencana : 26.68 m³/s
- B Saluran Pintu : 21 m
- H air : 0.87 m

Karena B saluran terlalu lebar, sehingga perlu adanya pilar di antara pintu.

- N pilar : 4 buah
 - Lebar pilar : 1 m
 - B pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - \text{Lebar pilar}}{N \text{ Pilar} + 1} = \frac{21-1}{4+1} = 3.4 \text{ m}$
 - N Pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - (n \times \text{Lebar Pilar})}{B \text{ Pintu}} = \frac{21-(4 \times 1)}{3.4} = 5 \text{ buah}$
 - g (percepatan gravitasi) : 9.81 m/s²
 - Z (kehilangan energi) : 0.16 m
 - μ (koefisien) : 0.70
 - a (tinggi bukaan pintu)
- $$a = \frac{\frac{Q}{N \text{ Pintu}}}{\mu b \sqrt{2gz}} = \frac{\frac{26.68}{5}}{0,8 \times 3.4 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,16}} = 0.207 \text{ m} = 0.20 \text{ m}$$

Dimana :

- μ = koefisien debit untuk bukaan dibawah permukaan dengan tinggi energi kecil
- z = kehilangan energi akibat pintu (meter)

$$H_{\text{pintu}} = H_{\text{sal irigasi}} + 0.1 = 2.5 + 0.1 = 2.6 \text{ m}$$

2) Dimensi Pintu Air

Diketahui

- γ air : 1000 kg/m³ = 1 t/m³

- H air (H_a) : 0.87 m
- H Pintu (H_p) : 2.6 m
- B Pintu (B_p) : 3.4 m

3) Perhitungan gaya hidrostatis akibat air

- γ air : 1 t/m³
- $P1 = \gamma \text{ air} \times h \text{ air} : 1 \times 0.87 = 0.87 \text{ t/m}^2$
- Gaya yang bekerja

$$F = \frac{P1}{2} \times H_a \times B_p = \frac{0.87}{2} \times 0.87 \times 3.4 = 1.29 \text{ t/m}$$

4) Perhitungan gaya akibat endapan

- $e = \gamma_e \times H_a \times \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$

$$= 1.6 \text{ t/m} \times 0.87 \text{ m} \times \left(\frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} \right)$$

$$= 0.63 \text{ t/m}^2$$
- $F_e = 0.5 \times e \times H_a \times B_p$

$$= 0.5 \times 0.63 \times 0.87 \times 3.4$$

$$= 0.92 \text{ t/m}$$

5) Perhitungan M_{max} pada daun pintu (sendi-sendi)

- $q = \left(\frac{F + F_e}{B_p} \right) = \left(\frac{1.29 + 0.92}{3.4} \right) = 0.65 \text{ t/m}$
- $M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times B_p^2 \times 1000 \times 100$

$$= \frac{1}{8} \times 0.65 \times 3.4^2 \times 1000 \times 100$$

$$= 93986.4 \text{ kg.cm}$$

6) Perhitungan tebal daun pintu

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$w \geq \frac{M_{max}}{\sigma} \rightarrow w \geq \frac{93986.4 \text{ kg.cm}}{1600}$$

$$w \geq 58.75 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \text{tegangannya ijin baja (1600 kg/cm}^2\text{)}$$

$$t = \sqrt{\frac{6 \times w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 58.75}{3.4 \times 100}} = 1.02 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$$

7) Perhitungan Stang Pintu

- H Pintu : 2.6 m
- B Pintu : 3.4 m
- T Pintu : 0.015 m
- W Pintu : $2.6 \times 3.4 \times 0.015 \times 7950 \text{ kg/cm}^3$
= 1054.17 kg
- W Tambahan : $25\% \times W \text{ pintu} = 263.55 \text{ kg}$
- W Total : $1054.17 + 263.55 = 1317.72 \text{ kg}$
- Saat Pintu Dinaikkan
 - Gaya Gesek = $0.4 \times q \times B_p \times 1000$
= $0.4 \times 1.29 \times 3.4 \times 1000$
= 1754.4 kg
 - Beban yang Bekerja = W Total + Gaya Gesek
= $1317.72 + 1754.4$
Str = $\frac{3072.12 \text{ kg}}{2 \text{ Stick As Drat}} = 1536.06 \text{ kg}$

- Diameter stang naik = $Str = F \times \sigma_{tr}$
 $F (A) = \frac{Str}{\sigma_{tr}}$
 $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1536.06 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$
 $D = \sqrt{\frac{4 \times 1536.06}{\pi \times 1600}}$
 $D = 1.10 \text{ cm}$

➤ Saat Pintu Diturunkan

- Gaya Tekuk (Pk) = W Total – Gaya Gesek
 $= 1317.72 - 1754.4$
 $= -436.68 \text{ kg}$
- Panjang Stang (L) = a + 1
 $= 0.5 + 1.2$
 $= 1.7 \text{ m}$
- Panjang Tekuk (Lk) = $\frac{1}{2} \sqrt{2} \times L$
 $= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 170$
 $= 120.21 \text{ cm}$
- $Pk = \frac{l^2 \times E \times I}{Lk^2}$
 $I = \frac{Pk \times Lk^2}{l^2 \times E}$
 $= \frac{568.31 \times 120.21^2}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}$
 $= 0.4 \text{ kg.cm}^2$
- Diameter stang turun
 $I = 1/64 \times \pi \times D^4$
 $D = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$
 $D = \sqrt[4]{\frac{0.4 \times 64}{\pi}}$
 $D = 1.69 \text{ cm}$
- Diameter Stang Pakai
 Diameter stang turun = 1.69 cm
 Pakai 1 inch = 2.54 cm

➤ Turi

1) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

- Q Rencana : 26.09 m³/s
- B Saluran Pintu : 18 m
- H air : 1.70 m

Karena B saluran terlalu lebar, sehingga perlu adanya pilar di antara pintu.

- N pilar : 4 buah
- Lebar pilar : 1 m
- B pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - \text{Lebar pilar}}{N \text{ Pilar} + 1} = \frac{18-1}{4+1} = 2.8 \text{ m}$
- N Pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - (n \times \text{Lebar Pilar})}{B \text{ Pintu}} = \frac{18-(4 \times 1)}{2.8} = 5 \text{ buah}$
- g (percepatan gravitasi) : 9.81 m/s²
- Z (kehilangan energi) : 0.16 m
- μ (koefisien) : 0.70
- a (tinggi bukaan pintu)

$$a = \frac{\frac{Q}{\mu b \sqrt{2gz}}}{\frac{26.09}{0.8 \times 2.8 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.16}}} = 0.23 \text{ m} = 0.25 \text{ m}$$

Dimana :

- μ = koefisien debit untuk bukaan dibawah permukaan dengan tinggi energi kecil
- z = kehilangan energi akibat pintu (meter)

$$H_{\text{pintu}} = H_{\text{sal}} + 0.1 = 2 + 0.1 = 2.1 \text{ m}$$

2) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

Diketahui

- γ air : $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ t/m}^3$
- H air (H_a) : 1.70 m
- H Pintu (H_p) : 2.1 m
- B Pintu (B_p) : 2.8 m

3) Perhitungan gaya hidrostatik akibat air

- γ air : 1 t/m^3
- $P1 = \gamma \text{ air} \times h \text{ air} : 1 \times 1.7 = 1.7 \text{ t/m}^2$
- Gaya yang bekerja

$$F = \frac{P1}{2} \times H_a \times B_p = \frac{1.7}{2} \times 1.7 \times 2.8 = 4.05 \text{ t/m}$$

4) Perhitungan gaya akibat endapan

- $e = \gamma e \times H_a \times \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$
 $= 1.6 \text{ t/m} \times 1.7 \text{ m} \times \left(\frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} \right)$
 $= 0.63 \text{ t/m}^2$
- $Fe = 0.5 \times e \times H_a \times B_p$
 $= 0.5 \times 0.63 \times 1.7 \times 2.8$
 $= 1.5 \text{ t/m}$

5) Perhitungan Mmax pada daun pintu (sendi-sendu)

- $q = \left(\frac{F+Fe}{Bp} \right) = \left(\frac{4.05+1.5}{2.8} \right) = 1.97 \text{ t/m}$
- $M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Bp^2 \times 1000 \times 100$
 $= \frac{1}{8} \times 1.97 \times 2.8^2 \times 1000 \times 100$
 $= 193692 \text{ kg.cm}$

6) Perhitungan tebal daun pintu

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$w \geq \frac{M_{max}}{\sigma} \rightarrow w \geq \frac{193692 \text{ kg.cm}}{1600}$$

$$w \geq 121.06 \text{ cm}^3$$

$\sigma =$ tegangan ijin baja (1600 kg/cm²)

$$t = \sqrt{\frac{6 \times w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 121.06}{2.8 \times 100}} = 1.61 \text{ cm} = 0.020 \text{ m}$$

7) Perhitungan Stang Pintu

- H Pintu : 2.1 m
- B Pintu : 2.8 m
- T Pintu : 0.015 m
- W Pintu : $2.1 \times 2.8 \times 0.015 \times 7950 \text{ kg/cm}^3$
 $= 701.19 \text{ kg}$
- W Tambahan : $25\% \times W \text{ pintu} = 175.3 \text{ kg}$
- W Total : $701.19 + 175.3 = 876.49 \text{ kg}$
- Saat Pintu Dinaikkan
 - Gaya Gesek = $0.4 \times q \times Bp \times 1000$
 $= 0.4 \times 1.29 \times 2.8 \times 1000$
 $= 1444.8 \text{ kg}$
 - Beban yang Bekerja = $W \text{ Total} + \text{Gaya Gesek}$
 $= 876.49 + 1444.8$

$$\text{Str} = \frac{2321.29 \text{ kg}}{2 \text{ Stick As Drat}} = 1160.65 \text{ kg}$$

- Diameter stang naik = $Str = F \times \sigma_{tr}$
 $F (A) = \frac{Str}{\sigma_{tr}}$
 $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1160.65 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$
 $D = \sqrt{\frac{4 \times 1160.65}{\pi \times 1600}}$
 $D = 0.96 \text{ cm}$

➤ Saat Pintu Diturunkan

- Gaya Tekuk (Pk) = W Total – Gaya Gesek
 $= 876.49 - 1444.8$
 $= -568.31 \text{ kg}$
- Panjang Stang (L) = a + 1
 $= 0.5 + 1.2$
 $= 1.7 \text{ m}$
- Panjang Tekuk (Lk) = $\frac{1}{2} \sqrt{2} \times L$
 $= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 170$
 $= 120.21 \text{ cm}$
- $Pk = \frac{l^2 \times ExI}{Lk^2}$
 $I = \frac{Pk \times Lk^2}{l^2 \times E}$
 $= \frac{568.31 \times 120.21^2}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}$
 $= 0.4 \text{ kg.cm}^2$

- Diameter stang turun
 $I = 1/64 \times \pi \times D^4$
 $D = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$
 $D = \sqrt[4]{\frac{0.4 \times 64}{\pi}}$
 $D = 1.69 \text{ cm}$

➤ Diameter Stang Pakai

Diameter stang turun = 1.69 cm
 Pakai 1 inch = 2.54 cm

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

1) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

- Q Rencana : 10.67 m³/s
- B Saluran Pintu : 21 m
- H air : 0.60 m

Karena B saluran terlalu lebar, sehingga perlu adanya pilar di antara pintu.

