

**PERANCANGAN SISTEM *PUMPED STORAGE HYDROPOWER* DALAM
PEMENUHAN DEBIT AIR PLT MINIHIDRO PT TOMBOLO ENERGI**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Elsa Safitri 44219008
Muh. Taslim 44219013

**PROGRAM STUDI D4-TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023**


HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini dengan judul “Perancangan Sistem *Pumped Storage Hydropower* dalam Pemenuhan Debit Air PLT Minihidro PT Tombolo Energi” oleh Elsa Safitri NIM 442 19 008 dan Muh. Taslim NIM 442 19 013 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2023

Mengesahkan
Pembimbing I,

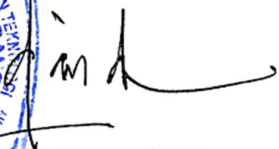
Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP. 19641231 199103 1 028


Ir. Chandra Buana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

Mengetahui

Koordinator Program Studi


Ir. Chandra Buana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003









HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Selasa 15 Agustus 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Elsa Safitri NIM 442 19 008 dan Muh. Taslim NIM 442 19 013 dengan judul “Perancangan Sistem *Pumped Storage Hydropower* dalam Pemenuhan Debit Air PLT Minihidro PT Tombolo Energi”.

Makassar, September 2023

Tim Penguji Ujian Skripsi :

1. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. Ketua ()
2. Ir. Laode Musa, M.T. Sekretaris ()
3. Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Anggota ()
Ph.D.
4. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. Anggota ()
5. Dr. Ir. Firman, M.T. Pembimbing I ()
6. Ir. Chandra Bhuana, M.T. Pembimbing II ()

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Elsa Safitri
Nim : 44219008
Program Studi : D-4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat, Tgl. Lahir : Dante Malua, 10 Oktober 2000
Alamat : Btn. Asal Mula Blok F1 No. 15, Tamalanrea Indah

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Perancangan Sistem *Pumped Storage Hydropower* Dalam Pemenuhan Debit Air PLT Minihidro PT Tombolo Energi”

Adalah benar disusun / dibuat oleh kami berdua dan jika kemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/menyontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat kami pertanggungjawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Makassar, Agustus 2023



Elsa Safitri

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Muh. Taslim
Nim : 44219013
Program Studi : D-4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat, Tgl. Lahir : Buki, 15 Januari 2000
Alamat : Btn. Asal Mula Blok F2 No. 9, Tamalanrea Indah

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Perancangan Sistem *Pumped Storage Hydropower* Dalam Pemenuhan Debit Air PLT Minihidro PT Tombolo Energi”

Adalah benar disusun / dibuat oleh kami berdua dan jika kemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/menyontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat kami pertanggungjawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Makassar, Agustus 2023



Muh. Taslim

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah Swt. karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi yang berjudul “Perancangan Sistem *Pumped Storage Hydropower* Dalam Pemenuhan Debit Air PLT Minihidro PT Tombolo Energi” dapat diselesaikan tepat waktu. Penulisan skripsi ini merupakan upaya untuk memenuhi salah satu persyaratan penyelesaian studi pada program Diploma 4 (D-4) Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis telah mengalami berbagai hambatan dan rintangan. Namun, berkat ketekunan dan kerja keras yang disertai dengan doa kepada Allah Swt. hambatan dan rintangan tersebut dapat diatasi.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, penulis akan senantiasa membuka diri untuk menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini kelak.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis telah mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Sehingga dengan hal itu, sepantasnyalah pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan tinggi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang berikut ini.

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu.

2. Kepada orang tua dan saudara yang sangat penulis cintai. Terima kasih atas cinta dan kasih sayang, doa, semangat, perhatian dan dukungan yang kalian berikan selama ini.
3. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T., selaku Ketua Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi sekaligus pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Firman, M.T., selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Para Dosen dan staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya saru persatu atas torehan ilmunya kepada penulis.
8. Annisa, Azizah, Akbar dan Fahmi selaku rekan penulis yang senantiasa memberikan kritik yang membangun kepada penulis, membantu dalam pengambilan data, dan sumbangsi pemikiran.
9. Teman-teman Teknik Pembangkit Energi Angkatan 2019 yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama penulisan.
10. Aurelia, Winda, Fadila dan Asda selaku sahabat yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dapat bernilai ibadah di sisi Allah SWT dan skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Wassalamualaikum'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar,

2023

Penulis



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skema Operasi PLT Minihidro Tombolo Energi	7
Tabel 2.2 Spesifikasi Turbin Unit 1 PLT Minihidro PT Tombolo Energi	11
Tabel 2.3 Spesifikasi Turbin Unit 2 PLT Minihidro PT Tombolo Energi	11
Tabel 2.4 Spesifikasi Generator Unit 1 PLT Minihidro PT Tombolo Energi	12
Tabel 2.5 Spesifikasi Generator Unit 2 PLT Minihidro PT Tombolo Energi	12
Tabel 2.6 Spesifikasi Transformator PLT Minihidro PT Tombolo Energi	13
Tabel 2.7 Metode Pengukuran Kecepatan dan Kecepatan Rata-Rata	23
Tabel 2.8 Koefisien Kekasaran (Darcy Weisbach)	36
Tabel 2.9 Koefisien Kekasaran (Hazen William).....	37
Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Kecepatan dan Kedalaman Sungai	52
Tabel 4.2 Debit Air Tahunan PLT Minihidro Tombolo Energi	54
Tabel 4.3 Pemenuhan Kekurangan Debit Berdasarkan Skema Operasi PTLMH Tombolo Energi.....	55
Tabel 4.4 Elevasi Titik Rencana Jalur Pemipaan	59
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Epanet Pada <i>Juntion</i>	60
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Epanet Pada Pipe Link	61
Tabel 4.7 Total <i>Head Losses Sisi Suction</i>	64
Tabel 4.8 Total <i>Head Loss Sisi Discharge</i>	67
Tabel 4.9 Hasil Simulasi Pada <i>Node</i>	78
Tabel 4.10 Hasil Simulasi Pada <i>Link</i>	79
Tabel 4.11 Tabel Biaya Peralatan Perancangan <i>Pumped Storage</i>	80
Tabel 4.12 Upah Pemasangan Instalasi <i>Pumped Storage</i>	81
Tabel 4.13 Perhitungan NVP dengan Suku Bunga 10%	87
Tabel 4.14 Perhitungan NVP dengan Suku Bunga 9%	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pipa Pesat PLT Minihidro Tombolo Energi.....	8
Gambar 2.2 Bendungan PLT Minihidro Tombolo Energi	9
Gambar 2.3 Turbin PLT Minihidro Tombolo Energi.....	10
Gambar 2.4 PSH Tipe <i>Open Loop</i>	15
Gambar 2.5 PSH Tipe <i>Closed Loop</i>	16
Gambar 2.6 <i>Pump Back Storage</i>	17
Gambar 2.7 <i>Current Flow Meter</i>	22
Gambar 2.8 Perbandingan Panjang dan <i>Head</i>	24
Gambar 2.9 Bak Ukur.....	32
Gambar 2.10 Benang Diafragma.....	32
Gambar 2.11 Pengukuran Jarak dengan <i>Theodolite</i>	33
Gambar 2.12 Pengukuran Beda Tinggi	33
Gambar 2.13 Diagram <i>Moody</i>	36
Gambar 3.1 Lokasi Jalur <i>Waterways</i> , Bendungan, dan <i>Headphond</i> PLT Minihidro Tombolo Energi.....	45
Gambar 3.2 Lokasi Perencanaan <i>Pumped Storage Hydropower</i>	46
Gambar 3.3 Potensi Lokasi <i>Reservoir</i> PLT Minihidro Tombolo Energi	46
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 3.5 Diagram Alir Analisis Data	51
Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Kedalaman Air Sungai	52
Gambar 4.2 Panjang Sungai untuk Rencana <i>Reservoir</i>	56
Gambar 4.3 Lebar Sungai Titik AB2	57
Gambar 4.4 Rangkaian Simulasi <i>Line Sizing</i>	60
Gambar 4.5 <i>Double Line Drawing</i> Untuk <i>Suction Pipe</i>	62
Gambar 4. 6 <i>Double line drawing</i> (a) <i>discharge line 1</i> ; (b) <i>discharge line 2</i> dan 3	65
Gambar 4.7 Kurva Pompa Fancy/Purity.....	69
Gambar 4.8 Titik Hs Pada Pipa <i>Suction</i>	71
Gambar 4.9 Rangkaian Simulasi <i>Pumped Storage</i> dengan Epanet 2.2.....	76

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
P	Watt	Daya yang dibangkitkan
ρ	kg/m ³	Massa Jenis
g	m/s ²	Percepatan gravitasi
Q	m ³ /s	Debit air
H	m	Tinggi jatuh air
Cd		Koefisien <i>discharge</i>
B	m	Lebar saluran
Z	m	<i>Elevation head</i>
Γ	m ² /s	Viskositas kinematik
v	m/s	Kecepatan fluida
h_f	m	<i>Head loss</i> yang terjadi
f		Koefisien <i>friction</i>
D	m	Diameter pipa
L	m	Panjang pipa
h_l	m	<i>Minor losses</i>
K		<i>Loss coefficient</i>
M _{PW}	Rp	Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek
A	Rp	Biaya tahunan
i	%	Tingkat diskonto
n	Tahun	Umur proyek
DF		Faktor diskonto
COE	Rp/kWh	<i>Cost of energy</i> / biaya energi
LCC	Rp	Biaya siklus hidup
CRF	%	Faktor pemulihan modal, berdasarkan pada <i>discount rate</i> (i)
AKWH	kWh/tahun	Energi yang dibutuhkan <i>pumping</i>
II	Rp	<i>Initial invertment</i>
NPV	Rp	<i>Net Present Value</i>
A	m ²	Luas penampang basah
D _n	m	Kedalaman titik n pada sungai

γ	m^2/s	Viskositas kinematik
NPSHa	m	<i>Head</i> total
P_a	kgf/m^2	Tekanan atmosfer
P_v	kgf/m^2	Tekanan uap jenuh
H_s	m	<i>Head</i> isap statis
H_{fs}	m	Kerugian <i>head</i> dalam pipa <i>suction</i>



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
RINGKASAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro.....	5
2.2 PLT Minihidro Tombolo Energi.....	6
2.3 Peralatan Utama PLT Minihidro Tombolo Energi	7
2.3.1 Pipa Pesat	7
2.3.2 Bendungan	8
2.3.3 Turbin.....	9
2.3.4 Generator.....	11

2.3.5 Transformator.....	12
2.4 <i>Pumped Storage Hydropower</i>	13
2.4.1 Definisi dan Prinsip Kerja <i>Pumped Storage Hydropower</i>	13
2.4.2 <i>Open Loop Pumped Storage Hydropower</i>	15
2.4.3 <i>Close Loop Pumped Storage Hydropower</i>	16
2.4.4 Persyaratan Teknis	19
2.4.5 Sumber Listrik <i>Pumped Storage</i>	20
2.4.6 Desain <i>Pumped Storage Hydropower</i>	21
2.5 Pemipaan.....	26
2.5.1 Jenis Pipa.....	26
2.5.2 Komponen Sistem Pemipaan	26
2.5.3 Perencanaan Desain Sistem Perpipaan.....	28
2.6 Penentuan dan Pemilihan Pompa.....	30
2.7 Analisis Ekonomi.....	39
2.7.1 Biaya Investasi	39
2.7.2 Biaya Pemeliharaan dan Operasional.....	40
2.7.3 Biaya Siklus Hidup	40
2.7.4 Faktor Diskonto.....	41
2.7.5 Biaya Energi (<i>Cost of Energy</i>).....	41
2.7.5 Analisis Kelayakan Investasi	42
BAB III METODE PENELITIAN.....	45
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	45
3.2 Alat	47
3.3 Teknik Pengumpulan Data	47
3.4 Teknik Analisis Data	48
3.5 Diagram Alir.....	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1 <i>Head</i> dan Debit <i>Pumped Storage</i>	52
4.1.1 Debit <i>Pumped Storage</i>	52
4.1.2 Penentuan Jalur Pemipaan.....	57
4.1.3 <i>Line Sizing</i>	59
4.1.4 <i>Head Loss</i>	61
4.1.5 Penentuan Pompa.....	68
4.2 Analisis Desain dan Simulasi	73
4.2.1 P&ID dan <i>Isometric Pipe Drawing</i>	73
4.2.2 <i>Double Line Drawing</i>	73
4.2.3 3D Drawing.....	74
4.2.4 <i>Equipment Drawing</i>	74
4.2.5 Simulasi Epanet	75
4.3 Analisis Ekonomi dan Kelayakan Investasi.....	80
4.3.1 Menghitung Biaya Investasi Awal.....	80
4.3.2 Biaya Pemeliharaan dan Operasional.....	82
4.3.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>)	82
4.3.4 Menghitung Faktor Diskonto	83
4.3.5 Menghitung Biaya Energi (COE).....	84
4.3.6 Perhitungan Kas Masuk	85
4.3.7 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	86
4.3.8 <i>Profitability Index</i> (PI).....	89
4.3.9 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	89
BAB V PENUTUP.....	91
5.1 Kesimpulan	91

5.2 Saran91

DAFTAR PUSTAKA.....93

LAMPIRAN96



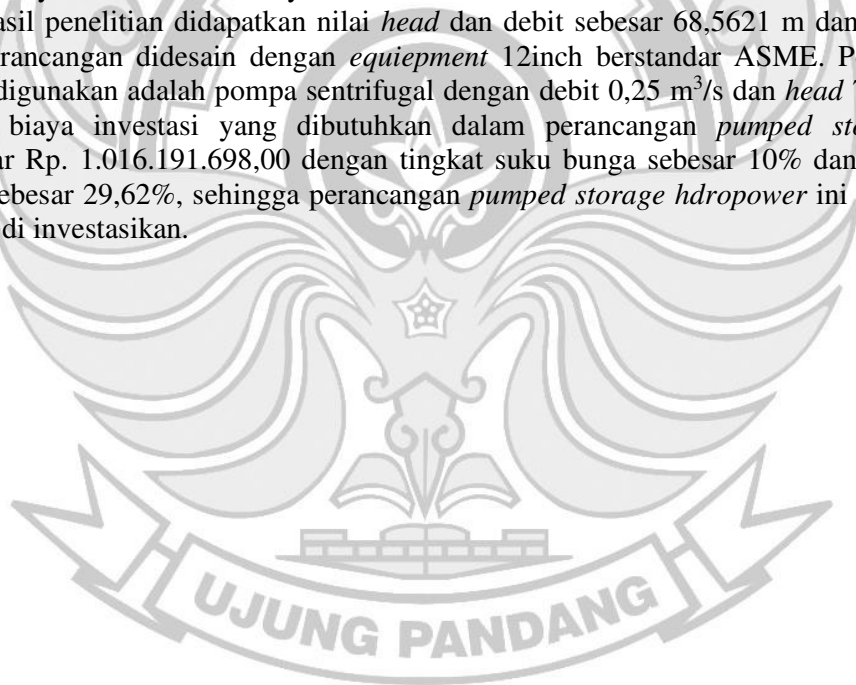
PERANCANGAN SISTEM *PUMPED STORAGE HYDROPOWER* DALAM PEMENUHAN DEBIT AIR PLT MINIHIDRO PT TOMBOLO ENERGI

RINGKASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Tombolo Energi merupakan bentuk pemanfaatan aliran sungai untuk pembangkitan dan pemenuhan kebutuhan listrik bagi masyarakat. Perancangan *Pumped Storage Hydropower* (PSH) merupakan salah satu upaya untuk menstabilkan dan mengoptimalkan daya yang dapat dibangkitkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan nilai *head* dan debit yang dibutuhkan, mendesain instalasi sistem dan menghitung biaya instalasi sistem *pumped storage* PT Tombolo Energi.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan teknik pengumpulan data di lapangan dan analisis data untuk mendapatkan nilai *head*, debit, biaya investasi dan kelayakan investasi.

Hasil penelitian didapatkan nilai *head* dan debit sebesar 68,5621 m dan 0,25 m³/s, rancangan didesain dengan *equipment* 12inch berstandar ASME. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan debit 0,25 m³/s dan *head* 72 m. Total biaya investasi yang dibutuhkan dalam perancangan *pumped storage* sebesar Rp. 1.016.191.698,00 dengan tingkat suku bunga sebesar 10% dan nilai IRR sebesar 29,62%, sehingga perancangan *pumped storage hdropower* ini layak untuk di investasikan.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian energi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan laju pertumbuhan penduduk yang dapat memunculkan masalah penyediaan energi di masa mendatang termasuk energi listrik. Untuk menanggapi keadaan terkait keenergian ini, perlu adanya pengembangan pada pemanfaatan energi terbarukan yang potensinya dapat dimaksimalkan lebih jauh lagi. Salah satu sumber daya yang merupakan energi terbarukan dan energi bersih adalah energi air. Pemanfaatan energi air ini dapat digunakan pada skala yang kecil atau *microhydro* dengan daya yang dibangkitkan sekitar 5 kW sampai 1 MW atau bahkan pada skala yang lebih kecil atau *picohydro* dengan daya dibangkitkan sekitar 100 W sampai 5 kW.

Pembangkit listrik tenaga minihidro merupakan pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air berupa tinggi jatuh air dan debit aliran dalam proses pembangkitan. Minihidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mini yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, minihidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Pada dasarnya, minihidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga minihidro cocok digunakan di Indonesia karena banyak dialiri sungai dengan potensi pembangkitan energi listrik besar dan belum dimanfaatkan, keberadaan PLT

Minihidro ini dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat khususnya di daerah terpencil.

PLT Minihidro Tombolo Energi merupakan salah satu bentuk realisasi pemanfaatan aliran sungai untuk pembangkitan dan pemenuhan kebutuhan listrik bagi masyarakat. Pada musim hujan di bulan Desember sampai dengan Juni PLT Minihidro Tombolo Energi mampu membangkitkan daya sebesar 3,0 MW dengan debit operasi antara 2,98 m³/s sampai 3,59 m³/s sedangkan pada musim kemarau di bulan Juli sampai dengan November PLT Minihidro Tombolo Energi mampu membangkitkan daya sebesar 0,5 MW namun tidak stabil. Kebutuhan debit untuk mengoperasikan unit 1 dan unit unit 2 yaitu sebesar 0,36-3,59 m³/s. Pasokan daya yang di bangkitkan diharapkan dapat terpenuhi sepanjang tahun. Namun pada dasarnya PLT Minihidro bergantung pada debit aliran sungai yang besarnya dipengaruhi oleh musim, dimana pada musim kemarau debit aliran sungai cenderung menurun sehingga mempengaruhi besar daya yang dapat dibangkitkan.

Masalah yang dihadapi oleh PT Tombolo Energi menjadi penghambat terpenuhinya daya yang dihasilkan secara maksimal. Hal ini karena kondisi cuaca yang tidak menentu sehingga menimbulkan tantangan pada sistem kelistrikan di PT Tombolo Energi, seperti daya yang dihasilkan tidak stabil. Untuk mengatasi hal tersebut, perancangan *Pumped Storage Hydropower* (PSH) merupakan salah satu upaya yang akan digunakan untuk menstabilkan dan mengoptimalkan daya yang dapat dibangkitkan. *Pumped storage hydropower* ini bekerja dengan menggunakan dua waduk dengan perbedaan ketinggian. Namun dalam

perancangan *pumped storage hydropower* terdapat beberapa parameter yang harus dipertimbangkan yaitu: *head*, debit, dan biaya instalasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan tersebut, maka dapat dirumuskan tiga rumusan masalah yang akan dibahas dibawah ini.

1. Berapa *head* dan debit *pumped storage* yang dibutuhkan untuk menghasilkan debit air yang diperlukan?
2. Bagaimana desain sistem *pumped storage* untuk PT Tombolo Energi?
3. Berapa biaya instalasi sistem *pumped storage* PT Tombolo Energi?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mencari potensi *pumped storage* untuk pemenuhan debit air PT Tombolo Energi.
2. Menentukan desain *pumped storage* yang efektif untuk PT Tombolo Energi.
3. Menghitung biaya instalasi untuk *pumped storage* PT Tombolo Energi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan nilai *head* dan debit *pumped storage* yang dibutuhkan.
2. Mendesain instalasi sistem *pumped storage* untuk PT Tombolo Energi.
3. Menentukan biaya instalasi sistem *pumped storage* PT Tombolo Energi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bidang ilmu pengetahuan khususnya energi baru terbarukan yaitu *hydro pumped storage*.
2. Sebagai referensi untuk PT Tombolo Energi dalam memaksimalkan potensi pembangkitan dengan menggunakan sumber daya alam secara efektif.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi pembelajaran Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Pembangkit listrik tenaga minihidro adalah pembangkit listrik berskala kecil dengan output 1 MW-10 MW yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLT Minihidro termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. PLT Minihidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini akan menggerakkan generator yang selanjutnya menghasilkan listrik. Kemudian energi listrik yang telah dihasilkan dialirkan melalui jaringan distribusi, hingga akhirnya energi listrik tersebut dapat dipakai oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. (U.S Agency for International Development, 2016).

