



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK TUKUL PACITAN ENERGI UNTUK NEGERI

YANUAR AGUNG PRATAMA
NRP. 10111815000029

Dosen Pembimbing I
Ir. Edy Sumirman, MT.
NIP. 19581212 198701 1 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Ismail Sa'ud, MMT.
NIP. 19600517 198903 1 002

PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
DEPARTEMENT TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK TUKUL PACITAN ENERGI UNTUK NEGERI

YANUAR AGUNG PRATAMA
NRP. 1011181500029

Dosen Pembimbing I
Ir. Edy Sumirman, MT.
NIP. 19581212 198701 1 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Ismail Sa'ud, MMT.
NIP. 19600517 198903 1 002

PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



THE FINAL PROJECT - VC 181819

DESIGN OF WATER GENERAL POWER PLANT TUKUL DAM IN PACITAN ENERGY FOR COUNTRIES

YANUAR AGUNG PRATAMA
NRP. 1011181500029

Advisor I
Ir. Edy Sumirman, MT.
NIP. 19581212 198701 1 001

Advisor II
Ir. Ismail Sa'ud, MMT.
NIP. 19600517 198903 1 002

DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING
INFRASTRUCTURE CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
VOCATION FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2020

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
WADUK TUKUL PACITAN ENERGI UNTUK
NEGERI**

Tugas Akhir Terapan
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.)
Pada Konsentrasi Bangunan Air
Program Studi D-IV Alih Jenjang
Departement Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh :
MAHASISWA

Yanuar Agung Pratama

NRP. 10111815000029

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Ir. Edy Sumirman, MT.
NIP. 19581212 198701 1 001



Ir. Ismail Sa'ud, MMT.
NIP. 19600517 198905 1 007



Berita Acara Sidang Proyek Akhir

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS
Semester Genap 2019-2020

Nomor BA :

Nomor Jadwal :

21

Program Studi : D4 Teknik Sipil Lanjut Jenjang

Diinout oleh : Dwi Indriyani, ST., MT.

Bahwa pada hari ini : Rabu, 05-Agt-2020

Pukul : 8:00 s/d 10:00

Di tempat : Online Meeting

Telah dilaksanakan sidang Proposal Tugas Akhir dengan judul:

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK TUKUL PACITAN ENERGI UNTUK NEGERI

Yang dihadiri dan diresentasikan oleh mahasiswa :

(Hadir / Tidak Hadir)

1011181500029 YANUAR AGUNG PRATAMA

Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Pembimbing:

(Hadir / Tidak Hadir)

1 Ir. Edy Sumirman, MT.

Hadir

2 Ir. Ismail Sa'ud, M.MT.

Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Penguii:

(Hadir / Tidak Hadir)

1 Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.

Hadir

2 Muh. Hafiih Imaaduddin, ST., MT.

Hadir

3 Dwi Indriyani, ST., MT.

Bahasannya. musyawarah pembimbing dan penguii pada sidang provek akhir ini memutuskan:

1011181500029 YANUAR AGUNG PRATAMA

LULUS, DENGAN REVISI MAYOR

Catatan / revisi / masukan :

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.

a Posisi intake penstock salah sehingga perhitungan diperbaiki

b Gambar pondasi penstock seharusnya mendatar bukan miring sehingga perhitungan diperbaiki

c

d

e

f

Muh. Hafiih Imaaduddiin, ST., MT.

ditambahkan keterangan table fasilitas / spesifikasi material yang dihasilkan agar hasil desain sesuai dengan kenyataan barang di lapangan apakah memang ada dimensi dan modulus yang dihitung tersebut.

- b
- c
- d
- e
- f

Dwi Indriyani, ST., MT.

- a Tolong abstraknya dibuat
- b Dicek kembali tinggi jatuh air
- c Diameter pipa di laporan tidak sama dengan ppt, tolong diperbaiki
- d
- e
- f

Tindak lanjut :

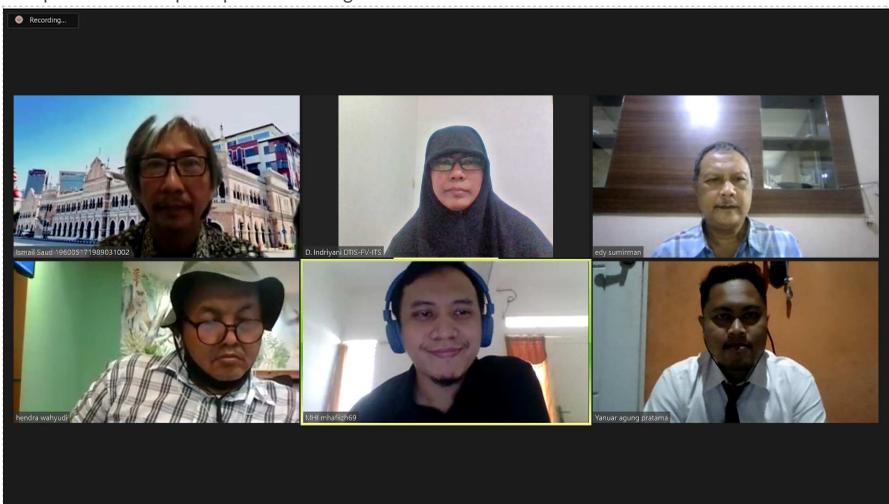
Mahasiswa memperbaiki/merevisi Proyek Akhir sesuai dengan masukan di atas.

Penutup :

Demikian Berita Acara Sidang Proyek Akhir ini dibuat sebagai panduan revisi oleh Mahasiswa.

Lampiran :

Tempelkan screen capture peserta meeting online disini.



DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK TUKUL PACITAN ENERGI UNTUK NEGERI

Nama : Yanuar Agung Pratama
NRP : 10111815000029
Program Studi : D4 Alih Jenjang Departement Teknik
Infrastruktur Sipil
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Edy Sumirman, MT.
2. Ir. Ismail Sa'ud, MMT.

ABSTRAK

Waduk Tukul memiliki tinggi jatuh sebesar 60,1 meter dengan potensi debit pembangkitan yang digunakan adalah 0,95 m³/detik. Debit pembangkitan tersebut digunakan untuk mengairi lahan irigasi dan kebutuhan air baku. Besar head dan debit tersebut memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik karena memiliki head diatas 10 meter.

Pada perencanaan ini, debit air yang digunakan untuk memutar turbin adalah debit air irigasi dan air baku yang hanya dipinjam sementara dimana nantinya debit tersebut akan dikembalikan lagi ke sungai eksisting. Selanjutnya dilakukan analisis perencanaan bangunan pembangkit yang meliputi, pipa pesat (*penstock*), *surgetank* dan jenis turbin yang akan digunakan. Selanjutnya adalah analisis kehilangan energi yang terjadi untuk mengetahui tinggi jatuh efektif yang kemudian dilakukan penggambaran gambar kerja.

Dari hasil perhitungan, didapat besar energi yang dihasilkan dari desain pembangkit listrik dengan tinggi jatuh efektif sebesar 54,09 meter adalah 0,34278 MegaWatt per detik.

Kata Kunci : Waduk Tukul, PLTA, Beda Tinggi

DESIGN OF WATER GENERAL POWER PLANT TUKUL DAM IN PACITAN ENERGY FOR COUNTRIES

Name : Yanuar Agung Pratama
NRP : 10111815000029
Study Program : D4 Alih Jenjang Departement Teknik
Infrastruktur Sipil
Advisor : 1. Ir. Edy Sumirman, MT.
2. Ir. Ismail Sa'ud, MMT.

ABSTRACT

Tukul Reservoir has a fall height of 60.1 meters with the potential for generating discharge used is 0.95 m³ / second. The generation discharge is used to irrigate irrigated land and raw water needs. The head size and discharge have the potential to be used as a power plant because it has a head above 10 meters.

In this plan, the water discharge used to turn the turbine is the irrigation water and raw water which is only borrowed temporarily where the discharge will be returned to the existing river. Furthermore, an analysis of the power plant planning which includes the penstock, surgeank and the type of turbine will be used. Next is the analysis of the energy loss that occurs to determine the effective fall height, which is then carried out by drawing a working image.

From the calculation results, it is found that the amount of energy generated from the design of the power plant with an effective fall height of 54.09 meters is 0.34278 MegaWatt per second.

Keyword : Tukul DAM, Hidroelectric Power Plant, Head

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala kemudahan, kelancaran dan petunjuk-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir terapan ini dengan baik dengan judul “DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK TUKUL PACITAN ENERGI UNTUK NEGERI”. Tugas Akhir Terapan ini merupakan salah satu syarat kelulusan bagi seluruh mahasiswa dalam menempuh pendidikan pada program studi D-IV Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS. Sholawat serta salam juga selalu tercurah kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan para sahabatnya, dan tidak lupa juga saya ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhammad Khoiri, S.T., M.T., Ph.D selaku kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS.
2. Ibu Siti Kamilia Aziz, S.T., M.T. selaku Ibu Dosen Wali.
3. Bapak Ir. Edy Sumirman, MT. dan Ir. Ismail Sa’ud, MMT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Terapan.
4. Keluarga saya terutama ayah dan ibu yang selalu memotivasi dan memberikan doa disetiap langkah saya.
5. Teman Alih Jenjang D4 dan rekan – rekan dari Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS serta semua pihak yang membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini yang tidak saya sebutkan satu persatu.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini masih banyak kekurangan , oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat saya harapkan sebagai penulis. Semoga penulisan Tugas Akhir Terapan ini merupakan awal yang baik dan dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Maret 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Lokasi Studi.....	4
BAB II.....	7
PAPARAN DATA DAN DASAR TEORI PERENCANAAN.....	7
2.1 Data Teknis Lapangan	7
2.1.1 Waduk.....	7
2.1.2 Bendungan	7
2.1.3 Debit kebutuhan	9
2.1.4 Layout perencanaan	9
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).....	9
2.2.1 Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).....	10
2.2.2 Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)..	11
2.3 Pengukuran Debit Air.....	12
2.4 Daerah Pembangunan PLTA	13
2.5 Prinsip Kerja PLTA	13
2.6 Skema Bangunan PLTA	14
2.6.1 Skema <i>run-off-river</i>	15
2.6.2 Skema <i>Storage</i>	16
2.6.3 Skema Integrasi.....	17

2.7	Komponen PLTA	17
2.7.1	Dam/Bendungan (<i>Weir</i>) dan <i>Intake</i>	18
2.7.2	Bak Pengendap (<i>Forebay</i>)	19
2.7.3	Saluran Pembawa (<i>Headrace</i>)	20
2.7.4	Bak Penenang (<i>Forebay</i>)	21
2.7.5	Pipa Pesat (<i>Penstock</i>).....	21
2.7.6	Rumah Pembangkit (<i>Powerhouse</i>), Turbin dan Generator	23
2.7.7	Saluran Pembuangan (<i>Tailrace</i>)	23
2.7.8	Surgetank	23
2.8	Tinggi Jatuh Air.....	26
2.9	Penentuan Daya	27
2.10	Penentuan Energi	27
2.11	Efisiensi Turbin	28
2.12	Pemilihan Jenis Turbin	29
2.13	Analisis Kapasitas Penampang Sungai.....	30
2.13.1	Menentukan Curah Hujan Rencana	31
2.13.2	Menentukan Debit Rencana dengan Metode HSS Nakayasu	31
2.14	Sistem pemeliharaan PLTA.....	35
BAB III.....		39
METODOLOGI DAN ALUR PERENCANAAN		39
3.1	Survey Pendahuluan dan Studi Literatur	39
3.2	Pengumpulan Data.....	39
3.3	Analisa Data / Proses Perhitungan.....	40
3.4	Kesimpulan dan Saran	41
3.5	Diagram Alir Pengerjaan	42
3.6	Jadual Pengerjaan Tugas Akhir	44
BAB IV		45
PEMBAHASAN		45
4.1	Debit Pembangkitan	45
4.2	Desain Head (Beda Tinggi)	45
4.3	Perhitungan <i>Surgetank</i> dan Dimensi Pipa	49

4.3.1	Perhitungan Dimensi <i>Surgetank</i>	49
4.3.2	Menentukan Dimensi Pipa.....	53
4.3.3	Perhitungan Stabilitas Pipa	58
4.4	Perhitungan Tegangan Tanah	66
4.5	Perhitungan Pondasi	68
4.6	Perhitungan Tulangan Pondasi	72
4.7	Perhitungan Energi Pembangkit untuk PLTA	75
BAB V		79
PENUTUP		79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA.....		81
Biodata Penulis.....		83
LAMPIRAN		85

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Zona geo-morfologi.....	6
Tabel 2.1 Jenis-Jenis Turbin.....	30
Tabel 3.1 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Waduk Tukul Pacitan.....	4
Gambar 1.2 Peta DAS Waduk Tukul Pacitan	5
Gambar 2.1 Layout Perencanaan Waduk Tukul.....	9
Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTA.....	13
Gambar 2.3 Skema run-off-river	16
Gambar 2.4 Skema Storage	16
Gambar 2.5 Contoh Skema Integrasi PLTA dengan Irigasi.....	17
Gambar 2.6 Komponen PLTA	17
Gambar 2.7 Skema DAM dan Intake	18
Gambar 2.8 Skema Bak Pengendap	20
Gambar 2.9 Skema Headrace	20
Gambar 2.10 Bak Penenang (Forebay)	21
Gambar 2.11 Penstock.....	23
Gambar 2.12 Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan sama.	26
Gambar 2.13 Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan lebih ..	26
Gambar 2.14 Pengaruh perbandingan rasio aliran terhadap efisiensi.....	28
Gambar 2.15 Kriteria Jenis turbin Berdasarkan head dan debit air	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	43
Gambar 4.1 Denah Potongan Memanjang Hydromechanical Waduk Tukul.....	46
Gambar 4.2 Skema Head (Beda Tinggi)	47
Gambar 4.3 Sketsa Perhitungan Beda Tinggi (Head) Efektif	48
Gambar 4.4 Sketsa Penggambaran Surgetank.....	51
Gambar 4.5 Keadaan Surgetank saat beroperasi	51
Gambar 4.6 Keadaan Surgetank pada saat maintenance	52
Gambar 4.7 Sketsa hasil perhitungan dimensi surgetank.....	53
Gambar 4.8 Pengaruh Beban Terhadap Stabilitas Pipa.....	58
Gambar 4.9 Gaya yang bekerja pada pipa.....	62
Gambar 4.10 Angkur pada pipa	64

Gambar 4.11 Nilai Faktor DDT berdasarkan grafik.....	67
Gambar 4.12 Grafik Klasifikasi Jenis Turbin.....	75
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Turbin.....	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan sebuah kebutuhan pokok yang sangat dibutuhkan masyarakat Indonesia. Seiring dengan berkembangnya jaman, kebutuhan listrik dituntut untuk semakin baik dalam menerangi negeri. Tanpa peningkatan penyediaan listrik, peningkatan kebutuhan tersebut akan berpotensi munculnya krisis energi listrik yang pada akhirnya akan memengaruhi pertumbuhan perekonomian Nasional. Pemanfaatan sumber energi listrik yang selama ini masih didominasi dari sumber energi konvensional (bahan bakar minyak) membuat ketergantungan yang sulit dihilangkan terhadap jenis energi tersebut yang ketersediaannya sudah sangat terbatas. Sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional dan untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar minyak, harus dicari sumber energi lain atau sumber energi alternatif yang berasal dari sumber energi setempat.

Indonesia adalah Negara dengan potensi sumber daya energi yang sangat melimpah, diantaranya yaitu angin, surya, air, geothermal, dan biomass. Untuk sumber daya air, Indonesia memiliki potensi besar mengingat Indonesia banyak sungai dan bentuk topografi yang terdiri dari perbukitan dan pegunungan. Tak terkecuali Kabupaten Pacitan yang memiliki topografi dengan kemiringan signifikan. Ketersediaan sungai yang cukup banyak dan adanya perbedaan ketinggian pada jalur sungai tersebut membuat Kabupaten Pacitan memiliki banyak potensi untuk pengembangan PLTA dimana syarat untuk bisa dikembangkan PLTA adalah adanya debit air yang cukup dan adanya beda ketinggian (head) yang didapat, sehingga dapat mengetahui seberapa besar kapasitas energi yang dihasilkan. Setelah itu, penelitian dilanjutkan dengan

memberikan alternatif skema dan rancangan turbin serta beberapa hal teknis PLTA untuk head di lokasi aliran air tersebut.

Pada daerah tersebut terdapat sungai yang bernama kali telu dimana pada sungai tersebut sudah terdapat pembangunan waduk tukul Pacitan dimana desain yang telah direncanakan proyek tersebut diketahui *Normal Water Level (NWL)* pada waduk berada pada elevasi +192,10 meter dengan elevasi turbin rencana berada pada +132,00 sehingga didapat tinggi jatuh sekitar 60 meter dengan luas layanan lahan irigasi 600 ha. Dengan potensi yang ada, akan sangat bermanfaat bila dapat digunakan untuk tenaga pembangkit listrik tenaga air setelah mendapatkan daya yang akan dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang di atas antara lain:

1. Berapa tinggi jatuh yang efektif untuk digunakan dalam memutar turbin PLTA ?
2. Bagaimana desain surgetank yang akan digunakan di waduk Pacitan ?
3. Bagaimana desain pipa pesat yang digunakan di waduk Tukul Pacitan ?
4. Apa tipe turbin yang akan digunakan untuk PLTA waduk Tukul Pacitan ?
5. Berapa daya yang dihasilkan dari turbin ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dalam pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui tinggi jatuh efektif yang digunakan dalam memutar turbin PLTA di waduk Tukul Pacitan.
2. Dapat merencanakan desain surgetank yang akan digunakan.
3. Dapat mengetahui desain pipa pesat yang akan digunakan untuk waduk Tukul Pacitan.
4. Dapat mengetahui jenis turbin yang efektif untuk dipergunakan di waduk Tukul.
5. Menghitung daya yang akan dihasilkan dari turbin tersebut.

1.4 Manfaat

Dari desain PLTA waduk yang akan digunakan mempunyai manfaat melakukan perbandingan penggunaan energi yang lebih efisien misalkan untuk operasional waduk saja atau dapat mengalirkan listrik ke daerah sekitar waduk dari daya yang dihasilkan oleh PLTA.

1.5 Batasan Masalah

Mengingat luasnya bidang kajian dalam penyusunan laporan tugas akhir terapan ini, serta keterbatasan waktu dan ilmu yang penulis kuasai, maka pembahasan diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak memperhitungkan faktor bencana alam.
2. Sungai yang digunakan sebagai sumber debit PLTA adalah Kali Telu.
3. Tidak menghitung struktur powerhouse.

4. Tidak menghitung debit penggunaan untuk air baku maupun irigasi.
5. Tidak membahas dampak lingkungan akibat pembangunan (AMDAL).
6. Tidak menghitung biaya konstruksi pembangunan PLTA.

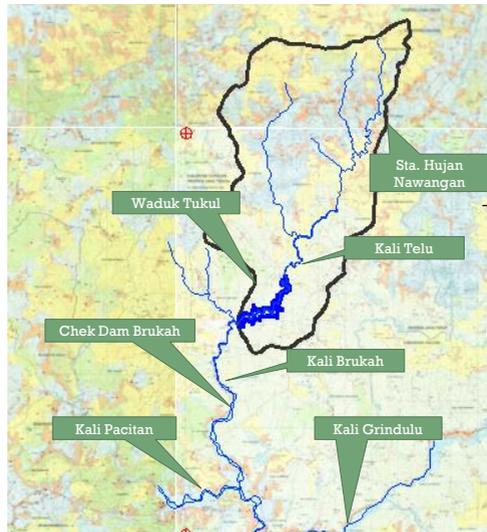
1.6 Lokasi Studi

Secara geografis, wilayah lokasi pekerjaan berada pada posisi (dalam UTM) adalah X : 515564 dan Y : 9109045. Secara administratif, lokasi studi berada di wilayah Desa Karanggede, Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, seperti pada gambar 1.1 dibawah ini.