- N pilar : 4 buah
 - Lebar pilar : 1 m
 - B pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - \text{Lebar pilar}}{N \text{ Pilar} + 1} = \frac{21-1}{4+1} = 3.4 \text{ m}$
 - N Pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - (n \times \text{Lebar Pilar})}{B \text{ Pintu}} = \frac{21-(4 \times 1)}{3.4} = 5 \text{ buah}$
 - g (percepatan gravitasi) : 9.81 m/s²
 - Z (kehilangan energi) : 0.16 m
 - μ (koefisien) : 0.70
 - a (tinggi bukaan pintu)
- $$a = \frac{\frac{Q}{N \text{ Pintu}}}{\mu b \sqrt{2gz}} = \frac{\frac{10.67}{5}}{0.8 \times 3.4 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.16}} = 0.082 \text{ m} = 0.08 \text{ m}$$

Dimana :

- μ = koefisien debit untuk bukaan dibawah permukaan dengan tinggi energi kecil
- z = kehilangan energi akibat pintu (meter)

$$H_{\text{pintu}} = H_{\text{sal irigasi}} + 0.1 = 2.5 + 0.1 = 2.6 \text{ m}$$

2) Dimensi Pintu Air

Diketahui

- γ air : 1000 kg/m³ = 1 t/m³

- H air (H_a) : 0.60 m
- H Pintu (H_p) : 2.6 m
- B Pintu (B_p) : 3.4 m

3) Perhitungan gaya hidrostatik akibat air

- γ air : 1 t/m³
- $P1 = \gamma \text{ air} \times h \text{ air} : 1 \times 0.60 = 0.60 \text{ t/m}^2$
- Gaya yang bekerja

$$F = \frac{P1}{2} \times H_a \times B_p = \frac{0.60}{2} \times 0.60 \times 3.4 = 0.61 \text{ t/m}$$

4) Perhitungan gaya akibat endapan

- $e = \gamma_e \times H_a \times \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$

$$= 1.6 \text{ t/m} \times 0.60 \text{ m} \times \left(\frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} \right)$$

$$= 0.63 \text{ t/m}^2$$
- $F_e = 0.5 \times e \times H_a \times B_p$

$$= 0.5 \times 0.63 \times 0.60 \times 3.4$$

$$= 0.64 \text{ t/m}$$

5) Perhitungan M_{max} pada daun pintu (sendi-sendi)

- $q = \left(\frac{F + F_e}{B_p} \right) = \left(\frac{0.61 + 0.64}{3.4} \right) = 0.37 \text{ t/m}$
- $M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times B_p^2 \times 1000 \times 100$

$$= \frac{1}{8} \times 0.37 \times 3.4^2 \times 1000 \times 100$$

$$= 53113.7 \text{ kg.cm}$$

6) Perhitungan tebal daun pintu

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$w \geq \frac{M_{max}}{\sigma} \rightarrow w \geq \frac{53113.7 \text{ kg.cm}}{1600}$$

$$w \geq 33.20 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \text{tegangannya ijin baja (1600 kg/cm}^2\text{)}$$

$$t = \sqrt{\frac{6 \times w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 33.20}{3.4 \times 100}} = 0.77 \text{ cm} = 0.8 \text{ m}$$

7) Perhitungan Stang Pintu

- H Pintu : 2.6 m
- B Pintu : 3.4 m
- T Pintu : 0.015 m
- W Pintu : $2.6 \times 3.4 \times 0.015 \times 7950 \text{ kg/cm}^3$
= 1054.17 kg
- W Tambahan : $25\% \times W \text{ pintu} = 263.55 \text{ kg}$
- W Total : $1054.17 + 263.55 = 1317.72 \text{ kg}$
- Saat Pintu Dinaikkan
 - Gaya Gesek = $0.4 \times q \times B_p \times 1000$
= $0.4 \times 1.29 \times 3.4 \times 1000$
= 1754.4 kg
 - Beban yang Bekerja = W Total + Gaya Gesek
= $1317.72 + 1754.4$
Str = $\frac{3072.12 \text{ kg}}{2 \text{ Stick As Drat}} = 1536.06 \text{ kg}$

- Diameter stang naik = $Str = F \times \sigma_{tr}$
 $F (A) = \frac{Str}{\sigma_{tr}}$
 $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1536.06 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$
 $D = \sqrt{\frac{4 \times 1536.06}{\pi \times 1600}}$
 $D = 1.10 \text{ cm}$

➤ Saat Pintu Diturunkan

- Gaya Tekuk (Pk) = W Total – Gaya Gesek
 $= 1317.72 - 1754.4$
 $= -436.68 \text{ kg}$
- Panjang Stang (L) = a + 1
 $= 0.5 + 1.2$
 $= 1.7 \text{ m}$
- Panjang Tekuk (Lk) = $\frac{1}{2} \sqrt{2} \times L$
 $= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 170$
 $= 120.21 \text{ cm}$
- $Pk = \frac{l^2 \times E \times I}{Lk^2}$
 $I = \frac{Pk \times Lk^2}{l^2 \times E}$
 $= \frac{568.31 \times 120.21^2}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}$
 $= 0.4 \text{ kg.cm}^2$
- Diameter stang turun
 $I = 1/64 \times \pi \times D^4$
 $D = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$
 $D = \sqrt[4]{\frac{0.4 \times 64}{\pi}}$
 $D = 1.69 \text{ cm}$
- Diameter Stang Pakai
 Diameter stang turun = 1.69 cm
 Pakai 1 inch = 2.54 cm

➤ Turi

1) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

- Q Rencana : 10.44 m³/s
- B Saluran Pintu : 18 m
- H air : 1.18 m

Karena B saluran terlalu lebar, sehingga perlu adanya pilar di antara pintu.

- N pilar : 4 buah
- Lebar pilar : 1 m
- B pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - \text{Lebar pilar}}{N \text{ Pilar} + 1} = \frac{18-1}{4+1} = 2.8 \text{ m}$
- N Pintu : $\frac{B \text{ Saluran Pintu} - (n \times \text{Lebar Pilar})}{B \text{ Pintu}} = \frac{18-(4 \times 1)}{2.8} = 5 \text{ buah}$
- g (percepatan gravitasi) : 9.81 m/s²
- Z (kehilangan energi) : 0.16 m
- μ (koefisien) : 0.70
- a (tinggi bukaan pintu)

$$a = \frac{\frac{Q}{\mu b \sqrt{2gz}}}{\frac{10.44}{5}} = \frac{10.44}{0,8 \times 2.8 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,16}} = 0.47 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$$

Dimana :

- μ = koefisien debit untuk bukaan dibawah permukaan dengan tinggi energi kecil
- z = kehilangan energi akibat pintu (meter)

$$H_{\text{pintu}} = H_{\text{sal}} + 0.1 = 2 + 0.1 = 2.1 \text{ m}$$

2) Dimensi Pintu Air

Pintu air yang digunakan direncanakan menggunakan pintu air dari pelat baja. Untuk mendapatkan tebal pintu air menggunakan rumus gaya hidrostatik akibat air dan menghitung Momen maksimum pada daun pintu.

Diketahui

- γ air : $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ t/m}^3$
- H air (H_a) : 1.18 m
- H Pintu (H_p) : 2.1 m
- B Pintu (B_p) : 2.8 m

3) Perhitungan gaya hidrostatik akibat air

- γ air : 1 t/m^3
- $P1 = \gamma \text{ air} \times h \text{ air} : 1 \times 1.18 = 1.18 \text{ t/m}^2$
- Gaya yang bekerja

$$F = \frac{P1}{2} \times H_a \times B_p = \frac{1.18}{2} \times 1.18 \times 2.8 = 1.95 \text{ t/m}$$

4) Perhitungan gaya akibat endapan

- $e = \gamma_e \times H_a \times \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$
 $= 1.6 \text{ t/m} \times 1.18 \text{ m} \times \left(\frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} \right)$
 $= 0.63 \text{ t/m}^2$
- $Fe = 0.5 \times e \times H_a \times B_p$
 $= 0.5 \times 0.63 \times 1.18 \times 2.8$
 $= 1.03 \text{ t/m}$

5) Perhitungan Mmax pada daun pintu (sendi-sendi)

- $q = \left(\frac{F+Fe}{Bp} \right) = \left(\frac{1.95+1.03}{2.8} \right) = 1.06 \text{ t/m}$
- $M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Bp^2 \times 1000 \times 100$
 $= \frac{1}{8} \times 1.06 \times 2.8^2 \times 1000 \times 100$
 $= 104378 \text{ kg.cm}$

6) Perhitungan tebal daun pintu

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$w \geq \frac{M_{max}}{\sigma} \rightarrow w \geq \frac{104378 \text{ kg.cm}}{1600}$$

$$w \geq 65.30 \text{ cm}^3$$

σ = tegangan ijin baja (1600 kg/cm²)

$$t = \sqrt{\frac{6 \times w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 65.30}{2.8 \times 100}} = 1.18 \text{ cm} = 0.020 \text{ m}$$

7) Perhitungan Stang Pintu

- H Pintu : 2.1 m
- B Pintu : 2.8 m
- T Pintu : 0.015 m
- W Pintu : $2.1 \times 2.8 \times 0.015 \times 7950 \text{ kg/cm}^3$
 $= 701.19 \text{ kg}$
- W Tambahan : $25\% \times W \text{ pintu} = 175.3 \text{ kg}$
- W Total : $701.19 + 175.3 = 876.49 \text{ kg}$
- Saat Pintu Dinaikkan
 - Gaya Gesek = $0.4 \times q \times Bp \times 1000$
 $= 0.4 \times 1.29 \times 2.8 \times 1000$
 $= 1444.8 \text{ kg}$
 - Beban yang Bekerja = $W \text{ Total} + \text{Gaya Gesek}$
 $= 876.49 + 1444.8$
 $= \frac{2321.29 \text{ kg}}{2 \text{ Stick As Drat}} = 1160.65 \text{ kg}$

- Diameter stang naik = $Str = F \times \sigma_{tr}$
 $F (A) = \frac{Str}{\sigma_{tr}}$
 $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1160.65 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$
 $D = \sqrt{\frac{4 \times 1160.65}{\pi \times 1600}}$
 $D = 0.96 \text{ cm}$

➤ Saat Pintu Diturunkan

- Gaya Tekuk (Pk) = W Total – Gaya Gesek
 $= 876.49 - 1444.8$
 $= -568.31 \text{ kg}$
- Panjang Stang (L) = a + 1
 $= 0.5 + 1.2$
 $= 1.7 \text{ m}$
- Panjang Tekuk (Lk) = $\frac{1}{2} \sqrt{2} \times L$
 $= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 170$
 $= 120.21 \text{ cm}$
- $Pk = \frac{l^2 \times ExI}{Lk^2}$
 $I = \frac{Pk \times Lk^2}{l^2 \times E}$
 $= \frac{568.31 \times 120.21^2}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}$
 $= 0.4 \text{ kg.cm}^2$

- Diameter stang turun
 $I = 1/64 \times \pi \times D^4$
 $D = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$
 $D = \sqrt[4]{\frac{0.4 \times 64}{\pi}}$
 $D = 1.69 \text{ cm}$

➤ Diameter Stang Pakai

Diameter stang turun = 1.69 cm
 Pakai 1 inch = 2.54 cm

4.5 Perencanaan *Headrace*

Direncanakan saluran pengarah sebagai pengalir aliran dari *spillway* menuju pipa pesat menggunakan persamaan (2.11), (2.12), (2.13) dan (2.14). Untuk kehilangan energi dari kolam olak menuju *headrace* menggunakan prinsip tangki bocor.

$$v = \sqrt{2 * g * y_2}$$

Didapatkan:

Tabel 4. 13 Rekapitan Kecepatan menuju *Headrace* dan Kehilangan Energi

Alternatif	Kecepatan (m ² /s)		Kehilangan energi (m)	
	Waru	Turi	Waru	Turi
1 (Q ₁₀₀)	3.29	-	0.55	-
2 (Q ₈₀)	3.08	-	0.48	-
3 (Q ₅₀)	2.66	2.95	0.36	0.44
4 (Q ₂₀)	2.02	2.24	0.21	0.26

Dalam kondisi kosong, aliran akan menjadi superkritis, namun diabaikan karena membutuhkan waktu kurang dari 40 detik.