Potensi daya yang dihasilkan PLT Minihidro bergantung pada 2 variabel yaitu tinggi jatuh air atau *head* dan besar jumlah air yang mengalir atau debit. Potensi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga minihidro dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Dietzel,1980):

$$P = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Tinggi jatuh air (m)

2.2 PLT Minihidro Tombolo Energi

PLT Minihidro Tombolo Energi merupakan unit pembangkit yang dimiliki oleh PT. Tombolo Energi, dimana PT Tombolo Energi didirikan pada tanggal 26 Maret 2008 sebagai perusahaan yang menghususkan diri dalam pengembangan usaha energi listrik di wilayah Sulawesi Selatan dan Kabupaten Gowa khususnya. Perusahaan ini merupakan anak usaha PT Bumi Karsa yang tergabung dalam Hadji Kalla Group, yang didirikan untuk mengambil bagian dalam pengembangan listrik di wilayah Sulawesi Selatan, khususnya untuk pengembangan listrik tenaga air berskala minihidro. Kehadiran PT Tombolo Energi sebagai salah satu perusahaan yang berkiprah di pengembangan energi tenaga air, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mensuplai energi listrik di wilayah Sulawesi Selatan, khususnya di Kabupaten Gowa yang saat ini masih sangat membutuhkan tambahan energi listrik.

PT Tombolo Energi bertekad menjadi perusahaan pengembangan energi listrik berskala nasional dan memiliki kemampuan yang kuat dan mandiri serta memiliki kemampuan untuk bersaing di era globalisasi ini. PT Tombolo Energi memiliki visi menjadi perusahaan jasa pengembangan energi listrik tenaga air berskala nasional, berdaya saing dan inovatif. Dengan visi ini PT Tombolo Energi berusaha menyediakan energi listrik tenaga air berskala minihidro yang handal dan berkomitmen pada Biaya, Mutu, Waktu dan K3 dan kerjasama yang sinergis serta senantiasa memberikan jaminan terhadap Kepuasan Pelanggan.

PLT Minihidro Tombolo Energi merupakan perwujudan visi dan misi PT Tombolo Energi dalam mengembangkan energi listrik terutama tenaga air. PLT Minihidro Tombolo Energi mendapatkan kontrak/perjanjian pengadaan energi listrik pada Mei 2015 dan mulai beroperasi pada tahun 2016. PLT Minihidro Tombolo Energi terletak di Desa Pao, Kecamatan Tombolo Poa, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

PLT Minihidro Tombolo Energi menghasilkan listrik melalui 2 unit turbin yang beroperasi dengan memanfaatkan sungai Salo Tangka yang di alirkan dengan *waterways* menuju *headpond* dan dibawa menuju turbin dengan *penstock*. Total energi listrik yang dibangkitkan oleh 2 unit turbin ini adalah 3 MW, debit operasinya antara 2,98 m³/s sampai 3,56 m³/s dengan konfigurasi unit 2 sebesar 2,5 MW dengan debit operasi 0,61 m³/s sampai 2,98 m³/s dan unit 1 sebesar 0,5 MW dengan debit operasi 0,385 m³/s sampai 0,61 m³/s.

Tabel 2.1 Skema Operasi PLT Minihidro Tombolo Energi

Skema Operasi		Kebutuhan Debit (m ³ /s)
Skema 1	Turbin 1 <i>run</i>	0,386 - 0,61
Skema 2	Turbin 2 <i>run</i>	0,61 - 2,98
Skema 3	Turbin 1 dan 2 <i>run</i>	2,98 - 3,59

Sumber: *Manual Book* PLT Minihidro PT Tombolo Energi

2.3 Peralatan Utama PLT Minihidro Tombolo Energi

2.3.1 Pipa Pesat

Pipa pesat berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau kolam penenang menuju turbin. Pipa pesat memiliki kemiringan yang cukup

tajam sehingga diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin.



Gambar 2.1 Pipa Pesat PLT Minihidro Tombolo Energi

2.3.2 Bendungan

Bendungan merupakan salah satu bagian yang sangat penting pada suatu pembangkit listrik tenaga minihidro, karena bendungan merupakan tempat penampungan air. Pemilihan jenis bendungan yang terbaik untuk suatu tempat tertentu merupakan suatu masalah kelayakan teknis dan biaya. Kelayakan bergantung pada kondisi medan, geologi, dan cuaca.



Gambar 2.2 Bendungan PLT Minihidro Tombolo Energi

2.3.3 Turbin

Turbin air adalah suatu mesin konversi energi yang berfungsi mengonversikan atau mengubah bentuk energi potensial (*head* elevasi) atau *head* tekanan yang dimiliki air ke bentuk energi mekanik pada poros turbin. Energi potensial yang tersimpan pada fluida yang diam pada ketinggian tertentu berubah menjadi energi tekanan sebelum fluida masuk ke *Guide Vane* (GV), kemudian sebagian atau seluruh energi tekanan diubah menjadi energi kinetik pada waktu fluida melewati *Guide Vane* (GV). Selanjutnya energi tersebut menggerakkan sudu gerak dan menghasilkan energi mekanik pada poros turbin. Energi mekanik tersebut nantinya digunakan untuk memutar generator yang dihubungkan ke poros turbin, di mana generator ini berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik (Dietzel,1996).



Gambar 2.3 Turbin PLT Minihidro Tombolo Energi

Jenis turbin yang digunakan pada PLT Minihidro Tombolo Pao adalah turbin Francis, yaitu salah satu jenis turbin reaksi. Turbin ini dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian luar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin Francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudunya untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air (Shuhada, 2022).

Adapun spesifikasi turbin yang digunakan PLT Minihidro PT Tombolo Energi adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Spesifikasi Turbin Unit 1 PLT Minihidro PT Tombolo Energi

<i>Type</i>	HLA550-WJ-87
<i>Rated Output</i>	2636 kW
<i>Rated Net Head</i>	99 m
<i>Rated Discharge</i>	2.98 m ³ /s
<i>Rated Speed</i>	750 r/min
<i>Maximum Runaway Speed</i>	1326 r/min

Tabel 2.3 Spesifikasi Turbin Unit 2 PLT Minihidro PT Tombolo Energi

<i>Type</i>	HLJF1058-WJ-62
<i>Rated Output</i>	532 kW
<i>Rated Net Head</i>	99 m
<i>Rated Discharge</i>	0.61 m ³ /s
<i>Rated Speed</i>	1000 r/min
<i>Maximum Runaway Speed</i>	1632.9 r/min

2.3.4 Generator

Generator merupakan suatu alat yang dapat memproduksi atau menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan perubahan energi dari energi mekanik menjadi energi listrik. Sumber energi mekanik ini dapat berupa uap, panas, air dan lain sebagainya. Proses inilah yang sering disebut proses pembangkitan energi listrik.

Generator dihubungkan dengan turbin menggunakan sambungan langsung ataupun melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar

maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi elektrik (Farhan, 2021).

Adapun spesifikasi generator yang digunakan PLT Minihidro PT Tombolo Energi adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Spesifikasi Generator Unit 1 PLT Minihidro PT Tombolo Energi

<i>Type</i>	SFW2500-8/1730
<i>Rated Voltage</i>	6300 V
<i>Rated Current</i>	286.4 A
<i>Rated Frequency</i>	50 Hz
<i>Number Of Phases</i>	3
<i>Rated Power Factor</i>	0.80
<i>Rated Excitation Voltage</i>	95 V
<i>Rated Excitation Current</i>	300 A

Tabel 2.5 Spesifikasi Generator Unit 2 PLT Minihidro PT Tombolo Energi

<i>Type</i>	SFW500-6/1100
<i>Rated Voltage</i>	6300 V
<i>Rated Current</i>	57.3 A
<i>Rated Frequency</i>	50 Hz
<i>Number Of Phases</i>	3
<i>Rated Power Factor</i>	0.80
<i>Rated Excitation Voltage</i>	50 V
<i>Rated Excitation Current</i>	175 A

2.3.5 Transformator

Transformator merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan level tegangan yang bekerja berdasarkan *flux* atau sering disebut

induksi elektromagnetik yang terjadi pada medan magnet/induksi dikarenakan adanya perubahan medan listrik pada kumparan trafo (Maulana, 2018).

Berdasarkan sistem penyaluran tenaga listrik, transformator dapat dibagi menjadi 3 yaitu (Sigit, 2009) :

1. Trafo penaik tegangan (*step up*) atau disebut trafo daya, berfungsi untuk menaikkan tegangan dari sisi primer ke sisi sekunder dengan daya atau kapasitas tetap.
2. Trafo penurun tegangan (*step down*), dapat disebut trafo distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sisi primer ke sisi sekunder dengan daya atau kapasitas tetap.
3. Trafo instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, dipakai menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

Tabel 2.6 Spesifikasi Transformator PLT Minihidro PT Tombolo Energi

<i>Voltage Ratio</i>	400 V / 20 kV
<i>Rated Frequency</i>	50 Hz
<i>Number Of Phases</i>	3
Belitan	Ynd5

2.4 Pumped Storage Hydropower

2.4.1 Definisi dan Prinsip Kerja Pumped Storage Hydropower

Pumped Storage Hydropower (PSH) adalah jenis penyimpanan energi yang menggunakan pemompaan dan pelepasan air antara dua *reservoir* pada ketinggian yang berbeda untuk menyimpan air dan kemudian menghasilkan listrik. Misalnya,

ketika permintaan listrik rendah, proyek PSH dapat menggunakan energi murah untuk memompa air dari *reservoir* bawah ke *reservoir* atas untuk disimpan. Ketika permintaan listrik lebih tinggi, proyek PSH dapat mengalirkan air dari *reservoir* atas melalui pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik. Selain itu, PSH adalah sumber daya fleksibel yang berkontribusi untuk menyeimbangkan penawaran dan permintaan di jaringan listrik dan membantu mengintegrasikan berbagai sumber energi terbarukan seperti angin dan matahari. Manfaat *pumped storage* adalah menyediakan listrik pada beban puncak, mengontrol frekuensi, mempunyai kemampuan respon yang dinamis, berfungsi sebagai fasilitas pembangkit cadangan, serta mampu *back start* apabila sistem kelistrikan mengalami gangguan (U.S Departement Of Energy: 2020).

Prinsip kerja dari *pumped storage* adalah pada pemanfaatan *pumped storage* terdapat dua *reservoir*, yaitu *reservoir* bawah dan *reservoir* atas. Pada saat kebutuhan beban dalam sistem tenaga listrik rendah, maka kelebihan daya yang tidak diserap oleh konsumen dipakai untuk memompa air dari waduk bawah ke waduk atas. Sedangkan pada saat beban puncak, air yang terkumpul pada *reservoir* atas akan dialirkan ke *reservoir* bawah untuk memutar turbin dan menghasilkan daya listrik untuk memenuhi kebutuhan beban puncak. Energi listrik yang dihasilkan dengan sistem ini, diharapkan menjadi penyeimbang beban penggunaan listrik pada siang dan malam hari (U.S Departement Of Energy: 2020).

2.4.2 Open Loop Pumped Storage Hydropower

U.S Department Of Energy mendefinisikan *Pumped Storage Hydropower* (PSH) *loop* terbuka sebagai "terhubung terus-menerus ke fitur air yang mengalir secara alami". PSH *loop* terbuka biasanya melibatkan pembendungan fitur air yang mengalir secara alami untuk menciptakan *reservoir* yang lebih rendah (U.S Departement Of Energy: 2020).



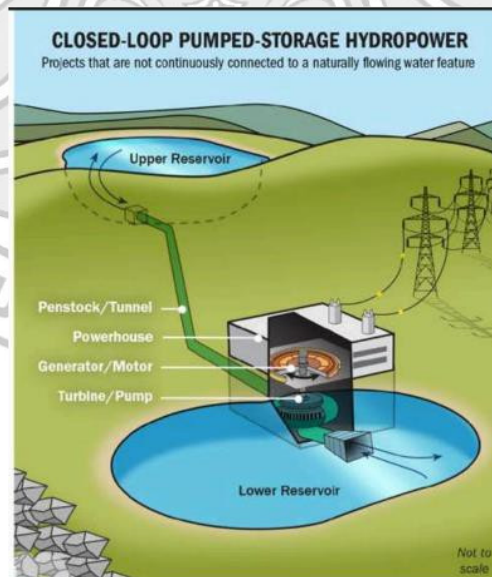
Gambar 2.4 PSH Tipe *Open Loop*
Sumber: U.S Department of Energy, 2020

Open loop dapat diaplikasikan jika terdapat salah satu aliran sungai yang terletak didekat *reservoir* atas atau *reservoir* bawah, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pengoperasian PSH tipe *open loop* dapat mengganggu laju aliran air dan biota sungai. Penggunaan PSH tipe *open loop* dapat diminimalkan efek buruk ini dengan cara memanfaatkan bendungan sebagai *lower reservoir*, sehingga *power house* dapat dibangun pada *down stream* dari bendungan. Cara ini dapat meminimalisir kegiatan penggalian yang dapat mengganggu kestabilan lingkungan

sekitar sungai, karena *power house* dapat membangkitkan listrik dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian air yang sudah ada. Hal ini sudah diaplikasikan pada PSH Seneca, USA yang sudah beroperasi dari tahun 1970 (Fitzgerald et al, 1973).

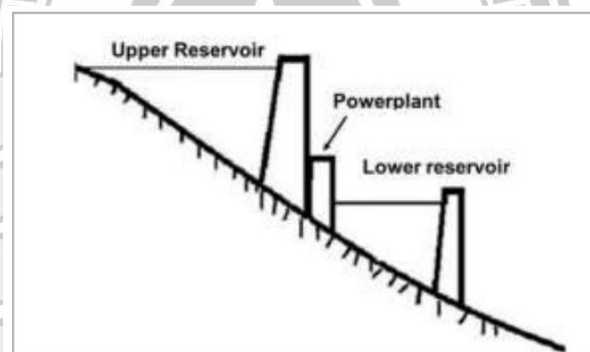
2.4.3 Close Loop Pumped Storage Hydropower

Department of Energy (DOE) mendefinisikan *Pumped Storage Hydropower* (PSH) *loop* tertutup sebagai "tidak terhubung terus-menerus ke fitur air yang mengalir secara alami" (DOE 2016; 2019). Istilah terus-menerus adalah kunci dalam definisi ini karena beberapa proyek PSH dianggap *loop* tertutup meskipun dapat menarik air dari fitur air permukaan yang mengalir secara alami pada awalnya untuk mengisi *reservoir* dan secara berkala untuk menggantikan kehilangan penguapan dan rembesan (U.S Department Of Energy: 2020).



Gambar 2.5 PSH Tipe *Closed Loop*
Sumber: U.S Department of Energy, 2020

PSH tipe *closed loop* terdiri dari *upper* dan *lower reservoir* yang terletak jauh dari sumber air, sehingga *input* air ke sistem PSH terbatas. Gambar skematis PSH tipe *closed loop* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5. Tipe PSH *closed loop* dapat diimplementasikan pada danau buatan berukuran kecil yang berisi air tanah atau sumber air lain yang ditambahkan. Efek lingkungan dari PSH tipe *closed loop* umumnya lebih kecil jika dibandingkan PSH tipe *open loop*. Namun, penggunaan PSH tipe *closed loop* memiliki siklus operasi yang terbatas karena penyimpanan air hanya terbatas dalam jangka beberapa hari hingga satu bulan, bergantung ketersediaan air. Contoh PSH tipe ini ada pada Marmora PSH yang terletak di Kanada (Northland Power, 2013).



Gambar 2.6 *Pump Back Storage*
Sumber: Rahmanta, 2022

Teradapat inovasi lain dari PSH, yaitu tipe *pump-back storage* yang dapat diaplikasikan pada bendungan *hydropower* yang memiliki *reservoir* langsung tambahan dibawahnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Penggunaan PSH jenis ini memungkinkan air dapat mengalir secara 2 arah diantara dua *reservoir*. PSH jenis *pump back storage* meningkatkan fleksibilitas dan jenis operasional, karena penggunaan konfigurasi *pump turbines* dapat digunakan untuk

pembangkitan listrik tenaga air secara konvensional atau penyimpanan energi. Sebagai contoh, pada saat musim kering pembangkitan listrik tenaga air secara konvensional akan berkurang, namun masih dapat digunakan sebagai *pumped storage*. Jenis PSH *pump back storage* dapat banyak dijumpai di Jepang, dimana banyak bendungan yang memiliki *reversible turbines*. Hal ini disebabkan Jepang memiliki banyak surplus energi listrik dari penggunaan pembangkit listrik tenaga nuklir, sehingga membutuhkan penyimpanan energi listrik setiap harinya (Rahmanta, 2022).

Pada awal perencanaan, PSH merupakan salah satu alternatif media penyimpanan energi pada saat periode permintaan energi rendah dan dipakai ketika permintaan energi tinggi. Namun, seiring berkembangnya teknologi serta permintaan terhadap sumber energi terbarukan pada masa kini telah meningkat, maka kehadiran PSH dapat menjadi salah satu penghubung antara sumber energi alami yang *intermittent* seperti PLTB atau PLTS dengan jaringan listrik. Hal ini disebabkan karena PSH dapat menyerap energi yang dihasilkan oleh sumber energi terbarukan yang bersifat *intermittent* dan menjadi sumber energi ketika dibutuhkan agar operasi jaringan listrik lebih handal. Sehingga, aplikasi PSH akan mendukung penurunan emisi gas rumah kaca karena dapat menjadi media penyimpan energi yang ramah lingkungan serta dapat mendukung produksi sumber energi terbarukan lainnya. Hingga saat ini, PSH terbukti telah menjadi alternatif penyimpanan energi masal dan digunakan secara luas. Keuntungan menggunakan PSH sebagai berikut: (Rahmanta, 2022)

1. Memungkinkan transfer energi dari beban minimum ke beban puncak pada jaringan listrik.
2. Meningkatkan fleksibilitas dan kehandalan dari penyalur energi listrik akibat dari kemampuannya dalam memberikan respon yang cepat terhadap permintaan beban puncak pada jaringan listrik.
3. Meningkatkan efisiensi dari pembangkit listrik dan fasilitas transmisi jaringan yang sudah ada.
4. Sebagai pemasok energi tambahan yang membuat jaringan listrik lebih stabil.
5. Mengintegrasikan sumber energi terbarukan yang *intermittent* ke sistem jaringan listrik.
6. Dianggap sebagai media penyimpanan energi yang ramah lingkungan.

2.4.4 Persyaratan Teknis

Secara teknis persyaratan suatu sistem *pumped storage hydropower* umumnya hampir sama dengan persyaratan teknis PLTA konvensional lainnya, yaitu adanya potensi debit aliran air (Q) dan tinggi jatuh (H) yang memadai. Namun disamping adanya karakteristik yang sama dengan PLTA konvensional, *pumped storage hydropower* juga memiliki berbagai syarat teknis yang berbeda yang perlu diperhatikan pada tahap perencanaannya. Syarat-syarat *pumped storage hydropower* tersebut antara lain: (Argonne National Laboratory, 2014)

1. Waduk atas dan waduk bawah

Yang membedakan sistem *pumped storage* dengan PLTA konvensional yaitu terdapat dua waduk dalam pengoperasiannya. Pengoperasian *pumped storage* dilakukan beban rendah dimana pompa akan menaikkan air dari waduk

bawah ke waduk atas. Sebaliknya saat beban puncak air akan dialirkan dari waduk atas ke waduk bawah untuk memutar turbin yang akan menggerakkan generator.

2. Persyaratan elevasi dan pompa

Secara teknis posisi pompa atau turbin harus diperhitungkan. Posisi pompa atau turbin harus berada pada posisi elevasi yang rendah dari posisi elevasi waduk bawah. Dengan harapan tidak timbulnya kavitasi yang akan menyebabkan hilangnya energi dalam jumlah yang besar dan menghindari kerusakan pada sudu turbin dan pompa.

3. Kapasitas waduk dan tinggi jatuh

Besarnya debit air (Q) dan tinggi jatuh (H) berbanding lurus dengan kapasitas yang terpasang.

2.4.5 Sumber Listrik *Pumped Storage*

Seiring berkembangnya teknologi serta permintaan terhadap sumber energi terbarukan telah meningkat, sehingga PSH dapat menjadi salah satu penghubung antara sumber energi alami yang *intermittent* seperti PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) atau PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dengan jaringan listrik. PLTS dan PLTB dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk *pumped storage* dalam proses *pumping* dari *lower reservoir* ke *upper reservoir*.