Gambar 1.1 Peta Lokasi Waduk Tukul Pacitan
Sumber : Google Maps

Rencana lokasi Waduk Tukul Pacitan berada dalam DAS Kali Telu. Lokasi penyelidikan DAS Waduk Tukul dapat dilihat pada Gambar 1.2 dibawah ini.



Gambar 1.2 Peta DAS Waduk Tukul Pacitan
Sumber : Bab Pendahuluan Laporan Akhir Proyek PT.
Brantas Abipraya, 2012

Mengacu pada pembagian zona geo-morfologi pada SWS Bengawan Solo, daerah studi termasuk dalam zona pegunungan selatan. Pada zona ini keadanya adalah berupa pegunungan/bergunung, dengan elevasi antara 100 – 1300 m dpl. Berikut adalah tabel pembagian zona geo-morfologi pada SWS Bengawan Solo.

Tabel 1.1 Zona geo-morfologi

Zona	Keadaan	Elevasi
Zona Semarang-Rembang	Dataran rendah Gunung api tunggal	0 m – 100 m (daerah rendah) Lebih dari 500 m (Puncak gunung api)
Zona Rembang	Daerah berbukit	Kurang dari 400 m
Zona Randublatung	Dataran rendah	Kurang dari 100 m
Zona Kendeng	Daerah berbukit	100 m – 300 m (G. Pandan mendekati 500 m)
Zona Solo	Dataran rendah dan gunung api tunggal	50 m – 100 m (Daerah rendah) Lebih d.p. 2,500 m (Puncak gunung)
Pegunungan di selatan	Bergunung	100 m – 1.300 m

Sumber : Laporan rencana induk pengembangan dan pengelolaan sumberdaya air satuan wilayah sungai Bengawan Solo, 2001.

BAB II

PAPARAN DATA DAN DASAR TEORI PERENCANAAN

2.1 Data Teknis Lapangan

Data teknis yang dimiliki oleh waduk Tukul Pacitan diantaranya :

2.1.1 Waduk

Berikut adalah data spesifikasi waduk yang telah didapatkan :

- Luas DAS (Daerah Aliran Sungai) : 47,80 km²
- Luas genangan : 44,81 Ha
- Debit rerata tahunan : 23,338 m³/det
- Hujan rerata tahunan : 2246 mm
- Debit banjir max : 991,20 m³/det
- Debit Q1000 : 360,36 m³/det
- Debit Q100 : 264,64 m³/det
- Muka air banjir (HWL) : + 195,57 m
- Elevasi M.A (Muka Air) Q1000 th : + 194,61 m
- Elevasi M.A (Muka Air) Normal : + 192,10 m
- Tampungan efektif : 4,98 juta m³
- Tampungan mati : 3,70 juta m³
- Total tampungan : 8,68 juta m³

2.1.2 Bendungan

Berdasarkan ketersediaan material, bahwa di sekitar lokasi tersedia material tanah berlimpah. Material tanah sebagai bahan untuk material kedap air dan material random yang berupa batuan yang lapuk sebagai hasil

galian dan berasal dari borrow area di sekitar site bendungan. Berdasarkan kondisi geologi, bahwa site rencana bendungan terletak di lokasi yang relatif rapat dengan patahan, sehingga direncanakan tubuh bendungan dikonstruksi dengan material yang elastis, berupa timbunan tanah.

Adapun data bendungan yang lainnya adalah sebagai berikut :

- Tipe bendungan : Urugan Zona I dengan Random Inti Tegak
- H (Tinggi Bendungan) dari dasar Fondasi : 74,30m
- Elevasi puncak : + 198,30 m
- Elevasi dasar sungai : + 38,00 m
- Elevasi dasar fondasi : + 32,00 m
- Panjang puncak : 233,00 m
- Lebar puncak : 10,00 m
(Asphalt Hotmix)
- Volume tampungan efektif : 4,98 juta m³
- Kemiringan lereng
 - Hulu : 1 : 3,00
 - Hilir : 1 : 2,50

2.1.3 Debit kebutuhan

1. Pola Tanam : Padi – padi – palawija
2. Lahan irigasi : 600 ha
3. Debit irigasi : 600 lt/det
4. Kebutuhan air baku : 350 lt/det

2.1.4 Layout perencanaan

Berikut dapat dilihat layout perencanaan dari Bendungan Tukul di Pacitan Jawa Timur, pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Layout Perencanaan Waduk Tukul

Sumber : PT. Brantas Abipraya

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

PLTA mampu menjadi cadangan energi nasional. Saat ini banyak negara mengandalkan energi batu bara sebagai sumber energi, padahal batu bara merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui dan lambat laun sumber energi tersebut akan

habis jika dieksploitasi secara terus menerus. Adanya PLTA membuat Indonesia mampu mencari sumber energi lain yang lebih berkelanjutan penggunaannya tanpa harus terus mengandalkan batu bara. Pembangkit Listrik Tenaga Air atau yang biasanya disingkat PLTA adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan air dengan mengubahnya dari energi potensial dan energi kinetik air.

Pengertian PLTA menurut Peraturan Menteri Perindustrian RI Nomor: 54/M-IND/PER/3/2012 tentang Pedoman Penggunaan Produk dalam Negeri Untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagakerjaan adalah pembangkit yang mentransformasi energi potensial menjadi energi yang memiliki kecepatan yang dikenal dengan energi kinetik air sehingga menghasilkan energi listrik. Tidak hanya sebatas air dari sebuah air terjun dan waduk, melainkan juga meliputi pembangkit listrik yang mengeluarkan tenaga air dalam bentuk lain seperti halnya tenaga ombak.

Berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkan, PLTA dibedakan atas:

1. Mikrohidro : Daya yang dihasilkan < 100 kw
2. Minihidro : Daya yang dihasilkan $100 - 500$ kw
3. PLTA skala kecil: Daya yang dihasilkan $500 - 10.000$ kw
4. PLTA skala besar: Daya yang dihasilkan > 10.000 kw

Sementara berdasarkan tinggi jatuhnya air (*Head*), PLTA dibagi menjadi:

1. PLTA dengan tekanan rendah, $H < 15$ m
2. PLTA dengan tekanan sedang, $15 = H = 50$ m
3. PLTA dengan tekanan tinggi, $H > 50$ m

2.2.1 Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik yang sedang dalam pengembangan dan riset lebih lanjut ini memiliki beberapa keunggulan

atau kelebihan daripada pembangkit listrik lainnya. Salah satunya adalah sumber daya yang digunakannya merupakan air yang berpotensi jumlahnya melimpah di alam. Selain itu, sumber daya alamnya merupakan sumber daya alam yang terbarukan (energi alternatif) melalui siklus air yang terus-menerus berkelanjutan. Di dalam pemanfaatannya tidak ada limbah atau emisi gas lainnya yang dihasilkan. Sehingga dalam segi kebutuhan bahan tergolong murah serta tidak menimbulkan terjadinya pencemaran lingkungan yang juga dinyatakan oleh *International Energy Agency* di Paris.

Efisiensi yang dihasilkan juga termasuk tinggi yaitu 75% hingga 80%. Ramah lingkungan yang dimaksud juga termasuk tidak ada pencemaran udara atau menimbulkan kebisingan yang mengganggu masyarakat. Jika dibandingkan dengan menggunakan bahan dari fosil, biaya operasional serta pemeliharaan yang diberikan juga lebih murah.

2.2.2 Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Bila terjadi pada musim kemarau dan debit airnya akan menurun. Hal tersebut berpengaruh secara otomatis terhadap penurunan kapasitas listrik yang dihasilkan sedangkan aktivitas tetap berjalan dengan kebutuhan seperti biasanya.

Daya listrik yang dihasilkan tidak lebih besar daripada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro apalagi Pembangkit Listrik Tenaga Air. Hal ini menyebabkan terbatasnya jumlah pelanggan dan daya yang dipakai. Apabila lebih dari batas maksimum akan menurunkan kualitas listrik sehingga perlu disesuaikan dengan jumlah dan kebutuhan pemakaian masyarakat di daerah tersebut yang apabila jumlah dan kebutuhannya tinggi akan kecil kemungkinan untuk menggunakan PLTA.

Sumber daya yang digunakan merupakan air yang berada di alam yang dalam pemikiran masyarakat seharusnya dapat diakses atau dimanfaatkan secara gratis untuk masyarakat. Pertimbangan sosial ini membuat kesulitan dalam menentukan tarif yang sesuai. Hal ini tidak selaras dengan biaya investasi dan harga *sparepart* yang tinggi.

2.3 Pengukuran Debit Air

Penentuan debit dan head pada PLTA mempunyai arti yang sangat penting dalam menghitung potensi tenaga listrik. Variabel debit diwakili oleh jumlah rata-rata bulan kering dalam satu tahun. Artinya dicari areal-areal yang jumlah bulan keringnya kecil atau bahkan tidak ada bulan keringnya sama sekali. Pengukuran debit air (Q) sungai pada dasarnya terdapat banyak metode pengukuran debit air. Untuk sistem konversi energi air skala besar pengukuran debit bisa berlangsung bertahun-tahun. Sedangkan untuk sistem konversi energi air skala kecil waktu pengukuran dapat lebih pendek, misalnya untuk beberapa musim yang berbeda saja.

Metode pengukuran debit air dapat dilakukan dengan menggunakan current meter, prinsip yang digunakan ialah berkaitan antara kecepatan aliran air dengan kecepatan putaran baling-baling currentmeter. Alat ukur arus biasanya digunakan untuk mengukur aliran pada air rendah (Kensaku, 1977)⁽¹⁾.

Dari kecepatan yang didapatkan pada alat ukur arus, maka akan didapatkan debit pada suatu aliran air tersebut. pengukuran debit pada aliran air ini (saluran/sungai) memerlukan 2 pengukuran, yaitu luas penampang aliran dan kecepatan aliran. Pengukuran luas penampang sungai dapat dilakukan dengan mudah apabila lokasi stasiun telah

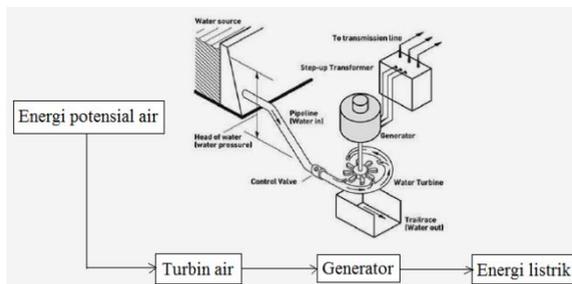
ditetapkan, dan dilakukan pengukuran yang cermat tentang bentuk penampang sungai di stasiun tersebut. Terdapat dua cara dalam pengukuran debit, yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung.

2.4 Daerah Pembangunan PLTA

Daerah yang sesuai untuk dibangun PLTA adalah di daerah dengan banyak potensi air dan memiliki perbedaan tinggi air pada suatu alur sungai atau wilayah tertentu. Wilayah tersebut dapat berupa aliran sungai yang dapat dilakukan pembendungan, terjunan, ataupun alur sungai yang curam serta kondisi geografis dan topografi lingkungannya.

2.5 Prinsip Kerja PLTA

Mengubah energi potensial air menjadi energi listrik meskipun nantinya bentuk pembangkit listriknya beragam. Hal yang penting untuk diperhatikan adalah harus membuat bendungan untuk suplai air yang teratur lengkap dengan pintu untuk membuka juga filter untuk menyaring sampah. Bendungan terletak pada dasar sungai yang terhindar dari banjir serta stabil.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTA

Sumber : <https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>

Cara kerjanya berpusat pada energi potensial air (*head*). Energi potensial air didapatkan dari energi air yang berada pada ketinggian tertentu kemudian turun karena pengaruh gaya gravitasi. Energi ini kemudian berubah menjadi energi kinetik mengenai turbin yang dilengkapi dengan casing untuk diarahkan ke baling-baling yang kokoh dan disambung pada 2 buah piringan yang sejajar agar seimbang serta terbuat dari baja. Lalu, poros turbin berputar karena energi kinetik air tersebut berubah menjadi energi mekanik. dihubungkan menggunakan kopling agar dapat dihubungkan atau ditransmisikan ke generator. Kemudian generator akan menghasilkan energi listrik. Selanjutnya, energi listrik ini akan dialirkan ke rumah-rumah konsumen dan berbagai keperluan lainnya yang sebelumnya energi listrik telah memasuki sistem kontrol arus listrik. Sehingga dasar untuk menghasilkan energi listrik yang lebih efisien dan efektif adalah dengan cara meningkatkan ketinggian air.

2.6 Skema Bangunan PLTA

Skema PLTA dapat dikelompokkan berdasarkan berbagai parameter. Disini dipaparkan pembagian skema PLTA berdasarkan parameter *head* dan parameter konfigurasi lokasi.

Berdasarkan parameter *head* PLTA dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

1. Skema *head* rendah, bila digunakan *head* sebesar 2-30 meter;
2. Skema *head* menengah, bila digunakan *head* sebesar 30-100 meter; dan
3. Skema *head* tinggi, bila digunakan *head* sebesar 100 meter atau lebih.

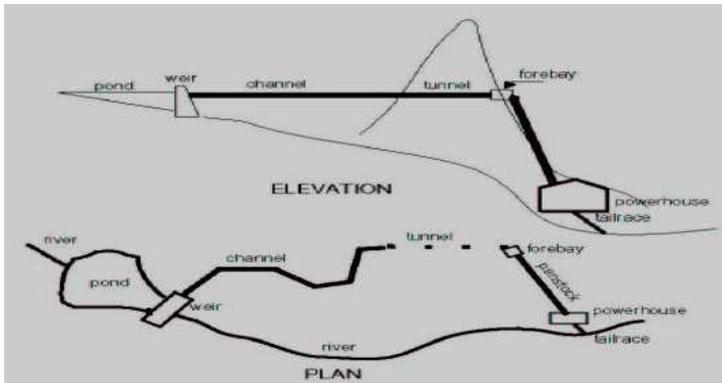
Adapun berdasarkan kriteria konfigurasi lokasi, PLTA dibedakan menjadi sebagai berikut.

- 1.1 Skema *run-off-river*;
- 2.1 Skema *storage* dengan dam; dan
- 3.1 Skema integrasi dengan kanal atau pipa suplai air.

2.6.1 Skema *run-off-river*

Run-off river merupakan skema yang paling banyak digunakan dalam teknologi PLTA. Dalam skema ini sebagian debit air dialirkan melalui kanal dan pipa menuju turbin. Tidak ada penyimpanan air, atau walaupun ada, relatif kecil. Skema ini cocok untuk sungai yang alirannya deras. Keuntungan skema ini adalah pembuatannya mudah, biayanya murah, lebih tahan lama, dan tidak mengganggu ekosistem air. Kekurangan skema ini adalah tidak adanya cadangan air sehingga ketika musim kering pasokan aliran air ke turbin akan banyak berkurang.

Skema head menengah dan head tinggi menggunakan bendung untuk mengarahkan air ke intake. Air dari intake kemudian dialirkan ke turbin melalui pipa pesat atau penstock. Penstock mahal sehingga desain ini biasanya tidak ekonomis. Ada pilihan lain yaitu mengantarkan air melalui kanal dengan kemiringan rendah melalui sepanjang sungai menuju kolam penenang. Dari kolam penenang air dialirkan melalui penstock yang pendek ke turbin. Air kembali ke sungai melalui saluran pelepasan. Jika topografi lokasi menyulitkan untuk pembuatan kanal, pipa bertekanan rendah bisa jadi pilihan ekonomis. Dapat juga dibuat kolam kecil untuk menyimpan air pada bendung seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema *run-off-river*
 Sumber : Rohman, Abdur., 2009⁽²⁾

2.6.2 Skema *Storage*

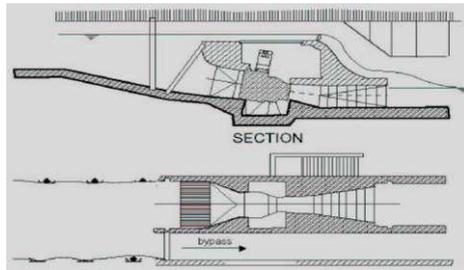
Skema lain PLTA adalah skema penyimpanan (storage) air. Dalam skema ini aliran air dihentikan dengan dam. Dengan demikian, air akan tersimpan dalam waduk. Keuntungan skema ini adalah adanya cadangan air yang bisa digunakan sewaktu-waktu. Kerugiannya adalah adanya dam bisa merusak ekosistem air. Selain itu, setelah beberapa tahun, bisa jadi banyak sampah yang tertimbun pada waduk seperti terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema *Storage*
 Sumber : Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Arismunandar
 A., 2004⁽³⁾

2.6.3 Skema Integrasi

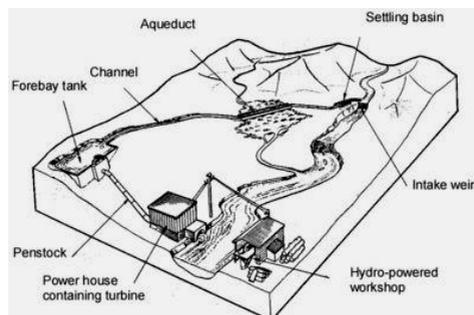
Pada skema ini aliran air tidak ditampung seperti pada skema run-off river yang membutuhkan pembuatan saluran baru untuk mengarahkan air ke turbin, skema ini memanfaatkan saluran yang sudah ada, baik berupa kanal irigasi atau pipa suplai air seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Contoh Skema Integrasi PLTA dengan Irigasi
Sumber : Rohman, Abdur., 2009⁽²⁾

2.7 Komponen PLTA

Terdapat beberapa komponen yang digunakan untuk membangun sebuah PLTA seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Komponen PLTA
Sumber : (Rohman, Abdur, 2009)⁽²⁾

Komponen tersebut meliputi:

2.7.1 Dam/Bendungan (Weir) dan *Intake*

Merupakan bangunan yang berfungsi untuk meninggikan elevasi muka air di sungai sehingga air dapat mengalir ke arah *intake* untuk selanjutnya dialirkan ke arah saluran pembawa. Bendung dilengkapi dengan pintu air penguras untuk membuang sedimen lumpur yang terkumpul di dasar bendung.

Sedangkan *intake* mempunyai arti bangunan yang berada di sisi kiri maupun kanan bendung yang berfungsi untuk mengalirkan air ke saluran pembawa sesuai dengan debit yang telah direncanakan. *Intake* dirancang agar selalu mengalirkan air sesuai dengan debit perencanaan pada kondisi debit sungai yang bagaimanapun. *Intake* dilengkapi dengan saringan kasar untuk mencegah sampah ke dalam saluran pembawa. *Weir* dan *Intake* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema DAM dan Intake

Sumber : (Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Arismunandar A., 2004)⁽³⁾

2.7.2 Bak Pengendap (*Forebay*)

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari sedimen. Bak pengendap dibuat dengan memperdalam dan memperlebar sebagian saluran pembawa dan menambahnya dengan beberapa komponen, seperti saluran pelimpah, saluran penguras dan sekaligus pintu pengurasnya. Contoh bak pengendap dapat dilihat pada gambar 2.8.