Bentuk saluran pada kedua sisi memiliki penampang trapezium. Sehingga dalam mencari kebutuhan dimensi saluran pengarah menggunakan persamaan (2.11) sampai (2.14).

a) Alternatif 1 (Q₁₀₀)

➤ Waru

Lebar atas (B)	=	21	Meter
Lebar bawah (b)	=	16.86	Meter
Kemiringan (m)	=	1	
Tinggi air (h)	=	2.07	Meter
Kemiringan saluran (i)	=	0.001	

$$A = (b * h) + (m * h^2) = 39.18 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 22.71 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{39.18}{22.71} = 1.72 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A = 53.35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \dots \dots \dots (OK!)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{53.35}{39.18} = 1.36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{1.36^2}{2 * 9.81} = 0.09 \text{ m}$$

$$L = \frac{\Delta H}{i} = \frac{0.09}{0.001} = 86.10 \text{ m}$$

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

➤ Waru

$$\text{Lebar atas (B)} = 21 \text{ Meter}$$

$$\text{Lebar bawah (b)} = 17.10 \text{ Meter}$$

$$\text{Kemiringan (m)} = 1$$

$$\text{Tinggi air (h)} = 1.95 \text{ Meter}$$

$$\text{Kemiringan saluran (i)} = 0.001$$

$$A = (b * h) + (m * h^2) = 37.14 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 22.61 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{37.14}{22.61} = 1.64 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A = 42.68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \dots \dots \dots (OK!)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{42.68}{37.14} = 1.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{1.15^2}{2 * 9.81} = 0.07 \text{ m}$$

$$L = \frac{\Delta H}{i} = \frac{0.07}{0.001} = 80.60 \text{ m}$$

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

$$\text{Lebar atas (B)} = 21 \quad \text{Meter}$$

$$\text{Lebar bawah (b)} = 17.54 \quad \text{Meter}$$

$$\text{Kemiringan (m)} = 1$$

$$\text{Tinggi air (h)} = 1.73 \quad \text{Meter}$$

$$\text{Kemiringan saluran (i)} = 0.0005$$

$$A = (b * h) + (m * h^2) = 33.33 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 22.43 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{33.33}{22.43} = 1.48 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A = 26.68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \dots \dots \dots (OK!)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{26.68}{33.33} = 0.80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{0.80^2}{2 * 9.81} = 0.03 \text{ m}$$

$$L = \frac{\Delta H}{i} = \frac{0.03}{0.0005} = 70.60 \text{ m}$$

➤ Turi

$$\text{Lebar atas (B)} = 18 \quad \text{Meter}$$

$$\text{Lebar bawah (b)} = 14.56 \quad \text{Meter}$$

$$\text{Kemiringan (m)} = 1$$

$$\text{Tinggi air (h)} = 1.72 \quad \text{Meter}$$

$$\text{Kemiringan saluran (i)} = 0.001$$

$$A = (b * h) + (m * h^2) = 28.00 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 19.42 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{28.00}{19.42} = 1.44 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A = 26.09 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \dots \dots \dots (OK!)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{26.68}{19.28} = 0.93 \frac{m}{s}$$

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{1.38^2}{2 * 9.81} = 0.04 m$$

$$L = \frac{\Delta H}{i} = \frac{0.04}{0.001} = 67.80 m$$

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

Lebar atas (B)	=	21	Meter
Lebar bawah (b)	=	18.20	Meter
Kemiringan (m)	=	1	
Tinggi air (h)	=	1.40	Meter
Kemiringan saluran (i)	=	0.0001	

$$A = (b * h) + (m * h^2) = 27.44 m^2$$

$$P = b + 2h(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 22.16 m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{27.44}{22.16} = 1.23 m$$

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A = 10.67 \frac{m^3}{s} \dots \dots \dots (OK!)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{10.67}{27.44} = 0.39 \frac{m}{s}$$

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{0.39^2}{2 * 9.81} = 0.01 m$$

$$L = \frac{\Delta H}{i} = \frac{0.01}{0.0001} = 55.30 m$$

➤ Turi

Lebar atas (B)	=	18	Meter
Lebar bawah (b)	=	15.20	Meter
Kemiringan (m)	=	1	
Tinggi air (h)	=	1.40	Meter
Kemiringan saluran (i)	=	0.0002	

$$A = (b * h) + (m * h^2) = 23.24 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 19.16 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{23.24}{19.16} = 1.25 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} * A = 10.44 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \dots \dots \dots (OK!)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{10.44}{23.24} = 0.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta H = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{0.45^2}{2 * 9.81} = 0.01 \text{ m}$$

$$L = \frac{\Delta H}{i} = \frac{0.01}{0.0002} = 53.80 \text{ m}$$

4.6 Perencanaan *Trash rack*

Direncanakan trash rack dengan data sebagai berikut:

Jumlah (n)	=	5 buah
Dimensi	=	3 x 2 m
Jenis bahan	=	Besi pejal
Tebal kisi (δ)	=	10 mm
Bentuk	=	Persegi Panjang
Kemiringan (Θ)	=	75°
Jarak antar jeruji (ϵ)	=	100 mm
Koefisien profil (β)	=	2.42 (persegi)

4.6.1 Kehilangan energi akibat *trash rack*

a) Alternatif 1 (Q₁₀₀)

➤ Waru

Kehilangan energi sepanjang saluran *headrace* sebesar 0.09 m, dimasukkan ke persamaan berikut:

$$hf = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} = 2.42 * \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(65) * 0.09$$

$$hf = 0.01 \text{ m}$$

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

➤ Waru

Kehilangan energi sepanjang saluran *headrace* sebesar 0.07 m, dimasukkan ke persamaan berikut:

$$hf = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} = 2.42 * \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(65) * 0.07$$

$$hf = 0.007 \text{ m}$$

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

Kehilangan energi sepanjang saluran *headrace* sebesar 0.03 m, dimasukkan ke persamaan berikut:

$$hf = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} = 2.42 * \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(65) * 0.03$$

$$hf = 0.003 \text{ m}$$

➤ Turi

Kehilangan energi sepanjang saluran *headrace* sebesar 0.04 m, dimasukkan ke persamaan berikut:

$$hf = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} = 2.42 * \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(65) * 0.04$$

$$hf = 0.005 \text{ m}$$

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

Kehilangan energi sepanjang saluran *headrace* sebesar 0.01 m, dimasukkan ke persamaan berikut:

$$hf = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} = 2.42 * \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(65) * 0.01$$

$$hf = 0.001 \text{ m}$$

➤ Turi

Kehilangan energi sepanjang saluran *headrace* sebesar 0.01 m, dimasukkan ke persamaan berikut:

$$hf = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{v^2}{2g} = 2.42 * \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(65) * 0.01$$

$$hf = 0.001 \text{ m}$$

4.7 Perencanaan Pipa Pesat

Pipa pesat yang direncanakan menggunakan bahan baja. Pada sisi Waru dan Turi direncanakan memiliki jumlah pipa sebanyak empat buah dengan empat turbin. Dibutuhkan tinggi pipa penstock vertikal (Hp) yang didapatkan dari perhitungan Tinggi bruto dikurangi kehilangan energi yang dilewati. Berikut perhitungan Hp dan rekapan kehilangan energinya.

Tabel 4. 14 Rekapian perhitungan Tinggi Pipa penstock tiap Alternatif

Keterangan (Satuan dalam meter)	Alt.1		Alt.2		Alt. 3		Alt.4	
	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi
Tinggi Bruto (Hg)	15.68	-	15.68	-	15.68	16.00	15.68	16.00
HL1 (intake to spillway)	0.40	-	0.33	-	0.25	0.04	0.15	0.03
HL2 (Spillway)	0.69	-	0.72	-	0.59	1.50	0.59	1.03
HL3 (End olak – begin headrace)	0.55	-	0.48	-	0.36	0.44	0.31	0.26
HL4 (Begin headrace – end headrace)	0.094	-	0.067	-	0.033	0.044	0.008	0.010
HL5 (Trash rack)	0.0096	-	0.0068	-	0.0033	0.0045	0.0008	0.001
HL6 (Tinggi jagaan diatas pipa)	0.40	-	0.40	-	0.40	0.40	0.40	0.40
Tinggi pipa (Hp)	13.54	-	13.68	-	14.04	13.56	14.22	14.28

Tabel 4. 15 Tinggi Pipa Penstock tiap Alternatif

Keterangan (Satuan dalam meter)	Alt.1		Alt.2		Alt. 3		Alt.4	
	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi
Tinggi Pipa vertical (Hp)	13.35	-	13.52	-	13.97	13.52	14.45	14.27
Tinggi Pipa horizontal	15.90	-	16.09	-	16.62	16.10	17.20	16.98
Tinggi Pipa miring	20.80	-	21.05	-	21.75	21.06	22.50	22.23

4.7.1 Perencanaan Diameter Pipa

Dalam perencanaan diameter pipa dibutuhkan data debit, Tinggi pipa, koefisien manning dan Panjang pipa. Data dari masing-masing irigasi sebagai, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Rekap Data yang dibutuhkan untuk Menghitung Diameter Pipa Pesat tiap Alternatif

Keterangan	Satuan	Alt.1		Alt.2		Alt. 3		Alt.4	
		Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi
Debit	m ³ /s	53.35	-	42.68	-	26.68	26.09	10.67	10.44
Hp	m	13.54	-	13.68	-	14.04	13.56	14.22	14.28
n		0.012	-	0.012	-	0.012	0.012	0.012	0.012
L pipa	m	21.08	-	21.30	-	21.86	21.12	22.15	22.24
Jumlah pipa (n)	buah	4	-	4	-	4	4	4	4
Kec. Dalam satu Pipa (Vp)	m/s	7.85	-	7.42	-	6.60	6.56	5.25	5.22
Luas penampang satu pipa (Ap)	m ²	1.69	-	1.43	-	1.01	0.99	0.50	0.50
Keliling basah satu pipa (Pp)	m	4.62	-	4.24	-	3.56	3.53	2.52	2.50
Jari-jari hidrolik satu pipa (Rp)	m	0.36	-	0.33	-	0.28	0.28	0.20	0.19

Untuk mencari diameter pipa menggunakan persamaan (2.15) -(2.19) dan ambil nilai terkecil, berikut hasil perhitungan diameter pipa:

Tabel 4. 17 Rekap Hasil Perhitungan Diameter Pipa Pesat tiap Alternatif

Keterangan (Satuan dalam meter)	Alt.1		Alt.2		Alt. 3		Alt.4	
	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi
Warnick	2.74	-	2.45	-	6.67	1.91	1.22	1.21
USBR	2.87	-	2.56	-	1.93	2.02	1.27	1.26
Fahlbusch	2.62	-	2.36	-	2.00	1.90	1.26	1.25
ESHA	1.47	-	1.35	-	1.13	1.12	0.80	0.80
Sarkaria	3.20	-	2.84	-	2.23	2.24	1.41	1.40

Dari table diatas, diambil diameter pipa terkecil dimana didapatkan dengan menggunakan rumus ESHA, sehingga diameter yang digunakan pada seluruh alternative menggunakan ESHA.

$$Pa = 146044.93 \frac{N}{m^2}$$

- $$tp = \frac{Pa * Dp}{2 * \sigma_s * g * \eta} + 0,007$$

$$tp = \frac{146044.93 * 1.12}{2 * 24 * 10^6 * 9.81 * 90\%} + 0.007$$

$$tp = 0.007 m \cong 7.38 mm$$

- $$tp = Dp * \sqrt[3]{\frac{nPo}{2E}}$$

$$tp = 0.80 * \sqrt[3]{\frac{4 * 0.1}{2 * 2 * 10^5}} = 0.011m$$

$$tp \cong 11.24 mm \dots \dots \dots (menentukan!)$$

d) Alternatif 4 (Q20)

➤ Waru

$$Pa = (\rho * g * Hp * 110\%) + Po$$

$$Pa = (1000 * 9.81 * 14.22 * 110\%) + 101.325$$

$$Pa = 156023.18 \frac{N}{m^2}$$

- $$tp = \frac{Pa * Dp}{2 * \sigma_s * g * \eta} + 0,007$$

$$tp = \frac{156023.18 * 0.80}{2 * 24 * 10^6 * 9.81 * 90\%} + 0.007$$

$$tp = 0.007 m \cong 7.30 mm$$

- $$tp = Dp * \sqrt[3]{\frac{nPo}{2E}}$$

$$tp = 0.80 * \sqrt[3]{\frac{4 * 0.1}{2 * 2 * 10^5}} = 0.008m$$

$$tp \cong 8.04 mm \dots \dots \dots (menentukan!)$$

Tabel 4. 18 Rekap hasil Perhitungan Jarak Saddle Support tiap Alternatif

Keterangan	Satuan	Alt.1		Alt.2		Alt. 3		Alt.4	
		Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi	Waru	Turi
Berat Pipa (Wp)	Kg	265.27	-	224.40	-	157.73	155.14	79.33	78.03
Berat Air (Ww)	Kg	1664.34	-	1407.86	-	989.62	973.38	497.75	489.58
Berat total (Wt) = (Wp+Ww)	Kg	1929.61	-	1632.25	-	1147.35	1128.53	577.09	567.62
L maks saddle support	m	8.45	-	8.23	-	7.77	7.74	6.94	6.93

Dengan didapatkan jarak saddle support, maka diketahui jarak tiap penyangga pipa pesat yang akan digunakan dalam gambar perencanaan

4.8 Perencanaan *Surge Tank*

Parameter digunakan atau tidaknya *surge tank* dari dua tinjauan, yaitu tinjauan Panjang dan waktu yang terdapat pada persamaan (2.27) dan (2.28). Jika hasil menunjukkan tidak dibutuhkannya *surge tank*, maka tidak dibutuhkan gambar perencanaan *surge tank*

a) Alternatif 1 (Q₁₀₀)

➤ Waru

$$t = \frac{Vp * Lp}{g * Hg} = \frac{7.85 * 21.58}{9.81 * 15.70} = 1.07 \text{ detik} < 3 \text{ detik (NO)}$$

$$L < 5H_{gross} = 20.80 < 5 * 15.70 = 20.80 < 78.40 \dots \text{(NO)}$$

Maka tidak dibutuhkan perencanaan *surge tank*.