Adapun kebutuhan daya *pumped storage hydropower* di suplai dari PLTS dimana kebutuhan daya bergantung dari besar daya motor yang akan memompa air dari *lower reservoir* menuju *upper reservoir*. Besar daya yang dihasilkan akan sangat bergantung dari pemilihan sumber energinya.

2.4.6 Desain *Pumped Storage Hydropower*

2.4.6.1 *Head*

Proyek *pump storage* yang telah dibangun, mulai dari ketinggian 30 m sampai 750 m. Sebagian besar proyek ini melibatkan pompa air Kembali atau menggunakan danau atau waduk yang ada. *Head* minimum untuk proyek PSH *off-stream* umumnya sekitar 300 m hingga 1 km. Proyek dengan *head* yang lebih tinggi melibatkan penggunaan pompa dan turbin yang terpisah atau pompa/turbin multi tahap. Studi juga telah dilakukan untuk mengembangkan proyek PSH dengan reservoir rendah bawah tanah yang terletak 1.219 m hingga 1.523 m di bawah permukaan (Katsiagiannis, 2017).

2.4.6.2 *Flow Rate*

Kapasitas dari proyek PSH merupakan fungsi dari *head* hidrolik dan laju aliran dimana $P = \rho \times g \times Q \times H$. Dimana semakin tinggi laju aliran maka semakin rendah waktu *cycling* dan membutuhkan unit pembangkit, unit pompa, dan saluran yang lebih besar. Optimasi biaya umumnya dilakukan untuk mengoptimalkan laju aliran dari desain PSH. Laju aliran desain dibatasi oleh *head loss* yang terkait dengan diameter saluran air tertentu. Untuk laju aliran tertentu yang ditentukan oleh kapasitas pembangkit listrik, diameter jalur air dioptimalkan dengan menyeimbangkan kehilangan tekanan yang lebih tinggi terkait dengan diameter yang lebih kecil dan peningkatan biaya konstruksi terkait dengan diameter yang lebih besar (Katsiagiannis, 2017).

Dalam menentukan *flow rate*, pengukuran dapat diukur dengan menggunakan *current flow meter*.

Current meter merupakan sebuah alat yang ditenggelamkan ke dalam air bergerak yang dilengkapi dengan rotor (komponen yang berputar) untuk mengetahui kecepatan aliran (Jayadi, 2015).



Gambar 2.7 *Current Flow Meter*

Ada 2 jenis alat ukur arus *current meter* :

- a. Tipe kerucut (*Price*)
- b. Tipe baling-baling (*Propeller*)

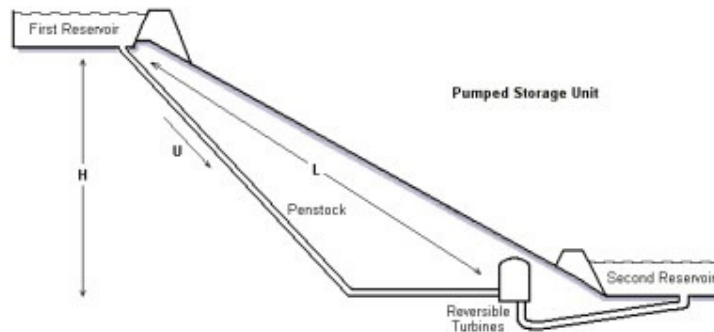
Tabel 2.7 Metode pengukuran kecepatan dan kecepatan rata-rata

Metode	Kedalaman sungai (m)	Titik Pengamatan	Kecepatan rata-rata
1 Titik	0.3 – 0.6	0.6 d	$V = V_{0.6 d}$
2 Titik	0.61 – 3.0	0.2 dan 0.8 d	$V = \frac{1}{2} (V_{0.2 d} + V_{0.8 d})$
3 Titik	3.1 – 6.0	0.2; 0.6 dan 0.8 d	$V = \frac{1}{3} (V_{0.2 d} + V_{0.6 d} + V_{0.8 d})$
5 Titik	6.1 – 10.0	V_A 0.3; 0.2; 0.6 dan 0.8 d; V_B 0.3	$V = \frac{1}{5} (V_A 0.3 + V_{0.2 d} + V_{0.6 d} + V_{0.8 d} + V_B 0.3)$
Banyak Titik	> 10.0	V_A 0.5; 1.0; 2.0; ... N.0; V_B 0.5	$V = \frac{1}{N} (V_A 0.5 + V_{1.0 d} + V_{2.0 d} + \dots + V_{N.0 d} + V_B 0.5)$

Sumber: Jayadi, 2015

2.4.6.3 Waterways

Proyek PSH yang sukses memiliki saluran air yang relatif pendek antara waduk atas dan waduk bawah. Saluran air merupakan komponen utama dari total biaya pembangunan pabrik. Faktor utama yang mempengaruhi biaya saluran air adalah ukuran keseluruhan dari fasilitas yang diusulkan dan “ratio length - head” (L:H) saluran air (Katsiagiannis, 2017).



Gambar 2.8 Perbandingan Panjang dan *Head*

Sumber: Katsiagiannis, 2017

Meminimalkan panjang, sambil mempertahankan ketinggian yang cukup besar antara reservoir atas dan bawah, merupakan komponen penting dari optimalisasi proyek. Menurunkan L:H cenderung menurunkan biaya dan meningkatkan efisiensi. Secara umum, batas atas ekonomis dari L:H adalah sekitar sepuluh. Beberapa proyek mungkin memiliki L:H yang lebih tinggi, tetapi mereka juga mungkin memiliki faktor utama lainnya yang membuatnya layak. Misalnya, proyek Helms di California memiliki saluran air yang sangat panjang, tetapi ini juga merupakan proyek penyimpanan air musiman, di mana manfaat penyimpanan besar lebih besar daripada biaya saluran air yang lebih panjang. Desain saluran air merupakan aspek penting dalam kinerja proyek. Karakteristik saluran air menentukan besarnya *head loss* dan juga mempengaruhi daya tanggap unit dalam hal laju dan kemampuan untuk menyediakan layanan pendukung lainnya (Katsiagiannis, 2017).

2.4.6.4 Reservoir Size

Ukuran *reservoir* atas dan bawah bergantung pada *head* yang tersedia, kapasitas pembangkit, operasi pembangkit, dan karakteristik lokasi. Karakteristik

lokasi meliputi biaya pembebasan lahan serta kondisi fisik dan geoteknik. Kondisi fisik dan geologi yang baik sangat penting untuk pemilihan dan desain *reservoir* atas dan bawah. *Reservoir* yang lebih rendah dapat berupa danau alami atau *reservoir* proyek hidro yang ada, atau dapat dibuat dengan membangun bendungan melintasi sungai kecil. Pemilihan ukuran *reservoir* tergantung pada karakteristik lokasi dan kebutuhan sistem tenaga listrik. Beberapa proyek PSH memiliki penyimpanan operasi lebih dari 20 jam, dan beberapa memiliki penyimpanan operasi hanya empat jam. Sebagian besar proyek PSH dengan penyimpanan terbatas direncanakan untuk beroperasi pada siklus harian atau untuk menyediakan cadangan operasi jangka pendek. Dengan perubahan campuran pembangkitan saat ini, jumlah variabel sumber energi terbarukan merupakan faktor penentu lain dalam ukuran *reservoir*, karena dapat mengubah pola operasi pembangkit PSH (Katsiagiannis, 2017).

2.4.6.5 Pompa/Turbin dan Motor/Generator

Pembangkit PSH multi-unit modern menggunakan turbin Francis dengan *guide vane* dan pengaturan kecepatan. Desain dan pemilihan pompa/turbin mempertimbangkan banyak faktor, seperti *head* operasi, pengaturan dalam kaitannya dengan level *reservoir* atas dan bawah, kecepatan spesifik, kecepatan sinkron, konstanta waktu kolom air, gelombang *draft tube*, dan faktor lainnya (Katsiagiannis, 2017).

2.5 Pemipaan

Sistem pemipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan dari suatu pabrik atau dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi dapat berlangsung. Sistem pemipaan atau *piping system* secara umum terdiri dari komponen-komponen seperti pipa, *fitting*, katup, *flange*, *nozzle*, instrumentasi, *equipment*, *pipe support* atau penyangga pipa, dan komponen khusus lain jika diperlukan (Afdil, 2021).

2.5.1 Jenis Pipa

Terdapat beberapa jenis pipa jika dilihat dari struktur bahan baku yang di gunakan dalam pembuatan pipa, di antaranya sebagai berikut:

1. Pipa *carbon steel*.
2. Pipa *carbon moly*.
3. Pipa *stainless steel*.
4. Pipa *duplex* (biasa digunakan di proyek migas).
5. Pipa galvanis.
6. Pipa *ferro nikel*.
7. Pipa *chrome moly*.
8. Pipa PVC.
9. Pipa HDPE (*High Density Poly Ethylene*).

2.5.2 Komponen Sistem Pemipaan

Adapun komponen-komponen sistem pemipaan sebagai berikut:

1. Pipa (*Pipes*)

Pipa adalah suatu batang silinder berongga yang dapat mengalirkan zat cair, uap, gas. Untuk pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut. Pada sistem pemipaan, pipa menjadi saluran tertutup sebagai media transportasi atau pengaliran suatu fluida baik cair maupun gas dari suatu tempat ke tempat yang lain (Yuda, 2021).

2. *Flange*

Flange adalah suatu mekanisme yang menyambungkan antar elemen perpipaan yaitu antar dua buah pipa, *equipment*, *fitting* atau katup dan lainnya dapat dihubungkan bersama-sama. *Flange* tersedia dalam berbagai bentuk, tekanan, rating dan ukuran untuk memenuhi persyaratan desain. Pada pemasangannya *flange* di pasang bersama gasket untuk mencegah kebocoran pada sambungan *flange* (Afdil, 2021).

3. *Valve*

Valve merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur aliran suatu fluida dengan cara menutup, membuka atau menghambat sebagian jalan aliran fluida. *Valve* atau katup yang sering di gunakan adalah *check valve* yang berfungsi mengalirkan fluida hanya dengan satu arah dan mencegah adanya aliran balik.

4. *Fitting*

Fitting merupakan bagian dari suatu instalasi perpipaan yang berfungsi sebagai penyambung antar pipa dan sebagai akhir perpipaan atau *outlet fitting*.

Terdapat berbagai jenis *fitting* yang dapat digunakan dalam sistem pemipaan seperti *elbow*, sambungan tee, sambungan *stub-in*, *cap* dan lainnya.

2.5.3 Perencanaan Desain Sistem Perpipaan

Gambar atau dokumen yang berkaitan dengan perencanaan sistem pemipaan dapat berupa gambar P&ID (*piping and instrumentation diagram*), tata letak peralatan pabrik (*plot plan*), gambar peralatan (*equipment*), dan gambar isometri.

Gambar diagram perpipaan dan instrumentasi merupakan *master plan* dari suatu instalasi pabrik seperti industri proses, industri pembangkit listrik, dan lain sebagainya. Diagram ini memuat instruksi umum bagi penggambaran dan cara kerja *plant* tersebut. P&ID mempunyai keterkaitan yang erat dengan gambar-gambar diagram aliran proses, proses perpipaan, dan diagram instrumentasi, serta perpipaan utilitas dan diagram instrumentasinya (Pratama, 2015).

Gambar peralatan dalam desain sistem perpipaan adalah peralatan yang dihubungkan dengan pipa antara yang satu dengan yang lainnya, seperti tangki bertekanan, pompa, kompresor dan lain-lain. Pada umumnya gambar peralatan ini direncanakan oleh pabrik pembuatnya dengan ketentuan yang dilengkapi oleh spesifikasi, data perencanaan beserta perhitungan (bila diminta), sehingga didalam merencanakan tata letak pipa dan peralatan hanya perlu ditambahkan pembuatan anjungan (*plat form*) serta peralatan lainnya yang akan diletakkan pada peralatan itu dan tidak diberikan oleh penjual peralatan yang dikenal sebagai vendor. Gambar peralatan ini haruslah diusahakan datanya selengkap mungkin untuk memudahkan perencanaan penggambaran perpipaan, karena itu letak atau posisi *nozzle* (cerobongnya) harus benar-benar tepat, baik koordinat lokasi, orientasi,

elevasi, ukuran dan *rating* (tekanan) yang diizinkan serta penempatan instrumentasi dan perlengkapan yang dibutuhkan.

Dalam suatu perpipaan, untuk mengontrol dan mengetahui kondisi fluida yang ada dalam sistem perpipaan perlu ditambahkan alat-alat ukur seperti alat ukur tekanan, suhu, level ketinggian fluida, dan peralatan kontrolnya. Alat-alat ukur dan peralatan pengontrol ini dikenal dengan istilah instrumentasi. Dari master plan ini, model suatu *plant* dibuat. Dari gambar P&ID ini seluruh jenis penggambaran konstruksi ditentukan atau dibuat. Pada umumnya penggambaran P&ID adalah suatu bentuk penggambaran yang cukup rumit dan harus menggunakan simbol-simbol yang benar menurut standar internasional. Penggambaran P&ID memuat informasi lengkap yang diperlukan untuk *layout* (tata letak) sistem perpipaan, alur operasi, dan data sesuai prosesnya (Putranto, 2017).

Gambar isometri merupakan gambar pelaksanaan suatu konstruksi perpipaan. Sehingga seorang mandor atau kepala mandor haruslah benar-benar menguasai cara membaca gambar serta pelaksanaan konstruksinya, begitu juga apabila ingin mengadakan pengoperasian baik pemeliharaan atau perbaikan kilang. Gambar isometri tidak menunjukkan skala yang sebenarnya, karena poin pentingnya adalah arah dan peletakannya, tetapi gambar isometri dibuat tetap profesional. Tujuan *piping drawing* baik itu gambar isometri atau yang lainnya adalah untuk memberikan informasi yang detail agar suatu *plan* benar-benar dapat dikonstruksi.

2.6 Penentuan dan Pemilihan Pompa

Untuk menentukan pompa yang akan dipakai, diperlukan *head* pada sistem dan debit air yang dibutuhkan. *Pumped storage* yang memanfaatkan sungai sebagai *reservoir* maka diperlukan pengukuran debit dari sungai tersebut. Pengukuran debit dimulai dengan pengukuran penampang basah sungai dan kecepatan aliran sungai.

Luas penampang basah sungai (Rimbawati, 2021) dapat di tentukan menggunakan persamaan berikut:

$$A = \frac{D_1+D_2+D_3+D_n}{n} \times L \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

- A = Luas penampang basah (m²)
- D_n = Kedalaman titik n pada sungai (m)
- n = Jumlah data
- L = Lebar aliran sungai (m)

Selanjutnya kecepatan air sungai (Rimbawati, 2021) dapat dihitung rata-ratanya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v = \frac{v_1+v_2+v_3+vn}{n} \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

- v = Kecepatan air sungai (m/s)
- n = Jumlah data

Luas penampang basah dan kecepatan aliran yang diukur pada sungai digunakan dalam menentukan debit sungai, adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung besar debit sungai yaitu:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2-4)$$

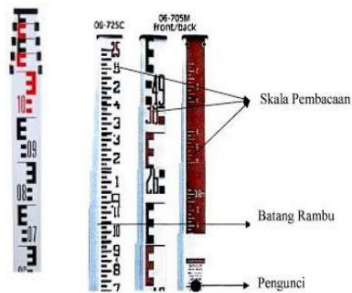
Dimana :

Q = Debit sungai (m³/s)

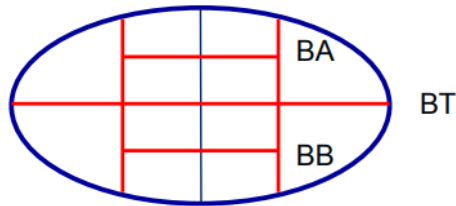
Pompa harus mempunyai daya yang dapat mengatasi *head* dan *pressure drop* tiap peralatan dan *pressure drop* sistem. Dalam menentukan *head* perlu diketahui beda elevasi permukaan air. Pengukuran elevasi dapat diukur dengan menggunakan *theodolite*.

Theodolite adalah alat yang digunakan mengukur jarak, beda tinggi, sudut vertikal, sudut horizontal dan mampu mengukur daerah landai maupun terjal. Pada pengukuran *theodolite* parameter yang di ukur adalah beda tinggi, beda tinggi didefinisikan sebagai perbedaan ketinggian antar dua titik atau lebih. Beda tinggi dapat diukur dengan cara sipat datar (*levelling*), yang merupakan suatu metoda penentuan tinggi relatif dari beberapa titik di atas datum atau di bawah suatu bidang acuan tersebut sebagai referensi. Pada kenyataanya pengukuran beda tinggi adalah penentuan vertikal dari titik tersebut dengan garis penyipat datar alat yang ditempatkan di atas statif (Muzayanah, 2020).

Dalam aplikasi praktis, *levelling* dilakukan dengan bantuan *theodolite* dan bak ukur. Bak ukur atau rambu berasal dari aluminium, mempunyai panjang 3 m, 4 m, dan 5 m. Cara memegangnya harus vertikal. Pada bak ukur di dapatkan pembacaan rambu ukur berupa benang atas (BA), benang tengah (BT), dan benang bawah (BB) (Muzayanah, 2020).



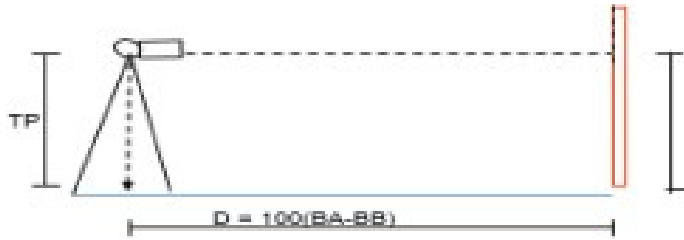
Gambar 2.9 Bak Ukur
 Sumber: Muzayanah, 2020



Gambar 2.10 Benang Diafragma
 Sumber: Muzayanah, 2020

Dalam pengukuran ditentukan titik pengukuran, unsur yang diukur dalam pembuatan titik adalah pembacaan rambu ukur (BA, BT, BB), sudut vertikal dan sudut horisontal. Titik detail yang diukur, dipilih sedemikian rupa sehingga kekurangan data dapat diminimalisasi, baik untuk menggambarkan posisi bangunan atau jalan maupun untuk menggambarkan garis kontur (Muzayanah, 2020).

Dengan penentuan titik-titik pengukuran, maka dapat dihitung jarak antar titik. Pengukuran jarak menggunakan *theodolite* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.11 Pengukuran Jarak dengan *Theodolite*
 Sumber: Muzayanah, 2020

Dimana

TP = Tinggi pesawat

BA = Bacaan benang atas

BT = Bacaan benang tengah

BB = Bacaan benang bawah

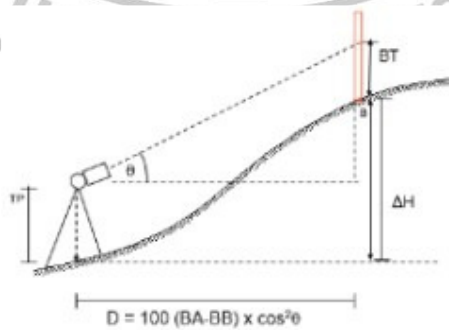
α = Sudut vertikal

Jarak dari A ke B (Muzayanah, 2020) adalah

$$D = (BA - BB) \times 100 \dots\dots\dots (2-5)$$

Dengan catatan sudut vertikal = 90°

Jika sudut vertikal lebih kecil atau lebih besar dari 90° maka perhitungan akan seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.12 Pengukuran Beda Tinggi
 Sumber: Muzayanah, 2020

$$D = (BA - BB) \times 100 \cos^2\theta \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana

$$\theta = 90 - \alpha \dots\dots\dots (2-7)$$

Berdasarkan Gambar 2.12 dapat di hitung beda tinggi (ΔH), dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta H = TP \pm D \tan \theta - BT \dots\dots\dots (2-8)$$

Dari pengukuran dan perhitungan dapat diketahui beda tinggi titik pengukuran yang digunakan sebagai jalur pemipaan. Selanjutnya menentukan besar *pressure drop*. Besar *pressure drop* sistem tergantung pada komponen yang terdapat pada sistem dan instalasinya. *Pressure drop* terdiri dari *major* dan *minor losses*. *Major losses* berupa *friction losses*, sedangkan *minor losses* disebut *head dinamis* yang diakibatkan oleh kecepatan alir baik pipa lurus maupun komponen penunjang seperti alat ukur tekanan, suhu, pipa belokan dan lurus, cabang, serta *valve*.