Adapun kehilangan energi akibat trashrack sebagai berikut:

$$h_t = K_t \left[\frac{t_k}{b_k} \right]^{4/3} \sin \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Keterangan :

- h_t = Kehilangan energi pada *trashrack*
- K_t = Koefisien kehilangan energi karena bentuk kisi
- t_k = tebal kisi (m)
- b_k = jarak kisi (m)
- α = sudut pemasangan *trashrack*
- V = Kecepatan Aliran (m/det)



Gambar 2.8 Skema Bak Pengendap

Sumber : (Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Arismunandar A., 2004)⁽³⁾

2.7.3 Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan. Ada berbagai macam saluran pembawa, antara lain terowongan, saluran terbuka dan saluran tertutup. Konstruksi saluran pembawa dapat berupa pasangan batu kali atau hanya berupa tanah yang digali. Pada saluran yang panjang perlu dilengkapi dengan saluran pelimpah pada jarak tertentu. Ini untuk menjaga jika terjadi banjir maka kelebihan air akan terbuang melalui saluran tersebut. Contoh gambar Dapat di lihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema *Headrace*

Sumber : (Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Arismunandar A., 2004)⁽³⁾

2.7.4 Bak Penenang (*Forebay*)

Yang berfungsi (gambar 2.10) untuk mengurangi kecepatan air yang masuk dari saluran, sehingga turbulensi air pada saat masuk ke dalam penstock berkurang. Berkurangnya turbulensi air meningkatkan daya yang dapat dibangkitkan. Bak penenang dilengkapi dengan saringan agar air yang masuk ke dalam turbin bebas dari benda-benda keras yang dapat merusak turbin.



Gambar 2.10 Bak Penenang (*Forebay*)

Sumber : (Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Arismunandar A., 2004)⁽³⁾

2.7.5 Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat (*penstock*) (gambar 2.11) berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju turbin air. Di samping itu, pipa pesat juga mempertahankan tekanan air jatuh sehingga energi di dalam gerakan air tidak terbuang. Air di dalam pipa pesat tidak boleh bocor karena mengakibatkan hilangnya tekanan air.

Dengan rumus mencari diameter *penstock* yaitu :

$$D = 2,69 \left(\frac{n^2 QL}{H} \right)^{0,1875}$$

Dimana

D = Diameter *penstock* (m)

n = koef. manning pipa (0.001-0.006 untuk baja)

Q = Debit masuk (m³/detik)

L = Panjang rencana *penstock* (m)

H = Tinggi Jatuh efektif (m)

Dan dengan rumus mencari tebal pipa *penstock* yaitu sebagai berikut :

$$t_0 = \frac{P_p \cdot d_p}{2 \cdot \theta \cdot \eta} + \delta t$$

Dimana

t₀ = Tebal minimum pipa (cm)

P_p = Desain tekanan air (1,1 x tekanan hidrostatik) (ρ.g.h)

d_p = Diameter *Penstock* (m)

θ = Tegangan ijin bahan (kg/cm²), untuk SS 400 (14.000 kg/cm²)

η = Efisiensi pengelasan (0,85-0,90)

δt = Faktor Korosi (0,15 cm)



Gambar 2.11 *Penstock*

(Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Arismunandar A., 2004)⁽³⁾

2.7.6 Rumah Pembangkit (*Powerhouse*), Turbin dan Generator

Bagian ini berfungsi sebagai rumah tempat menyimpan semua peralatan mekanik dan elektrik PLTA. Peralatan mekanik seperti Turbin dan Generator berada dalam Rumah Pembangkit dan juga *controller* (panel kontrol).

2.7.7 Saluran Pembuangan (*Tailrace*)

Tujuan saluran pembuang ini adalah sebagai saluran pembuang aliran air yang masuk kedalam rumah pembangkit setelah melalui turbin turbin. Saluran ini bersatu dengan rumah pembangkit dan aliran sungai.

2.7.8 Surgetank

Adapun sebuah bangunan tambahan untuk meredam gaya pukulan yang diakibatkan oleh tingginya tekanan di dalam pipa. Bangunan ini dibuat dengan sistem pengelakan gaya dimana tekanan tersebut akan

dibelokkan ke sebuah tanki yang memiliki diameter lebih besar guna memperlambat kecepatan ketika dibelokkan dengan ketinggian tanki yang ditentukan.

Berikut adalah rumus untuk menghitung tekanan pada surgetank :

$$\sum F = \rho Q (V_2 - V_1)$$

Di mana :

F = Kekuatan

ρ = Kepadatan Cairan

V_1 = Kecepatan Fluida Awal

V/V_2 = Kecepatan Fluida Akhir

Dapat dilihat bahwa Ketika V_2 jatuh di bawah V_1 , kekuatan negative yang dibuat. Ini daya negative bentuk gelombang dari peningkatan tekanan di dalam pipa yang menjaral kembali menuju sumber aliran dan bergerak bolak-balik, ke dan dari sumber. Kecepatan gelombang juga bagian fungsi dari kecepatan teoritis gelombang yang diberikan oleh persamaan 2 (Cruise).

$$c' = \sqrt{\left(\frac{E_v}{\rho}\right)}$$

Di mana :

c' = Kecepatan teoritis gelombang

ρ = Kepadatan Cairan

E_v = Modulus ruah elastisitas cairan

Kecepatan gelombang ini juga fungsi komposit modulus elastisitas sistem pipa termasuk fluida pipa, diameter pipa, ketebalan dinding pipa dan geser pipa.

Memecahkan persamaan 3 untuk kecepatan gelombang tekanan dalam pipa (Cruise).

$$c = \sqrt{\frac{c'{}^2}{1 + \left(\frac{E_v d}{\varepsilon E_p}\right)}}$$

Di mana :

- c = kecepatan gelombang tekanan
- E_v = Modulus ruah elastisitas cairan
- d = diameter pipa
- ε = Ketebalan dinding pipa
- E_p = Geser pipa
- c' = Kecepatan teoritis gelombang

$$\Delta p = \rho c V_0$$

Di mana :

- Δp = Perubahan tekanan
- c = Kecepatan gelombang
- V_0 = Kecepatan Awal

Tekanan maksimum yang akan terjadi di dalam pipa adalah asli tekanan dalam pipa ditambah perubahan tekanan, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 5 (Cruise).

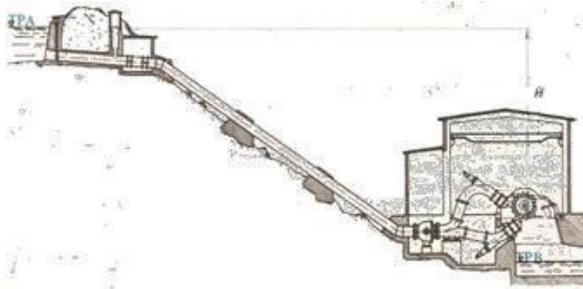
$$\rho_{max} = P_0 + \Delta p$$

Di mana :

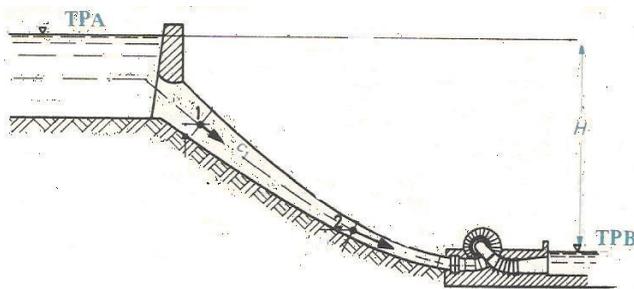
- ρ_{max} = Maxs Tekanan
- P_0 = Tekanan awal
- Δp = Perubahan Tekanan

2.8 Tinggi Jatuh Air

Ada dua macam tinggi jatuh air pada suatu instalasi pembangkit listrik yaitu: tinggi jatuh air aktual dan tinggi jatuh air efektif. Untuk jenis turbin air tekanan sama (turbin impuls) tinggi jatuh air aktualnya dihitung dari permukaan air di kolam penampung TPA (Tinggi Permukaan Air Atas) sampai ke tengah-tengah pancaran air dari nosel (gambar 2.12). Sedangkan untuk jenis air tekanan lebih (turbin reaksi) tinggi jatuh air aktual dihitung dari permukaan air di kolam penampung sampai ke permukaan air bawah TPB (Tinggi Permukaan Air Bawah) (gambar 2.13).



Gambar 2.12 Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan sama



Gambar 2.13 Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan lebih

Yang dimaksud dengan tinggi jatuh air efektif adalah tinggi jatuh air aktual dikurangi total kerugian energi (*head losses*) di sepanjang saluran, yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$H_e = H_a - \sum H_i$$

Dimana :

H_e = Tinggi Jatuh Air Efektif (m)

H_a = Tinggi Jatuh Air Aktual (m)

H_i = *Head Losses* (m)

2.9 Penentuan Daya

Setelah debit dan *head* diketahui, maka untuk menghitung besarnya daya yang dapat dihasilkan turbin digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = g \times Q_d \times H_{\text{nett}} \times \eta_{\tau} \times \eta_G$$

Di mana :

P = Daya (kWatt)

g = Gaya Gravitasi Bumi (m/s^2)

Q_d = Debit Design (m^3/det)

h_{nett} = Tinggi jatuh air netto (m)

η_{τ} = Efisiensi turbin

η_G = Efisiensi generator

2.10 Penentuan Energi

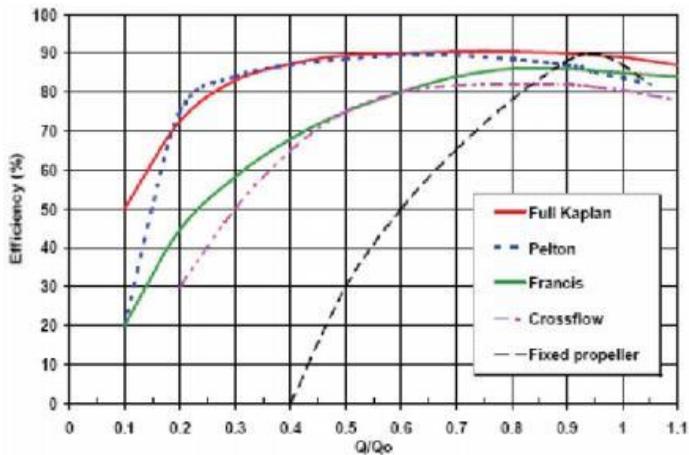
Setelah didapatkan daya, kemudian untuk perhitungan energi dapat menggunakan rumus:

$$E = P \times T \times \% \text{Prob}$$

Di mana :
 E = Energi (MWH)
 P = Daya (kWatt)
 %Prob = Probabilitas Debit

2.11 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin didapat dari grafik hubungan antara efisiensi turbin dengan rasio aliran, sehingga efisiensi turbin dapat berubah seiring dengan rasio alirannya. Kemudian untuk penentuan efisiensi turbin sendiri dapat menggunakan grafik 2.14.



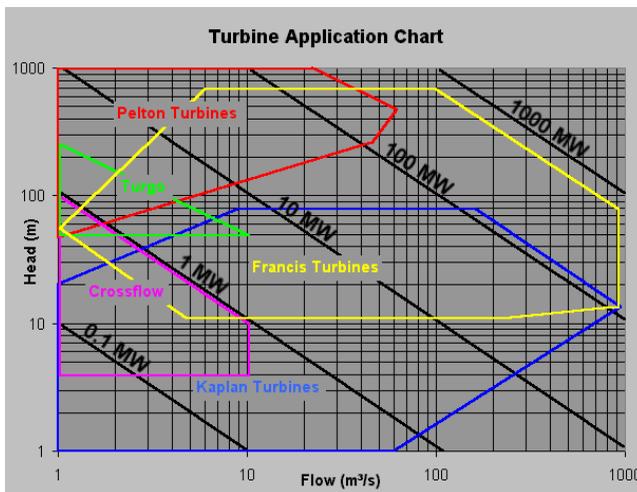
Gambar 2.14 Pengaruh perbandingan rasio aliran terhadap efisiensi

Sumber: (Hydropower from Wastewater, New York State Energy Research and Development Authority, 2011)⁽⁴⁾

2.12 Pemilihan Jenis Turbin

Turbin adalah peralatan hidrolik untuk merubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik. Pada awalnya adalah peralatan berfungsi untuk menaikkan air dari bawah ke atas seperti pompa untuk irigasi dan alat pemutar/giling di pabrik pengolah tanaman pangan. Namun perkembangan selanjutnya difungsikan untuk membangkitkan energi listrik dengan menambah generator. Jenis turbin kuno yang dulunya untuk pompa air dan masih efektif digunakan untuk pembangkitan listrik kapasitas dibawah 100kw, dengan debit 0,1 s/d 15 m³/det tiap screw dan head rendah 1 s/d 10 m adalah *screw archimedes yang dikembangkan Archimedes 287-212 SM*.

Berdasarkan perbandingan debit dan tinggi jatuh air maka dapat ditentukan jenis turbin yang dapat digunakan dalam perencanaan sebuah PLTA menggunakan grafik klasifikasi turbin (Gambar 2.15)



Gambar 2.15 Kriteria Jenis turbin Berdasarkan head dan debit air
Sumber : (British hydro association, 2004)⁽⁵⁾

Sedangkan jenis-jenis turbin yang lazim digunakan dan kapasitasnya adalah seperti tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Turbin

Type	Head (m)	Debit (m ³ /det)	Kecepatan spesifik m/det
Pelton	50 – 1300	0,1 – 70	0 – 30
Francis	40 – 50	0.15 – 500	20 – 120
Kaplan	2 – 40	0.5 – 1000	80 – 300
Turgo	50 – 250	0.05 - 5	-
Cross flow	2 – 200	0.04 – 15	10 – 70
Propeler	(2- 10)	0.5 – 50	80 – 300

Sumber : Perum Jasa Tirta 1

Dari tabel di atas nampak bahwa Pelton dan Francis digunakan untuk head tinggi dan debit besar, namun memiliki putaran turbin yang lambat. Jenis lainnya untuk head yang rendah namun putaran tinggi. Pemilihan jenis turbin cukup pelik, karena mengkombinasikan pertimbangan dari debit, head, kapasitas daya.

2.13 Analisis Kapasitas Penampang Sungai

Untuk penentuan debit yang masuk pertama yaitu harus menganalisa kapasitas penampang sungai yang ada

2.13.1 Menentukan Curah Hujan Rencana

Data curah hujan rencana didapatkan dari pengolahan data curah hujan tiap tahun dari stasiun pengamatan hujan. Data kemudian diolah dengan berbagai distribusi probabilitas, yaitu normal, log normal, log pearson tipe III, dan Gumbel. Kemudian diuji kecocokan distribusi frekuensi dengan uji chi kuadrat maupun smirnov-kolmogorov untuk menentukan metode distribusi probabilitas yang sesuai, sehingga didapatkan data curah hujan rencana.

2.13.2 Menentukan Debit Rencana dengan Metode HSS Nakayasu

Debit rencana metode HSS Nakayasu dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut

- a) Distribusi Hujan Jam-jaman

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

$$R_T = r. R_t - (t-1) R_{(t-1)}$$

Di mana :

R_t	: Rata tinggi hujan dari permulaan sampai jam k	
t		(mm)
R_{24}	: Tinggi hujan harian dalam 24 jam	(mm)
t	: Waktu hujan	(jam)
T	: Lama waktu hujan waktu terpusat	(jam)
R_T	: Tinggi hujan rata-rata pada jam t	(mm)
$R_{(t-1)}$: Rata-rata tinggi hujan dari permulaan dampai jam ke (t-1)	(mm)

b) Perhitungan Tinggi Hujan Efektif

Perhitungan tinggi hujan efektif,
menggunakan rumus :

$$R_e = C \cdot R_T$$

Di mana :

R_e : Tinggi hujan efektif (mm)

R_T : Tinggi hujan rencana (mm)

C : Koefisien pengaliran rata-rata

c) Hidrogaf Satuan Sintesis dengan Metode Nakayasu

Menentukan debit puncak banjir
dapat dihitung dengan rumus :

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

Di mana :

Q_p : Debit puncak banjir (m³/det)

C : Koefisien pengaliran

A : Luas daerah aliran sungai (km²)

R_0 : Hujan satuan (mm)

T_p : Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai
puncak banjir (jam)

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

Nekayasu membagi bentuk hidrograf satuan dalam dua bagian, yaitu lengkung naik dan lengkung turun. Pada bagian lengkung naik, besarnya nilai hidrograf satuan dihitung dengan persamaan :

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

Di mana :

Q_a : Limpasan sebelum mencapai debit puncak dan dinyatakan dalam bentuk m^3/det

Pada bagian lengkung turun yang terdiri dari tiga bagian, hitungan limpasan permukaannya adalah :

- Untuk $Q_d > 0,30 \cdot Q_p$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}}$$

- Untuk $0,30 \cdot Q_p > Q_d > 0,30^2 \cdot Q_p$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)+(0,5 \cdot T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}}$$

- Untuk $0,30^2 \cdot Q_p > Q_d$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)+(0,5 \cdot T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}}$$

Dimana :

Q_p : Debit puncak (m³/det)

t : Satuan waktu (jam)

Menurut nakayasu, waktu naik hidrograf bergantung dari waktu konsentrasi dan dihitung dengan persamaan :

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

Di mana :

T_g : Waktu Konsentrasi (jam)

T_r : Satuan waktu hujan (diambil 1 jam)

Di mana persamaan rumus untuk menghitung T_r adalah :

$$T_r = 0,75 \cdot T_g \text{ (Karena } 0 < T_r < 1 \text{)}$$

Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh Panjang sungai utama (L) :

- Jika $L < 15$ km, maka $T_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$
- Jika $L > 15$ km, maka $T_g = 0,4 \cdot 0,058 \cdot L$

Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak hidrograf satuan dihitung :

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g$$

α : Koefisien yang bergantung pada karakteristik DAS (Daerah Aliran Sungai)

Keterangan :

- Untuk daerah pengaliran biasa, $\alpha = 2$
- Untuk bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat, $\alpha = 1,5$
- Untuk bagian naik hidrograf yang cepat dan menurun yang lambar, $\alpha = 3$

2.14 Sistem pemeliharaan PLTA

Pekerjaan pemeliharaan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) antara lain terdiri dari inspeksi pembersihan, penyempurnaan, pengujian dan pencatatan. Pemeliharaan merupakan syarat yang sangat penting untuk memperpanjang umur dari peralatan dan kehandalan dari semua unit pembangkit.

Aktifitas pemeliharaan yang dilakukan dalam suatu pembangkit tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu pemeliharaan rutin dan pemeliharaan non rutin.

Pemeliharaan rutin sendiri terdiri dari :

- *Preventive Maintenance*

Merupakan pemeliharaan rutin yang dilakukan atas dasar interval waktu yang telah ditetapkan atau dalam persyaratan atau kriteria tertentu yang dimaksudkan untuk mengurangi serta mencegah suatu item peralatan mengalami kondisi yang tidak diinginkan. Pelaksanaan *preventive maintenance* dilakukan tanpa harus melakukan shut down unit pembangkit.

- *Predictive Maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan atas dasar hasil diagnose atau condition monitoring serta kajian failure analysis berdasarkan timbulnya suatu gejala kerusakan yang dapat diketahui secara dini, sehingga pemeliharaan dapat dilakukan tepat sebelum terjadi kerusakan atau kegagalan. *Predictive maintenance* dilakukan tanpa harus melakukan shut down unit pembangkit.