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

➤ Waru

$$t = \frac{Vp * Lp}{g * Hg} = \frac{7.43 * 21.06}{9.81 * 15.70} = 1.02 \text{ detik} < 3 \text{ detik (NO)}$$

$$L < 5H_{gross} = 21.06 < 5 * 15.70 = 21.06 < 78.40 \dots \text{(NO)}$$

Maka tidak dibutuhkan perencanaan *surge tank*.

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

$$t = \frac{Vp * Lp}{g * Hg} = \frac{6.60 * 22.53}{9.81 * 15.68} = 0.94 \text{ detik} < 3 \text{ detik (NO)}$$

$$L < 5H_{gross} = 21.75 < 5 * 15.68 = 21.75 < 78.40 \dots \text{(NO)}$$

Maka tidak dibutuhkan perencanaan *surge tank*.

➤ Turi

$$t = \frac{Vp * Lp}{g * Hg} = \frac{6.57 * 21.07}{9.81 * 16.02} = 0.88 \text{ detik} < 3 \text{ detik (NO)}$$

$$L < 5H_{gross} = 21.07 < 5 * 16.02 = 21.07 < 80.00 \dots (NO)$$

Maka tidak dibutuhkan perencanaan *surge tank*.

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

$$t = \frac{Vp * Lp}{g * Hg} = \frac{5.25 * 22.51}{9.81 * 15.70} = 0.77 \text{ detik} < 3 \text{ detik (NO)}$$

$$L < 5H_{gross} = 22.51 < 5 * 15.70 = 21.51 < 78.40 \dots (NO)$$

Maka tidak dibutuhkan perencanaan *surge tank*.

➤ Turi

$$t = \frac{Vp * Lp}{g * Hg} = \frac{5.22 * 22.23}{9.81 * 16.02} = 0.74 \text{ detik} < 3 \text{ detik (NO)}$$

$$L < 5H_{gross} = 22.23 < 5 * 16.02 = 22.23 < 80.00 \dots (NO)$$

Maka tidak dibutuhkan perencanaan *surge tank*.

4.9 Perhitungan Kehilangan Energi dan Elevasi

Estimasi kehilangan energi dalam perencanaan PLTMH dibagi menjadi dua bagian, yaitu *major* dan *minor*. Kehilangan *major* adalah kehilangan energi yang disebabkan oleh gesekan, sedangkan *minor* adalah kehilangan energi ketika aliran mengalami perubahan ukuran penampang atau belokan. Perhitungan ini menggunakan persamaan (2.32) – (2.34).

a) Alternatif 1 (Q₁₀₀)

➤ Waru

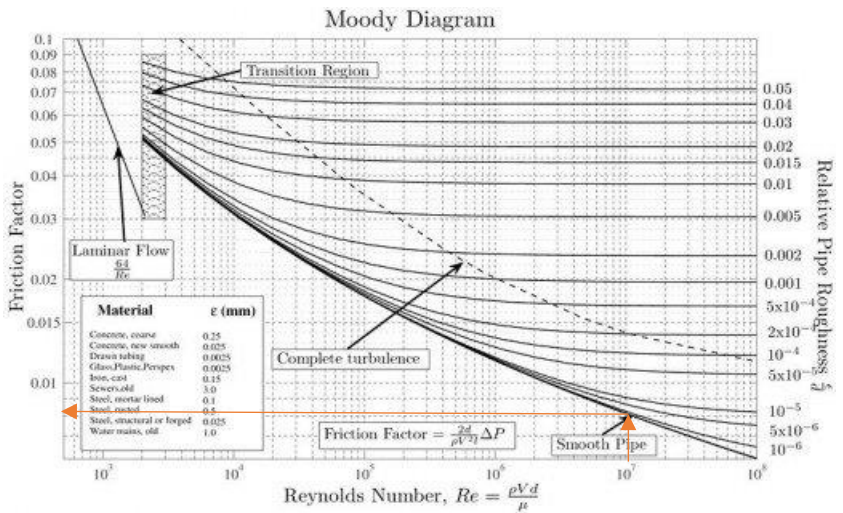
- Kehilangan energi *Major*

Dibutuhkan nilai f yang didapat dari grafik Moody dan bilangan Reynolds sehingga diadulukan mencari nilai tersebut.

$$Re = \frac{\rho * Vp * Dp}{\vartheta} = \frac{1000 * 7.85 * 1.47}{0.0010} = 11.5 * 10^6$$

$$r = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.045}{1.47 * 1000} = 3.06 * 10^{-5}$$

Dari grafik moody ditarik antara nilai Reynolds dan kekasaran pipa sehingga mendapatkan nilai $f = 0.005$ dan termasuk aliran transisi.



Gambar 4. 16 Grafik Moody

$$hf = \frac{fL v^2}{2gD} = 0.005 * \frac{(21.58 * 7.85^2)}{2 * 9.81 * 1.47} = 0.23 \text{ m}$$

- Kehilangan Energi *Minor*

- Inlet pipa

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} = 0.04 * \frac{7.85^2}{2 * 9.81} = 0.12 \text{ m}$$

- Pada belokan pipa

$$hf = kb * \frac{v^2}{2 * g} = 0.14 * \frac{7.85^2}{2 * 9.81} = 0.44 \text{ m}$$

- Pada outlet pipa

$$hf = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{7.85^2}{2 * 9.81} = 3.14 \text{ m}$$

Total kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa

$$\Sigma hf \text{ Total} = hf \text{ mayor} + \Sigma hf \text{ minor}$$

$$\Sigma hf \text{ Total} = 0.23 + 0.12 + 3.14 + 0.44 = 3.94 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi efektif PLTMH pada sisi Waru adalah

$$Heff = Hp - \Sigma hf$$

$$Heff = 13.54 - 3.93 = 9.60 \text{ m}$$

Keterangan	Nilai
Elv. Dasar Sungai	+40.00 m
Elv. M.A pada pelimpah	+56.91 m
Elv. M.A Awal Olak	+56.22m
Elv. M.A Akhir Olak	+56.23m
Elv. M.A Awal <i>Headrace</i>	+55.68 m
Elv. M.A Akhir <i>Headrace</i>	+55.59 m
Elv. M.A setelah <i>trashrack</i>	+55.49 m
Elv M.A Awal <i>penstock</i>	+55.09 m
Elv. M.A Akhir <i>penstock</i>	+43.55 m
Elv. M.A <i>Tailrace</i>	+42.50 m

b) Alternatif 2 (Q₈₀)

➤ Waru

- Kehilangan energi *Major*

Dibutuhkan nilai f yang didapat dari grafik Moody dan bilangan Reynolds sehingga didahulukan mencari nilai tersebut.

$$Re = \frac{\rho * Vp * Dp}{\vartheta} = \frac{1000 * 7.42 * 1.35}{0.0010} = 10.04 * 10^6$$

$$r = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.045}{1.35 * 1000} = 3.33 * 10^{-5}$$

Dari grafik moody ditarik antara nilai Reynolds dan kekasaran pipa sehingga mendapatkan nilai $f = 0.007$ dan termasuk aliran transisi.

$$hf = \frac{fL v^2}{2gD} = 0.007 * \frac{(21.05 * 7.42^2)}{2 * 9.81 * 1.35} = 0.30 \text{ m}$$

- Kehilangan Energi *Minor*
- Inlet pipa

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} = 0.04 * \frac{7.42^2}{2 * 9.81} = 0.11 \text{ m}$$

- Pada belokan pipa

$$hf = kb * \frac{v^2}{2 * g} = 0.14 * \frac{7.42^2}{2 * 9.81} = 0.39 \text{ m}$$

- Pada outlet pipa

$$hf = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{7.42^2}{2 * 9.81} = 2.81 \text{ m}$$

Total kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa

$$\Sigma hf_{Total} = hf_{mayor} + \Sigma hf_{minor}$$

$$\Sigma hf_{Total} = 0.30 + 0.11 + 2.81 + 0.39 = 3.62 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi efektif PLTMH pada sisi Waru adalah

$$H_{eff} = H_p - \Sigma hf$$

$$H_{eff} = 13.68 - 3.62 = 10.05 \text{ m}$$

Keterangan	Nilai
Elv. Dasar Sungai	+40.00 m
Elv. M.A pada pelimpah	+56.78 m
Elv. M.A Awal Olak	+56.13m
Elv. M.A Akhir Olak	+56.16m
Elv. M.A Awal <i>Headrace</i>	+55.68 m
Elv. M.A Akhir <i>Headrace</i>	+55.61 m
Elv. M.A setelah <i>trashrack</i>	+55.55 m
Elv M.A Awal <i>penstock</i>	+55.15 m
Elv. M.A Akhir <i>penstock</i>	+43.46 m
Elv. M.A <i>Tailrace</i>	+42.50 m

c) Alternatif 3 (Q₅₀)

➤ Waru

- Kehilangan energi *Major*

Dibutuhkan nilai *f* yang didapat dari grafik Moody dan bilangan Reynolds sehingga didahulukan mencari nilai tersebut.

$$Re = \frac{\rho * Vp * Dp}{\vartheta} = \frac{1000 * 6.60 * 1.13}{0.0010} = 7.48 * 10^6$$

$$r = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.045}{1.35 * 1000} = 3.39 * 10^{-5}$$

Dari grafik moody ditarik antara nilai Reynolds dan kekasaran pipa sehingga mendapatkan nilai $f = 0.007$ dan termasuk aliran transisi.

$$hf = \frac{fL v^2}{2gD} = 0.007 * \frac{(21.05 * 7.42^2)}{2 * 9.81 * 1.35} = 0.30 \text{ m}$$

- Kehilangan Energi *Minor*

• Inlet pipa

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} = 0.04 * \frac{7.42^2}{2 * 9.81} = 0.08 \text{ m}$$

• Pada belokan pipa

$$hf = kb * \frac{v^2}{2 * g} = 0.14 * \frac{7.42^2}{2 * 9.81} = 0.31 \text{ m}$$

• Pada outlet pipa

$$hf = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{7.42^2}{2 * 9.81} = 2.22 \text{ m}$$

Total kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa

$$\Sigma hf \text{ Total} = hf \text{ mayor} + \Sigma hf \text{ minor}$$

$$\Sigma hf \text{ Total} = 0.30 + 0.08 + 2.22 + 0.31 = 2.92 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi efektif PLTMH pada sisi Waru adalah

$$Heff = Hp - \Sigma hf$$

$$Heff = 14.04 - 2.92 = 11.11 \text{ m}$$

Keterangan	Nilai
Elv. Dasar Sungai	+40.00 m
Elv. M.A pada pelimpah	+56.55 m
Elv. M.A Awal Olak	+56.00m
Elv. M.A Akhir Olak	+56.04m
Elv. M.A Awal <i>Headrace</i>	+55.68 m
Elv. M.A Akhir <i>Headrace</i>	+55.65 m
Elv. M.A setelah <i>trashrack</i>	+55.61 m
Elv M.A Awal <i>penstock</i>	+55.21 m
Elv. M.A Akhir <i>penstock</i>	+43.18 m
Elv. M.A <i>Tailrace</i>	+42.50 m

➤ Turi

- Kehilangan energi *Major*

Dibutuhkan nilai f yang didapat dari grafik Moody dan bilangan Reynolds sehingga didahulukan mencari nilai tersebut.