Persamaan Bernoulli pada saluran tertutup (Hendryk Kudela, 2009), dapat dihitung dengan persamaan.

$$H = Z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2-9)$$

Dimana :

- Z = Elevation head (m)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
- γ = Viskositas kinematik (m²/s)
- V = Kecepatan fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

Untuk menghitung *head mayor losses* menggunakan rumus darcy-weisbac (Hendryk Kudela, 2009), dapat dihitung dengan persamaan.

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2-10)$$

Dimana:

h_f = *Head loss* yang terjadi (m)

f = Koefisien *friction*

D = Diameter pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan air (m/s)

g = Gaya gravitasi (9,8 m/s²)

Koefisien friksi menggunakan dicari menggunakan *moody chart* yaitu dengan menghubungkan besarnya bilangan Reynold dengan perbandingan koefisien kekasaran dan diameter pipa. Rumus mencari bilangan Reynold (Hendryk Kudela, 2009) yaitu:

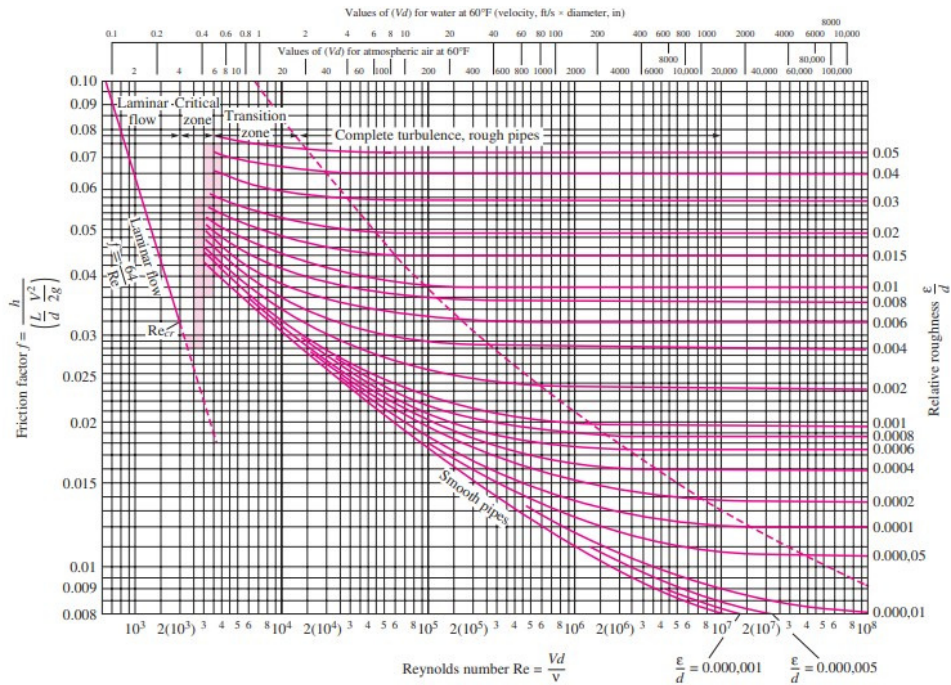
$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2-11)$$

Dimana:

Q = Debit pada pipa (m³/s)

D = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas kinematis (m²/s)



Gambar 2.13 Diagram *Moody*
 Sumber: White, 2009

Untuk besarnya koefisien kekasaran, tergantung pada jenis bahan pipa yang dipakai. Besarnya koefisien kekasaran dapat dilihat pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Koefisien Kekasaran (Darcy Weisbach)

<i>Piping Materials</i>	<i>Roughness, ϵ (mm)</i>
<i>Cast Iron</i>	0,26
<i>Commercial Steel and Wrought Iron</i>	0,045
<i>Concrete</i>	0,3-3,0
<i>Drawn Tubing</i>	0,0015
<i>Galvanized Iron</i>	0,15
<i>Plastic (and Glass)</i>	0,0 (<i>Smooth</i>)
<i>Riveted Steel</i>	0,9-9,0

Sumber : James Michael Mcdonough, 2009

Tabel 2.9 Koefisien Kekasaran (Hazen William)

<i>Material</i>	<i>C-Factor</i>
<i>Asbestos Cement</i>	140/150
<i>Brass</i>	120/150
<i>Black steel (dry system)</i>	100
<i>Black steel (wet system)</i>	120
<i>Cast iron – New unlined</i>	120/130
<i>Cast iron – 10 years old</i>	105/75
<i>Cast iron – 15 years old</i>	100/60
<i>Cast iron – 20 years old</i>	95/55
<i>Cast iron – 30 years old</i>	85/45
<i>Cast iron – 50 years old</i>	75/40
<i>Cast iron-Bitumen-lined</i>	140
<i>Cast iron-Cement-lined</i>	140
<i>Concrete</i>	85/150
<i>Copper</i>	120/150
<i>Fibre glass pipe</i>	150/160
<i>Fire house (rubber)</i>	135
<i>Galvanized steel</i>	120
<i>Lead</i>	130/150
<i>Polyethylene</i>	150
<i>PVC and plastic pipe</i>	150
<i>Steel new and unlined</i>	140/150
<i>Steel, welded and seamless</i>	100
<i>Vitrified clays</i>	110

Sumber: Stamenic, 2015

Sedangkan untuk *minor losses* (Kudela, 2009) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h_l = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-12)$$

Dimana:

- h_l = *Minor losses* (m)
 K = *Loss coefficient*
 v = Kecepatan aliran (m/s)
 g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

Selanjutnya menghitung total *head* (Sularso,1987) berdasarkan pengukuran elevasi dan *pressure drop* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H_{tot} = H_a + H_{f_{tot}} + \frac{v^2}{2g} \quad (2-13)$$

Dimana:

- H_{tot} = *Head total* (m)
 H_a = *Beda tinggi permukaan* (m)
 $H_{f_{tot}}$ = *Pressure drop total (mayor loss+minor loss)*

Dengan diketahuinya *head* atau *pressure drop* maka dapat memungkinkan terjadinya kavitasi, kavitasi akan terjadi bila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Jadi, untuk menghindari kavitasi, harus diusahakan agar tidak ada satu bagian pun dari aliran di dalam pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Dalam hal ini perlu diperhatikan dua macam tekanan yang memegang peran. Pertama, tekanan yang ditentukan oleh kondisi lingkungan di mana pompa di pasang, dan kedua, tekanan yang ditentukan oleh keadaan aliran di dalam pompa (Sularso, 1987).

Head isap netto atau NPSH didefinisikan untuk digunakan sebagai ukuran keamanan pompa terhadap kavitasi. Terdapat 2 macam NPSH yaitu NPSH yang tersedia pada suatu sistem (instalasi), dan NPSH yang diperlukan untuk pompa.

1. NPSH Yang Tersedia

NPSH yang tersedia adalah *head* yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa (ekivalen dengan tekanan mutlak pada sisi isap pompa), dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair di tempat tersebut. Pompa yang mampu mengisap zat cair dari tempat terbuka (dengan tekanan atmosfer pada permukaan zat cair), besar nilai NPSHnya dapat dituliskan sebagai berikut: (Sularso, 1987)

$$NPSHa = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{ls} \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana:

NPSHa = *Head* total (m)

P_a = Tekanan atmosfer (kgf/m^2)

$$= 10,33 \left[1 - \frac{0,0065h^{5,256}}{288} \right], h = \text{elevasi (m)} \dots\dots\dots (2-15)$$

P_v = Tekanan uap jenuh (kgf/m^2)

γ = Berat zat cair per satuan volume (kgf/m^3)

H_s = *Head* isap statis (m)

H_{ls} = Kerugian *head* dalam pipa *suction* (m)

2.7 Analisis Ekonomi

2.7.1 Biaya Investasi

Biaya investasi awal *pumped storage hydropower* mencakup biaya-biaya seperti biaya peralatan, biaya pekerjaan, dan biaya lainnya.

2.7.2 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun adalah sebagai berikut (Kossi V.R 2018):

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi}$$

2.7.3 Biaya Siklus Hidup

Menurut (Kossi, V. R. 2018). Biaya siklus hidup (*life cycle cost*) suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem *pumped storage* yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional.

Biaya siklus hidup (LCC) di perhitungkan dengan rumus sebagai berikut (Kossi V.R 2018):

$$LCC = C + M_{PW} \dots \dots \dots (2-16)$$

Dimana:

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*).

C = Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen- komponen *pumped storage*, biaya instalasi dan biaya lainnya.

M_{PW} = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa tahun mendatang (selama umur proyek), dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan rumus sebagai berikut (Kossi V.R 2018):

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (2-17)$$

Dimana:

M_{PW} = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek

A = Biaya tahunan

i = Tingkat diskonto

n = Umur proyek

2.7.4 Faktor Diskonto

Faktor diskonto (*discount factor*) adalah faktor yang digunakan untuk menilaisekarangkan penerimaan-penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Adapun rumus faktor diskonto adalah sebagai berikut (Kossi V.R 2018):

$$DF = \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (2-18)$$

Dimana :

DF = Faktor diskonto

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

2.7.5 Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Menurut (Kossi, V. R. 2018). Perhitungan biaya energi ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC) dan faktor pemulihan modal (CRF).

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (2-19)$$

Dengan n adalah periode (umur) proyek.

Menurut Xia, Tia, (2021), perumusan biaya energi adalah sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AKWH} \dots\dots\dots (2-20)$$

Dimana:

COE = *Cost of energy* / biaya energi (Rp/kWh)

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*)

CRF = Faktor pemulihan modal, berdasarkan pada *discount rate* (i)

AKWH = Energi yang dibutuhkan untuk *pumping* (kWh/tahun)

2.7.5 Analisis Kelayakan Investasi

Menurut (Kossi, V. R. 2018). Kelayakan investasi ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Payback Period* (PP).

1. *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskon (*discount factor*). Untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) dipergunakan rumus sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \dots\dots\dots (2-21)$$

Dimana:

II = *Initial Investment*

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dinilai layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai positif(> 0).

- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai *negative* (< 0).

2. *Profitability Index* (PI)

Profitability Index merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*). Teknik *profitability index* dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{I} \dots\dots\dots (2-22)$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dinilai layak, apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih besar dari satu (>1).
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih kecil dari satu (< 1).

2.7.6 *Internal Rate of Return* (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) merupakan suatu tingkat bunga yang menunjukkan nilai bersih sekarang (NPV) sama dengan jumlah seluruh investasi usaha. Nilai IRR menunjukkan nilai aktual pengembalian dari suatu usaha.

Menurut Sivakumar (2014), rumus yang digunakan dalam perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1) \dots\dots\dots (2-23)$$

Keterangan:

i1 = nilai suku bunga rendah

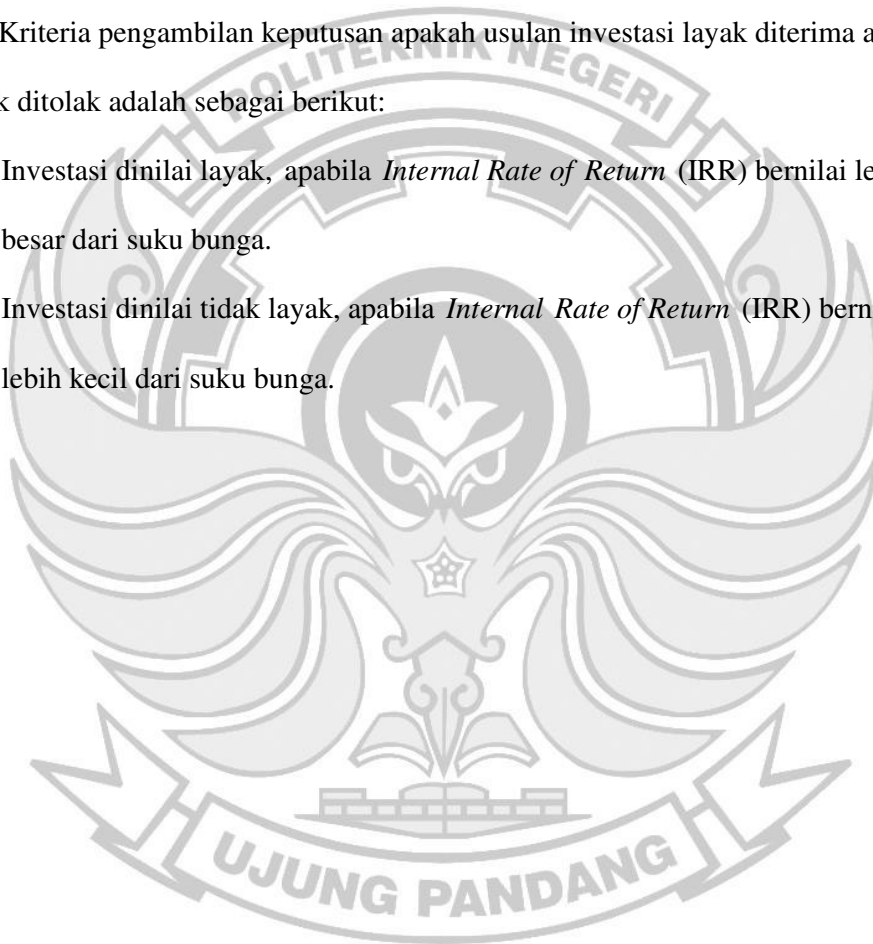
i2 = nilai suku bunga tinggi

NPV1 = NPV rendah

NPV2 = NPV tinggi

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dinilai layak, apabila *Internal Rate of Return* (IRR) bernilai lebih besar dari suku bunga.
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila *Internal Rate of Return* (IRR) bernilai lebih kecil dari suku bunga.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai Juni 2023 di Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro atau PLT Minihidro PT Tombolo Energi yang memanfaatkan aliran sungai Salo Tangka di Desa Pao Kecamatan Tombolo Pao Kabupaten Gowa.



Gambar 3.1 Lokasi Jalur *Waterways*, Bendungan, dan *Headpond* PLT Minihidro Tombolo Energi
Sumber: Google Earth



Gambar 3.2 Lokasi Perencanaan *Pumped Storage Hydropower*
Sumber: Google Earth



(a)

(b)

Gambar 3.3 Potensi Lokasi *Reservoir* PLT Minihidro Tombolo Energi
(a) *Lower Reservoir*; (b) *Upper Reservoir*

3.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Current Flow Meter*
2. *Online Altimeter*
3. Meteran
4. *Software Google Earth*
5. *Software AutoCAD*
6. *Software Epanet*
7. *Software SketcUp*
8. *Software Inventor*
9. *Theodolite*
10. Bak Ukur

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Dalam menganalisis perancangan *pumped storage hydropower* dalam pemenuhan kuota air PLT Minihidro Tombolo Energi, terdapat beberapa tahap yang diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan data debit pada sungai Salo Tangka.

Alat yang digunakan untuk pengambilan data debit adalah *current flow meter* dan bak ukur. Adapun parameter yang diukur yaitu kecepatan aliran sungai, lebar sungai, kedalaman sungai, dan panjang sungai yang akan digunakan sebagai *lower reservoir*.

2. Melakukan pengambilan data *head* dari sungai Salo Tangka sampai pada saringan *waterways*.

Alat yang digunakan untuk pengambilan data *head* adalah *thedolite* dan bak ukur. Adapun parameter yang diukur adalah benang atas, benang bawah, sudut vertikal, sudut horizontal, titik instrumen, dan tinggi instrumen.

3. Menyajikan data dalam bentuk tabel atau gambar.

Mengumpulkan semua data pengukuran pada poin (1) dan (2) kemudian disajikan dalam bentuk tabel atau gambar.

3.4 Teknik Analisis Data

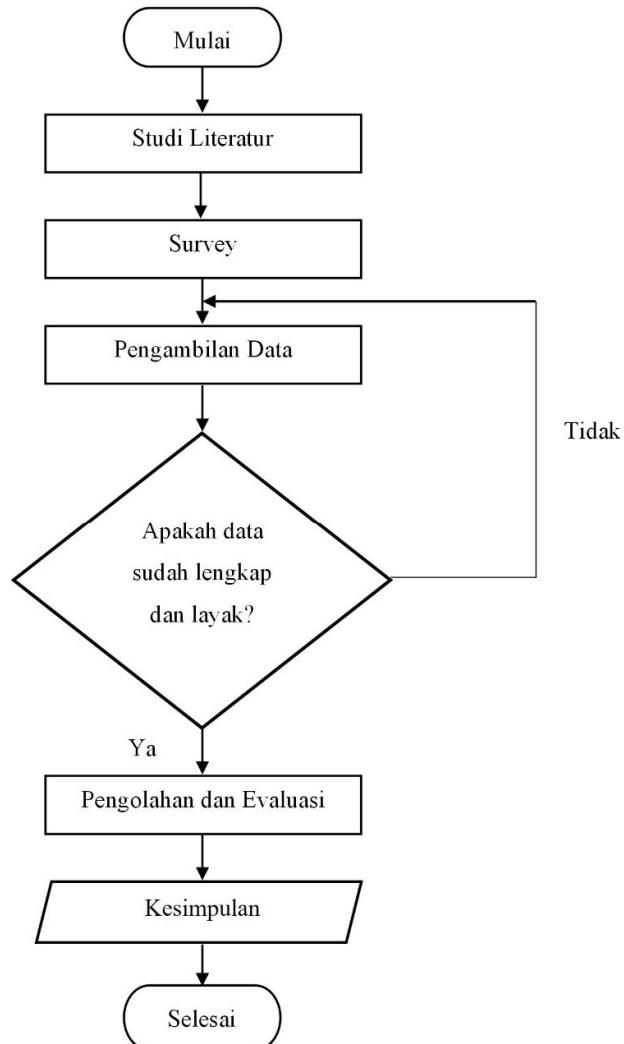
Setelah dilakukan pengambilan data, selanjutnya akan dilakukan pengolahan data, pengolahan data dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan debit dengan menghitung rata-rata kecepatan aliran dan luas penampang basah.
2. Melakukan perhitungan volume untuk *lower reservoir* dengan menghitung rata-rata lebar sungai, rata-rata kedalaman sungai, dan panjang sungai rencana *reservoir*.
3. Menentukan jalur pemipaan dengan menghitung elevasi antar *reservoir*. Untuk menghitung elevasi antar *reservoir* perlu dilakukan perhitungan jarak datar dan beda tinggi terlebih dahulu.
4. Menentukan ukuran pipa dalam jalur pemipaan dengan simulasi *line sizing* pada Epanet.
5. Menghitung *head loss* pada jalur pemipaan berupa *major loss* dan *minor loss*. Dari hasil perhitungan *head loss* ini dapat dihitung *head* total untuk *pumped storage hydropower*.
6. Melakukan pemilihan pompa berdasarkan perhitungan debit dan *head*. Dengan pemilihan pompa ini dapat diketahui besarnya NPSHr dan NPSHa.
7. Berdasarkan pengolahan data didapatkan desain dari sistem *pumped storage hydropower* dalam bentuk gambar 2 dimensi dan 3 dimensi, dan hasil pengujian simulasi menggunakan *software* Epanet.