- *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan untuk mengembalikan (termasuk memperbaiki dan adjustment) peralatan yang tidak bekerja atau tidak berfungsi sebagaimana mestinya. *Corrective maintenance* dapat dilakukan pada saat peralatan sedang beroperasi maupun *standby* ataupun peralatan sedang tidak beroperasi.

Sedangkan pemeliharaan non rutin terdiri dari :

- *Overhole atau Inspection (OH)*

Pemeliharaan menyeluruh semua peralatan system yang termasuk dalam satu paket inspeksi merupakan satu paket pekerjaan besar yang terjadwal untuk pemeriksaan yang luas dan perbaikan dari suatu item atau peralatan besar untuk mencapai kondisi yang layak.

- *Repair atau Breakdown Maintenance (BD)*

Pemeliharaan yang dilakukan karena terjadinya kerusakan peralatan sehingga berakibat kegagalan fungsi dari peralatan tersebut. Dalam kejadian kerusakan atau *corrective* atau *emergency* berkembang akan mengakibatkan peralatan tersebut rusak berat dan harus diganti baru atau penggantian sebagai part utamanya.

- *Engineering Maintenance*

Suatu kegiatan yang dilakukan untuk suatu proyek atau modifikasi peralatan atau unit, baik untuk mengembalikan atau menambah kemampuan dan keandalan peralatan atau unit. Pelaksanaan pekerjaan ini bisa bersifat menambah asset atau bisa juga hanya menyempurnakan kinerja peralatan atau unit.

Tujuan utama dari pemeliharaan pada pembangkit tenaga listrik tenaga air adalah :

- 1.3 Agar kemampuan produksi daya listrik sesuai permintaan.
- 2.3 Agar mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien secara keseluruhan.
- 3.3 Menghindarkan kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.

BAB III

METODOLOGI DAN ALUR PERENCANAAN

3.1 Survey Pendahuluan dan Studi Literatur

Dilakukan untuk mengenal dan mengidentifikasi dari seluruh permasalahan yang ada di lapangan sehingga dapat mengambil langkah – langkah selanjutnya yang akan diambil guna mencari solusi akan permasalahan yang terjadi. Selain itu, survey ini juga untuk mendapat dokumentasi yang nantinya dapat dilampirkan pada bagian akhir dari tugas akhir ini. Kemudian dilakukan pengumpulan data yang akan dibahas dibawah ini.

Studi Literatur dilakukan dengan membaca dan mengambil intisari dari buku-buku serta referensi yang berhubungan dengan perencanaan ini adalah sebagai berikut :

- Referensi judul tugas akhir terdahulu “Studi Perumusan Alternatif Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) Untuk Optimalisasi Potensi Energi dan Potensi Wisata Curug Cimahi”⁽⁶⁾

3.2 Pengumpulan Data

Setelah mengidentifikasi dari permasalahan yang ada di lapangan maka langkah selanjutnya adalah mencari data pendukung untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Data yang digunakan dalam penulisan ini ialah data sekunder yang mana merupakan data secara tidak langsung berupa catatan maupun hasil penelitian dari pihak lain. Adapun data sekunder tersebut meliputi:

- Data debit irigasi.

Data debit irigasi didapatkan dari perencanaan proyek yang sudah ada, namun terdapat lahan irigasi

potensial yang dapat dimanfaatkan dengan luas yang lebih besar. Debit hasil ekstensifikasi irigasi tersebut nantinya akan digunakan untuk penentuan debit pembangkitan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik

- Peta topografi dan peta perencanaan bendungan.

Data Peta topografi dan peta perencanaan bendungan digunakan untuk mencari lokasi PLTA yang memungkinkan. Untuk mencari lokasi *power house* dibutuhkan lahan yang cukup luas serta dekat dengan sungai karena nanti air yang digunakan untuk memutar turbin akan dikembalikan lagi ke sungai agar dapat masuk ke saluran irigasi eksisting.

- Produk pipa dan turbin pasaran

Produk produk pasaran dibutuhkan untuk mendapatkan spesifikasi spesifikasi yang ada. Spesifikasi seperti grade dan tegang ijin bahan dibutuhkan untuk perhitungan ketebalan pipa yang dibutuhkan.

Setelah memperoleh data dapat dilakukan proses perhitungan atau analisis data yang akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

3.3 Analisa Data / Proses Perhitungan

Selanjutnya adalah proses perhitungan untuk menentukan dimensi dimensi dan spesifikasi pipa, surgetank, dan turbin yang stabil dan sesuai dengan data yang ada

- Penentuan lokasi item PLTA

Penentuan lokasi lokasi item PLTA dimaksudkan untuk mencari elevasi dan jarak dari intake yang ada. Selanjutnya dari elevasi tersebut akan didapatkan *head* atau tinggi jatuh dimana nanti tinggi jatuh dan jarak dari intake tersebut digunakan untuk

memperhitungkan dimensi dimensi pipa dan *surgetank* serta menentukan jenis turbin sesuai klasifikasi turbin yang ada.

- Perhitungan dimensi pipa, *surgetank* dan turbin

Setelah didapatkan tinggi jatuh dan jarak dari intake, data data tersebut nantinya akan digunakan untuk perhitungan dimensi pipa dan *surgetank*. Perhitungan dimensi pipa dan *surgetank* dimaksudkan untuk pembandingan antara produk yang ada dan hasil desain yang sesuai dengan perhitungan.
- Penyesuaian dengan produk pasaran yang tersedia.

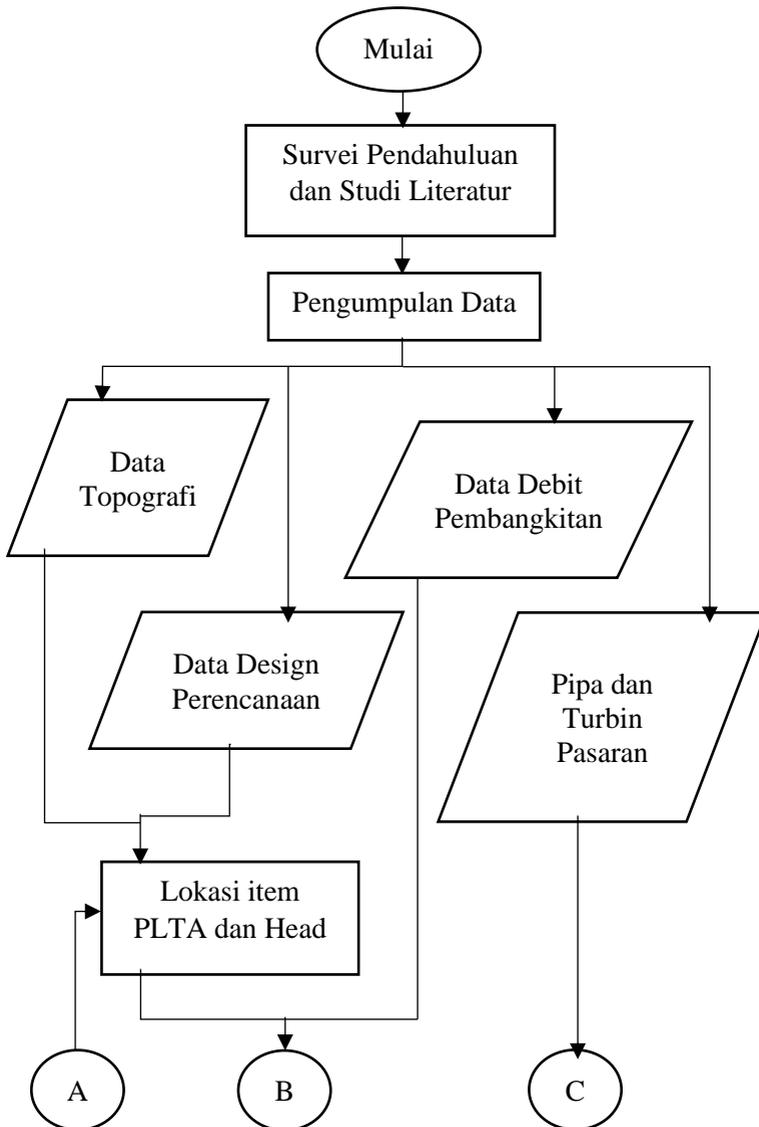
Setelah didapat semua desain yang ada selanjutnya adalah pengecekan apakah ukuran yang sudah dihitung sebelumnya ada di pasaran atau tidak. Jika ada maka desain yang telah dihitung dapat digunakan. Tetapi kalau tidak ada di pasaran maka harus direncanakan ulang penentuan lokasi item item PLTA (*Surgetank*, *Powerhouse*, turbin) kembali agar desain yang dihitung dapat diaplikasikan.
- Perencanaan *powerhouse*

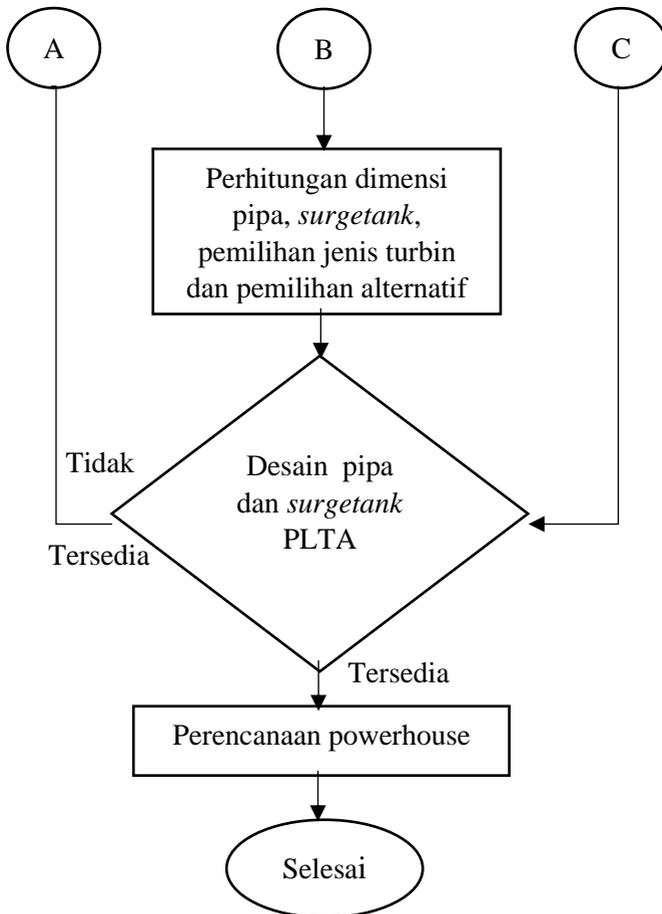
Setelah semua item item yang ada sudah terhitung dan desain juga ada di pasaran, maka selanjutnya adalah perencanaan pemberian tempat untuk tata letak item item tersebut seperti Turbin, generator, dan tempat tempat lainnya seperti tempat perakitan untuk tempat reparasi dan ruang staff untuk tempat pekerja standby menjaga turbin dan generator.

3.4 Kesimpulan dan Saran

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

3.5 Diagram Alir Pengerjaan





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

BAB IV PEMBAHASAN

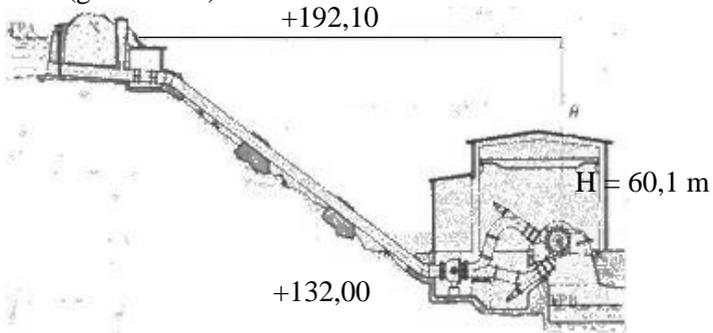
4.1 Debit Pembangkitan

Dari data proyek Waduk Tukul Pacitan di Desa Karanggede, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur diketahui data debit yang digunakan untuk mengairi irigasi yaitu sebesar $0,60 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan air baku sebesar $0,35 \text{ m}^3/\text{dt}$. Daerah irigasi yang dicakup oleh waduk tukul adalah seluas 600 ha. Jadi debit pembangkitan yang digunakan untuk memutar turbin adalah sebesar $0,95 \text{ m}^3/\text{dt}$. Karena pada prinsipnya debit untuk irigasi dan air baku dipinjam dahulu oleh pembangkitan untuk memutar turbin, kemudian debit dikembalikan untuk digunakan keperluan keduanya.

4.2 Desain Head (Beda Tinggi)

Dari puncak elevasi ambang design pelimpah atau *spillway* yang ada berada pada elevasi +192.1 meter dari permukaan air laut. Denah potongan memanjang *hydromechanical* dapat dilihat dari gambar 4.1.

Dengan muka air reservoir yang ada yaitu pada elevasi +192,1 meter dan letak turbin rencana pada elevasi rencana +132 meter didapatkan head yang cukup tinggi yaitu 60,1 meter (gambar 4.2).



Gambar 4.2 Skema Head (Beda Tinggi)

Kemudian dari Head tersebut dihitung pula head loss untuk mengetahui kehilangan head akibat gaya gesek yang terjadi di dalam saluran pipa. Head loss dapat dihitung dengan ketentuan sebagai berikut :

$$H_{\text{loss}} = 0,1 \times H_{\text{gross}}$$

Keterangan :

H_{gross} = Tinggi jatuh bersih

H_{loss} = Tinggi jatuh efektif

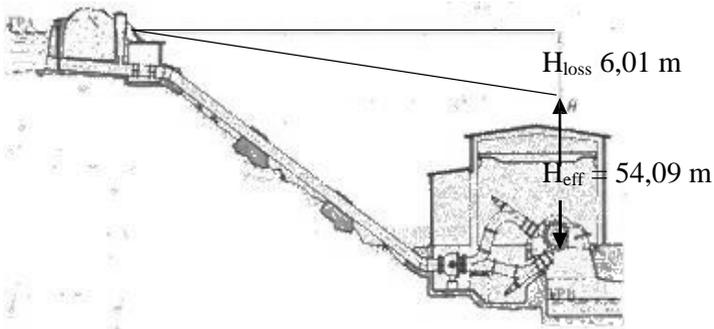
Maka dari perhitungan *head* (beda tinggi) yang ada, sehingga nilai kehilangan head atau *headloss* yaitu :

$$\begin{aligned} H_{\text{loss}} &= 0,1 \times H_{\text{gross}} \\ &= 0,1 \times 60,1 \text{ meter} \\ &= 6,01 \text{ meter} \end{aligned}$$

Dari head gross yang sudah diketahui dan head loss yang sudah dihitung diatas, maka dapat dihitung head efektif yang nantinya dapat digunakan untuk perhitungan potensi pembangkitan energi. Untuk menghitung head efektif menggunakan rumus

$$\begin{aligned} H_{\text{eff}} &= H_{\text{gross}} - H_{\text{loss}} \\ &= 60,1 \text{ meter} - 6,01 \text{ meter} \\ &= 54,09 \text{ meter} \end{aligned}$$

Dengan mencari selisih antara head gross dengan head loss, maka didapatkan head efektif sebesar 54,09 meter. Hasil dari perhitungan head efektif diatas digambarkan pada gambar 4.3 seperti dibawah ini.



Gambar 4.3 Sketsa Perhitungan Beda Tinggi (*Head*) Efektif

4.3 Perhitungan *Surgetank* dan Dimensi Pipa

Surgetank berfungsi untuk memproteksi penstock dan headrace dari adanya kenaikan tekanan yang diakibatkan oleh *water hammer*. Selain itu *surgetank* juga berfungsi untuk mengendalikan *runway speed* yang berlebihan.

4.3.1 Perhitungan Dimensi *Surgetank*

Berikut dibawah ini data yang telah direncanakan untuk dimensi *surgetank* :

1. Head efektif (h) : 54,09 m
2. Panjang *headrace* (L_k) : 350,07m
3. Panjang penstock (L_p) : 50 m
4. Panjang total (L_{tot}) : 400,07m
5. Kecepatan aliran (v) : 34,34 m/s

$$(\sqrt{2xgxh})$$

Keterangan :

- g = Percepatan Gravitasi = 9,81 m/s²
h = Beda Tinggi = 60,1 m
6. Diameter *headrace* (D_{div}) : 0,2032 m
 7. Luas *headrace* : 0,0324 m²
 8. Percepatan gravitasi (g) : 9,81 m/s²
 9. Waktu penutupan generator : 5 detik

Dengan data yang telah direncanakan diatas, selanjutnya menghitung syarat-syarat yang dibutuhkan dalam pembangunan *surgetank*,

a) Kriteria 1

Jika,

$$\frac{L}{H} > 5$$

$$\frac{350,07m}{54,09m} > 5$$

$$6,47 > 5$$

Maka, dari cek perhitungan kriteria 1 menunjukkan bahwa PLTA memerlukan *surgetank*.

b) Kriteria 2

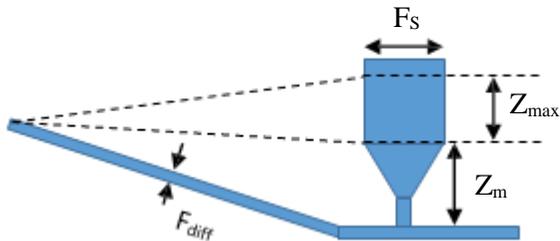
Jika,

$$L_{max} > \frac{3,14 \cdot H \cdot T_e}{v}$$

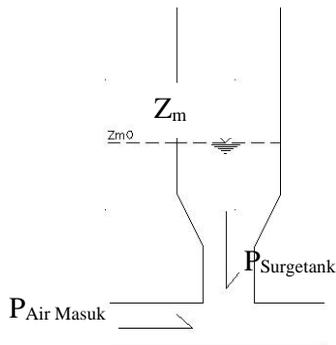
$$350,07m > \frac{3,14 \cdot 54,09 \text{ m} \cdot 5}{34,34 \text{ m/s}}$$

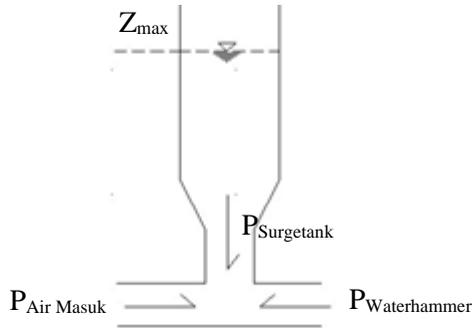
$$350,07m > 24,74 \text{ m}$$

Dari perhitungan kriteria 2, syarat untuk memerlukan *surgetank* juga memenuhi. Maka mengacu pada kriteria tersebut, PLTA tetap memerlukan *surgetank*.

c) Perencanaan *Surgetank*Gambar 4.4 Sketsa Penggambaran *Surgetank*

Terdapat beberapa indikator-indikator yang mengindikasikan dimensi dimensi *surgetank* (gambar 4.7) diantaranya yaitu F_s adalah diameter atas *surgetank*, Z_m adalah kenaikan elevasi muka air pada saat terjadi penutupan aliran dari max menjadi 0, H_f adalah head yang hilang akibat gaya gesek dalam saluran pipa, dan Z_m adalah posisi air ketika tidak ada loncatan air yang diakibatkan oleh *water hammer* dalam pipa. Gaya yang ada dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6.