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{5.22 * 0.80}{0.0010} = 7.38 * 10^6$$

$$r = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.045}{0.8} = 4.0 * 10^{-5}$$

Dari grafik moody ditarik antara nilai Reynolds dan kekasaran pipa sehingga mendapatkan nilai $f = 0.001$ dan termasuk aliran transisi.

$$hf = \frac{fL v^2}{2gD} = 0.001 * \frac{(21.06 * 6.56^2)}{2 * 9.81 * 1.12} = 0.41 \text{ m}$$

- Kehilangan Energi *Minor*

- Inlet pipa

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} = 0.04 * \frac{6.56^2}{2 * 9.81} = 0.08 \text{ m}$$

- Pada belokan pipa

$$hf = kb * \frac{v^2}{2 * g} = 0.14 * \frac{6.56^2}{2 * 9.81} = 0.30 \text{ m}$$

- Pada outlet pipa

$$hf = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{6.56^2}{2 * 9.81} = 2.20 \text{ m}$$

Total kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa

$$\Sigma hf \text{ Total} = hf \text{ mayor} + \Sigma hf \text{ minor}$$

$$\Sigma hf \text{ Total} = 0.41 + 0.08 + 2.20 + 0.30 = 3.00 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi efektif PLTMH pada sisi Turi adalah

$$H_{eff} = H_p - \Sigma hf$$

$$H_{eff} = 13.56 - 3.00 = 10.55 \text{ m}$$

Keterangan	Nilai
Elv. Dasar Sungai	+40.00 m
Elv. M.A pada pelimpah	+57.70m
Elv. M.A Awal Olak	+56.27 m
Elv. M.A Akhir Olak	+56.44 m
Elv. M.A Awal <i>Headrace</i>	+56.00 m
Elv. M.A Akhir <i>Headrace</i>	+55.96 m
Elv. M.A setelah <i>trashrack</i>	+55.91 m
Elv M.A Awal <i>penstock</i>	+55.51 m
Elv. M.A Akhir <i>penstock</i>	+42.92 m
Elv. M.A <i>Tailrace</i>	+42.50 m

d) Alternatif 4 (Q₂₀)

➤ Waru

- Kehilangan energi *Major*

Dibutuhkan nilai f yang didapat dari grafik Moody dan bilangan Reynolds sehingga didahulukan mencari nilai tersebut.

$$Re = \frac{\rho * Vp * Dp}{\vartheta} = \frac{1000 * 5.25 * 0.80}{0.0010} = 4.22 * 10^6$$

$$r = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.045}{1.35 * 1000} = 5.60 * 10^{-5}$$

Dari grafik moody ditarik antara nilai Reynolds dan kekasaran pipa sehingga mendapatkan nilai $f = 0.0125$ dan termasuk aliran transisi.

$$hf = \frac{fL v^2}{2gD} = 0.0125 * \frac{(22.50 * 5.25^2)}{2 * 9.81 * 0.80} = 0.49 m$$

- Kehilangan Energi *Minor*

- Inlet pipa

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} = 0.04 * \frac{5.25^2}{2 * 9.81} = 0.05 m$$

- Pada belokan pipa

$$hf = kb * \frac{v^2}{2 * g} = 0.14 * \frac{5.25}{2 * 9.81} = 0.19 m$$

- Pada outlet pipa

$$hf = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{5.25^2}{2 * 9.81} = 1.40 m$$

Total kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa

$$\Sigma hf_{Total} = hf_{mayor} + \Sigma hf_{minor}$$

$$\Sigma hf_{Total} = 0.49 + 0.05 + 0.19 + 1.40 = 2.15 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi efektif PLTMH pada sisi Waru adalah

$$H_{eff} = H_p - \Sigma hf$$

$$H_{eff} = 14.22 - 2.15 = 12.08 \text{ m}$$

Keterangan	Nilai
Elv. Dasar Sungai	+40.00 m
Elv. M.A pada pelimpah	+56.28 m
Elv. M.A Awal Olak	+56.00 m
Elv. M.A Akhir Olak	+56.01 m
Elv. M.A Awal <i>Headrace</i>	+55.68 m
Elv. M.A Akhir <i>Headrace</i>	+55.67 m
Elv. M.A setelah <i>trashrack</i>	+55.66 m
Elv. M.A Awal <i>penstock</i>	+55.26 m
Elv. M.A Akhir <i>penstock</i>	+43.04 m
Elv. M.A <i>Tailrace</i>	+42.50 m

➤ Turi

- Kehilangan energi *Major*

Dibutuhkan nilai f yang didapat dari grafik Moody dan bilangan Reynolds sehingga diutamakan mencari nilai tersebut.

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{5.22 * 0.80}{0.0010} = 4.16 * 10^6$$

$$r = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.045}{0.8} = 5.6 * 10^{-5}$$

Dari grafik moody ditarik antara nilai Reynolds dan kekasaran

pipa sehingga mendapatkan nilai $f = 0.012$ dan termasuk aliran transisi.

$$hf = \frac{fL v^2}{2gD} = 0.001 * \frac{(22.23 * 5.22^2)}{2 * 9.81 *} = 0.48 m$$

- Kehilangan Energi *Minor*

- Inlet pipa

$$hL = kL * \frac{V^2}{2g} = 0.04 * \frac{5.22^2}{2 * 9.81} = 0.05m$$

- Pada belokan pipa

$$hf = kb * \frac{v^2}{2 * g} = 0.14 * \frac{5.22^2}{2 * 9.81} = 0.20m$$

- Pada outlet pipa

$$hf = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{5.22^2}{2 * 9.81} = 1.39 m$$

Total kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa

$$\Sigma hf Total = hf mayor + \Sigma hf minor$$

$$\Sigma hf Total = 0.48 + 0.05 + 0.20 + 1.39 = 2.12 m$$

Sehingga, tinggi efektif PLTMH pada sisi Turi adalah

$$Heff = Hp - \Sigma hf$$

$$Heff = 14.28 - 2.12 = 12.15 m$$

Keterangan	Nilai
Elv. Dasar Sungai	+40.00 m
Elv. M.A pada pelimpah	+57.18m
Elv. M.A Awal Olak	+56.13 m
Elv. M.A Akhir Olak	+56.26 m
Elv. M.A Awal <i>Headrace</i>	+56.00 m
Elv. M.A Akhir <i>Headrace</i>	+55.99 m
Elv. M.A setelah <i>trashrack</i>	+55.98 m
Elv M.A Awal <i>penstock</i>	+55.58 m
Elv. M.A Akhir <i>penstock</i>	+43.30 m
Elv. M.A <i>Tailrace</i>	+42.50 m

4.10 Penentuan Alternatif untuk Pembangkit Listrik

Setelah menghitung seluruh komponen pembangkit dimulai dari perencanaan intake menggunakan spillway Ogee, kolam olak, saluran headrace, pipa pesat kita dapat mengetahui kebutuhan panjang lahan yang akan digunakan dan disesuaikan terhadap ketersediaan lahan serta dimensi yang baik. Berikut rekapan perhitungan total panjang yang dibutuhkan dan dicocokkan dengan ketersediaan lahan.

Tabel 4. 19 Rekapitan Perhitungan Kebutuhan Panjang Lahan Pembangkit Listrik Tiap Alternatif

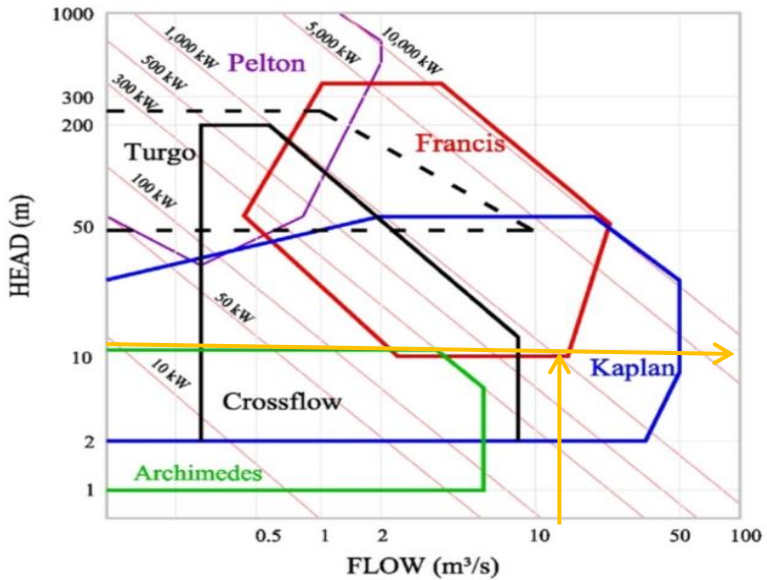
		Panjang (satuan dalam meter)				Limit	Check
		Spillway	Kolam Olak	Headrace	Total		
Alt.1	Waru	1.42	6.15	86.10	89.47	68.00	NOT OK
	Turi	-	-	-	-	-	-
Alt.2	Waru	1.40	5.23	80.60	87.27	68.00	NOT OK
	Turi	-	-	-	-	-	-
Alt.3	Waru	1.24	3.77	70.60	75.57	68.50	NOT OK
	Turi	1.92	3.92	67.80	73.59	100	OK
Alt.4	Waru	1.06	2.00	55.30	60.09	68.50	OK
	Turi	1.56	2.10	53.80	57.48	100	OK

Dari table diatas dapat dilihat bahwa ketersediaan pilihan tersisa Alternatif 3 – Alternatif 4. Melihat dari brosur pipa dengan kisaran diameter pipa alternative antara 1.47 – 0.80 m menunjukkan pipa termasuk pipa tebal, sehingga baiknya mengambil diameter terkecil. Maka itu, dalam tugas akhir ini digunakan **Alternatif 4** untuk pembangkit listrik sisi Waru dan Turi.

4.11 Perencanaan Jenis Turbin

Dari hasil perencanaan komponen PLTMH, kita telah mendapatkan debit aliran yang mengalir untuk memutar turbin serta tinggi efektifnya. Kedua data ini dapat menentukan jenis turbin yang digunakan dengan bantuan grafik. Berikut rekapan debit dan tinggi efektif masing-masing sisi:

Keterangan	WARU	TURI
Debit	10.67 m ³ /detik	10.44 m ³ /detik
Tinggi efektif	12.08 m	12.15 m



Gambar 4. 17 Grafik Tinggi Jatuh Air dan Debit untuk menentukan Jenis Turbin

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kedua sisi PLTMH menggunakan turbin jenis Kaplan.