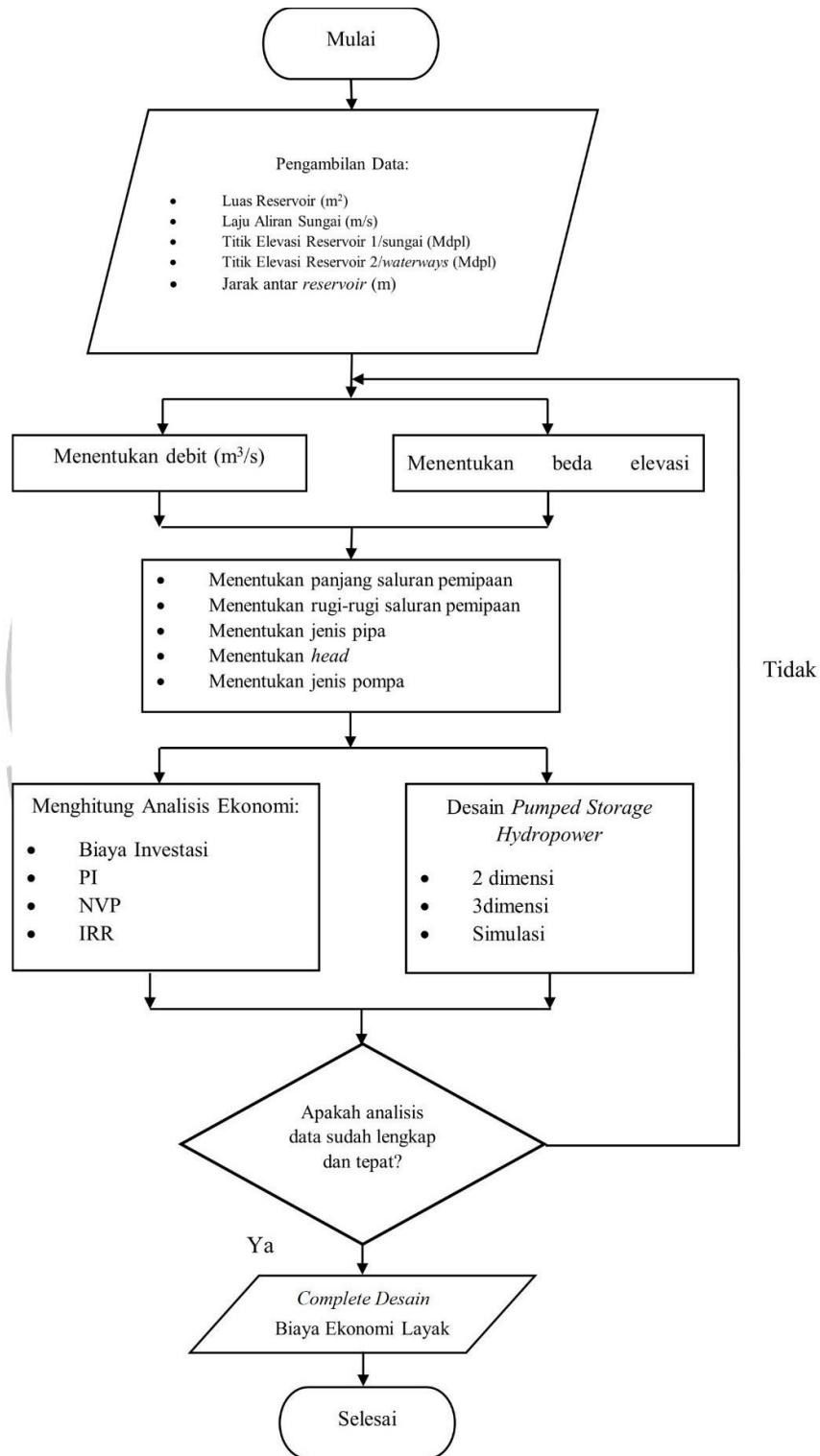
8. Melakukan perhitungan analisis ekonomi dengan menghitung besar biaya investasi awal, biaya O&M, menghitung biaya siklus hidup.
9. Melakukan perhitungan kelayakan investasi dengan menghitung biaya energi, arus kas masuk, NVP, PI dan IRR berdasarkan tingkat suku bunga yang diambil.
10. Menarik kesimpulan dari analisis yang dilakukan.



3.5 Diagram Alir



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian



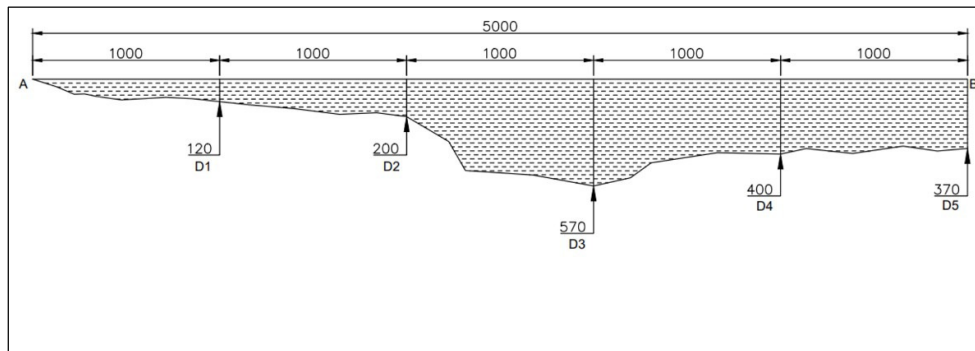
Gambar 3.5 Diagram Alir Analisis Data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Head dan Debit Pumped Storage

4.1.1 Debit Pumped Storage

4.1.1.1 Perhitungan Penampang Basah Sungai



Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Kedalaman Air Sungai

Berdasarkan Gambar 4.1 hasil pengukuran kecepatan dan kedalaman air sungai, pengukuran dilakukan dengan menggunakan *current flow meter* dimana metode pengukuran kecepatan yang dilakukan adalah 1 titik. Metode ini dilakukan jika kedalaman sungai berkisar antara 0,3-0,6 m dengan titik pengamatan 0,6 m. Adapun hasil pengukuran kecepatan sungai dengan *current flow meter* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Kecepatan dan Kedalaman Sungai

Kecepatan Aliran Sungai	
Titik	V (m/s)
D1	0,1
D2	0,1
D3	0,4
D4	0,2
D5	0,1

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 data hasil pengukuran kecepatan dan kedalaman air sungai lebar 5 meter, maka dapat hitung penampang basah sungai dengan menggunakan persamaan (2-2).

$$A = \frac{D1 + D2 + D3 + Dn}{n} \times L$$

$$A = \frac{(0,12 + 0,2 + 0,57 + 0,4 + 0,37) \text{ m}}{5} \times 5 \text{ m}$$

$$A = 1,66 \text{ m}^2$$

4.1.1.2 Perhitungan Kecepatan Air

Berdasarkan Gambar 4.1 hasil pengukuran kecepatan dan kedalaman air sungai lebar 5 meter, maka dapat dihitung rata-rata laju aliran air dengan menggunakan persamaan (2-3).

$$v = \frac{v1 + v2 + v3 + vn}{n}$$

$$v = \frac{(0,1 + 0,1 + 0,4 + 0,2 + 0,1) \text{ m/s}}{5}$$

$$v = 0,18 \text{ m/s}$$

4.1.1.3 Perhitungan Laju Aliran

Berdasarkan hasil perhitungan luas penampang basah dan kecepatan rata-rata sungai, maka selanjutnya dapat di tentukan debit aliran air dengan menggunakan persamaan (2-3)

$$Q = A \times V$$

$$Q = 1,66 \text{ m}^2 \times 0,18 \text{ m/s}$$

$$Q = 1,66 \text{ m}^2 \times 0,18 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,298 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka nilai laju aliran sungai adalah $0,298 \text{ m}^3/\text{s}$, nilai tersebut yang akan digunakan dalam acuan penentuan spesifikasi pompa yang akan digunakan. Berdasarkan hasil perhitungan debit air PLT Minihidro Tombolo Energi di dapatkan besar debit tiap bulan sepanjang Tahun 2007.

Tabel 4.2 Debit Air Tahunan PLT Minihidro Tombolo Energi

Bulan	Debit (m^3/s)
Januari	12,07
Februari	15,76
Maret	6,71
April	10,51
Mei	4,34
Juni	5,33
Juli	1,70
Agustus	0,79
September	0,36
Oktober	2,00
November	3,80
Desember	10,94

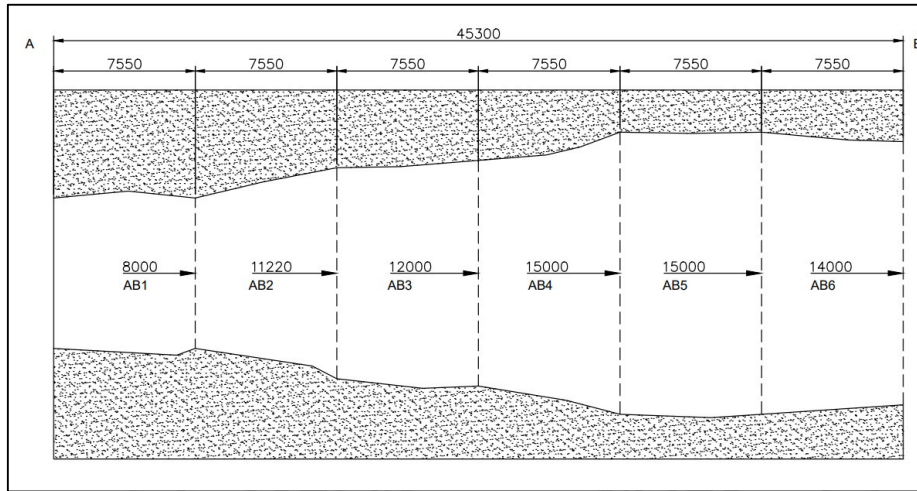
Berdasarkan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa debit aliran sungai $0,298 \text{ m}^3/\text{s}$ pada bulan September memungkinkan digunakan untuk pemenuhan debit skema 1, dan pada bulan Juli, Agustus, dan Oktober digunakan untuk pemenuhan debit skema 2.

Tabel 4. 3 Pemenuhan Kekurangan Debit Berdasarkan Skema Operasi PLT Minihidro PT Tombolo Energi

Bulan	Skema	Debit			
		Kebutuhan PLT Minihidro (m ³ /s)	Suplai dari <i>waterways</i> (m ³ /s)	Kekurangan (m ³ /s)	Tersedia dari sungai (m ³ /s)
Juli	2	2,98	1,70	1,28	0,298
Agustus	2	2,98	0,79	2,19	
September	1	0,61	0,36	0,25	
Oktober	2	2,98	2,00	0,98	

Berdasarkan Tabel 4.3, debit sungai tersedia dapat memenuhi kekurangan debit secara keseluruhan pada bulan September, dimana pada bulan September kekurangan debit sebesar 0,25 m³/s dan debit sungai tersedia sebesar 0,298 m³/s. Maka nilai debit 0,25 m³/s digunakan sebagai acuan dalam penentuan pompa. Adapun pada bulan Juli, Agustus dan Oktober, debit suplai dari *waterways* lebih besar dari debit yang dibutuhkan pada skema 1 sehingga masuk pada rentang debit operasi skema 2 yaitu pada rentang debit 0,61-2,98 m³/s. Berdasarkan hal tersebut, debit yang menjadi acuan penentuan pompa yaitu 0,25 m³/s dapat menambah suplai *waterways* untuk meningkatkan dayaangkitan PLT Minihidro pada Juli, Agustus dan Oktober, walaupun tidak secara keseluruhan seperti pada bulan September.

4.1.1.4 Perhitungan Volume *Reservoir* Bawah



Gambar 4.2 Panjang Sungai untuk Rencana *Reservoir*

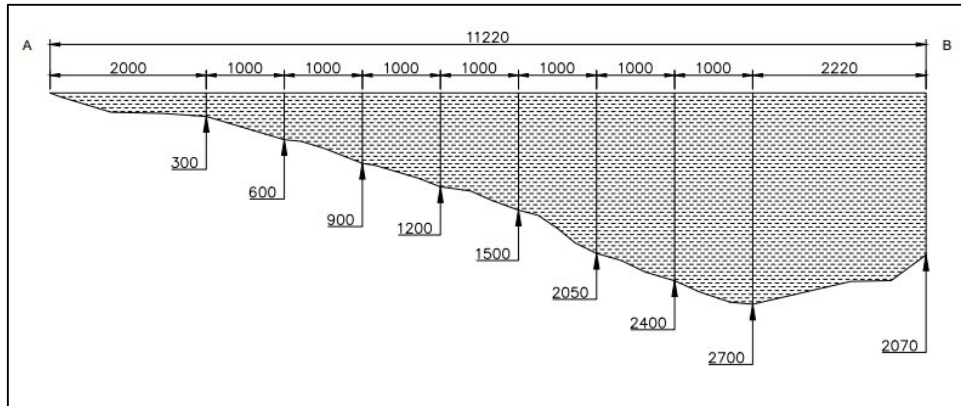
Berdasarkan Gambar 4.2, panjang sungai untuk rencana *reservoir*, dapat di hitung rata-rata lebar sungai yaitu:

$$L = \frac{AB1 + AB2 + AB3 + ABn}{n}$$

$$L = \frac{(8 + 11,22 + 12 + 15 + 15 + 14) \text{ m}}{6}$$

$$L = 12,5 \text{ m}$$

$$P = 45,3 \text{ m}$$



Gambar 4.3 Lebar Sungai Titik AB2

Berdasarkan Gambar 4.3 Lebar Sungai Titik AB2, dapat di hitung kedalaman sungai rata-rata yaitu:

$$T = \frac{D1 + D2 + D3 + Dn}{n}$$

$$T = \frac{(0,3 + 0,6 + 0,9 + 1,2 + 1,5 + 2,05 + 2,4 + 2,7 + 2,07) \text{ m}}{9}$$

$$T = 1,53 \text{ m}$$

Sehingga volume *reservoir* bawah yaitu:

$$V_{reservoir} = P \times L \times T$$

$$V_{reservoir} = 45,3 \text{ m} \times 12,5 \text{ m} \times 1,53 \text{ m}$$

$$V_{reservoir} = 866,36 \text{ m}^3$$

4.1.2 Penentuan Jalur Pemipaan

4.1.2.1 Menghitung Elevasi antar *Reservoir*

Berdasarkan Lampiran A.1 Tabel data hasil pengukuran dengan *theodolite* data pertama pada halaman lampiran, di dapatkan parameter pengukuran sebagai berikut:

Tinggi <i>Instrument</i> (i)	=	1,515 m
Sudut Horizontal	=	0° 0' 0"
Sudut Vertikal (α)	=	90° 0' 0"
Benang Atas (BA)	=	0,545 m
Benang Tengah (BT)	=	0,501 m
Benang Bawah (BB)	=	0,460 m

1) Sudut θ

Sudut θ dapat ditentukan dengan persamaan (2.7)

$$\theta = 90 - \alpha$$

Dengan

$$\alpha = 90^{\circ} 0' 0''$$

$$\alpha = 90 + \frac{0}{60} + \frac{0}{3600} = 90^{\circ}$$

Sehingga

$$\theta = 90 - \alpha$$

$$\theta = 90 - 90$$

$$\theta = 0^{\circ}$$

2) Jarak datar

Jarak datar dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6)

$$D = (BA - BB) \times 100 \cos^2 \theta$$

$$D = (0,545 \text{ m} - 0,460 \text{ m}) \times 100 \cos^2 0^{\circ}$$

$$D = 8,5 \text{ m}$$

3) Beda tinggi

Beda tinggi di hitung dengan persamaan (2-8)

$$\Delta H = i \pm D \tan \theta - BT$$

Data pertama digunakan sebagai acuan titik elevasi sehingga beda tinggi = 0, dan nilai elevasi di ambil dari pengukuran GPS *realtime* sehingga di dapatkan nilai elevasi 870,4326 mdpl. Untuk hasil analisis data selanjutnya, dapat dilihat pada halaman lampiran B.

Berdasarkan tabel hasil analisis data pengukuran menggunakan *theodolite* pada halaman lampiran B dan survei lapangan, dapat ditentukan titik-titik perancangan jalur pemipaan, yaitu:

Tabel 4.4 Elevasi Titik Rencana Jalur Pemipaan

<i>Suction</i>		<i>Discharge</i>	
Titik	Elevasi (mdpl)	Titik	Elevasi (mdpl)
Ujung pipa <i>suction</i>	803,2947	Belokan 1 <i>elbow</i> 45°	806,2947
Belokan 1 <i>elbow</i> 90°	804,2947	Belokan 2 <i>elbow</i> 45°	824,6663
		Belokan 3 <i>elbow</i> 45°	824,6663
		Ujung pipa <i>discharge</i>	865,6224

4.1.3 Line Sizing

Dalam menentukan ukuran pipa yang akan digunakan maka dilakukan simulasi menggunakan Epanet 2.2 berdasarkan data Tabel 4.3. Adapun parameter inputnya yaitu:

Kebutuhan debit = 0,25 m³/s atau 250 L/s

Variasi diameter pipa = 1 – 20 inch

Elevasi titik *juntion* berdasarkan Tabel 4.3

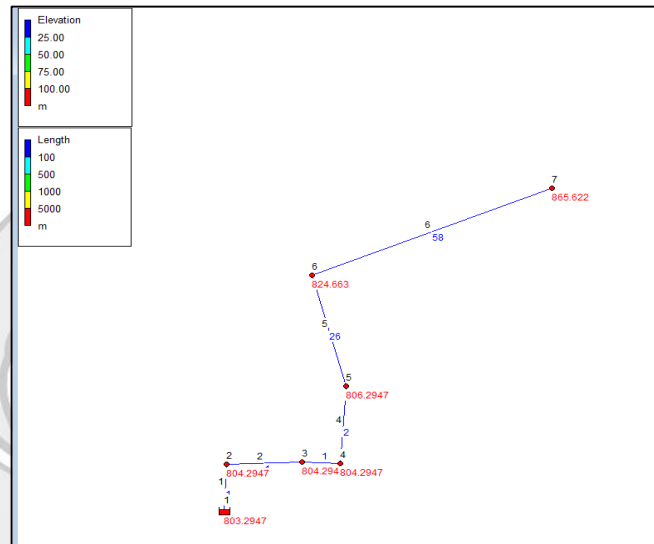
Koefisien gesek berdasarkan Tabel 2.8

Jarak tiap *juntion*

Adapun target simulasi yaitu:

Tekanan = Kurang dari 70 mH₂O

Laju aliran = Kurang dari 4 m/s



Gambar 4.4 Rangkaian Simulasi *Line Sizing*

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Epanet 2.2 pada Lampiran C, dengan target yang telah ditentukan didapatkan bahwa mulai dari pipa 12 inch sampai 20 inch telah memenuhi target simulasi, sehingga akan digunakan pipa 12 inch dalam perancangan *pumped storage*. Hasil simulasi untuk pipa 12 inch yaitu:

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation (m)</i>	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,05
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,11
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,16
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,26
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-23,00
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-67,02
<i>Reservoir 1</i>	803,2947	-	0,00

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length (m)</i>	<i>Diameter (mm)</i>	<i>Roughness</i>	<i>Velocity (m/s)</i>
<i>Pipe 1</i>	1	304,8	100	3,43
<i>Pipe 2</i>	1	304,8	100	3,43
<i>Pipe 3</i>	1	304,8	100	3,43
<i>Pipe 4</i>	2	304,8	100	3,43
<i>Pipe 5</i>	26	304,8	100	3,43
<i>Pipe 6</i>	58	304,8	100	3,43

4.1.4 Head Loss

Suhu air sungai adalah 30° C, sehingga didapatkan nilai

$$\text{Viskositas Kinematis (v)} = 0,801 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (Sularso,1987)}$$

$$\text{Massa Jenis (}\rho\text{)} = 995,7 \text{ kg/m}^3 \text{ (Sularso,1987)}$$

Kecepatan aliran air dalam pipa dengan debit aliran 0,25 m³/s dan diameter pipa 12 inch (0,3048 m) dapat di tentukan dengan persamaan (2-3).

$$Q = A \times v$$

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

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{4 \times 0,25 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times (0,3048 \text{ m})^2}$$

$$v = 3,43 \text{ m/s}$$

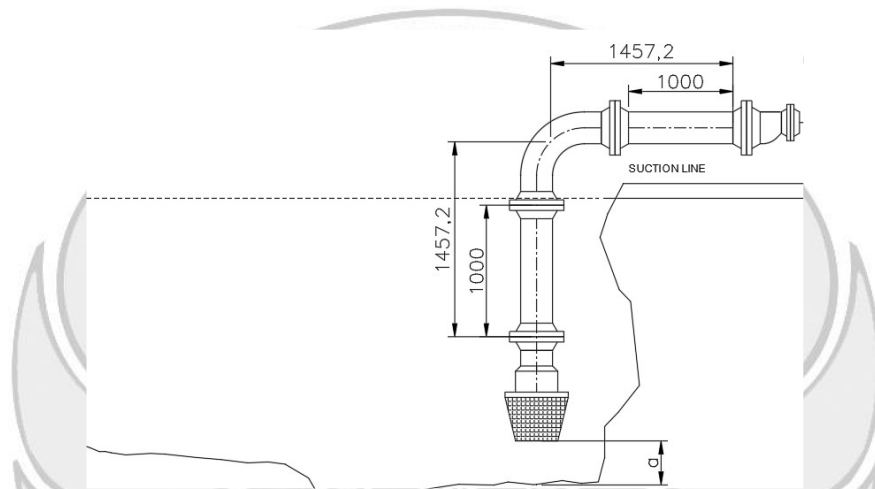
Selanjutnya Bilangan Reynold dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan (2-11)

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{3,43 \text{ m/s} \times 0,3048 \text{ m}}{0,801 \text{ m}^2/\text{s} \times 10^{-6}}$$

Re = 1.303.775, Aliran Turbulen

4.1.4.1 Head Loss pada Sisi Suction



Gambar 4.5 Double Line Drawing Untuk Suction Pipe

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada pipa suction akan di gunakan berapa peralatan, dimana terdapat *foot valve* sebagai pengaman untuk menghindari *backflow* pada pipa suction, *long radius elbow 90°*, sebuah *eccentric reducer 12x8* yang menuju ke pompa, dan pipa 12 inch. Peralatan ini menyebabkan *losses* pada sisi suction, *major loss* pada pipa 12 inch dan peralatan lainnya adalah *minor loss*.