Gambar 4.5 Keadaan *Surgetank* saat beroperasi



Gambar 4.6 Keadaan *Surgetank* pada saat *maintenance*

Z_m dan Z_{mo} dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Z_{\max} = Z_m - (0,681 \times H_f) + (0,154 \times \frac{H_f}{Z_{mo}})$$

$$Z_m = v \times \left(\frac{L \times F_{Div}}{g \times F_s} \right)^{0,5}$$

Dari Rumus diatas mempunyai arti, yaitu :

Z_m	: Energi Potensial	(m)
Z_{\max}	: Kenaikan elv. Muka air pada saat penutupan aliran	(m)
H_f	: Headloss atau head yang hilang akibat gesekan pada pipa	(6,01 m)
v	: Kecepatan air dalam pipa	(34,34 m/s)
L	: Panjang <i>headrace</i>	(350,07 m)
F_{diff}	: Diameter pipa	(0,2032 m)
g	: Percepatan gravitasi	(9,81 m/s ²)
F_s	: Diameter atas <i>surgetank</i>	(1 m)

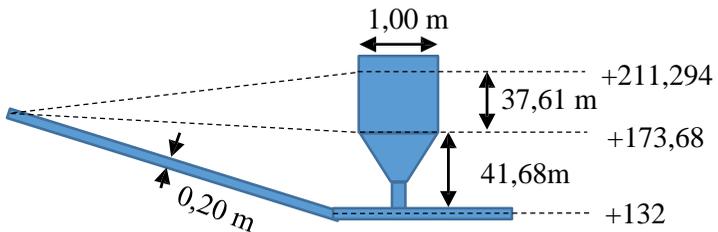
Sehingga,

$$\begin{aligned} Z_m &= V \times \left(\frac{L \times F_{Div}}{g \times F_s} \right)^{0,5} \\ &= 34,34 \text{ m/s} \times \left(\frac{350,07 \text{ m} \times 0,2032 \text{ m}}{9,81 \times 1 \text{ m}} \right)^{0,5} \\ &= 41,6824641 \text{ m} \end{aligned}$$

Dan

$$\begin{aligned} Z_{max} &= Z_m - (0,681 \times H_f) + (0,154 \times \frac{H_f}{Z_m}) \\ &= 41,68 \text{ m} - (0,681 \times 6,01 \text{ m}) + (0,154 \times \frac{6,01 \text{ m}}{41,68 \text{ m}}) \\ &= 37,6118586 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan Z_m dan Z_{max} , maka dapat ditentukan tinggi dan elevasi *surgetank* yang dibutuhkan untuk PLTA. Hasil perhitungan diatas kemudian diimplementasikan pada sketsa *surgetank* seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Sketsa hasil perhitungan dimensi *surgetank*

4.3.2 Menentukan Dimensi Pipa

Air yang nantinya akan digunakan untuk memutar turbin akan dilewatkan pada sebuah pipa. Beberapa

literatur menyatakan bahwa pipa pembawa air untuk PLTA dibagi menjadi tiga bagian yaitu *headrace* yang menghubungkan antara pintu *intake* dengan *surgetank*, penstok yang menghubungkan antara *surgetank* dengan turbin, dan *tailrace* atau saluran pembuang. Untuk merencanakan dimensi pipa tersebut didapatkan dari rumus :

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

Keterangan :

- A = Luas penampang pipa (m²)
 Q = Debit Pembangkitan (0,95 m³/dt)
 V = Kecepatan aliran pada pipa (34,34 m/dt)

Langkah pertama yaitu dengan menghitung kecepatan aliran pada pipa (V) dengan rumus :

$$V = \sqrt{2xgxh}$$

Dimana :

- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
 h = Tinggi jatuh (60,1 m)

Maka kecepatan aliran diatas didapat :

$$V = \sqrt{2xgxh}$$

$$V = \sqrt{2x9,81m/s^2 x 60,1 m}$$

$$V = 34,34 m/s$$

Dari perhitungan diatas didapat kecepatan air pada pipa sebesar 34,34 m/s. Selanjutnya mencari luas penampang terlebih dahulu sebelum mendapatkan diameter pipa yang direncanakan dengan menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{0,95 \text{ m}^3/\text{dt}}{34,34 \text{ m}/\text{dt}}$$

$$A = 0.027665395 \text{ m}^2$$

Maka, dari angka diatas didapat

$$A = \pi r^2$$

$$0.027665395 \text{ m}^2 = \pi r^2$$

$$\frac{0.027665395 \text{ m}^2}{\pi} = r^2$$

$$0,008806169 \text{ m} = r^2$$

$$0,093841188 \text{ m} = r \text{ (Jari-jari pipa)}$$

$$D = 0,093841188 \text{ m} \times 2$$

$$D = 0,188 \text{ m}$$

Dari perhitungan dimensi pipa didapat diameter pipa minimal yang rencana digunakan yaitu 0,188 meter. Dari acuan minimal diameter di pasaran, *headrace* dan *penstock* direncanakan menggunakan diameter 0,2032 meter atau 8 inch (Tabel diameter pipa dapat dilihat pada lampiran). Pada perencanaan pipa pesat, intake pada pipa tidak jadi satu dengan saluran pengelak yang nantinya saluran pengelak digunakan sebagai saluran darurat ketika turbin dalam perbaikan sehingga debit untuk air irigasi dan air baku tetap terjaga. Gambar layout dapat dilihat pada lampiran.

Dengan diameter yang sudah direncanakan maka selanjutnya merencanakan ketebalan pipa. Namun

sebelumnya terlebih dahulu harus menghitung tekanan hidrostatik dengan menggunakan cara :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Dimana :

P_h = Tekanan hidrostatik (pascal)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

h = Head gross (60,1 m)

ρ = Berat jenis air (1000 kg/m³)

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_h &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 60,1 \text{ m} \\ &= 589581 \text{ Pa} \\ &= 589,581 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan tekanan hidrostatik yang terjadi pada pipa, maka langkah selanjutnya adalah menghitung gaya water hammer yang diakibatkan oleh tekanan yang ada dengan cara :

$$P_p = P_h \cdot 1,1$$

Keterangan

P_p = Design tekanan air (KgF/cm²)

P_h = Tekanan Hidrostatik (589,581 MPa)

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_p &= P_h \cdot 1,1 \\ &= 589,581 \text{ MPa} \cdot 1,1 \\ &= 648,5391 \text{ KgF/cm}^2 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan tekanan hidrostatik yang terjadi pada pipa, serta tekanan desain yang diakibatkan oleh

water hammer maka ketebalan pipa dapat dihitung. Persamaan untuk menghitung ketebalan pipa yaitu :

$$t_0 = \frac{P_p \cdot D_p}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta} + \delta_t$$

Dimana :

- t_0 = Tebal pipa
- P_p = Design tekanan air (648,5391 KgF/cm²)
- D_p = Diameter pipa (20,32 cm)
- σ_a = Tegangan ijin bahan (kg/cm²)
- η = Efisiensi pengelasan (0,85-0,9)
- δ_t = Faktor korosi (0,15 cm)

Persamaan diatas adalah persamaan untuk mencari ketebalan pipa khusus pipa untuk PLTA dimana diameter yang dihasilkan tergolong tebal karena adanya tekanan yang tinggi dan pipa tersebut merupakan pipa hasil pengelasan lembaran material dimana ada efisiensi pengelasan yang mempengaruhi ketebalan pipa tersebut.

Untuk menentukan tegangan ijin bahan, terlebih dahulu harus mencari material yang sesuai untuk pipa tersebut. Design PLTA Waduk Tukul rencananya menggunakan material berupa steel plate dari Victor Steel Corporation dengan nama materialnya adalah Steel Plate dengan tipe S890QL berikut adalah spesifikasi yang ada pada S890QL.

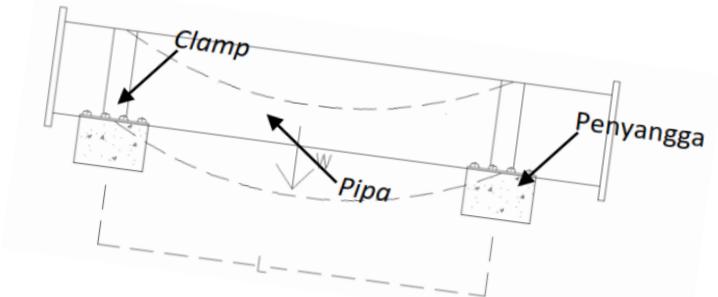
- Steel Standard : EN1002
- Thicknesses : 3mm to 300 mm
- Widths : 2000mm, 2500mm, 3000mm
- Lengths : Up to 12000mm long
- Delivery State : Quenched and Tempered
- Min yield strength: 890 Mpa (9765,08 kg/cm²)

Dengan persamaan diatas dapat dihitung ketebalan untuk pipa headrace dan penstock yang berdiameter 1 meter yaitu :

$$\begin{aligned}
 t_0 &= \frac{P_p \cdot D_p}{2 \cdot \theta_a \cdot \eta} + \delta_t \\
 &= \frac{648,5391 \cdot 20,32 \text{ cm}}{2 \cdot 9765,08 \cdot 0,85} + 0,15 \text{ cm} \\
 &= 0,944 \text{ cm} \\
 &= 9,44 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Stabilitas Pipa

Dengan adanya gaya yang besar akibat tekanan air didalam pipa, maka sangat diperlukan perhitungan gaya yang mempengaruhi kekuatan pipa dimana gaya tersebut dapat mengakibatkan kestabilan pipa terganggu. Sketsa pengaruh beban yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengaruh Beban Terhadap Stabilitas Pipa

Oleh karena itu, batas panjang bentang pipa maksimum yang dipasang harus dihitung agar pipa tetap kokoh Ketika beroperasi. Untuk menghitung panjang bentang maksimum yang diijinkan harus menghitung modulus penampang pipa terlebih dahulu. Modulus

penampang pipa dapat dihitung dengan menggunakan rumus yaitu :

$$Z = \left(\frac{1}{6}\right) D^3$$

Dimana :

Z = Modulus Elastisitas (inch³)

D = Diameter pipa (0,2032 m)

Maka dari rumus diatas dapat dihitung

$$\begin{aligned} Z &= \left(\frac{1}{6}\right) D^3 \\ &= \left(\frac{1}{6}\right) (0,2032\text{m})^3 \\ &= \left(\frac{1}{6}\right) (8\text{inch})^3 \\ &= 85,333472 \text{ inch}^3 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung tegangan tarik bahan yang di ijinakan. Pada data yang telah dipaparkan diatas sebelumnya telah diketahui berdasarkan spesifikasi bahan yang didapat tegangan tarik bahannya sebesar 890 MPa. Untuk menghitung bentang pipa dibutuhkan satuannya dalam satuan Psi (dalam inch). Berikut konversinya dari satuan Mpa ke satuan Psi :

$$\begin{aligned} 1 \text{ Mpa} &= 145,038 \text{ Psi} \\ \text{Tegangan Tarik} &= 890 \text{ Mpa} \times 145,038 \text{ Psi} \\ &= 129083,82 \text{ Psi} \end{aligned}$$

Kemudian selanjutnya perlu menghitung berat pipa dalam keadaan berisi per satuan panjang. Namun, langkah yang digunakan pertama kali yaitu menghitung berat pipa

dalam kondisi kosong dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$W_p = \pi \times D \times B_j \times t$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W_p &= \text{Berat pipa kosong} && (\text{lb/ft}) \\ D &= \text{Diameter pipa} && (0,2032 \text{ m}) \\ B_j &= \text{Berat jenis baja} && (7850 \text{ kg/m}^3) \\ t &= \text{Tebal pipa} && (0,0094384 \text{ m}) \end{aligned}$$

Selanjutnya data diatas dimasukkan kedalam rumus

$$\begin{aligned} W_p &= \pi \times D \times B_j \times t \\ &= \pi \times 0,2032 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 \times 0,0094384 \text{ m} \\ &= 47,298 \text{ kg/m} \\ &= 342,107 \text{ lb/ft} \quad (1 \text{ kg/m} = 7,23301 \text{ lb/ft}) \end{aligned}$$

Kemudian menghitung berat air dalam pipa dengan menggunakan persamaan :

$$W_w = \pi \times r^2 \times \gamma$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W_w &= \text{Berat air dalam pipa} && (\text{lb/ft}) \\ r &= \text{Jari-jari pipa} && (0,1016 \text{ m}) \\ \gamma &= \text{Berat jenis air} && (1000 \text{ kg/m}^3) \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} W_w &= \pi \times r^2 \times \gamma \\ &= \pi \times (0,1016 \text{ m})^2 \times (1000 \text{ kg/m}^3) \\ &= 32,429 \quad \text{Kg/m} \\ &= 234,561 \quad \text{lb/ft} \end{aligned}$$

Jadi, dari perhitungan diatas didapatkan total berat pipa dalam keadaan penuh dengan air per satuan Panjang sebesar :

$$\begin{aligned} W &= W_p + W_w \\ &= 342,107 \text{ kg/m} + 234,561 \text{ kg/m} \\ &= 79,727 \text{ kg/m} \\ &= 576,669 \text{ lb/ft} \end{aligned}$$

Selanjutnya langkah terakhir untuk menentukan panjang bentang pipa maksimum dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times S_h}{W}}$$

Keterangan :

L = Bentang maksimum tiap penyangga

Z = Modulus elastisitas (85,333472 inch³)

S_h = Tegangan Tarik Ijin (129083,82 Psi)

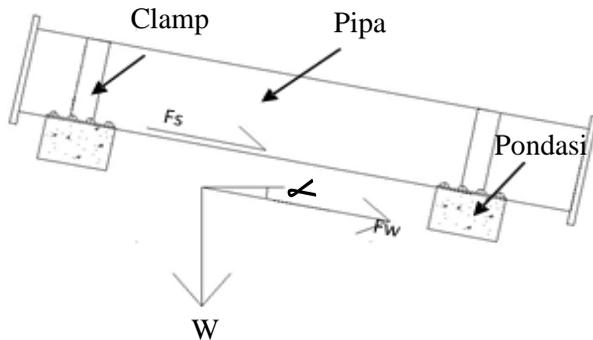
W = Beban pipa (576,669 lb/ft)

Selanjutnya data diatas dimasukkan kedalam rumus

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times S_h}{W}} \\ &= \sqrt{\frac{0,4 \times 85,333472 \times 129083,82}{576,669}} \\ &= 87,410 \text{ inch} \\ &= 2,22 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi tuntut bentang maksimum pipa terebut dapat berdiri tanpa adanya clam atau penyangga didapat 2,22 meter. Dalam perencanaan jarak maksimum diambil setiap

6 meter karena sesuai dengan panjang pipa per rol di pasaran disertai dengan adanya penyokong pipa atau clam untuk menjepit pipa tersebut untuk mencegah adanya pergeseran atau *displacement* pipa. Lalu untuk jumlah anker yang harus dipasang pertama tama harus menghitung gaya yang bekerja pada pipa tersebut. Gaya yang tegak lurus terhadap *clamp* penjepit pipa terdiri dari dua buah gaya yaitu gaya gesek dan gaya beban pipa itu sendiri (gaya vertikal). Gaya yang ada dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Gaya yang bekerja pada pipa

1.4 Gaya Gesek

Untuk gaya gesek yang terjadi pada pipa dapat dihitung dengan rumus :

$$F_s = 6 \times \pi \times v \times r \times \eta$$

Dimana :

F_s = Gaya gesek pipa	(N)
v = Kecepatan air	(34,34 m/s)
r = Jari – jari pipa	(0,1016 m)
η = Koefisien viskositas air	(0,00089)

Maka,,

$$\begin{aligned}
 F_s &= 6 \times \pi \times v \times r \times \eta \\
 &= 6 \times \pi \times 34,34 \text{ m/s} \times 0,1016 \text{ m} \times 0,00089 \\
 &= 0,0585 \text{ N}
 \end{aligned}$$

2.4 Gaya Beban Pipa Sendiri

Untuk gaya akibat beban sendiri terhadap arah horizontal yang dikarenakan adanya kemiringan dapat dihitung dengan menghitung kemiringan pipa terlebih dahulu. Untuk menghitung kemiringan pipa dapat dihitung dengan membagi beda elevasi di pipa outlet sampai elevasi turbin rencana dengan jarak yang ada yaitu sepanjang 400,07 meter.

$$\tan \alpha = \frac{\Delta h}{s}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Kemiringan} && (\text{°}) \\
 \Delta h &= \text{Beda elevasi} && (5 \text{ m}) \\
 S &= \text{Jarak pipa ke powerhouse} && (400,07 \text{ m})
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha &= \frac{\Delta h}{s} \\
 &= \frac{5}{400,07} \\
 \alpha &= 0,716^\circ
 \end{aligned}$$

Dan untuk perhitungan gaya horizontal yang diakibatkan oleh beban pipa itu sendiri pada suatu kemiringan yang sudah dihitung diatas dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_w = W \cdot g \cdot L \cdot \sin \alpha$$

Keterangan :

F_w = Gaya yang dihasilkan dari pipa itu sendiri

W = Beban pipa dalam kondisi penuh
(79,727 kg/m)

α = Kemiringan (0,716°)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

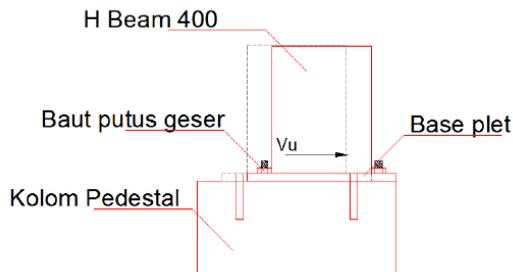
L = Jarak antar penyangga (6 m)

Sehingga,

$$\begin{aligned} F_w &= W \cdot g \cdot L \cdot \sin \alpha \\ &= (79,727 \text{ kg/m}) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot (6 \text{ m}) \cdot \sin(0,716^\circ) \\ &= 24,435 \text{ kg} \\ &= 239,628 \text{ N} \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan Angkur

Angkur dibutuhkan untuk mengikatkan *clamp* atau penjepit pipa ke podasi penyangga pipa agar tidak terjadi adanya pergeseran pada pipa yang ada. Sketsa pemasangan angkur yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Angkur pada pipa

Direncanakan :

- Tegangan tarik baut (f_u^b) = 825 Mpa
- Faktor ulir (r_l) = 0,4
- Diameter baut = 10 mm
- Luas penampang baut (A) = $\frac{1}{4} \pi d^2$ (78,53982 mm²)
- Reduksi kuat geser (ϕ_f) = 0,75

Untuk tahanan geser yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} V_n &= r_l \times A \times f_u^b \times \phi_f \\ &= 0,4 \times 78,53982 \text{ mm}^2 \times 825 \text{ Mpa} \times 0,75 \\ &= 19438,605 \text{ N} \end{aligned}$$

Selanjutnya dari tahanan geser tiap angkur yang ada dapat dihitung jumlah angkur minimal yang dibutuhkan :

$$n = \frac{V}{V_n}$$

Dimana :

n = Jumlah angkur baut

V = Gaya geser yang bekerja (239,628 N)

V_n = Tahanan geser angkur (19438,605 N)

Sehingga,

$$n = \frac{V}{V_n}$$

$$n = \frac{239,628 \text{ N}}{19438,605 \text{ N}}$$

$$n = 0,012 \text{ buah}$$

Jumlah angkur minimal yang diperlukan untuk menahan beban yang ada adalah 0,012 buah, akan tetapi dari angka tersebut yang terlalu kecil diambil keputusan

untuk memasang 2 buah angkur agar jumlah angkur yang terpasang pada kedua sisi seimbang, maka jumlah angkur yang dipasang berjumlah 1 buah di masing masing sisi penyangga.