4.12 Perhitungan Daya dan Energi

Besar debit andalan dan tinggi jatuh efektif yang diketahui serta jenis turbin yang digunakan dilanjutkan dengan perhitungan daya dan energi dari PLTMH tersebut. Dalam perhitungan ini digunakan persamaan (2.35) dan (2.36). Pada perhitungan Energi dikalikan 80% sebagai faktor yang digunakan jika pembangkit akan melakukan pengecekan atau pembersihan pada komponen-komponennya.

a) Waru

$$P = \eta * \rho * g * H_{eff} * Q$$

$$P = 90\% * 1000 * 9.81 * 12.08 * 10.67$$

$$P = 1138043.368 \text{ watt} = 1138.04 \text{ kW}$$

$$E = P * t = 672.40 * 24 \text{ jam} * 365 \text{ hari}$$

$$E = 1138.04 * 8760 \text{ jam} = 9969259.90 \text{ kWh}$$

$$E = 9969259.90 * 80\% = 7975407.92 \text{ kWh}$$

b) Turi

$$P = \eta * \rho * g * H_{eff} * Q$$

$$P = 90\% * 1000 * 9.81 * 12.15 * 10.44$$

$$P = 1119246.85 \text{ watt} = 1119.24 \text{ kW}$$

$$E = P * t = 1119.24 * 24 \text{ jam} * 365 \text{ hari}$$

$$E = 679.95 * 8760 \text{ jam} = 9804602.45 \text{ kWh}$$

$$E = 5956448.74 * 80\% = 7843681.96 \text{ kWh}$$

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Debit Sungai Brantas yang dimanfaatkan sebesar 53.32 m³/detik.
2. Pada sisi Waru dimanfaatkan debit sebesar 10.67 m³/detik dan tinggi efektif sebesar 12.03 m. Untuk sisi Turi dimanfaatkan debit sebesar 10.44 m³/detik dan tinggi efektif sebesar 12.15 m.
3. Jenis turbin yang digunakan pada kedua sisi adalah Turbin Kaplan dengan efisiensi 90%
4. Desain pembangkit listrik terdiri atas spillway bentuk Ogee, Headrace, pipa pesat, turbin dan rumah pembangkit. Pipa yang digunakan berdiameter 80 cm.
5. Daya yang dihasilkan pada PLTMH Waru sebesar 1138.04 kW dan pada PLTMH Turi sebesar 1119.24 kW

5.2 Saran

1. Dalam perencanaan PLTMH dengan kondisi lahan kecil namun potensi tinggi dan debit besar, dapat digunakan PLTA dengan mode lain seperti dengan tower atau lainnya sehingga tidak memakan banyak lahan dan dapat memanfaatkan lebih banyak debit.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. F. (2018). *PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI HIDRO DI BENDUNG GONDANG KARANGANYAR JAWA TENGAH*. Surabaya: Departemen Teknik Sipil ITS.
- Ansori, M. B., Edijatno, & Soesanto, S. R. (2018). *IRIGASI DAN BANGUNAN AIR*. Surabaya: Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai Departemen Sipil ITS.
- Aprilianto, R. R., Fungkas, A., Wahyuni, S. E., & Suharyanto. (n.d.). *PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) KARANGTALUN, KABUPATEN TEMANGGUNG. Perencanaan Pembangkit Listrik*.
- Haryanai, T., Wardoyo, W., & S.A, A. H. (2015). *PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI SALURAN IRIGASI MATARAM. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Saluran Irigasi Mataram*.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (n.d.). *Manual Pembangunan PLTMH*. IBEKA.
- Karindra, G. (2019). *PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR DI BENDUNG BERINGIN SILA NUSA TENGGARA BARAT*. Surabaya: Departemen Teknik Sipil ITS.
- KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM. (2013). *Tata Cara Perencanaan, Pelaksanaan, Operasi dan Pemeliharaan Sistem Pompa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2017). *Modul 8 Desain Bangunan Pelengkap*. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Kumar, A., & Schei, T. (2011). *Hydropower*. New York: IPCC.
- Mayasari, H. (2006). PEMANFAATAN BENDUNG GERAK MLIRIP MOJOKERTO SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO. *Hidrolika*, 5-9.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. U.S: Ingra Association .
- P, T., & Fadli, M. H. (2009). *DETAIL ENGINEERING DESIGN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) CIBALAPULANG 2 (2 X 3,25 MW) & CIBALAPULANG 3 (2 X 3 MW)*. Cianjur: PT. Wiratman, Power Engineering Division.
- Rewu, O. (2016). *Proyek PLTA*. Yogyakarta: TEKNOSAIN.
- SNI 8137:2015. (2015). *Pengukuran Debit Pada Saluran Terbuka Menggunakan Bangunan Ukur Tipe Pelimpah Atas*. Jakarta: BSN.
- United States of The Interior. (1987). *Design of Small Dams*. U.S: Bureau of Reclamation.

LAMPIRAN

Lampiran 2 Data Rerata Bulanan Inflow BendungGerak Waru Turi

No	Tahun	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	2005	164.12	210.90	223.22	248.29	84.96	85.65	91.41	55.98	59.91	84.77	83.47	224.55
2	2006	281.65	258.60	235.04	313.84	183.43	95.86	70.16	64.24	53.32	54.38	63.46	78.06
3	2007	83.19	131.64	159.97	264.11	123.26	109.06	82.07	63.41	60.92	59.68	113.24	222.53
4	2008	189.73	197.39	369.85	257.07	138.20	85.40	69.22	57.48	54.58	68.82	173.68	133.18
5	2009	170.52	295.80	206.98	185.90	169.12	104.78	72.50	61.56	58.59	74.77	90.83	80.48
6	2010	134.03	253.01	280.76	396.69	436.17	232.17	164.05	136.46	253.26	240.84	395.79	345.87
7	2011	283.04	258.25	264.92	224.22	224.65	112.15	79.19	69.84	70.45	67.47	132.33	148.43
8	2012	239.41	205.69	282.65	214.09	143.48	82.54	67.14	66.57	67.97	69.80	82.29	194.37
9	2013	219.08	293.65	220.76	269.08	193.52	277.26	160.92	90.87	72.61	64.63	138.79	306.51
10	2014	294.68	200.06	166.13	180.73	115.58	93.17	82.07	64.68	64.99	56.48	81.12	230.82
AVERAGE		205.95	230.50	241.03	255.40	181.24	127.80	93.87	73.11	81.66	84.16	135.50	196.48

Lampiran 1 Data Rerata Bulanan Outflow BendungGerak Waru Turi

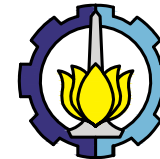
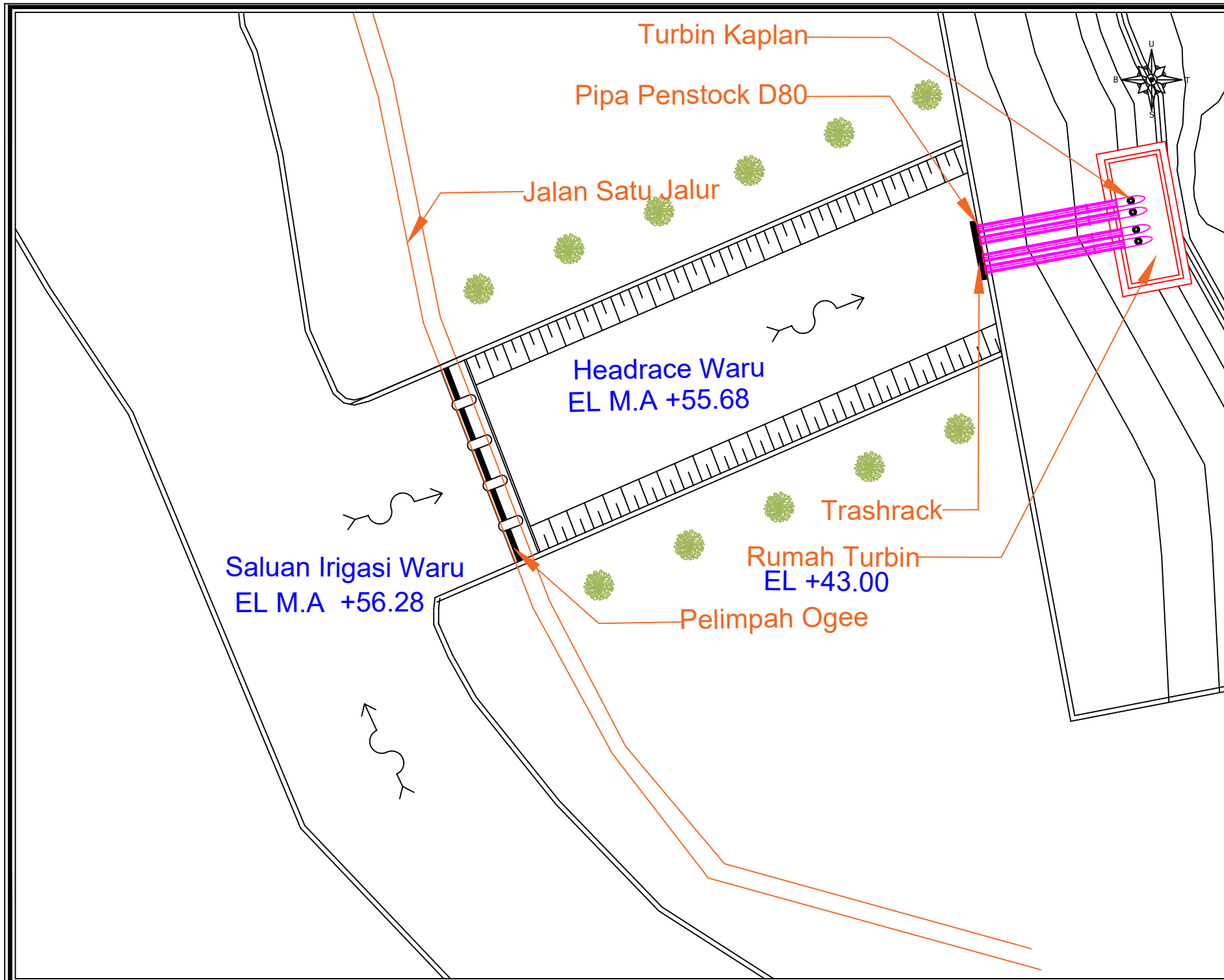
No	Tahun	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	2005	128.40	175.09	193.46	217.25	54.12	57.33	71.57	39.97	44.77	67.97	59.77	191.60
2	2006	250.31	230.08	209.72	290.35	155.11	68.99	46.29	46.34	37.63	37.64	40.37	51.76
3	2007	49.34	95.53	128.58	232.02	97.15	80.82	56.32	45.80	44.41	44.37	91.67	194.14
4	2008	159.54	173.12	347.68	228.68	107.67	57.31	45.70	44.07	40.59	53.68	147.36	105.07
5	2009	137.37	265.32	180.66	156.08	139.04	77.30	51.15	43.78	41.58	56.63	67.15	48.03
6	2010	101.12	221.17	249.98	364.97	407.74	212.57	147.59	119.37	238.47	226.91	371.98	311.99
7	2011	247.64	224.14	231.32	191.39	191.69	84.93	57.77	51.15	51.38	46.45	103.72	113.54
8	2012	204.99	174.74	249.03	179.22	108.22	54.36	46.26	48.05	48.68	48.74	59.56	159.12
9	2013	183.57	260.77	192.87	238.80	159.28	250.76	132.75	65.64	48.72	41.42	112.73	271.88
10	2014	259.18	166.70	138.78	148.35	83.83	65.53	59.81	45.86	45.92	36.08	59.93	191.18
AVERAGE		172.15	198.67	212.21	224.71	150.39	100.99	71.52	55.00	64.22	65.99	111.42	163.83

Lampiran 3 Data Rerata Bulanan Irigasi Intake Waru

No	Tahun	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	2005	18.36	18.04	15.33	14.79	14.53	13.33	8.82	6.38	6.62	6.73	8.60	16.24
2	2006	18.34	18.15	15.53	14.58	14.59	12.54	9.09	7.25	7.17	8.91	12.25	12.10
3	2007	17.03	18.28	15.02	15.87	12.20	12.93	10.50	7.22	7.46	6.96	10.35	13.87
4	2008	16.33	15.84	14.27	13.57	13.96	12.94	10.68	7.23	7.54	7.55	12.69	12.99
5	2009	15.78	14.61	13.67	13.24	13.24	12.69	10.00	8.15	7.92	8.83	11.89	15.35
6	2010	16.26	15.83	15.28	15.73	10.66	10.66	8.85	7.97	6.59	6.50	11.69	16.11
7	2011	17.63	16.38	15.54	16.15	15.03	13.82	11.18	8.65	8.75	10.06	13.71	17.05
8	2012	16.10	13.48	16.04	16.94	16.36	14.68	10.87	8.44	8.76	10.06	11.67	17.15
9	2013	17.40	15.86	16.47	16.95	16.36	14.00	11.05	9.33	9.61	10.66	13.45	17.09
10	2014	17.42	16.47	14.32	17.02	16.36	14.89	11.73	9.49	9.69	11.14	11.87	17.20
AVERAGE		17.07	16.29	15.15	15.48	14.33	13.25	10.28	8.01	8.01	8.74	11.82	15.52