1. *Foot Valve* 12 inch

$f = 1,72$ (Sularso,1987)

$$H_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 1,72 \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 1,0301 \text{ m}$$

2. *Long Radius Elbow 90° 12 inch*

$$f = [0,131 + 1,847 \times \left(\frac{D}{2\text{Rad}}\right)^{3,5}] \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \text{ (Sularso,1987)}$$

$$\text{Rad} = 1 \frac{1}{2} \times \text{Nominal Size (Roy A., 2002)}$$

$$\text{Rad} = 1 \frac{1}{2} \times 12 \text{ inch} = 18 \text{ inch}$$

$$f = [0,131 + 1,847 \times \left(\frac{12 \text{ inch}}{2 \times 18 \text{ inch}}\right)^{3,5}] \left(\frac{90}{90}\right)^{0,5}$$

$$f = 0,17$$

Sehingga,

$$H_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 0,17 \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,1021 \text{ m}$$

3. *Eccentric Reducer 12x8 inch*

$$f = 0,36 \text{ (Sularso,1987)}$$

$$H_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 0,36 \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,2156 \text{ m}$$

4. *Pipa 12 inch*

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \text{ (Sularso,1987)}$$

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{0,3048} = 0,021$$

Sehingga Hf untuk 1 meter pipa 12 inch yaitu

$$H_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$H_f = 0,021 \frac{1 \text{ m} (3,43 \text{ m/s})^2}{0,3048 \text{ m} 2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,0425 \text{ m}$$

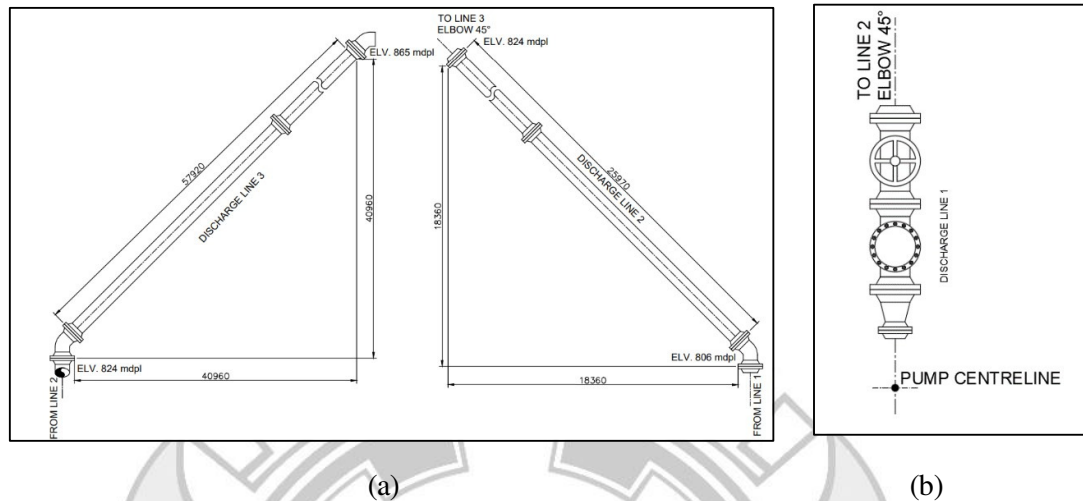
Total panjang pipa *suction* adalah 2 meter sehingga didapatkan nilai Hf

$$H_f = 0,0425 \text{ m} \times 2 = 0,0850 \text{ m}$$

Tabel 4.7 Total *Head Losses* Sisi *Suction*

Peralatan	Hf (m)	Hf total (m)
<i>Foot Valve</i> 12 inch	1,0301	1,4328
<i>Long Radius Elbow</i> 90° 12 inch	0,1021	
<i>Eccentric Reducer</i> 12x8 inch	0,2156	
Pipa 12 inch	0,0850	

4.1.4.2 Head Loss pada Sisi Discharge



Gambar 4. 6 Double line drawing (a) discharge line 1; (b) discharge line 2 dan 3

Berdasarkan Gambar 4.6, Dapat dilihat bahwa ada beberapa peralatan pada sisi *discharge*. dimana terdapat *check valve* sebagai pengaman untuk menghindari *backflow* pada pipa *discharge*, *gate valve* sebagai isolasi manual untuk menjaga pompa jika terjadi kegagalan atau kerusakan pada pipa *discharge*, 4 buah *long radius elbow 45°*, sebuah *concentric reducer 12x8* yang menuju ke pompa, dan pipa 12 inch. Peralatan ini menyebabkan *losses* pada sisi *discharge*, *mayor loss* pada pipa 12 inch dan peralatan lainnya adalah *minor loss*.

1. *Concetric Reducer 12x8 inch*

$$f = 1 \text{ (Sularso,1987)}$$

Menentukan nilai v_1

$$v_1 = \frac{v_2 \times A_2}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{3,43 \text{ m/s} \times \left(\frac{1}{4} \pi \times 0,3048^2 \text{ m}^2 \right)}{\left(\frac{1}{4} \pi \times 0,2034^2 \text{ m}^2 \right)}$$

$$v_1 = 5,13 \text{ m/s}$$

Sehingga,

$$H_f = f \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

$$H_f = 1 \frac{(5,13 \text{ m/s} - 3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,1137 \text{ m}$$

2. *Check Valve* 12 inch

$$f = 2 \text{ (ASHREA, 2001)}$$

$$H_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 2 \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 1,1978 \text{ m}$$

3. *Gate Valve* 12 inch

$$f = 0,05 \text{ (ASHREA, 2001)}$$

$$H_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 0,05 \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,0299 \text{ m}$$

4. *Elbow* 45° 12 inch

$$f = 0,16 \text{ (ASHREA, 2001)}$$

$$H_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 0,16 \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,0958 \text{ m}$$

Karena terdapat 3 *elbow* 45° sehingga H_f nya adalah

$$H_f = 0,0958 \text{ m} \times 3 = 0,2874 \text{ m}$$

5. Pipa 12 inch

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \text{ (Sularso,1987)}$$

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{0,3048} = 0,021$$

Sehingga H_f untuk 1 meter pipa 12 inch yaitu

$$H_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$H_f = 0,021 \frac{1 \text{ m} (3,43 \text{ m/s})^2}{0,3048 \text{ m} 2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,0425 \text{ m}$$

Total panjang pipa *discharge* adalah 83,9 meter sehingga didapatkan nilai H_f

$$H_f = 0,0425 \text{ m} \times 83,9 = 3,5677 \text{ m}$$

Tabel 4.8 Total *Head Loss* Sisi *Discharge*

Peralatan	H_f (m)	H_f total (m)
<i>Concetric Reducer</i> 12x8 inch	0,1497	5,2325
<i>Check Valve</i> 12 inch	1,1978	
<i>Gate Valve</i> 12 inch	0,0299	
<i>Elbow</i> 45° 12 inch	0,2874	
Pipa 12 inch	3,5677	

4.1.4.3 Total *Head Loss* (H_f total)

Total *head loss* adalah jumlah dari total *head loss* sisi *suction* dan total *head loss* di sisi *discharge*

H_f sisi <i>suction</i>	= 1,4328 m
H_f sisi <i>discharge</i>	= 5,2325 m
Total H_f	= 6,6653 m

4.1.4.4 *Head* Total

Head total dapat dihitung dengan persamaan (2-13)

$$H_{\text{tot}} = H_a + H_{f_{\text{tot}}} + \frac{v^2}{2g}$$

H_a = elevasi *waterways* – elevasi *reservior* bawah

$$H_a = 865,6224 \text{ m} - 804,2947 \text{ m}$$

$$H_a = 61,3277 \text{ m}$$

Sehingga,

$$H_{\text{tot}} = 61,3277 \text{ m} + 6,6653 \text{ m} + \frac{(3,43 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{\text{tot}} = 68,5621 \text{ m}$$

4.1.5 Penentuan Pompa

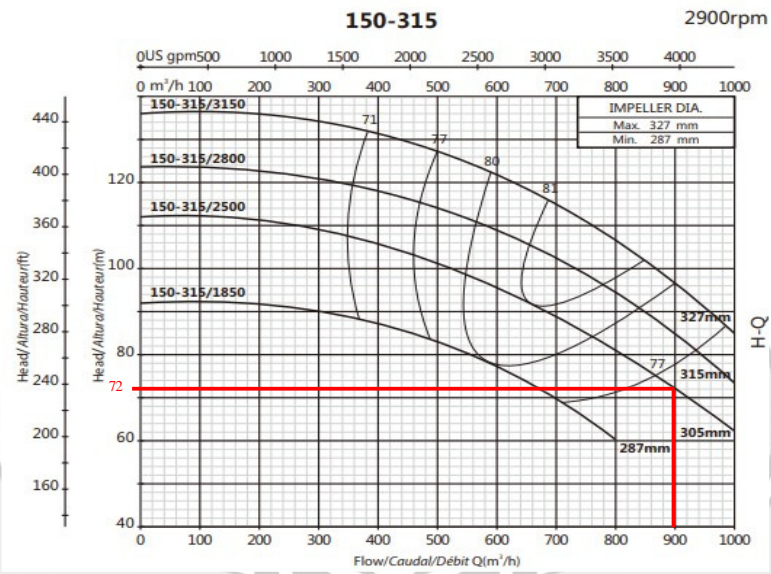
4.1.5.1 Pemilihan Pompa

Dari rangkaian perhitungan yang telah dilakukan maka di dapatkan parameter-parameter dalam menentukan pompa yaitu

$$\text{Debit Aliran} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Head} = 68,5621 \text{ m}$$

Berdasarkan parameter ini didapatkan pompa *centrifugal* dengan Merek *Fanci/Purity* dengan *pump curve* sebagai berikut:



Gambar 4.7 Kurva Pompa *Fancy/Purity*

Berdasarkan Gambar 4.7 Kurva Pompa *Fancy/Purity* dapat diketahui parameter-parameter pompa yang akan digunakan, yaitu:

Nama : FSM 150-315/2500

Diameter *Impeller* : 305 mm

Head Operasi Pompa : 72 m

Debit Operasi Pompa : 900 m³/jam

Efisiensi : 72%

Putaran : 2900 rpm

Untuk detail lebih lanjut pada pompa dapat di lihat pada halaman lampiran D.

4.1.5.2 Perhitungan NPSH

Dengan ditentukannya pompa yang akan digunakan maka dapat ditentukan NPSH yang tersedia (NPSHa) dan dibandingkan dengan HPSH yang dibutuhkan oleh pompa (NPSHr) untuk mengetahui potensi terjadinya kavitasi. Adapun besar NPSHr dari pompa yang digunakan adalah 6 m.

Adapun besar NPSH yang tersedia (NPSHa) dengan menggunakan persamaan (2-14):

$$NPSHa = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - h_s - h_{ls}$$

Diketahui suhu air sungai adalah 30° C, sehingga dapat diketahui parameter berikut:

$$\gamma = 0,9957 \text{ kgf/l} = 995,7 \text{ kgf/m}^3 \text{ (Sularso,1987)}$$

$$p_v = 0,04325 \text{ kgf/cm}^2 = 432,5 \text{ kgf/m}^2 \text{ (Sularso,1987)}$$

Kemudian, tekanan atmosfer dapat diketahui berdasarkan ketinggian *reservoir* di atas permukaan laut, dari pengambilan data di dapatkan bahwa *reservoir* berada pada ketinggian sekitar 800 m dari permukaan laut sehingga besar tekanan atmosfernya adalah:

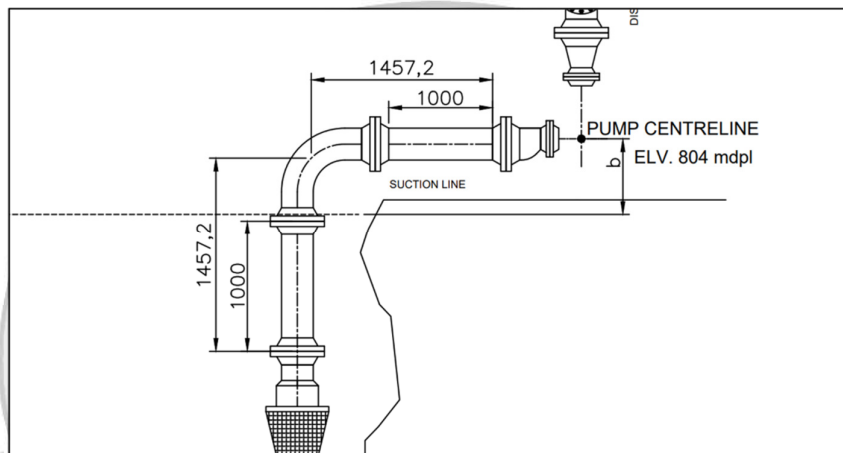
$$p_a = 10,33 \left[1 - \frac{0,0065h^{5,256}}{288} \right]$$

$$p_a = 10,33 \left[1 - \frac{0,0065 \times 800 \text{ m}^{5,256}}{288} \right]$$

$$p_a = 9,386 \text{ mH}_2\text{O} = 9386,184 \text{ kgf/m}^2$$

Nilai *head* isap stasis atau h_s di dapatkan dari beda tinggi antara permukaan air pada *reservoir* bawah terhadap titik tengah pompa, di mana nilai ini di jaga

serendah mungkin untuk menghindari kavitasi. *Head* isap statis minimal adalah berdasarkan spesifikasi pompa yaitu jarak *centerline* pompa terhadap kaki pompa di mana pada spesifikasi di dapatkan sebesar 400 mm, hal ini menjadikan tinggi permukaan air sejajar dengan kaki pompa. Nilai H_s ini dapat di variasikan selama nilai $NPSH_a$ masih lebih besar dari $NPSH_r$.



Gambar 4.8 Titik H_s Pada Pipa *Suction*

Dari nilai-nilai yang telah di hitung sebelumnya, di dapatkan $NPSH_a$ sebesar:

$$NPSH_a = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - h_s - h_{fs}$$

$$NPSH_a = \frac{9386,184 \text{ kgf/m}^2}{995,7 \text{ kgf/m}^3} - \frac{432,5 \text{ kgf/m}^2}{995,7 \text{ kgf/m}^3} - 0,4 \text{ m} - 1,4328 \text{ m}$$

$$NPSH_a = 7,15 \text{ m}$$

Didapatkan nilai $NPSH_a$ sebesar 7,15 m yang mana lebih besar dari $NPSH_r$ yang dibutuhkan oleh pompa ($NPSH_r$) yaitu 6 m, sehingga sistem pemompaan ini telah memenuhi syarat agar tidak terjadi kavitasi.

4.1.5.3 Perhitungan daya

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya dapat dilakukan perhitungan daya dengan menggunakan parameter di bawah ini:

$$\text{Massa jenis air (30° C)} = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Head Pompa} = 72 \text{ m}$$

$$\text{Debit Pompa} = 900 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Efisiensi pompa} = 72\%$$

$$\text{Efisiensi Motor} = 95,8\%$$

a. Daya Hidrolik

$$P_h = \frac{\rho g Q H}{1000}$$

$$P_h = \frac{995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,25 \text{ m}^3/\text{s} \times 72 \text{ m}}{1000}$$

$$P_h = 175,64 \text{ kW}$$

b. Daya Poros

$$P = \frac{P_h}{\eta_p}$$

$$P = \frac{175,64 \text{ kW}}{0,72}$$

$$P = 243,94 \text{ kW}$$

c. Daya Motor

$$P_m = \frac{P}{\eta_m}$$

$$P_m = \frac{243,97 \text{ kW}}{0,958}$$

$$P_m = 254,65 \text{ kW}$$

4.2 Analisis Desain dan Simulasi

4.2.1 P&ID dan *Isometric Pipe Drawing*

Gambar P&ID menampilkan gambar diagram simbol *equipment*, pipa dan pompa yang telah disusun berdasarkan penempatannya pada sisi *suction* dan *discharge*. Pada gambar P&ID belum di tampilkan penempatan *elbow*, sehingga dibutuhkan gambar lain untuk menampilkan *elbow*, dapat berupa *isometric single line piping* atau *double line piping*. Gambar *Isometric Pipe Drawing* menampilkan daftar material dalam jalur pemipaan *pump storage*, elevasi peralatan, dan dimensi *end to end* tiap peralatan. Gambar P&ID dan penamaan serta gambar isometrik yang di gunakan memakai standar PIP (*Process Industry Piping*). Gambar P&ID perancangan *pumped storage* dapat dilihat pada halaman lampiran E dengan nomor gambar teknik 001-008/013-TPE19-23 dan gambar isometrik perancangan *pumped storage* dapat dilihat pada halaman lampiran E dengan nomor gambar teknik 006-008/013-TPE19-23.

4.2.2 *Double Line Drawing*

Double line drawing menampilkan gambar proyeksi dua dimensi dari sisi *suction* dan *discharge*. Pada *double line drawing* telah ditampilkan dimensi dari jalur pemipaan, elevasi belokan pipa atau *fitting*, serta acuan titik *centreline* pompa yang menjadi acuan dalam penempatan pompa, jarak *centreline* pompa terhadap permukaan air sisi *suction*, serta persyaratan jarak kedalaman sungai terhadap saringan *foot valve*. Gambar *line drawing* pada penelitian ini menggunakan standar dimensi *Pipe Drafting And Design* (Roy A. Parisher, 2002). Gambar *double line* perancangan *pumped storage* dapat dilihat pada halaman

lampiran E dengan nomor gambar teknik 003-008/013-TPE19-23 dan nomor gambar teknik 004-008/013-TPE19-23.

4.2.3 3D Drawing

3D *drawing* atau gambar 3 dimensi pada perancangan ini menggunakan standar yang sama pada gambar *double line*, pada gambar ini telah di tampilkan posisi *elbow*, *valve*, pompa dan panjang masing-masing pipa yang tersambung dengan *flange*. Pada gambar tiga dimensi perancangan *pumped storage* telah digunakan standar yang lengkap untuk setiap *equipment*. Adapun standar yang digunakan yaitu:

Pipa	: ASME B16.5
<i>Flange</i> dan Gasket	: ASME B16.5
<i>Elbow</i> 45° dan <i>Elbow</i> 90°	: ASME B16.5
<i>Reducer</i>	: ASME B16.9
<i>Check Valve</i> dan <i>Gate Valve</i>	: ASME B16.34
Mur dan Baut	: ASME B18.2.1 dan ASME B18.2.2
Pipe Support	: ANSI/MSS SP-69 dan ANSI/MSS SP-58

Gambar tiga dimensi untuk perancangan *pumped storage* dapat dilihat pada halaman lampiran E nomor gambar teknik 005-008/013-TPE19-23, gambar teknik (018-023)-008/013-TPE19-23, dan gambar teknik 029-008/013-TPE19-23

4.2.4 Equipment Drawing

Equipment drawing pada penelitian ini memuat beberapa peralatan yang digunakan berdasarkan standar yang ada, yakni standar ASME (*American Society*

of *Mechanical Engineer*) untuk peralatannya, dan standar ISO (*International Standardization Organization*) dalam pemberian dimensinya. Gambar peralatan yang tersedia adalah *elbow 90°*, *elbow 45°*, *concentric reducer*, *eccentric reducer*, *gate valve*, *check valve*, *flanges*, *gasket*, *hex bolt*, *hex nut* dan *pipe support*.

Penggambaran *equipment* ini sesuai dengan standar pada sub-subbab 4.2.3 dan dapat disesuaikan dengan manufaktur *equipment* yang mengacu pada standar yang sama. Adapun gambar perspektif dari peralatan yang digunakan dapat dilihat pada halaman lampiran E dengan nomor gambar teknik (009-016)-008/013-TPE19-23 dan (024-028)-008/013-TPE19-23.