4.4 Perhitungan Tegangan Tanah

Berikut dibawah ini data-data pendukung untuk merencanakan pondasi dangkal dengan menghitung tegangan tanah yang terjadi terlebih dahulu :

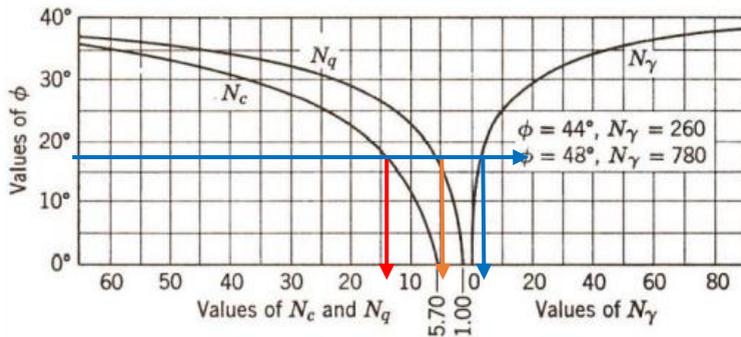
- $\gamma = 1734 \text{ kg/m}^3$
- $C = 2850 \text{ kg/m}^2$
- $\varphi = 16,46^\circ$
- $B = 1,5$ (Panjang Pondasi)
- $L = 1,5$ (Lebar Pondasi)
- $H = 1,5$ (Kedalaman Pondasi)

Sebelum menghitung daya dukung tanah menurut terzaghi, maka dilakukan perhitungan q (bobot satuan isi tanah x kedalaman) terlebih dahulu :

$$\begin{aligned} q &= \gamma \times H \\ &= 1734 \text{ kg/m}^3 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 2601 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan bobot satuan, selanjutnya menentukan N_c , N_q dan N_γ berdasarkan grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.11.

Nilai faktor daya dukung tanah berdasarkan grafis



Gambar 4.11 Nilai Faktor DDT berdasarkan grafik

Dari grafik diatas, maka didapat :

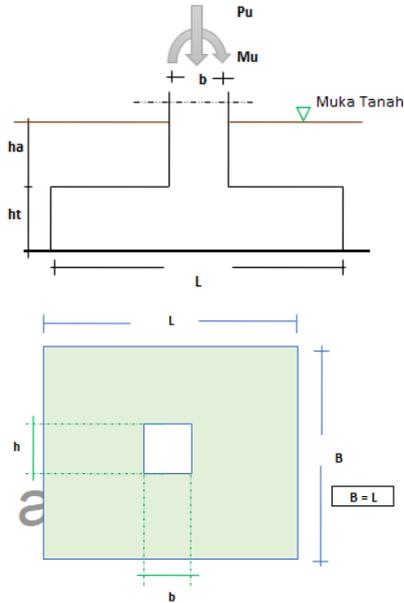
- $N_c = 14,70$
- $N_q = 5,70$
- $N_\gamma = 3,20$

Setelah menentukan nilai factor daya dukung tanah, langkah berikutnya menghitung q_{ult} (Daya Dukung Tanah menurut *Terzaghi*) dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q_{ult} &= 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\
 &= (1,3 \times 2850 \text{ kg/m}^2 \times 14,70) + (2601 \text{ kg/m}^2 \times 5,70) + (0,4 \\
 &\quad \times 1734 \text{ kg/m}^3 \times 1,50 \text{ m} \times 3,20) \\
 &= 72618,48 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 712,144 \text{ kpa}
 \end{aligned}$$

4.5 Perhitungan Pondasi

Berikut ini data yang akan digunakan dalam menentukan dimensi pondasi :



1. Dimensi Kolom ,
 - $b = 400$ mm (direncanakan)
 - $h = 400$ mm (direncanakan)
 - $\alpha_s = 40$ mm
2. Dimensi Pondasi
 - $B = 1,50$ m (direncanakan)
 - $L = 1,50$ m (direncanakan)
 - $h_t = 0,3$ m (direncanakan)
3. Mutu beton, $f_c = 20$ Mpa (K240)
4. Mutu baja, $f_y = 320$ Mpa
5. Tulangan, $D = 16$ mm
6. Bj beton, $\gamma_c = 24$ kN/m³

7. Daya dukung tanah, $\sigma_t = 712,144 \text{ Kpa}$
8. Tebal tanah diatas pondasi, $h_a = 1,2 \text{ m}$ (direncanakan)
9. Berat tanah, $\gamma_t = 1734 \text{ kg/m}^3$
 $= 17,004 \text{ kN/m}^3$
10. Beban P ultimate, $P_{ult} = 239,6278 \text{ N}$
 $= 0,239628 \text{ kN}$
11. $M_{ult} = P_{ult} \times b$
 $= 0,239628 \text{ kN} \times 0,4 \text{ m}$
 $= 0,0959 \text{ kN.m}$

Setelah data didapat, selanjutnya menghitung beban terbagi rata akibat beban sendiri pondasi (q) dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 q &= \text{Berat pondasi} + \text{Berat tanah} \\
 &= (h_t \times \gamma_c) + (h_a \times \gamma_t) \\
 &= (0,3 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3) + (1,2 \text{ m} \times 17,004 \text{ kN/m}^3) \\
 &= 27,606 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tahap ke 2 menghitung tegangan tanah didasar pondasi dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\max} &= \frac{P_{ult}}{B \times L} + \frac{M_{ult}}{\frac{1}{6} \times B \times L^2} + q \leq \sigma_t \\
 &= \frac{0,23}{1,50 \times 1,50} + \frac{0,0959}{\frac{1}{6} \times 1,50 \times (1,50)^2} + 27,606 \leq 712,144 \\
 &= 27,883 \text{ Kpa} \leq 712,144 \text{ Kpa (Aman)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\min} &= \frac{P_{ult}}{B \times L} - \frac{M_{ult}}{\frac{1}{6} \times B \times L^2} + q \leq \sigma_t \\
 &= \frac{0,23}{1,50 \times 1,50} - \frac{0,0959}{\frac{1}{6} \times 1,50 \times (1,50)^2} + 27,606 \leq 712,144 \\
 &= 27,542 \text{ Kpa} \leq 712,144 \text{ Kpa (Aman)}
 \end{aligned}$$

Tahap ke 3 menghitung kontrol gaya geser satu arah dengan rumus :

$$\begin{aligned} ds &= 75 + (D/2) \\ &= 75 + \left(\frac{16 \text{ mm}}{2}\right) \\ &= 83 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= ht - ds \\ &= 300 \text{ mm} - 83 \text{ mm} \\ &= 217 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{B}{2} + \frac{b}{2} - d \\ &= \frac{1500 \text{ mm}}{2} + \frac{400 \text{ mm}}{2} - 217 \text{ mm} \\ &= 333 \text{ mm} \\ &= 0,33 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma_{\min} + \frac{(L-a) \times (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{L} \\ &= 27,542 + \frac{(1,50 - 0,33) \times (27,883 - 27,542)}{1,50} \\ &= 27,807 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Gaya tekan keatas dari tanah (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= a \times B \left(\frac{\sigma_{\max} + \sigma_a}{2} \right) \\ &= 0,33 \text{ m} \times 1,50 \left(\frac{27,883 + 27,807}{2} \right) \\ &= 13,908 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser yang dapat ditahan oleh beton ($\emptyset.V_c$)

$$\begin{aligned} \emptyset.V_c &= \emptyset \times \frac{\sqrt{f_{c'}}}{6} \times B \times d \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{20}}{6} \times 1,50 \times 217 \\ &= 181,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek

$$\emptyset.V_c > V_u$$

$$181,96 \text{ kN} > 13,908 \text{ kN (Aman)}$$

Tahap ke 4 menghitung kontrol gaya geser dua arah (geser pons) dengan rumus :

$$\begin{aligned} V_u &= (B^2 - (b+d) \times (h+d)) \times \left(\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \right) \\ &= ((1,50)^2 - (0,7) \times (0,7)) \times \left(\frac{27,883 + 27,542}{2} \right) \\ &= 48,773 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{hk}{bk} = \frac{400}{400} = 1$$

$$\begin{aligned} b_o &= 2 \times ((bk+d) + (hk+d)) \\ &= 2 \times ((400\text{mm} + 217\text{mm}) + (400\text{mm} + 217\text{mm})) \\ &= 2468 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya geser yang ditahan oleh beton, dipilih V_c yang terkecil :

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{6} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times \frac{\sqrt{20} \times 2468 \times 217}{6} \\ &= 1197539,622 \text{ N} \\ &= 1197,539 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \left(2 + \frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \times \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12} \\ &= \left(2 + \frac{40 \times 217}{2468} \right) \times \frac{\sqrt{20} \times 2468 \times 217}{12} \\ &= 1101141,241 \text{ N} \\ &= 1101,141 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{20} \times 2468 \times 217 \\
 &= 798359,75 \text{ N} \\
 &= 798,36 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek, V_c diambil yang terkecil dari perhitungan diatas

$$\emptyset \cdot V_c > V_u$$

$$0,75 \times 798,36 \text{ kN} > 48,773 \text{ kN}$$

$$598,77 \text{ kN} > 48,773 \text{ kN (Aman)}$$

4.6 Perhitungan Tulangan Pondasi

Berikut ini langkah-langkah dalam menentukan tulangan pondasi dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 d_s &= 75 + D + D/2 \\
 &= 75 + 16\text{mm} + \frac{16\text{mm}}{2} \\
 &= 99 \text{ mm} \\
 &= 0,099 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h_t - d_s \\
 &= 0,30 \text{ m} - 0,099 \text{ m} \\
 &= 0,201 \text{ m} \\
 &= 201 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{B}{2} - \frac{h}{2} \\
 &= \frac{1500\text{mm}}{2} - \frac{400\text{mm}}{2} \\
 &= 550 \text{ mm} \\
 &= 0,55 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_{\min} + (B-x) \times \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{B} \\ &= 27,542 + (1,50-0,55) \times \frac{27,883-27,542}{1,50} \\ &= 27,758 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= 0,5 \cdot \sigma_x \cdot x^2 + \left(\frac{\sigma_{\max} - \sigma_x}{3} \cdot x^2 \right) \\ &= 0,5 \cdot 27,758 \cdot 0,55^2 + \left(\frac{27,883-27,758}{3} \cdot 0,55^2 \right) \\ &= 4,211 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{4210935,725}{0,8 \times 400 \times (201)^2} \\ &= 0,326 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{\max} &= \frac{382,5 \times 0,85 \times (600 + f_y - 225 \times \beta_1) \times f_c'}{(600 + f_y)^2} \\ &= \frac{382,5 \times 0,85 \times (600 + 320 - 225 \times 0,85) \times 20}{(600 + 320)^2} \\ &= 5,599 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Cek

$$K < K_{\max}$$

$$0,326 \text{ Mpa} < 5,599 \text{ Mpa (Oke)}$$

$$\begin{aligned}a' &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times K}{0,85 \times f_c'}} \right) \times d \\ &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,326 \text{ Mpa}}{0,85 \times 20 \text{ Mpa}}} \right) \times 201 \text{ mm} \\ &= 3,889 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S(1)} &= \frac{(0,85 \times f_c' \times a \times b)}{f_y} \\
 &= \frac{(0,85 \times 20 \text{ Mpa} \times 3,889 \times 400)}{320} \\
 &= 82,635 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jika $f_c' \leq 31,36 \text{ Mpa}$, maka

$$\begin{aligned}
 A_{S(2)} &= \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \\
 &= \frac{1,4 \times 400 \times 201}{320} \\
 &= 351,750 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipilih yang terbesar dari $A_{S(1)}$ dan $A_{S(2)}$, maka $A_{S(2)}$ yang dipilih sebesar $351,750 \text{ mm}^2$

Menentukan Jarak Tulangan, nantinya jarak yang terkecil dari ketiga rumus yang dipilih.

$$\begin{aligned}
 S_{(1)} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times S}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times (16\text{mm})^2 \times 1000}{351,750 \text{ mm}^2} \\
 &= 571,315 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(2)} &\leq 2 \times h_t \\
 &\leq 2 \times 300 \\
 &\leq 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{(3)} \leq 450 \text{ mm}$$

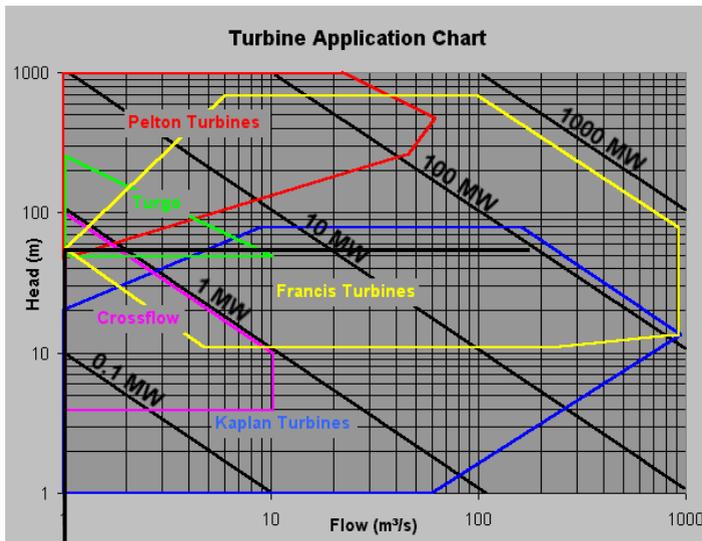
Jadi, dipakai tulangan D16 – 450 mm

4.7 Perhitungan Energi Pembangkit untuk PLTA

Dari beberapa perhitungang diatas yang telah didapatkan, selanjutnya dapat menghitung besar potensial energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh generator. Untuk menghitung energi pembangkitan diperlukan data - data sebagai berikut :

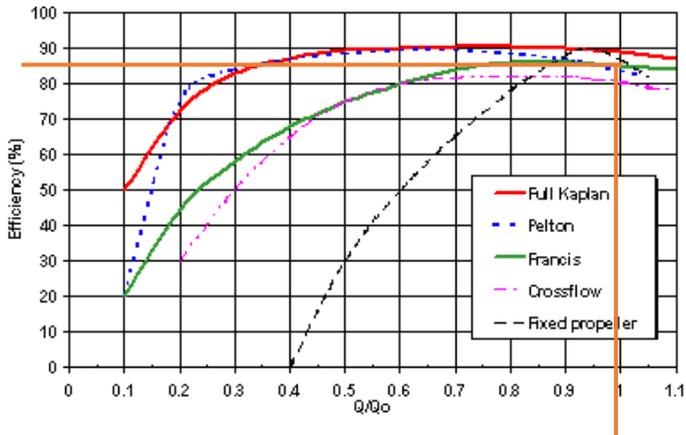
- Tinggi jatuh efektif (H_{eff}) : 54,09 m
- Debit Pembangkitan : 0,95 m³/detik
- Massa jenis air : 1000 kg/m³
- Percepatan gravitasi : 9,81 m/s²

Dari data diatas, dapat digunakan untuk menentukan jenis turbin yang sesuai. Penentuan jenis turbin ini menggunakan grafik klasifikasi jenis turbin seperti pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Klasifikasi Jenis Turbin
Sumber : (British Hydro Association, 2004)⁽⁵⁾

Dengan head sebesar 54,09 m dan debit sebesar 0,95 m³/detik didapatkan jenis turbin yaitu turbin *francis*. Selanjutnya adalah penentuan koefisien turbin dengan menggunakan grafik koefisien turbin berdasarkan persentase debit yang masuk seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Turbin

Sumber: (Hydropower from Wastewater, New York State Energi Research and Development Authority, 2011)⁽⁴⁾

Dari grafik diatas (gambar 4.12), debit yang masuk dianggap 100% dikarenakan debit yang masuk adalah debit yang dijaga tetap sesuai rencana kebutuhan. Maka setelah ditarik garis didapatkanlah koefisien turbin sebesar 85 %. Setelah mendapatkan angka koefisien turbin kemudian menghitung energi pembangkitan PLTA dengan rumus :

$$P = \rho \times g \times h_{\text{eff}} \times Q \times \eta_G \times \eta_T$$

Dimana :

- | | | |
|--------|------------------------|---------------------------|
| P | = Potensi daya listrik | (watt/detik) |
| ρ | = Berat jenis air | (1000 kg/m ³) |
| g | = Percepatan gravitasi | (9,81 m/s ²) |

h_{eff}	= Tinggi jatuh efektif	(54,09 m)
Q	= Debit pembangkitan	(0,95 m ³ /detik)
η_G	= Koefisien generator	(0,85)
η_T	= Koefisien turbin	(0,85)

Maka perhitungan daya dapat dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times h_{\text{eff}} \times Q \times \eta_G \times \eta_T \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 59,646 \text{ m} \times 0,95 \text{ m}^3/\text{dt} \times \\
 &\quad 0,85 \times 0,85 \\
 &= 364206 \quad \text{watt/s} \\
 &= 364,206 \quad \text{kWatt/s} \\
 &= 0,3642 \quad \text{Mwatt/s}
 \end{aligned}$$

Jadi potensi energi listrik yang dihasilkan oleh turbin dari tinggi jatuh efektif dan debit yang digunakan untuk pembangkitan adalah sebesar 364,206 kWatt/detik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai Design Pembangkit Listrik Tenaga Air Waduk Tukul Pacitan adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan daya yang sebesar 364,206 kWatt/detik dan tinggi jatuh sejauh 54,09 m, maka PLTA termasuk golongan bertekanan tinggi karena tinggi jatuh lebih dari 50 m dan bertipe *minihidro* karena besaran daya berkisar antara 100 – 500 kW.
2. *Head* dari muka air puncak mercu pada elevasi +192,1 sampai ke elevasi turbin rencana +132 yaitu 60,1 meter. *Head* efektif yang didapatkan setelah terjadi kehilangan beda tinggi akibat gesekan pipa menjadi 54,09 meter.
3. Pipa pesat direncanakan menggunakan bahan Plat baja. Jarak antar tumpuan pipa yaitu 5 meter. Untuk dimensi pipa headrace yang letaknya antara intake dan *surgetank* maupun pipa *penstock* dengan ketebalan 0,94 cm dan memiliki diameter 0,2032 meter.
4. *Surgetank* memiliki diameter 1,00 meter dengan tinggi *surgetank* total 79,29 m. *Surgetank* berada pada elevasi dasar +132 dan elevasi puncaknya mencapai +211,294.
5. Tipe turbin yang digunakan dalam design ini adalah Turbin *francis* dengan koefisien turbin sebesar 85%.