Lampiran 4 Data Rerata Bulanan Irigasi Intake Turi

No	Tahun	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	2005	17.36	17.77	14.44	16.25	16.30	15.11	11.02	9.63	8.52	10.07	15.10	16.71
2	2006	13.01	10.37	9.80	8.90	13.72	14.34	14.78	10.65	8.53	7.83	10.85	14.20
3	2007	16.82	17.84	16.37	16.22	13.92	15.31	15.25	10.39	9.04	8.35	11.21	14.52
4	2008	13.86	8.43	7.89	14.82	16.58	15.14	12.83	6.18	6.44	7.60	13.63	15.11
5	2009	17.38	15.87	12.66	16.58	16.84	14.79	11.34	9.62	9.09	9.31	11.79	17.11
6	2010	16.65	16.01	15.51	15.99	8.94	8.94	7.61	9.11	8.20	7.44	12.12	17.77
7	2011	17.77	17.74	18.06	16.68	17.93	13.41	10.24	10.04	10.31	10.96	14.91	17.84
8	2012	18.33	17.47	17.58	17.93	18.90	13.50	10.00	10.08	10.54	11.01	11.05	18.10
9	2013	18.11	17.02	11.42	13.33	17.89	12.50	17.12	15.90	14.28	12.55	14.41	17.54
10	2014	18.08	16.90	11.10	15.35	16.04	13.63	9.97	10.36	9.11	9.43	10.79	18.38
AVERAGE		16.74	15.54	13.48	15.21	15.71	13.67	12.02	10.20	9.41	9.46	12.59	16.73



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
 LISTRIK TENAGA MINI-HIDRO
 BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

0311164000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
 Mohamad Bagus Ansori, S.T.,
 M.T., MSc

JUDUL GAMBAR

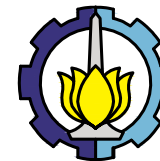
DENAH PLTMH SISI
 WARU

SKALA GAMBAR

1 : 500

KETERANGAN GAMBAR

NOMOR GAMBAR	HALAMAN



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINIHIDRO
BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

0311164000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus Ansori, S.T.,
M.T., MSc

JUDUL GAMBAR

DENAH PLTMH SISI
TURI

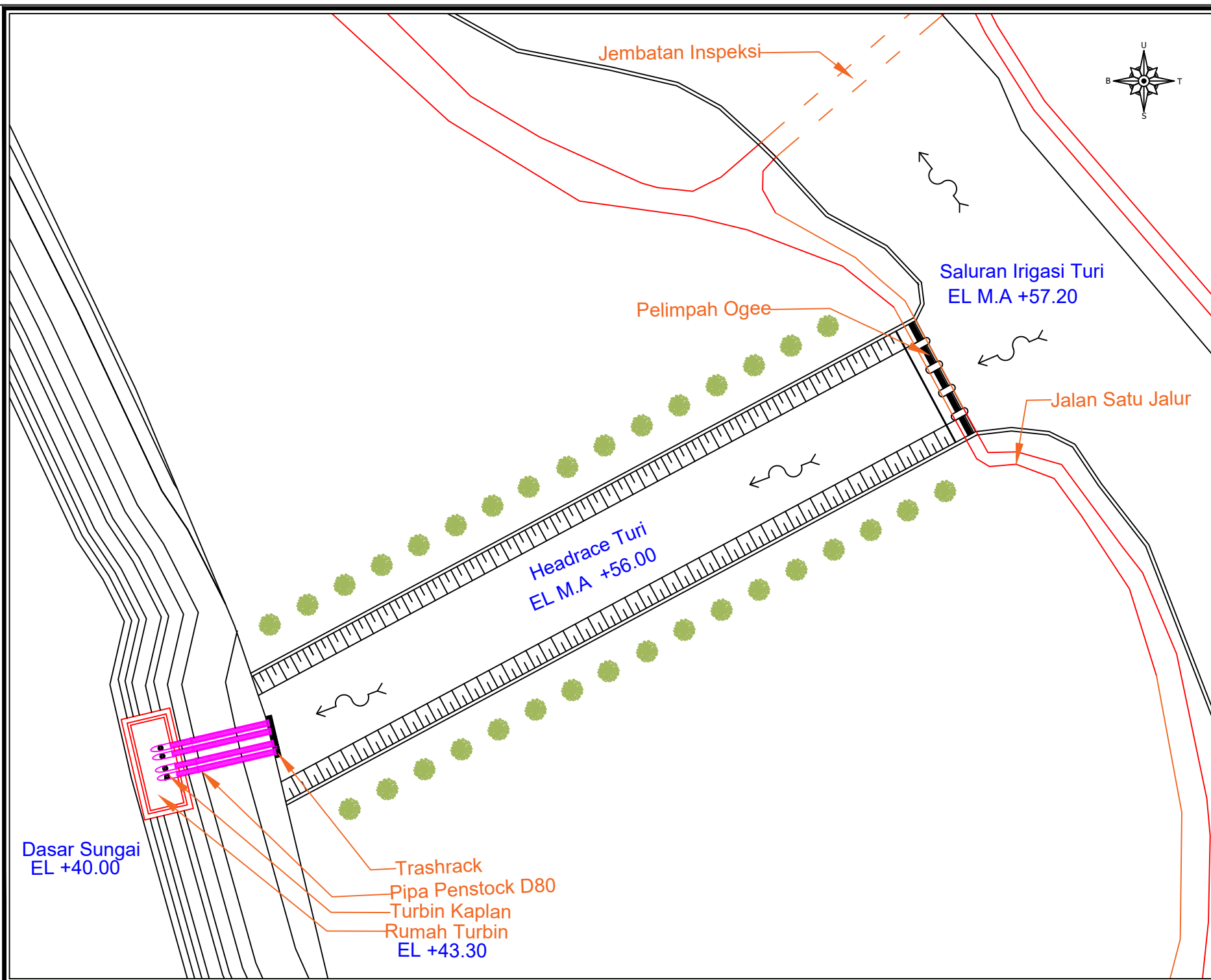
SKALA GAMBAR

1 : 500

KETERANGAN GAMBAR

NOMOR GAMBAR

HALAMAN



Dasar Sungai
EL +40.00

- Trashrack
- Pipa Penstock D80
- Turbin Kaplan
- Rumah Turbin
EL +43.30

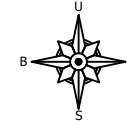
Jembatan Inspeksi

Pelimpah Ogee

Saluran Irigasi Turi
EL M.A +57.20

Jalan Satu Jalur

Headrace Turi
EL M.A +56.00



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINI-HIDRO
BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

03111640000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus Ansori, S.T.,
M.T., MSc

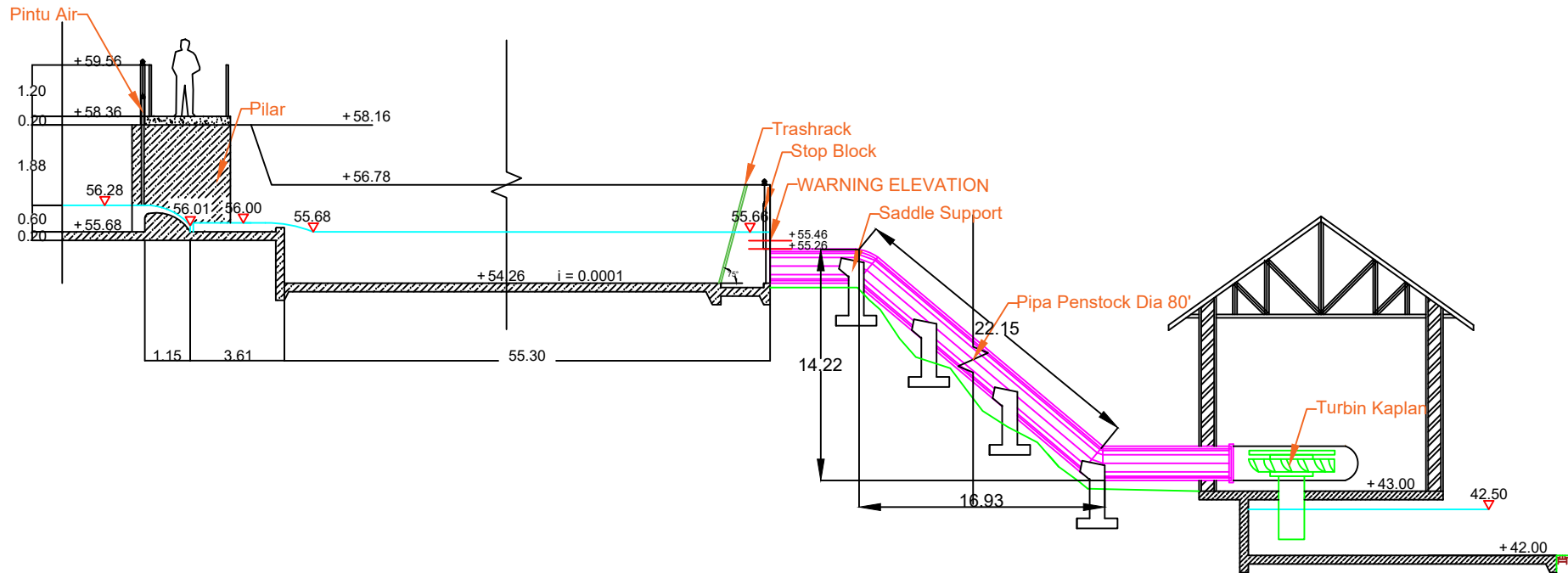
JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING
PLTMH WARU

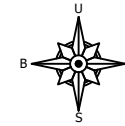
SKALA GAMBAR

1 : 150

KETERANGAN GAMBAR



NOMOR GAMBAR	HALAMAN



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINI-HIDRO
BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

0311164000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus Ansori., S.T.,
M.T., MSc

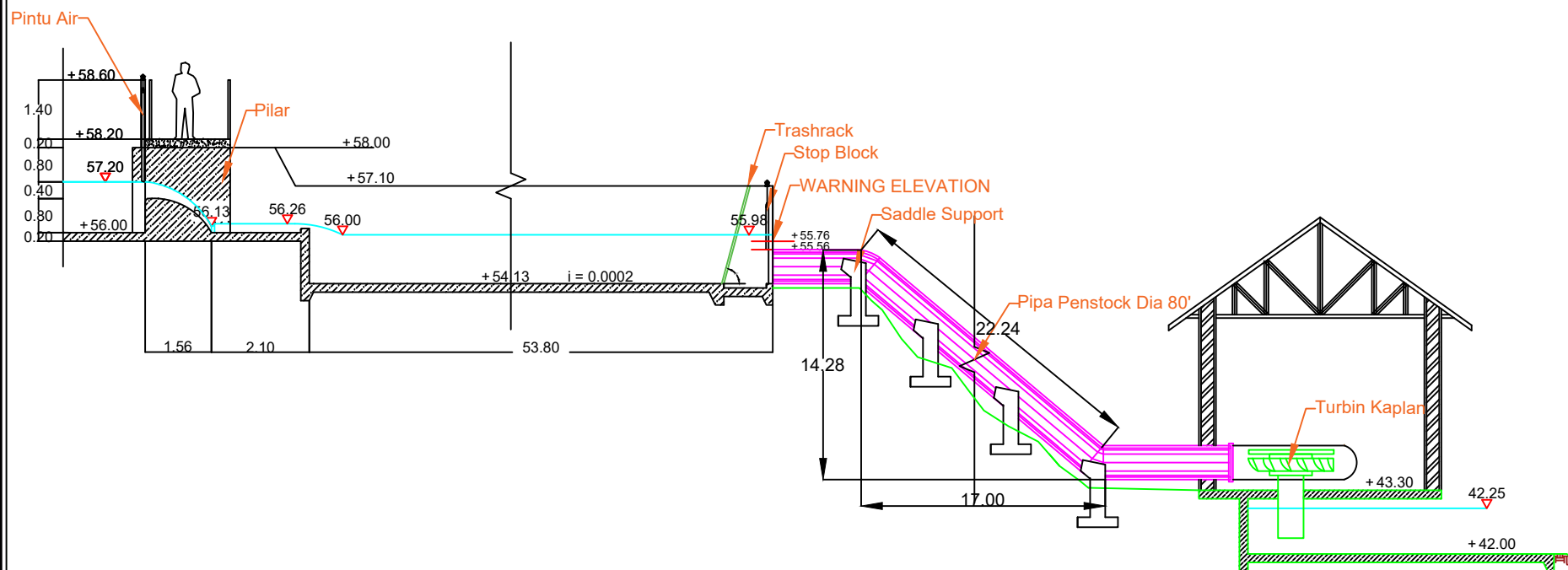
JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING
PLTMH TURI

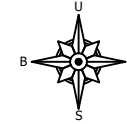
SKALA GAMBAR

1 : 150

KETERANGAN GAMBAR



NOMOR GAMBAR	HALAMAN



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINIHIDRO
BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