4.2.5 Simulasi Epanet

Simulasi pada Epanet dibuat berdasarkan data-data yang telah di hitung dan di gambar sebelumnya. Adapun parameter input yang dimasukkan dalam simulasi adalah

Kebutuhan Debit : 0,25 m³/s atau 250 L/s

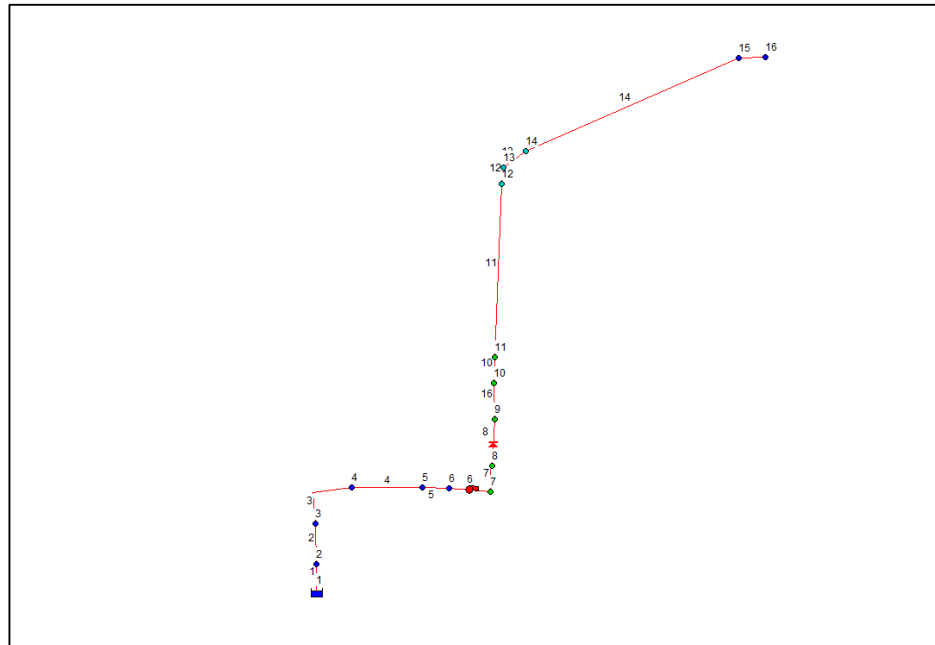
Diameter Pipa : 12 inch

Valve : 3 Ea (*Foot Valve*, *Gate Valve*, *Check Valve*)

Elbow : 90° (1 Ea) dan 45° (4 Ea)

Elevasi dan jarak titik *juntion* berdasarkan gambar teknik nomor (003-004)-008/013-TPE19-23 dan gambar teknik nomor 006-008/013-TPE19-23 beserta koefisien gesek peralatan pada sub-subbab 4.1.4.

Adapun rangkaian simulasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 Rangkaian Simulasi *Pumped storage* dengan Epanet 2.2

Pada Gambar 4.9 terdapat *nodes* dan *links* yang mewakili pipa, pompa dan peralatan lainnya yaitu:

a. *Nodes*

Nodes adalah titik yang menghubungkan peralatan. Adapun kode *nodes* (Node ID) dan peralatan yang dihubungkan yaitu:

1. *Junc 2* = *Foot valve* dan pipa (1) *suction*
2. *Junc 3* = Pipa dan *elbow 90°*
3. *Junc 4* = *Elbow 90°* dan pipa (2) *suction*
4. *Junc 5* = Pipa dan *eccentric reducer*
5. *Junc 6* = *Eccentric reducer* dan pompa
6. *Junc 7* = Pompa dan *concentric reducer*
7. *Junc 8* = *Concentric reducer* dan *check valve*

8. *Junc 9* = *Check valve* dan *gate valve*
9. *Junc 10* = *Gate valve* dan *elbow (1) 45°*
10. *Junc 11* = *Elbow (1) 45°* dan *pipa (1) discharge*
11. *Junc 12* = *Pipa (1) discharge* dan *elbow (2) 45°*
12. *Junc 13* = *Elbow (2) 45°* dan *elbow (3) 45°*
13. *Junc 14* = *Elbow (3) 45°* dan *pipa (2) discharge*
14. *Junc 15* = *Pipa (2) discharge* dan *elbow (4) 45°*
15. *Junc 16* = *Ujung elbow (4) 45°*
16. *Resvr 1* = *Ujung foot valve*

b. *Links*

Links mewakili dimensi panjang peralatan yang terhubung dengan *nodes*.

Adapun kode *links* (Link ID) dan peralatannya sebagai berikut:

1. *Pipe 1* = *Foot valve*
2. *Pipe 2* = *Pipa (1) suction*
3. *Pipe 3* = *Elbow 90°*
4. *Pipe 4* = *Pipa (2) suction*
5. *Pipe 5* = *Eccentric reducer*
6. *Pipe 7* = *Concentric reducer*
7. *Pipe 8* = *Check valve*
8. *Pipe 9* = *Gate valve*
9. *Pipe 10* = *Elbow (1) 45°*
10. *Pipe 11* = *Pipa (1) discharge*
11. *Pipe 12* = *Elbow (2) 45°*

- 12. *Pipe 13* = *Elbow (3) 45°*
- 13. *Pipe 14* = *Pipa (2) discharge*
- 14. *Pipe 15* = *Elbow (4) 45°*
- 15. *Pump 6* = *Pompa*

Adapun hasil simulasi perancangan *pumped storage* dengan Epanet adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Simulasi Pada *Node*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Demand</i> (LPS)	<i>Pressure</i> (m)
<i>Junc 2</i>	802,839	0	-1,65
<i>Junc 3</i>	803,839	0	-2,68
<i>Junc 4</i>	804,29	0	-3,25
<i>Junc 5</i>	804,29	0	-3,28
<i>Junc 6</i>	804,29	0	-3,50
<i>Junc 7</i>	804,29	0	68,50
<i>Junc 8</i>	804,491	0	67,69
<i>Junc 9</i>	805,202	0	65,77
<i>Junc 10</i>	805,7	0	65,23
<i>Junc 11</i>	806,025	0	64,80
<i>Junc 12</i>	824	0	46,23
<i>Junc 13</i>	824,325	0	45,80
<i>Junc 14</i>	824,650	0	45,37
<i>Junc 15</i>	865,662	0	3,03
<i>Junc 16</i>	865,662	250,00	2,93
<i>Resvoir 1</i>	802,232	-250,00	0,00

Tabel 4.10 Hasil Simulasi Pada Link

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Flow</i> (LPS)	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	0,653	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 2</i>	1	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 3</i>	0,457	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 4</i>	0,203	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 5</i>	0,203	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 7</i>	0,711	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 8</i>	0,325	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 9</i>	0,498	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 10</i>	25,97	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 12</i>	0,325	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 13</i>	0,325	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 14</i>	57,92	304,8	250,00	3,43
<i>Pipe 15</i>	0,325	304,8	250,02	3,43
<i>Pump 6</i>	0,653	304,8	250,00	3,43

Dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa pada panjang dan elevasi peralatan yang berbeda terdapat perbedaan *pressure* atau tekanan dalam pipa. Dimana pada simulasi dapat dilihat kehilangan tekanan atau *headloss* pada tiap titik. Pada *junc 16* yang merupakan titik ujung jalur *pumped storage*, masih terdapat tekanan sebesar 2,93 m dan bernilai positif sehingga pompa dengan *head* 72 m dapat memompa air dari *reservoir* bawah dengan baik. Nilai 2,93 m pada *junc 16* juga dapat menjadi pembandingan antara hasil perhitungan *head* secara manual dan menggunakan simulasi.

Selisih antara *head* spesifikasi pompa dan *head* pada *junc 16* adalah 69,07 m, nilai ini menjadi total *head* pada sistem *pumped storage* berdasarkan simulasi

yang telah dilakukan. Sedangkan total *head* sistem *pumped storage* berdasarkan perhitungan adalah 68.5621 m, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara total *head* dengan simulasi dan hasil perhitungan sebesar 0,507 m. Hal ini dapat terjadi karena besarnya *head loss* pada sisi *suction* simulasi dimana *eccentric reducer* dan *foot valve* tidak dapat disimulasikan dengan baik menggunakan Epanet karena tidak adanya fungsi pengecilan pipa atau *reducer* dan *foot valve* sehingga simulasi menghitungnya sebagai rugi-rugi pipa yang merupakan *major loss*.

4.3 Analisis Ekonomi dan Kelayakan Investasi

4.3.1 Menghitung Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal di bawah ini adalah data biaya peralatan, biaya pekerjaan, dan biaya lainnya yang dibutuhkan dalam perancangan *pumped storage hydropower* sesuai dengan desain yang telah dibuat.

Data harga-harga peralatan ini diperoleh dengan mencari *supplier* yang menjual peralatan-peralatan tersebut di beberapa toko maupun melalui *website*.

Tabel 4.11 Tabel Biaya Peralatan Perancangan *Pumped Storage*

Peralatan	Material	Jumlah/Ea	Harga/Ea (Rp)	Total Harga (Rp)
Foot valve JIS 10K 12 " DN 300	Cast iron	2	12.000.000,00	24.000.000,00
Pipa stainless steel SCH 40 12"	Stainless steel	15	11.500.000,00	172.000.000,00
Elbow 90 deg long radius SCH 40 ASME B16.9 12"	Carbon steel	2	3.086.993,00	6.173.986,00
Flange A105 class 300 SO RF 12"	Carbon steel	56	3.416.500,00	191.324.000,00
Flange SO RF 8" ANSI 300 carbon steel A105	Carbon steel	4	1.450.000,00	5.800.000,00
Eccentric SCH40 12x8 inch ASME B16.9	Carbon steel	2	749.000,00	1.498.000,00
Reducer excentric carbon steel ASME B16.9	Carbon steel	2	859.000,00	1.718.000,00

Manual isolation valve 12" ASME B16.34 class 300	Carbon steel	2	25.000.000,00	50.000.000,00
Swing check valve flanged 12" ASME B16.34 class 300	Wrought carbon	2	30.762.300,00	61.524.600,00
Pompa fancy FS150-315-2500		2	118.078.500,00	236.157.000,00
Elbow 45 deg SCH 40 12"	Carbon steel	4	1.250.000,00	5.000.000,00
Gasket flat ring class 300 ASME B16.5 12"	Non asbetos	32	385.000,00	12.320.000,00
Gasket flat ring class 300 ASME B16.5 8"	Non asbetos	4	325.000,00	1.320.000,00
Hex bolts dan hex nuts 12" ASME B16.5 class 300	Baja	432	187.000,00	80.784.000,00
Hex bolts dan hex nuts 8" ASME B16.5 class 300	Stainless steel	24	77.888,00	1.869.312,00
Pipe Saddle Support With Strap	steel	16	3.855.000,00	61.680.000,00
Steel Sheet Plate 8" x 8" x 3/8"	Steel	16	406.300,00	6.500.800,00
Pipa stainless steel SCH 40 2 1/2"	Stainless steel	2	1.550.000,00	3.100.000,00
Flanged Lateral Tee 45 ASME B16.5 Class 300	Casbon steel	1	6.142.000,00	6.142.000,00
TOTAL INVESTASI PERLATAN				929.391.698,00

Tabel 4.12 Upah Pemasangan Instalasi *Pumped Storage*

URAIAN	Kode	Satuan	Harga Satuan (Rp)/ Jam	Harga Satuan (Rp)/ Hari	Jumlah Tenaga Kerja	Jumlah Harga (Rp)/Hari
Mandor	L.01	OH	80.000,00	640.000,00	1	640.000,00
Kepala Tukang	L.02	OH	75.000,00	600.000,00	1	600.000,00
Tukang Pipa	L.03	OH	70.000,00	560.000,00	1	560.000,00
Tukang Pompa	L.04	OH	70.000,00	560.000,00	1	560.000,00
Pekerja	L.05	OH	60.000,00	480.000,00	8	3.840.000,00
TOTAL UPAH TENAGA KERJA PER HARI						6.200.000,00
TOTAL UPAH TENAGA KERJA PER 14 HARI						86.800.000,00

Dari Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 dapat dilihat total biaya biaya pemasangan dan peralatan yang dibutuhkan untuk perancangan *pumped storage hydropower*

adalah Rp.1.016.191.698,00. Untuk upah kerja pemasangan instalasi *pumped storage* di hitung perjam.

4.3.2 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun 1% dari biaya investasi awal (Kossi V.R 2018).

Berdasarkan acuan diatas pada penelitian ini, maka besarnya biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk *pumped storage hydropower* mencakup biaya peralatan dan biaya pemasangan (upah pekerja). Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk *pumped storage hydropower* yang telah direncanakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M &= 1\% \times \text{Total Biaya Investasi Awal} \\ &= 1\% \times \text{Rp. 1.016.191.698,00.} \\ &= \text{Rp 10.161.916,98,- per tahun} \end{aligned}$$

Jika diperkirakan usia pakai pompa mencapai 10 tahun, maka total biaya pemeliharaan dan operasional untuk 10 tahun adalah sebesar Rp 101.619.169,80.

4.3.3 Menghitung Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Pada penelitian ini, sistem *pumped storage hydropower* menggunakan suplai energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang telah tersedia. Pompa diasumsikan beroperasi selama 10 tahun. Penentuan umur dari pompa mengacu pada garansi yang telah di keluarkan oleh produsen pompa yang telah dipilih. Penentuan tingkat diskonto mengacu pada tingkat diskonto biaya peminjaman

Bank yaitu sebesar 10%. Adapun besarnya biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama 10 tahun atau selama umur proyek adalah:

$$\begin{aligned}
 M_{PW} &= A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= \text{Rp } 10.161.916.98 \left[\frac{(1+0,1)^{10} - 1}{0,1(1+0,1)^{10}} \right] \\
 &= \text{Rp } 10.161.916.98 \left[\frac{1,59374246}{0,259374246} \right] \\
 &= \text{Rp } 10.161.916.98 \times 6,144567106 \\
 &= \text{Rp. } 62.440.580,81
 \end{aligned}$$

Adapun biaya siklus hidup (LCC) untuk perancangan sistem *pumped storage hydropower* selama 10 tahun dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 LCC &= C + M_{PW} \\
 &= \text{Rp. } 1.016.191.698,00 + \text{Rp. } 62.440.580,81 \\
 &= \text{Rp. } 1.078.632.278,81
 \end{aligned}$$

4.3.4 Menghitung Faktor Diskonto

Perhitungan faktor diskonto pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan antara besarnya nilai yang akan didapatkan di masa mendatang dengan pengeluaran pada masa sekarang. Adapun faktor diskonto sesuai umur investasi adalah:

$$DF = \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\frac{1}{(1 + 0,1)^{10}} \right] \\
&= \frac{1}{2,59374246} \\
&= 0,385543289
\end{aligned}$$

4.3.5 Menghitung Biaya Energi (COE)

Faktor pemulihan modal digunakan untuk mengubah semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi rangkaian biaya tahunan. Adapun faktor pemulihan modal dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{CRF} &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
&= \frac{0,1(1+0,1)^{10}}{(1+0,1)^{10} - 1} \\
&= \frac{0,259374246}{1,59374246} \\
&= 0,162745395
\end{aligned}$$

Kebutuhan energi listrik untuk *pumped storage* per hari adalah sebesar 7.560 kWh yang di peroleh dari sumber listrik yang tersedia yang diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{AKWH} &= \text{kWh harian} \times 120 \\
&= 7.560 \text{ kWh} \times 120 \\
&= 907200 \text{ kWh}
\end{aligned}$$

Sehingga besarnya biaya energi (COE) untuk *pumped storage* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{COE} &= \frac{\text{LCC} \times \text{CRF}}{\text{AKWH}} \\ &= \frac{\text{Rp. } 1.078.632.278.81 \times 0,1627453957}{907200} \\ &= \text{Rp. } 193,50/\text{kWh} \end{aligned}$$

4.3.6 Perhitungan Kas Masuk

Perhitungan kas masuk didasari harga jual listrik berbasis EBT (Energi Baru Terbarukan) kepada PLN yang diatur dalam Peraturan Presiden RI No. 112 tahun 2022. Peraturan Presiden tersebut menyebutkan bahwa harga pembelian tenaga listrik energi terbarukan yaitu PLT Minihidro dengan kapasitas daya bangkitan 1-3 MW untuk wilayah Sulawesi yaitu sebesar Cent US\$ 12,012 / kWh.

$$\text{Cent US\$ } 12,012 = \text{Rp. } 1.800,35 \text{ per } 18 \text{ Juli } 2023.$$

Menghitung efisiensi pembangkitan berdasarkan total debit dan total daya bangkitan.

Total Daya bangkitan teoritis

$$P = \rho \times g \times Q \times h$$

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 3,59 \text{ m}^3/\text{s} \times 100 \text{ m}$$

$$P = 3.518.200 \text{ Watt}$$

$$P = 3,5 \text{ MW}$$

Total daya bangkitan berdasarkan perhitungan diatas adalah 3,5 MW, sedangkan daya bangkitan PLT Minihidro Tombolo Energi adalah 3 MW.

Sehingga dapat di hitung efisiensi pembangkitannya yaitu

$$\eta = \frac{3 \text{ MW}}{3,518 \text{ MW}}$$

$$\eta = 85,2 \%$$

Jika debit yang dipompa sebesar $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, maka besar daya hidrolisnya adalah:

$$P = \rho \times g \times Q \times h \times \eta$$

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,25 \text{ m}^3/\text{s} \times 100 \text{ m} \times 0,852$$

$$P = 208.740 \text{ Watt} = 208,740 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan daya hidrolis, maka besarnya pendapatan yang dihasilkan pertahun yaitu:

$$\text{Rp. } 1.800,35 \times (208,740 \text{ kW} \times 24 \text{ jam}) = \text{Rp. } 9.019.321,42$$

Karena pompa akan beroperasi selama 4 bulan maka, besar arus kas masuk dalam periode tersebut adalah:

$$\text{Rp. } 9.019.321,42 \times 120 \text{ hari} = \text{Rp. } 1.082.318.569,92 - \text{ per tahun}$$

4.3.7 *Net Present Value* (NPV)

Pada penelitian ini diketahui arus kas keluar setiap tahunnya yaitu sebesar Rp. 9.019.321,42 sedangkan arus kas masuk per tahunnya yaitu sebesar Rp. 1.082.318.569,92

Berikut adalah alur kas dari penelitian ini yang menggunakan sumber listrik yang sudah tersedia:

Tabel 4.13 Perhitungan NVP dengan Suku Bunga 10%

Tahun	Faktor Diskonto	Kas Masuk /thn (Rp)	Kas Keluar /thn (Rp)	PVNCF (Rp)	Kumulatif PVNCF (Rp)
1	0,909090909	1.082.318.569,92	10.161.916,98	974.687.866,31	974.687.866,31
2	0,826446281	1.082.318.569,92	10.161.916,98	886.079.878,46	1.860.767.744,77
3	0,751314801	1.082.318.569,92	10.161.916,98	805.527.162,24	2.666.294.907,01
4	0,683013455	1.082.318.569,92	10.161.916,98	732.297.420,22	3.398.592.327,23
5	0,620921323	1.082.318.569,92	10.161.916,98	665.724.927,47	4.064.317.254,70
6	0,56447393	1.082.318.569,92	10.161.916,98	605.204.479,52	4.669.521.734,22
7	0,513158118	1.082.318.569,92	10.161.916,98	550.185.890,47	5.219.707.624,69
8	0,46650738	1.082.318.569,92	10.161.916,98	500.168.991,34	5.719.876.616,03
9	0,424097618	1.082.318.569,92	10.161.916,98	454.699.083,03	6.174.575.699,06
10	0,385543289	1.082.318.569,92	10.161.916,98	413.362.802,76	6.587.938.501,82

Tabel 4.14 Perhitungan NVP dengan Suku Bunga 9%

Tahun	Faktor Diskonto	Kas Masuk /thn (Rp)	Kas Keluar /thn (Rp)	PVNCF (Rp)	Kumulatif PVNCF (RP)
1	0,917431193	1.082.318.569,92	10.161.916,98	974.687.866,31	974.687.866,31
2	0,841679993	1.082.318.569,92	10.161.916,98	902.412.804,43	1.877.100.670,74
3	0,77218348	1.082.318.569,92	10.161.916,98	827.901.655,44	2.705.002.326,17
4	0,708425211	1.082.318.569,92	10.161.916,98	759.542.803,15	3.464.545.129,33
5	0,649931386	1.082.318.569,92	10.161.916,98	696.828.259,77	4.161.373.389,10
6	0,596267327	1.082.318.569,92	10.161.916,98	639.291.981,44	4.800.665.370,55
7	0,547034245	1.082.318.569,92	10.161.916,98	586.506.404,99	5.387.171.775,54
8	0,50186628	1.082.318.569,92	10.161.916,98	538.079.270,64	5.925.251.046,18
9	0,46042778	1.082.318.569,92	10.161.916,98	493.650.707,01	6.418.901.753,19
10	0,422410807	1.082.318.569,92	10.161.916,98	452.890.556,89	6.871.792.310,07

Dari biaya investasi awal (II) Rp. Rp. 1.016.191.698,00, maka besarnya nilai NVP dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 NPV1 &= \sum_{t=1}^n \frac{NCFt}{(1+i)^t} - II \\
 &= \text{Rp. } 6.871.792.310,07 - \text{Rp. } 1.016.191.698,00 \\
 &= \text{Rp. } 5.855.600.612,07 \\
 NPV2 &= \sum_{t=1}^n \frac{NCFt}{(1+i)^t} - II \\
 &= \text{Rp. } 6.587.938.501,82 - \text{Rp. } 1.016.191.698,00 \\
 &= \text{Rp. } 5.571.746.803,82
 \end{aligned}$$

4.3.8 Profitability Index (PI)

Profitability Index merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Besarnya nilai *Profitability Index* (PI) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 PI &= \frac{\sum_{t=1}^n NCFt(1+i)^{-t}}{II} \\
 &= \frac{\text{Rp. } 6.587.938.501,82}{\text{Rp. } 1.016.191.698,00} \\
 &= 6,48
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *Profitability Index* (PI) bernilai 6,48 (>1), maka bernilai positif

4.3.9 Internal Rate of Return (IRR)

Berdasarkan nilai NVP1 dan NVP2 maka besarnya nilai *Internal Rate of Return* dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{IRR} &= i_1 + \frac{\text{NPV}_1}{\text{NPV}_1 - \text{NPV}_2} \times (i_2 - i_1) \\ &= 9\% + \frac{\text{Rp. } 5.855.600.612,07}{\text{Rp. } 5.855.600.612,07 - \text{Rp. } 5.571.746.803,820} \times (10\% - 9\%) \\ &= 29,62\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR) bernilai lebih besar dari suku bunga, sehingga proyek ini layak untuk di investasikan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis data, maka dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Total *head* dan debit *pumped storage hydropower* yang dapat memenuhi skema debit operasi PLT Minihidro Tombolo Energi adalah 68,5621 m dan 0,25 m³/s.
2. *Pumped storage hydropower* didesain menggunakan *equiepmnt* berdiameter 12 inch dengan standar ASME. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan debit 0,25 m³/s dan *head* 72 m. Pada sisi *suction* digunakan *foot valve* dan pada sisi *discharge* digunakan *check valve* beserta *gate valve* sebagai pengaman.
3. Total biaya investasi yang dibutuhkan dalam perancangan *pumped storage* sebesar Rp. 1.016.191.698,00 dengan tingkat suku bunga sebesar 10% dan nilai IRR sebesar 29,62 % sehingga perancangan *pumped storage hdropower* ini layak untuk diinvestasikan. Total investasi dalam perancangan *pumped storage* tidak termasuk investasi perencanaan PLTS.