5.2 Saran

Penulisan Tugas Akhir ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih banyak kekurangan kekurangan didalamnya. Berdasarkan kesimpulan tugas akhir diatas, maka penulis merekomendasikan berupa saran sebagai berikut :

1. Debit kebutuhan yang digunakan oleh waduk Tukul ini terbilang cukup kecil karena hanya digunakan untuk 600 ha lahan irigasi. Padahal terdapat lahan irigasi potensial yang bisa dimanfaatkan untuk meningkatkan debit kebutuhan yang juga dimanfaatkan untuk debit pembangkitan PLTA.
2. Apabila debit pembangkitan bertambah, maka daya yang dikeluarkan juga lebih besar sehingga dapat dimanfaatkan untuk warga sekitar waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar, Zahra Fadhilah. 2020. **Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) : Pengertian, Komponen dan Pengelolaan.** <URL : <https://foresteract.com/pembangkit-listrik-tenaga-air/2/>>
- Arismunandar A. dan Kuwahara S. 2004. **Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik.** Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Linsley, Ray K Jr., Max A Kohler, Joseph L H. 1986. **Hidrologi untuk Insinyur.** Erlangga, Jakarta.
- M. Dharmasetiawan. 2004. **Teori dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air.** Jakarta: Ekamitra Engineering.
- New York State Energy Research and Development Authority. 2011. **Hydropower from Wastewater.** Nyserda. New York.
- Priskila, Milka. 2020. **Mikrohidro: Pengertian, Prinsip Kerja, Komponen, dan Potensinya.** <URL : <https://foresteract.com/mikrohidro/>>.
- Rabel, Afry. 2019. Tugas Akhir **Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Bendungan Leuwikeris di Ciamis, Jawa Barat.** Surabaya : Teknik Infrastruktur Sipil ITS.
- Riadi, Muchlisin. 2016. **Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM).** <URL : <https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>>.
- Rohman, Abdur. 2009. Tugas Akhir **Studi Perumusan Alternatif Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) Untuk Optimalisasi Potensi Energi dan Potensi Wisata Curug Cimahi.** Bandung : Teknik Tenaga Listrik ITB.
- Suyono Sosrodarsono, Ir, Kensaku Takeda, 1977. **Bendungan Tipe Urugan.** Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Biodata Penulis



Penulis memiliki nama Yanuar Agung Pratama dilahirkan Surabaya pada 25 Mei 1996, merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Riwayanto dan Nurul Musrifah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah 6 Surabaya, SMP Negeri 13 Surabaya , SMAN 14 Surabaya. Setelah Lulus dari SMAN 14 Surabaya tahun 2014, penulis melanjutkan studi di D3 Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil dan lulus tahun 2017, penulis mengikuti ujian masuk lintas Jalur diploma IV ITS dan diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 10111815000029. Penulis aktif mengikuti organisasi di lingkup departemen Teknik Infrastruktur Sipil menjadi Staff Kesejahteraan Jamaah Masjid Al-Azhar (JMAA ITS) Penulis pernah aktif dalam berbagai kepanitaan yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur atas terselesaikannya Tugas Akhir yang berjudul “Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Waduk Tukul Pacitan Energi Untuk Negeri”.

LAMPIRAN

Lampiran Tabel Pipa di Pasaran

PE - AIR

Instalasi pipa air di lapangan yang sangat sulit, memerlukan pipa yang memiliki kekuatan dan ketahanan. Hal ini dapat ditemukan pada pipa PE Vinilon. Desain tangguh pipa PE Vinilon menghasilkan pipa yang memiliki kekuatan maksimum dan menghasilkan aliran yang optimum, sehingga membuat pipa ini sebagai pilihan ideal untuk kebutuhan distribusi air yang besar dan kebutuhan drainase.

Kemudahan dalam instalasi yang dikombinasikan dengan ringannya produk ini, memastikan terjadinya efisiensi dalam penanganan & pemasangan di lapangan dibandingkan dengan menggunakan produk logam dan beton. Efisiensi dimaksud seperti: penanganan yang lebih mudah, jumlah tenaga kerja lebih sedikit, peralatan berat yang lebih sedikit serta keselamatan kerja yang lebih terjamin.

SPESIFIKASI PIPA HDPE PE-100 (MRS 100) & PE-80 (MRS 80)

UNTUK AIR BERSIH BERTEKANAN STANDARD SNI 06-4829-2005, ISO 4427-2: 2007

ND (inci)	OD (mm)	Tebal Pipa (mm)								Panjang Pipa per batang / rol (mtr)
		S-4 SDR 9	S-5 SDR 11	S-6,3 SDR 13,6	S-8 SDR 17	S-10 SDR 21	S-12,5 SDR 26	S-16 SDR 33	S-20 SDR 41	
PN untuk PE-100		PN-20	PN-16	PN-12,5	PN-10	PN-8	PN-6,3	PN-5	PN-4	
PN untuk PE-80		PN-16	PN-12,5	PN-10	PN-8	PN-6,3	PN-5	PN-4	PN-3,2	
1/2"	20	2,3	-	-	-	-	-	-	-	100
3/4"	25	2,8	2,3	-	-	-	-	-	-	100
1"	32	3,6	2,9	-	-	-	-	-	-	100
1 1/4"	40	4,5	3,7	3,0	-	-	-	-	-	110
1 1/2"	50	5,6	4,6	3,7	3,0	-	-	-	-	100
2"	63	7,1	5,8	4,7	3,8	3,0	-	-	-	100
2 1/2"	75	8,4	6,8	5,5	4,5	3,6	-	-	-	6,12,50,100
3"	90	10,1	8,2	6,5	5,4	4,3	3,5	-	-	6,12,50
4"	110	12,3	10,0	8,1	6,6	5,3	4,3	-	-	6,12,50
5"	125	14,0	11,4	9,2	7,4	6,0	4,8	3,9	3,1	6,12
5 1/2"	140	15,7	12,7	10,3	8,3	6,7	5,4	4,3	3,5	6,12
6"	160	17,9	14,6	11,8	9,5	7,7	6,2	4,9	4,0	6,12
7"	180	20,1	16,4	13,3	10,7	8,6	6,9	5,5	4,4	6,12
8"	200	22,4	18,2	14,7	11,9	9,6	7,7	6,1	4,9	6,12
9"	225	25,1	20,5	16,6	13,4	10,8	8,6	6,9	5,5	6,12
10"	250	27,9	22,7	18,4	14,8	11,9	9,6	7,7	6,2	6,12
11"	280	31,3	25,4	20,6	16,6	13,4	10,7	8,6	6,9	6,12
12"	315	35,2	28,6	23,2	18,7	15,0	12,1	9,7	7,7	6,12
14"	355	39,6	32,2	26,1	21,1	16,9	13,6	10,9	8,7	6,12
16"	400	44,7	36,3	29,4	23,2	19,1	15,5	12,4	9,8	6,12
18"	450	50,2	40,9	33,1	26,7	21,5	17,2	13,8	11,0	6,12
20"	500	56,0	45,4	36,8	29,9	23,9	19,1	15,3	12,1	6,12
22"	560	-	50,8	41,2	33,2	26,7	21,4	17,2	13,7	6,12
24"	630	-	57,0	46,3	37,3	30,0	24,1	19,3	15,2	6,12
28"	710	-	-	52,2	42,1	33,9	27,2	21,8	17,4	6,12
32"	800	-	-	-	47,4	38,1	30,6	24,5	19,6	6,12
36"	900	-	-	-	53,5	42,9	34,4	27,6	22,0	6,12
40"	1.000	-	-	-	59,7	47,7	38,2	30,8	24,5	6,12
48"	1.200	-	-	-	-	57,2	45,6	36,7	29,4	6,12
56"	1.400	-	-	-	-	60,7	49,2	40,9	32,4	6,12
64"	1.600	-	-	-	-	76,2	61,3	49,0	39,3	6,12

σ	PE 100	PE 80
S.5	80	63
S.5	16	12,5
S.6,3	12,5	10
S.8	10	8

$$\sigma = \frac{MRS}{C}$$

$$e = \frac{D}{SDR}$$

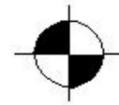
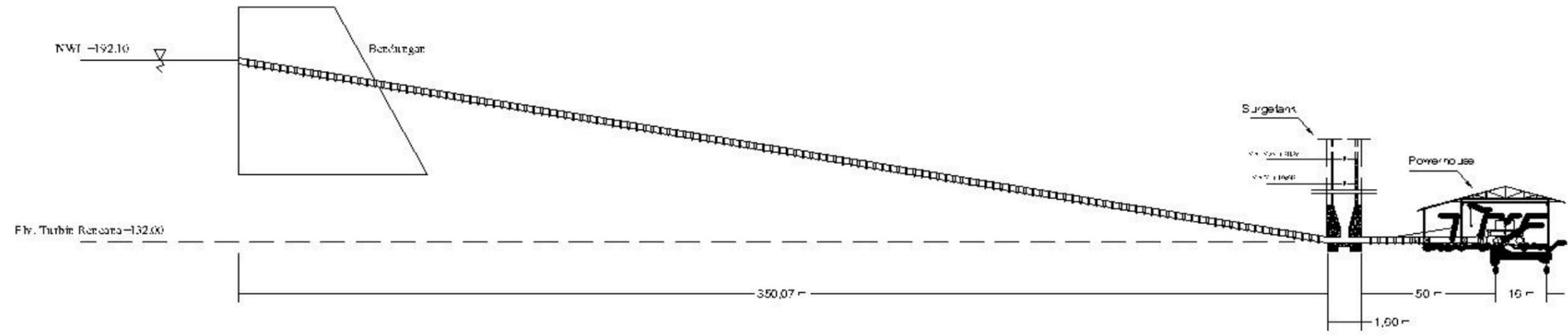
$$\sigma = \frac{P(D - e)}{2e}$$

$$P = \frac{\sigma S}{S}$$

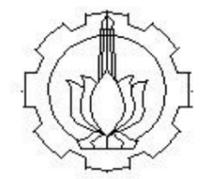
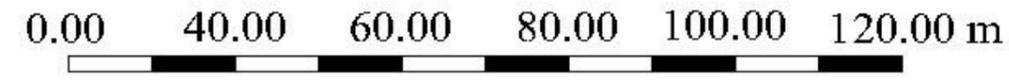
- SDR = Standard Dimension Ratio (2 S + 1)
- e = Tebal Pipa
- PE 100 = MRS 100
- PE 80 = MRS 80
- σ = Kekuatan dinding pipa & daya tahan terhadap perubahan dimensi
- MRS = Minimum Required Strength (daya tahan minimum)
- C = Faktor Keamanan (1,25 untuk pipa air bertekanan)
- D = Diameter luar pipa
- P = Tekanan dalam pipa
- S = Seri Pipa

Keterangan:
* Rol hanya untuk pipa S-8/SDR 17 atau yang lebih tebal



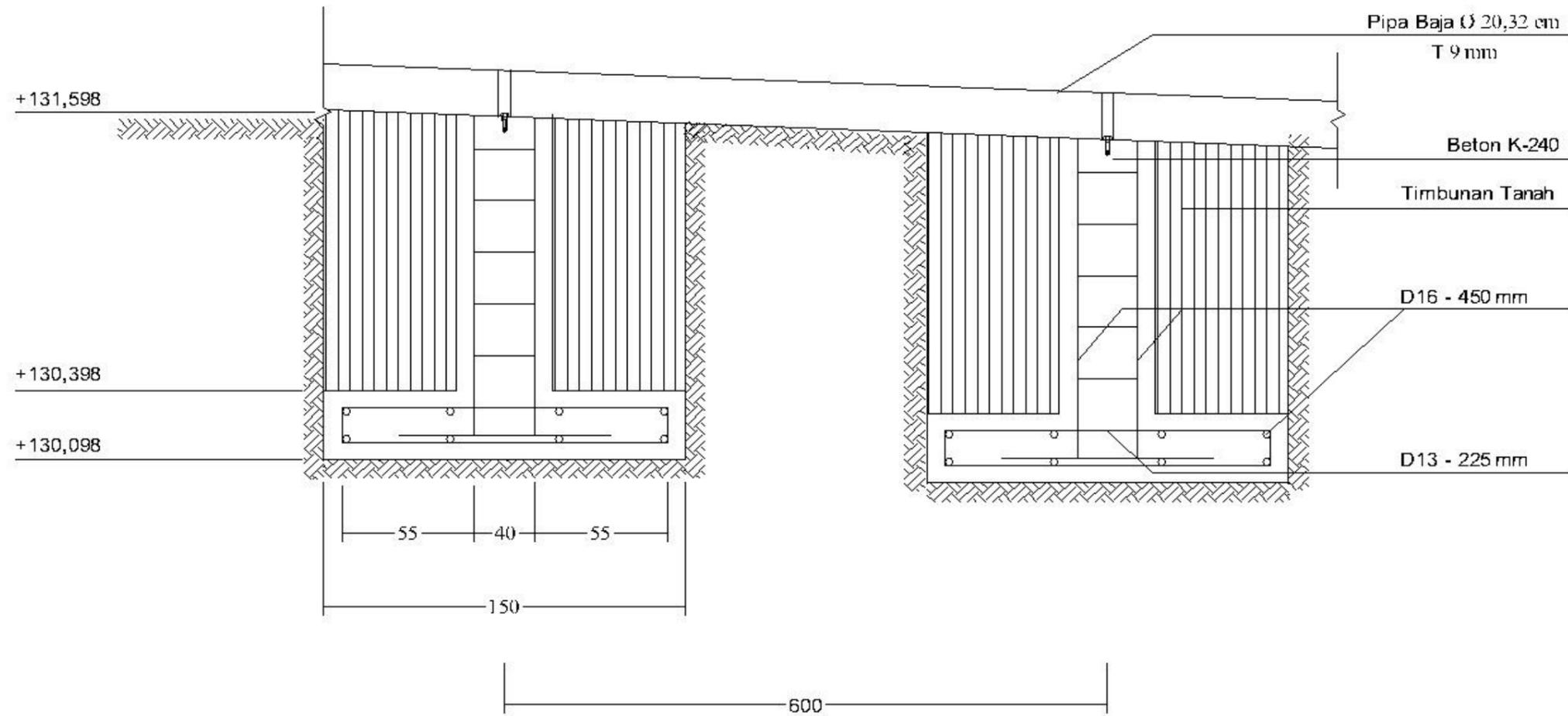


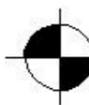
LONG SECTION PIPA, SURGETANK DAN POWERHOUSE

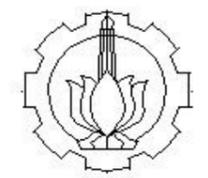
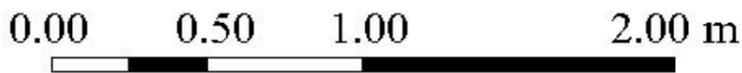


D4 LAJUT - ENJING TURBIN SIFIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN NOTE	
MATA KULIAH SUBJECT	
TUGAS AKHIR TERAPAN (VC 181819) THE FINAL PROJECT (VC 181819)	
JUDUL TUGAS AKHIR TITLE	
DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK BERKA AIR WADUK TURUN PACITAN BERGILUTUR HEGERI	
NAMA MAHASISWA NAME	
Yanuar Agung Pratomo 1011161000000	
JUDUL GAMBAR DRAWING TITLE	
Long Section	
DOSEN PEMBIMBING 1 ADVISOR 1	
Ir. Eddy Sunjono, MT 1 - 0 - 13001212 / 130011001	
DOSEN PEMBIMBING 2 ADVISOR 2	
Ir. Ismail Saad, MMT 1 - 0 - 13000117 / 130001102	
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR	SUMBER GAMBAR
NUMOR GAMBAR DRAWING NUMBER	JUMLAH GAMBAR TOTAL DRAWING
2	8

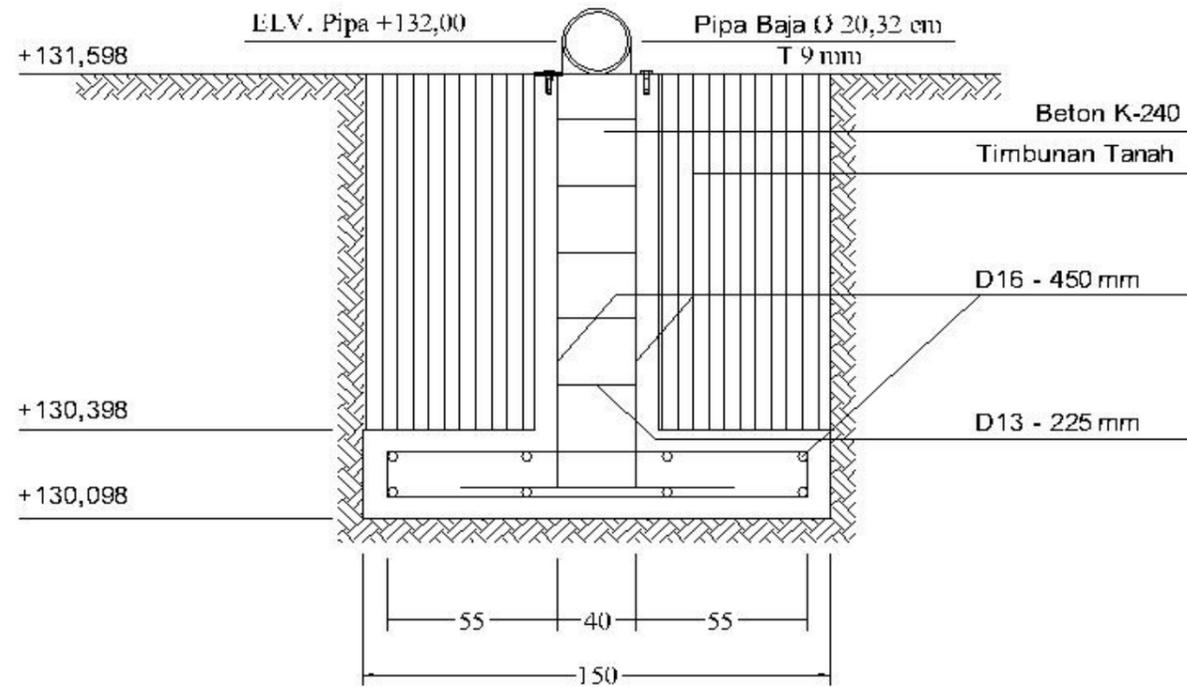


 **POTONGAN MEMANJANG PIPA HEADRACE DAN PENSTOCK**

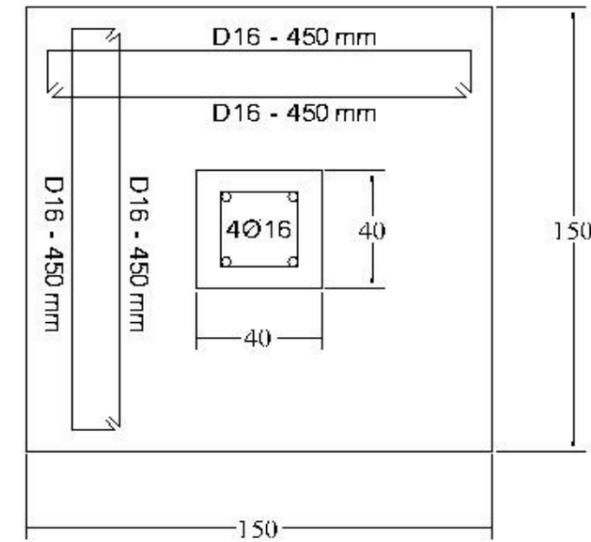


D4 - JURUSAN TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

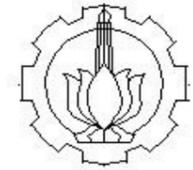
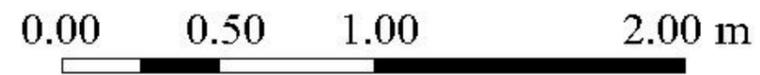
CATATAN NOTE	
MATA KULIAH SUBJECT	
TUGAS AKHIR TERAPAN (VC 181819) THE FINAL PROJECT (VC 181819)	
JUDUL TUGAS AKHIR TITLE	
DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK TUKUL PACITAN BERGILITUR (HEGER)	
NAMA MAHASISWA NAME	
Yusuf Agung Pratomo 101181200005	
JUDUL GAMBAR DRAWING TITLE	
POTONGAN MEMANJANG	
DOSEN PEMBIMBING 1 ADVISOR 1	
Ir. Eddy Sutisna, MT. 1 - 19201212 1980011001	
DOSEN PEMBIMBING 2 ADVISOR 2	
Ir. Ismail Saad, MT. 1 - 19200117 1980011001	
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR	
NO. GAMBAR DRAWING NUMBER	JUMLAH GAMBAR TOTAL DRAWING
3	8