0311164000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus Ansori., S.T.,
M.T., MSc

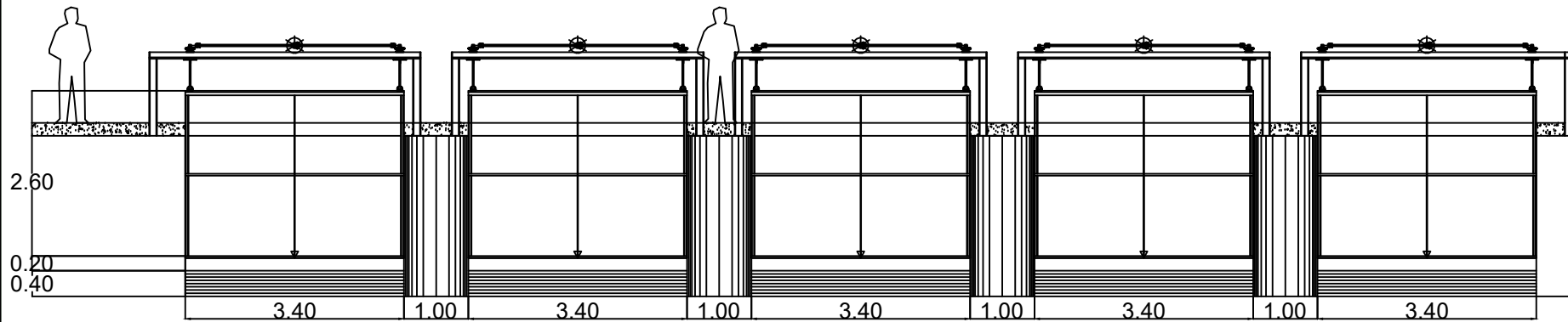
JUDUL GAMBAR

DETAIL PINTU PLTMH
WARU

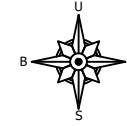
SKALA GAMBAR

1 : 100

KETERANGAN GAMBAR



NOMOR GAMBAR	HALAMAN



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINIHIDRO
BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

0311164000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus Ansori., S.T.,
M.T., MSc

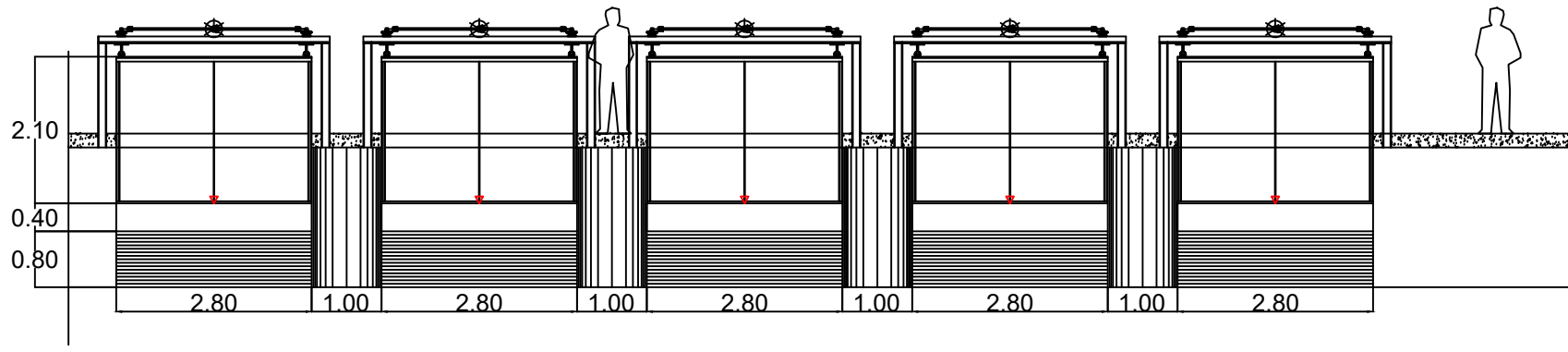
JUDUL GAMBAR

DETAIL PINTU PLTMH
TURI

SKALA GAMBAR

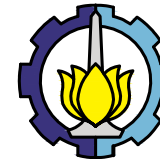
1 : 100

KETERANGAN GAMBAR



NOMOR GAMBAR

HALAMAN



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINIHIDRO
BENDUNG GERAK WARU TURI

NAMA MAHASISWA

NADIRA F. TASYA H.

NRP MAHASISWA

0311164000147

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Mohamad Bagus Ansori, S.T.,
M.T., MSc

JUDUL GAMBAR

DETAIL PIPA DAN
TAMPAK SALURAN

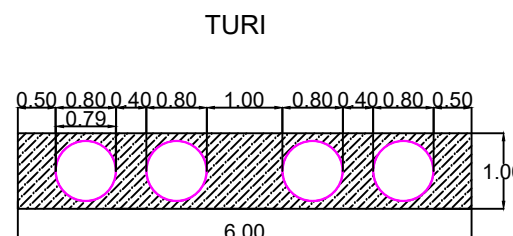
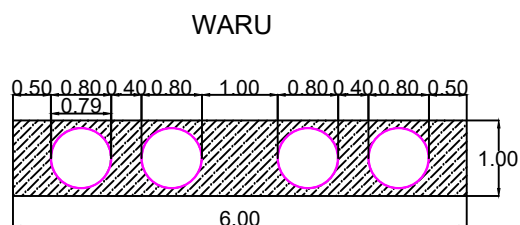
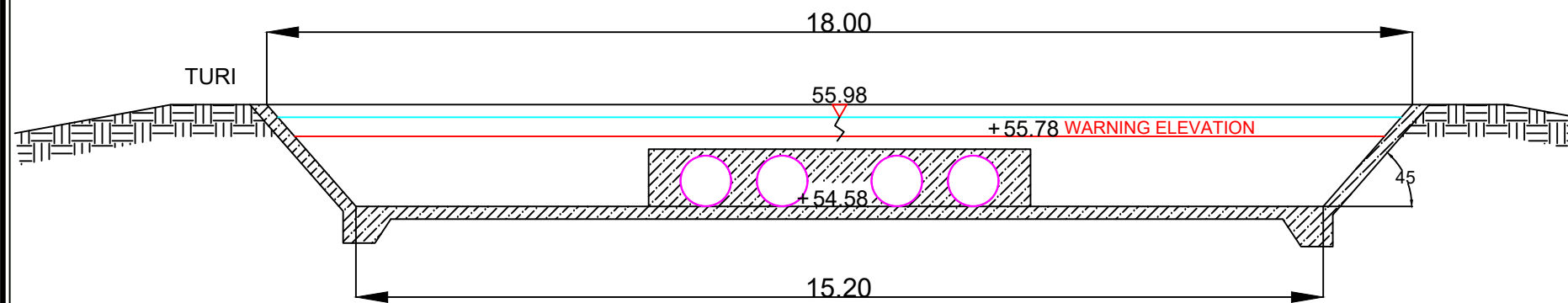
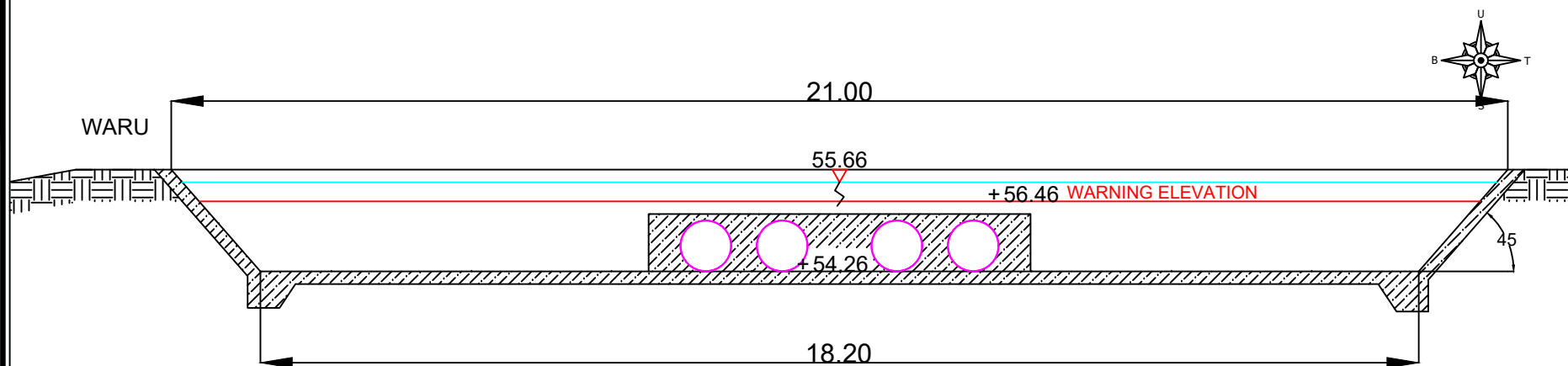
SKALA GAMBAR

1 : 100

KETERANGAN GAMBAR

NOMOR GAMBAR

HALAMAN



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Wari Wardoyo M.Sc.D Mohamad Bagus Anson S.T., M.T
NAMA MAHASISWA	: NADIRA FILDZAH TASYA H
NRP	: 031164000147
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Pada Bendung Gerak Wam Tun
TANGGAL PROPOSAL	: 23 Agustus 2019
NO. SP-MMTA	: B / 00047 / IT2 Vlt. 4.1 / PP05.02.00/2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	8/10/19	Duration curve, mencari Debit 50% , 80% , 100%		<i>[Signature]</i>
2	22/10/19	Mencari rating curve per-section saluran		,
3	29/10/19	- Durasi curve up debit asal dan - Konsep distribusi air bagus - - Cek elevasi pelimpas - bagaimana hitungan	- Cek elevasi up mengaturnya di pelimpas super - Cek elevasi m, a di karang lumpur - bukaan pmk	PLTA <i>[Signature]</i>
4	24/11/19	Asistensi layout PLTA dan dimensi pipa	Revisi perencanaan layout dan revisi tinggi jatuh	<i>[Signature]</i>
5	12/12/19	Asistensi layout PLTA dan dimensi pipa	Revisi ukuran dan tidak menggunakan forebay Pengecekan debit dan jatuh total	<i>[Signature]</i>
6	16/12/2019	Asistensi gambar tampak atas, samping PLTA	Pembelian insight mengenai arah aliran air ke pipa, gambar pipa. Check saluran headrace	<i>[Signature]</i>



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)
Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Wasis Wardoyo M.Sc.D Mohamad Bagus Ansoni, S.T., M.T
NAMA MAHASISWA	: NADIRA FILDZAH TASYA H.
NRP	: 031164000147
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Pada Bendung Gerak Wam Tun
TANGGAL PROPOSAL	: 23 Agustus 2019
NO. SP-MMTA	: B/80047/IT2.VI.4.1/PP.05.02.00.12019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
7	20/12/19	<ul style="list-style-type: none"> - dicek lagi perhitungan hidrolitis - gambar di perbaiki - Celi - dimensi - elevasi - notasi 	<ul style="list-style-type: none"> - fixasi hitungan - gambar 	

BIODATA PENULIS



Penulis bernama **Nadira Fildzah Tasya H.** yang dilahirkan di Palembang, 27 November 1998, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDI Al- Azhar 4 Jakarta, SMP Negeri 19 Jakarta, SMA Negeri 70 Jakarta. Setelah lulus dari SMA Negeri 70 Jakarta tahun 2016, Penulis diterima di Departemen Teknik Sipil FTSLK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun

yang sama melalui jalur mandiri dan terdaftar dengan NRP 03111640000147. Selama kuliah di Departemen Teknik Sipil ITS penulis mengambil bidang studi Hidroteknik. Selama kuliah penulis aktif melakukan pengembangan diri khususnya dalam bidang manajerial. Pada beberapa kepanitiaan penulis pernah menjadi Staff Public Relation PR ILITS 2017, Staff PR ITS Edufair 2017, Staff PR YESSummit 2017, Staff Ahli PR ILITS 2018, Staff PR CIVEX 2017, Staff Departemen Hubungan Luar 2016, Koordinator PR CIVEX 2018, Kepala Biro Internal Hubungan Luar HMS FTSP ITS 2018. Penulis berharap agar Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Penulis dapat dihubungi melalui : nadiratasy@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