POTONGAN MELINTANG PIPA HEADRACE DAN PENSTOCK



DETAIL PONDASI



D4 - SAJUT - ENJING TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN
NOTE

MATA KULIAH
SUBJECT

TUGAS AKHIR TERAPAN
(VC 181819)
THE FINAL PROJECT (VC 181819)

JUDUL TUGAS AKHIR
TITLE

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
WADUK TUKUL PACITAN BERKELUTUR
HEGERI

NAMA MAHASISWA
NAME

Nomor Absen/Praktikum
STUDENT NUMBER

JUDUL GAMBAR
DRAWING TITLE

POTONGAN MELINTANG

DOSEN PEMBIMBING 1
ADVISOR 1

Ir. Edy Sumirman, MT.
N.P. 19681212 199801001

DOSEN PEMBIMBING 2
ADVISOR 2

Ir. Ismail Saad, MMT.
N.P. 19600217 198001001

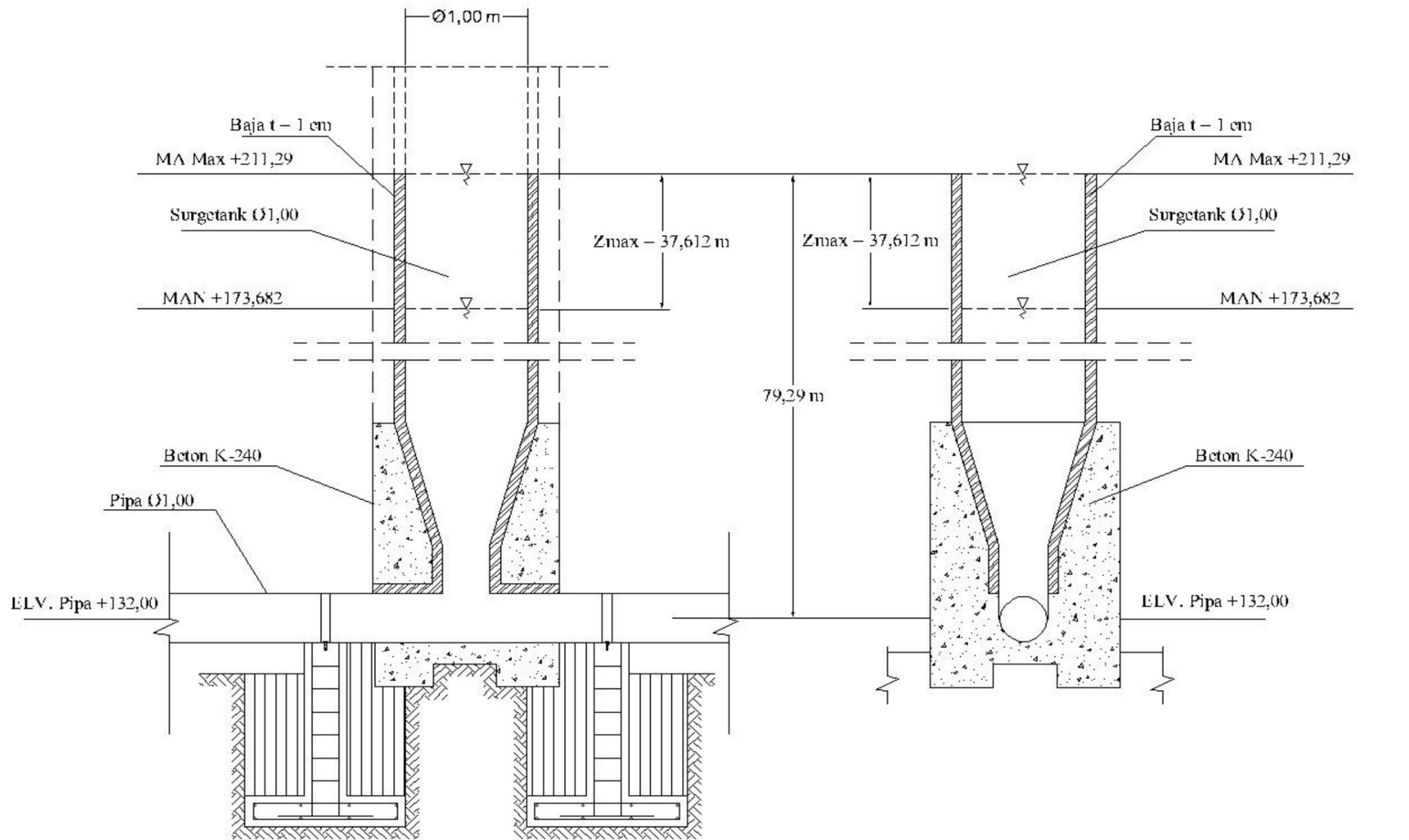
DRAWING SOURCE: SUMBER GAMBAR

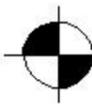
NUMOR GAMBAR
DRAWING NUMBER

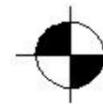
JUMLAH GAMBAR
TOTAL DRAWING

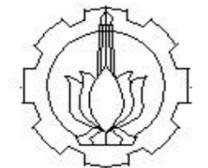
4

8



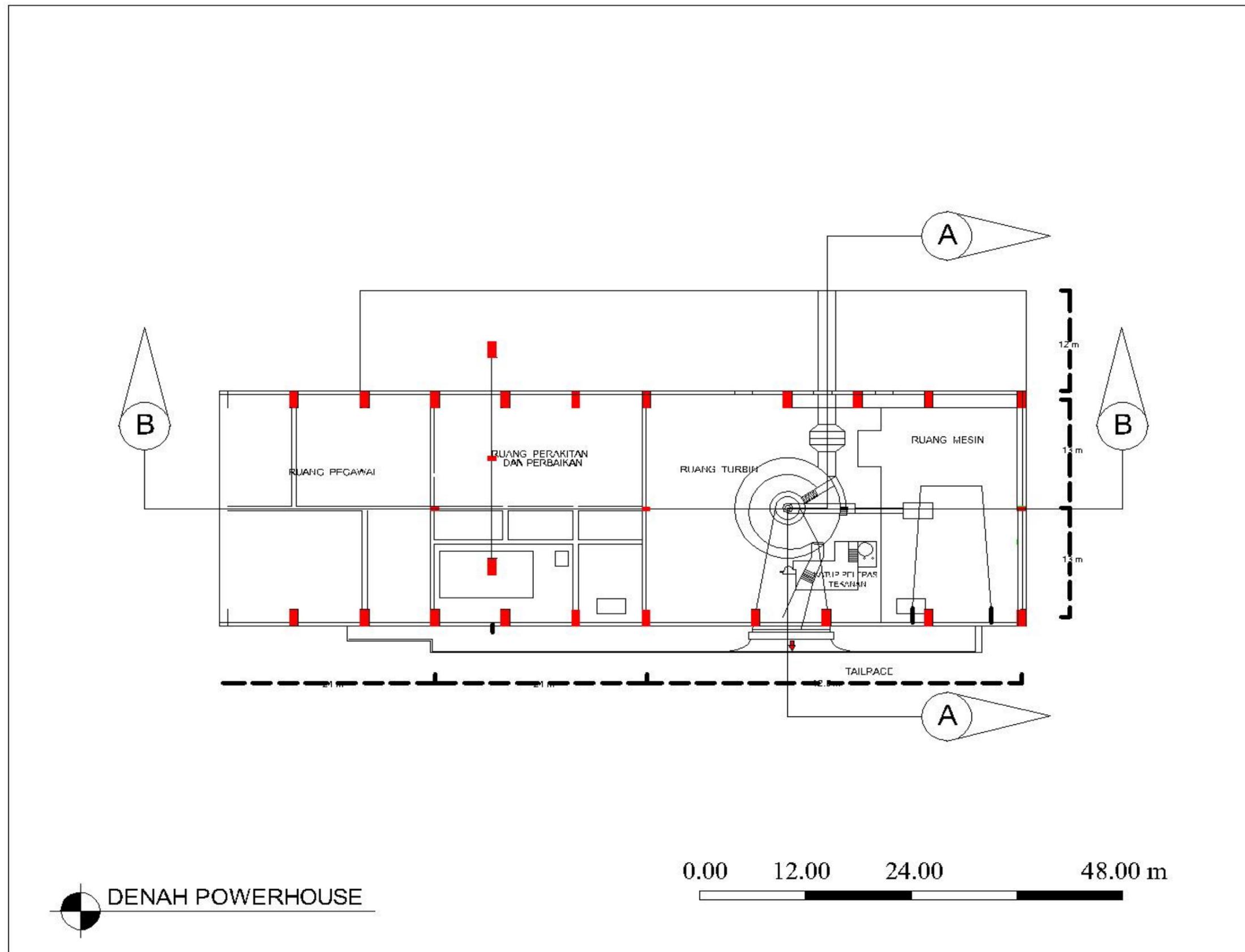
 POTONGAN MEMANJANG SURGETANK

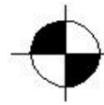
 POTONGAN MELINTANG SURGETANK

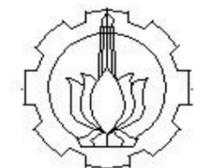


D4 LAJUT ENJING TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN NOTE	
MATA KULIAH SUBJECT	
TUGAS AKHIR TERAPAN (VC 181819) THE FINAL PROJECT (VC 181819)	
JUDUL TUGAS AKHIR TITLE	
DESAIN PENBAHARUAN LISTRIK TERAKA AIR WADUK TURUK PACITAN BERGILUTUR HEGERI	
NAMA MAHASISWA NAME	
Yusuf Agus Pratomo 101161000000	
JUDUL GAMBAR DRAWING TITLE	
DETAIL SURGE TANK	
DOSEN PEMBIMBING 1 ADVISOR 1	
Ir. Eddy Sunindyo, MT. 1 - 2 - 19621212 1962011001	
DOSEN PEMBIMBING 2 ADVISOR 2	
Ir. Ismail Saad, MMT. 1 - 2 - 19620117 1962011001	
DRAWING SOURCE	SUMBER GAMBAR
NUMBER GAMBAR DRAWING NUMBER	JUMLAH GAMBAR TOTAL DRAWING
5	8

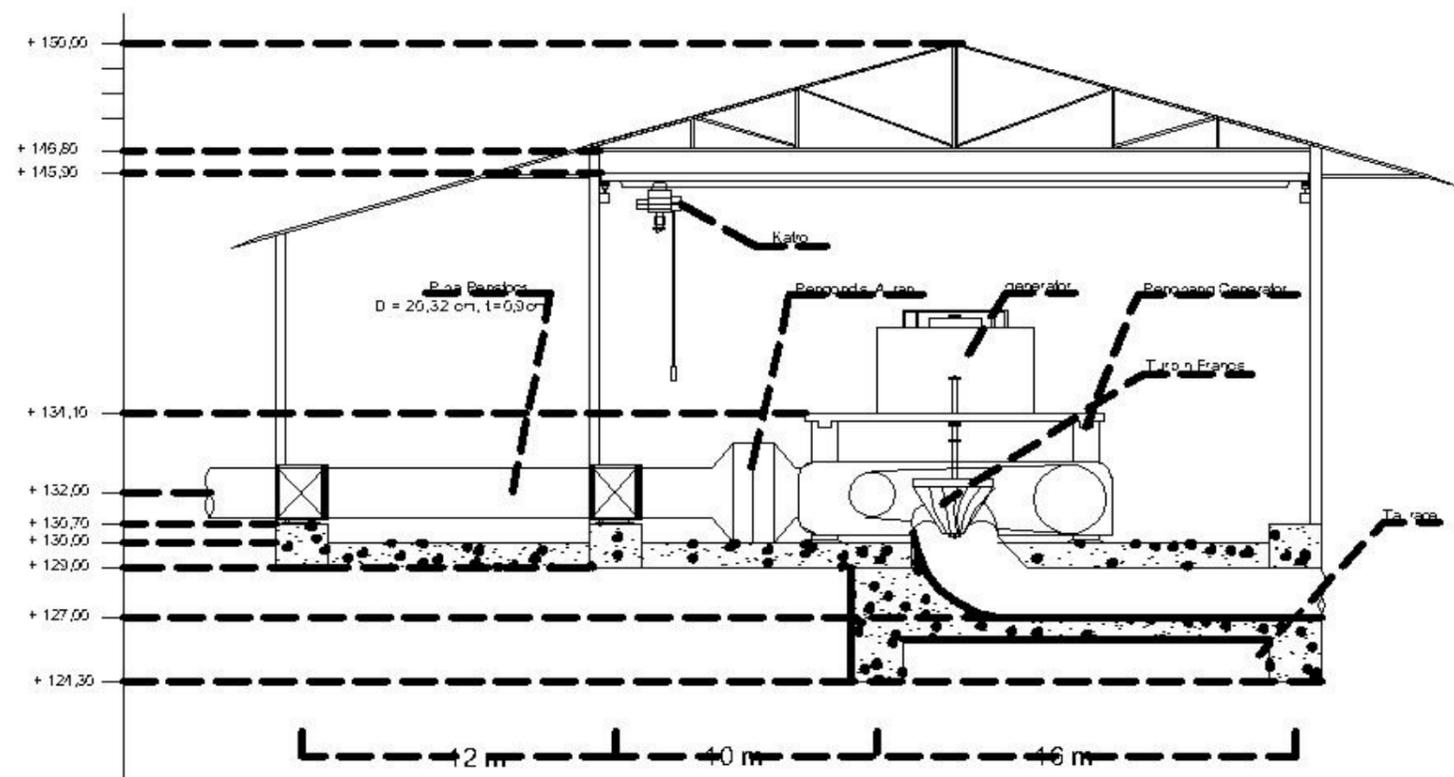


 DENAH POWERHOUSE

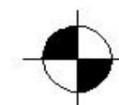


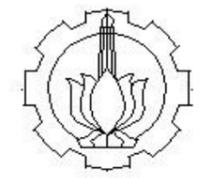
DALAM RANGKAIAN TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN NOTE	
MATA KULIAH SUBJECT	
TUGAS AKHIR TERAPAN (YC 181819) THE FINAL PROJECT (YC 181819)	
JUDUL TUGAS AKHIR TITLE	
DESAIN PEMBAHARUT LISTRIK BERKAAIR WADUK TURUL PACITAN BERKALITUR HEGERI	
NAMA MAHASISWA NAME	
Yusuf Agung Pratomo 1011161000000	
JUDUL GAMBAR DRAWING TITLE	
Denah Power House	
DOSEN PEMBIMBING 1 ADVISOR 1	
Ir. Eddy Sunarya, MT. 1 - 1 - 196212 19621001	
DOSEN PEMBIMBING 2 ADVISOR 2	
Ir. Ismail Saad, MMT. 1 - 1 - 196212 19621001	
DRAWING SOURCE	SUMBER GAMBAR
NUMBER DRAWING NUMBER	TOTAL DRAWING
6	8



POTONGAN A-A

 POTONGAN A-A' POWERHOUSE



D4 JURUSAN ENJINERAN SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN
 NOTES

MATA KULIAH
 SUBJECT

TUGAS AKHIR TERAPAN
 (VC 181819)
 THE FINAL PROJECT (VC 181819)

JUDUL TUGAS AKHIR
 TITLE

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
 WADUK TURUN PACITAN BERGILITUR
 HEGERI

NAMA MAHASISWA
 NAME

Yusuf Agus Pratomo
 101118100000

JUDUL GAMBAR
 DRAWING TITLE

POTONGAN A-A Power House

DOSEN PEMBIMBING 1
 ADVISOR 1

Ir. Eddy Sutisna, MT
 1 - 11 - 19501212 - 195011001

DOSEN PEMBIMBING 2
 ADVISOR 2

Ir. Ismail Saad, MT
 1 - 11 - 19500117 - 195001100

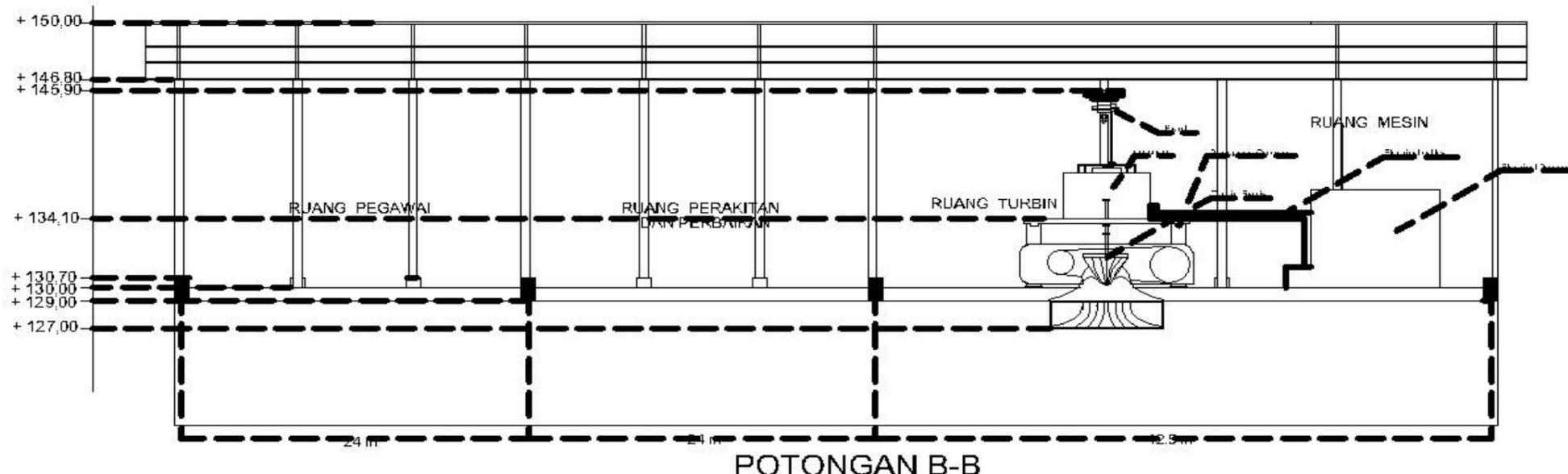
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

NO. GAMBAR
 DRAWING NUMBER

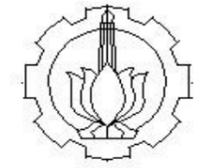
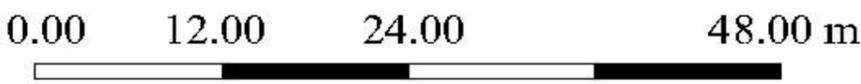
JUMLAH GAMBAR
 TOTAL DRAWING

7

8



 POTONGAN B-B' POWERHOUSE



D4 LAJUT . ENJING TERBUK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN NOTE	
MATA KULIAH SUBJECT	
TUGAS AKHIR TERAPAN (VC 181819) THE FINAL PROJECT (VC 181819)	
JUDUL TUGAS AKHIR TITLE	
DESAIN PEMBAHAGIT LISTRIK TERBAGAI AIR WADUK TURUN PACITAN BERGILUTUR HEGERI	
NAMA MAHASISWA NAME	
Yusuf Agus Pratomo 101118100005	
JUDUL GAMBAR DRAWING TITLE	
POTONGAN B B Power House	
DOSEN PEMBIMBING 1 ADVISOR 1	
Ir. Eddy Samudra, MT. 1 - 1. 19661212 19661101	
DOSEN PEMBIMBING 2 ADVISOR 2	
Ir. Ismail Saad, MT. 1 - 1. 19661212 19661101	
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR	
NUMOR GAMBAR DRAWING NUMBER	JUMLAH GAMBAR TOTAL DRAWING
8	8