5.2 Saran

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan data-data terbaru yang dimiliki oleh PLT Minihidro Tombolo Energi agar data yang diolah lebih akurat dan maksimal dan untuk pengambilan data di lapangan perlu memperbanyak titik-titik pengukuran baik itu pengukuran dengan *theodolite* maupun pengukuran pada

sungai. Dan diharapkan kepada perusahaan agar mempertimbangan perancangan *pumped storage hydropower* ini sehingga dapat memberikan keuntungan untuk perusahaan dan juga *lifetime* peralatan.



DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Muhammad. Dkk. 2019. Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator DC. Dalam *Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Afdil, Ali. (2021). Analisa Tegangan Sistem Perpipaan Minyak dari Sumur A ke *Manifold* Sumur pada PT. Sarana Pembangunan Riau (SPR) Langgak Menggunakan Software Caesar II 2019. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Argonne National Laboratory. 2014. Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy Decision and Information Sciences Division. Illinois.
- ASHRAE.2001. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Fundamental Handbook. Atlanta:ASRAE Publication.
- Dietzel, Frit. 1980. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Dialihbahasakan oleh Dakso Sriyono, Jakarta: Erlangga.
- Farhan, Miftah. Dkk. 2021. Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug. Dalam *Jurnal Simetrik*, (11). 398-403.
- Fitzgerald, J.P, Et.al. 1973. Operation Of Seneca Pumped Storage Plant. Dalam *IEEE Transaction on Power Apparatus and System*, (92): 1510-1516.
- Fuadi, Achmad. 2022. *Karakterisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tipe Vertikal Darrieus Dengan Kapasitas 160 Watt*. Thesis. Jakarta: Universitas Nasional.
- Gifson, Albert. Dkk. 2020. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid Di Ecopark Ancol. Dalam *Jurnal TESLA* (4). 23-33.
- Jayadi. 2015. *Hidrometri*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Katsiagiannis. 2017. Contribution of Pumped Hydro Energy Storage for more RES Utilization On Autonomous Power Systems. Dalam *Agronomy Research* (4):1621-1628.
- Kossi, V.R. 2018. Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. Dalam *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura*. (2). 8-15.

- Kudela, Hendryk. 2009. *Hydraulic Losses in Pipes*. New York: McGraw-Hill Company.
- Maulana, Jundu M. 2018. Analisa Pengujian Bushing Pada Transformator Tenaga Di Gardu Induk Wonogiri 150 KV. Skripsi. Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Muzayanah, Budianto Eko. 2020. *Ilmu Ukur Tanah*. Surabaya: Unesa University Press.
- M.White, Frank. 2009. *Fluid Mechanics Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill Company.
- Northland Power. 2013. Marmoma Hydro Pumped Storage. Toronto.
- Parishes, Roy A. 2002. *Pipe Drafting and Design*. Amerika Serikat : Gulf Professional Publishing
- Pratama, Adhitya Viko. 2015. *Desain Dan Layouting Instalasi Sistem Perpipaan Dengan Software Plant Design Management System (PDMS) Versi 12.0 SP6 (Studi Kasus Pada Buku PDMS Fundamental)*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Putranto, Ahmad Arief. 2017. *Desain Dan Layouting Instalasi Sistem Perpipaan Dengan Software Plant Design Management System (PDMS) Versi 12.0.SP5*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Rahmanta, Mujammil Asdhiyoga dan Samsudin, Agus Salim. 2022. *Analisis Pastel & Swot Pemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan di Indonesia*. Dalam Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy, (6): 1-13.
- Samsiadi. 2018. Analisa Perbandingan Arus Pengisian Baterai Menggunakan Panel Surya Polycrystalline dan Monocrystalline Keadaan Berbeban AC dan DC. Skripsi. Surabaya : Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- Rimbawati. 2021. *Pemanfaatan Energi Baru & Terbarukan (Minihidro di Rumah Sumbul)*.Medan: Umsu Press.
- Shuhada, Hidayat Bayu. 2022. Analisis Perubahan Kuota Air Terhadap Kinerja Turbin Kaplan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bili-Bili. Skripsi. Makassar : Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Sigit, Purnama. 2009. Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga (Studi Kasus Trafo Gtg 1.3 PLTGU Tambak Lorok

Semarang). Skripsi. Semarang: Fakultas Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Sivakumar, N. et.al. 2014. Economic Analysis Of Indian Pumped Storage Schemes. Dalam *Energy Conversion and Management*, (88). 168-176.

Stamenic, Mirjana. Dkk. 2015. A novel method for the inclusion of pipe roughness in the Hazen-Williams equation. Dalam *FME Transactions* (43), 35-39.

Sularso, Tahara Haruo. 1987. *Pompa & Kompresor Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. Jakarta: Pradnya Paramita.

U.S Agency For International Development (USAID).2016. Modul Pelatihan Keuangan Berkelanjutan dan Pembiayaan Energi Bersih: Pembiayaan Pembangkit Listrik tenaga Minihidro

U.S Department Of Energy. 2020. A Comparison of the Environmental Effects of Open-Loop and Closed-Loop Pumped Storage Hydropower. Washington D.C

Xia, Tian. Dkk. 2021. Techno-Economic Assessment of a Grid-Independent Hybrid Power Plant for Co-Supplying a Remote Micro-Community with Electricity and Hydrogen. Dalam *Jurnal Processes* (9) : 1-19)

Yuda, Timotius Putra. 2021. *Optimalisasi Perawatan Sistem Pemipaan Agar Tidak Terjadi Korosi Dan Kebocoran Di Kmn. Tri Sumber Berkah Upp Kelas Iii Juwana*. Skripsi. Semarang : Universitas Maritim Amni.



LAMPIRAN



LAMPIRAN A HASIL PENGUKURAN

Lampiran A. 1 Tabel Data Hasil Pengukuran *Theodolite*

<i>Instrument</i>		Sight Arah	Prisma Titik	Horizontal			Vertikal			<i>Distance</i>		
Titik	Tinggi			°	'	"	°	'	"	BA	BT	BB
DT1	1,515	BS	BM Dusun	0	0	0	90	0	0	0,545	0,501	0,460
		FS	BM Desa	272	33	35	90	0	0	0,942	0,909	0,875
		FS	SP1	14	5	5	95	24	25	0,883	0,730	0,680
		FS	SP2	14	28	15	93	56	35	0,543	0,305	0,065
		SS	SP3	11	10	25	96	25	10	0,865	0,745	0,623
			SP4	11	28	10	96	25	10	2,854	2,731	2,613
			SP5	9	39	45	93	44	55	3,156	2,975	2,791
			SP6	12	39	5	93	57	55	2,720	2,510	2,305
	SP7	11	19	45	93	57	55	2,435	2,208	1,980		
DT2		BS2	SP2	0	0	0	90	0	0	0,455	0,411	0,367
		FS	SP1	354	47	20	90	0	0	1,135	0,969	0,805
		Detail	SP8	248	31	20	90	0	0	2,739	2,595	2,450
		FS	SP9	238	28	30	90	0	0	1,035	0,981	0,926
		Detail	SP10	237	43	10	90	0	0	2,762	2,708	2,655
			SP11	251	25	30	90	0	0	1,279	1,098	0,918
		Detail	SP12	251	32	20	90	0	0	2,832	2,650	2,471
		Detail	SP13	254	35	5	90	0	0	2,738	2,485	2,237
Detail	SP14	255	30	10	90	0	0	2,779	2,448	2,120		
DT3	1,332	BS3	BM Dusun	0	0	0	85	0	35	1,312	1,125	0,942
		FS	BM Desa	9	49	20	84	34	25	2,000	1,771	1,545
			Dinding Headpond	266	18	25	84	34	25	1,151	1,081	1,031
		FS	J1	159	53	0	94	53	20	1,708	1,491	1,280
		FS	J2	159	27	15	94	53	25	1,671	1,465	1,253
		BS	J2	0	0	0	84	37	40	2,655	2,137	1,620

<i>Instrument</i>		Sight Arah	Prisma Titik	Horizontal			Vertikal			<i>Distance</i>		
Titik	Tinggi			°	'	"	°	'	"	BA	BT	BB
		FS	J1	0	32	20	84	37	40	2,775	2,255	1,739
			Elevasi Jebatan	359	50	20	84	37	45	1,955	1,711	1,468
		FS	JS1	18	38	5	98	48	0	1,779	1,580	1,368
		FS	JS2	16	45	10	98	41	25	1,855	1,650	1,440
DT4	1,285	BS	JS2	0	0	0	79	39	0	1,950	1,775	1,601
		FS	JS1	357	55	40	79	39	0	1,920	1,745	1,565
		FS	JS3	203	45	10	97	31	50	1,660	1,462	1,265
		FS	JS4	200	12	20	97	31	55	1,786	1,595	1,400
DT5	1,335	BS	JS3	0	0	0	76	1	45	1,175	0,971	0,775
		FS	JS4	3	48	55	76	1	45	1,260	1,060	1,861
		FS	JS6	192	24	15	104	36	0	1,360	1,288	1,218
		FS	JS5	194	19	45	104	35	55	1,361	1,268	1,175
DT6	1,270	BS	JS5	0	0	0	75	52	50	0,885	0,830	0,775
		FS	JS6	9	55	45	75	37	5	0,829	0,755	0,681
		SS	Pinggir Sungai	243	22	50	98	51	35	2,300	1,861	1,425
		FS	JS7	253	26	40	99	23	25	1,494	1,272	1,051
DT	1,370	FS	JS8	250	11	50	101	54	10	0,979	0,771	0,568
		BS	JS9	0	0	0	81	39	0	1,595	1,395	1,198
		FS	JS10	4	54	45	81	46	35	1,910	1,695	1,480
		SS	Pinggir Sungai	251	19	40	90	0	0	2,241	2,154	2,065
		SS	Pinggir Sungai	246	10	30	99	57	20	2,969	2,901	2,833

Lampiran A. 2 Tabel Data Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran dan Kedalam Sungai dengan Lebar 5m

Jarak dari Titik A	Kedalaman Sungai (m)	Kecepatan arus (m ² /detik)
1	0,12	0,1
2	0,2	0,1
3	0,57	0,4
4	0,4	0,2
5	0,37	0,1

Lampiran A. 3 Tabel Data Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran dan Kedalam Sungai dengan Lebar 3m

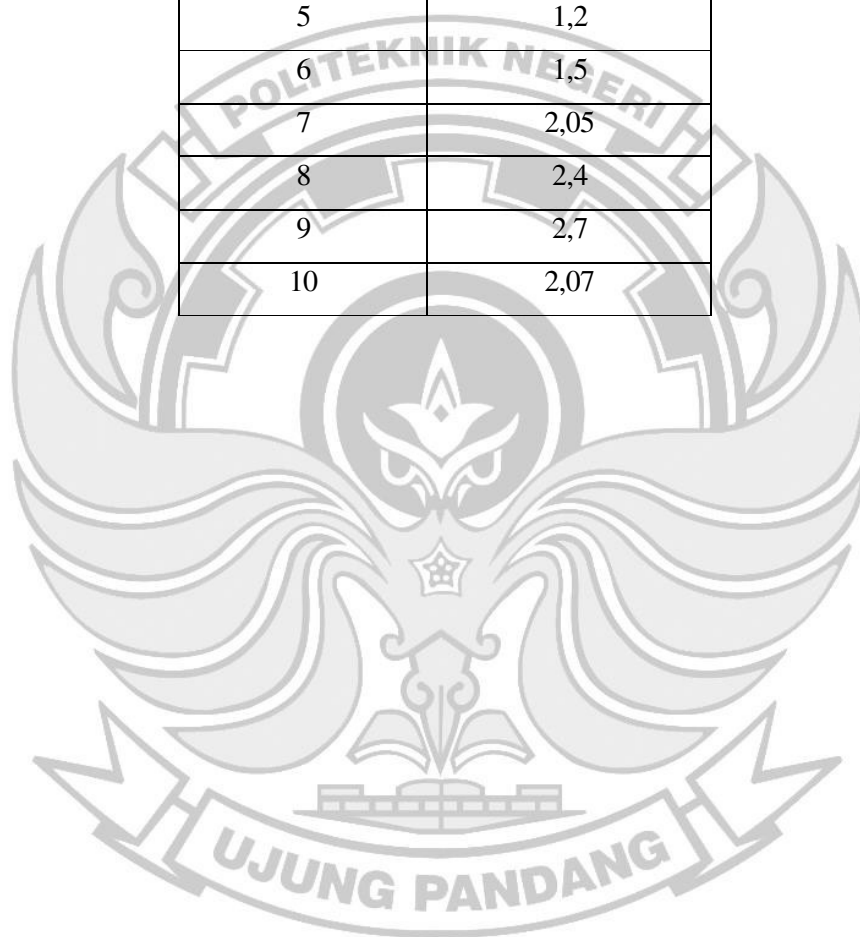
Jarak dari Titik A (m)	Kedalaman Sungai (m)	Kecepatan arus (m ² /detik)
0,5	0,8	0,1
1	0,22	0,4
1,5	0,26	0,4
2	0,24	0,4
2,5	0,1	0,1
3	0,25	0,4

Lampiran A. 4 Tabel Data Hasil Pengukuran Sungai Titik A Sampai Titik B

Titik	Panjang dari Titik A (m)	Lebar Sungai (m)
1	7,55	8
2	15,1	11,12
3	22,65	12
4	30,2	15
5	37,75	15
6	45,3	14

Lampiran A. 5 Tabel Data Hasil Pengukuran Kedalaman Sungai

Jarak dari Titik A (m)	Kedalaman Sungai (m)
2	0,3
3	0,6
4	0,9
5	1,2
6	1,5
7	2,05
8	2,4
9	2,7
10	2,07



LAMPIRAN B HASIL ANALISIS DATA THEODOLITE

Lampiran B Tabel Hasil Analisis Data Pengukuran *Thdolite*

Bak Ukur	Horizontal (°)	Vertikal (°)	α	Jarak Datar (m)	D.tan α (m)	(D.tan α)-BT (m)	Beda titik	elevasi (mdpl)
BM Dusun		90	0	8,5	0	-0,501	0	870,432
BM Desa		90	0	6,7	0	-0,909	-0,408	870,024
SP1	14,084	95,406	-5,406	30,030	-2,842	-3,572	-3,071	867,361
SP2	14,470	93,943	-3,943	47,573	-3,279	-3,584	-3,083	867,349
SP3	11,173	96,419	-6,419	23,897	-2,688	-3,433	-2,932	867,499
SP4	11,469	96,419	-6,419	23,798	-2,677	-5,408	-4,907	865,524
SP5	9,662	93,748	-3,748	36,343	-2,381	-5,356	-4,855	865,577
SP6	12,651	93,965	-3,965	41,301	-2,862	-5,372	-4,871	865,560
SP7	11,329	93,965	-3,965	45,282	-3,138	-5,346	-4,845	865,586
SP2	0	90	0	15,5	0	-0,981	0	867,349
SP1	354,789	90	0	33	0	-0,969	0,012	867,361
SP8	248,522	90	0	28,9	0	-2,595	-1,614	865,735
SP9	238,475	90	0	10,9	0	-0,981	0	867,349
SP10	237,719	90	0	10,7	0	-2,708	-1,727	865,622
SP11	251,425	90	0	36,1	0	-1,098	-0,117	867,232
SP12	251,539	90	0	36,1	0	-2,650	-1,669	865,680
SP13	254,585	90	0	50,1	0	-2,485	-1,504	865,845
SP14	255,503	90	0	65,9	0	-2,448	-1,467	865,882

Bak Ukur	Horizontal (°)	Vertikal (°)	α	Jarak Datar (m)	D.tan α (m)	(D.tan α)-BT (m)	Beda titik	elevasi (mdpl)
BM Dusun	0	85,009	4,990	36,704	3,205	2,080	0	870
BM Desa (Tiang Listrik)	9,822	84,573	5,426	45,093	4,283	2,512	0,432	870,432
Dinding Reservoir	266,306	84,573	5,426	11,892	1,129	0,048	-2,031	867,968
J1	159,883	94,888	-4,888	42,489	-3,634	-5,125	-7,205	862,794
J2	159,45	94,890	-4,890	41,496	-3,550	-5,015	-7,095	862,904
J2	0	84,627	5,372	102,592	9,647	7,510	0	862,904
J1	0,538	84,627	5,372	102,691	9,657	7,402	-0,108	862,795
Elevasi Jembatan	359,838	84,629	5,370	48,273	4,538	2,827	-4,683	858,221
JS1	18,634	98,802	-8,802	40,137	-6,215	-7,795	-15,305	847,598
JS2	16,752	98,690	-8,690	40,552	-6,198	-7,848	-15,359	847,545
JS2	0	79,650	10,350	33,773	6,168	4,393	0	847,545
JS1	357,927	79,650	10,350	34,354	6,274	4,529	0,136	847,682
JS3	203,752	97,530	-7,530	38,821	-5,132	-6,594	-8,674	838,871
JS4	200,205	97,531	-7,531	37,936	-5,015	-6,610	-8,690	838,854
JS3	0	76,029	13,970	37,668	9,371	8,400	0	838,871
JS4	3,815	76,029	13,970	37,574	9,348	8,288	-0,112	838,759
JS6	192,404	104,600	-14,600	13,297	-3,463	-4,751	-13,152	825,719
JS5	194,329	104,598	-14,598	17,418	-4,536	-5,804	-14,205	824,666
JS5	0	75,880	14,119	10,345	2,602	1,772	0	824,666
JS6	9,929	75,618	14,381	13,886	3,560	2,807	1,0355	825,702
Pinggir Sungai	243,380	98,859	-8,859	85,424	-13,315	-15,176	-16,948	807,717
JS7	253,444	99,390	-9,390	45,067	-7,453	-8,725	-10,497	814,169
JS8	250,197	101,902	-11,902	39,351	-8,294	-9,065	-10,838	813,828
JS7	0	81,650	8,350	38,862	5,704	4,309	0	813,828

JS8	4,912	81,776	8,223	42,120	6,087	4,392	0,083	813,911
Pinggir Sungai	251,327	90	0	17,600	0	-2,154	-6,463	807,365
Elv. Sungai	246,175	99,955	-9,955	13,237	-2,323	-5,224	-9,533	804,294



LAMPIRAN C HASIL SIMULASI EPANET

Lampiran C. 1 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-9530,52
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-19060,03
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-28589,55
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-47650,58
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-295436,40
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-848189,30
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C. 2 Hasil Simulasi Epanet Pada Pipe 1 Inch *Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	25,4	100	493,38
<i>Pipe 2</i>	1	25,4	100	493,38
<i>Pipe 3</i>	1	25,4	100	493,38
<i>Pipe 4</i>	2	25,4	100	493,38
<i>Pipe 5</i>	26	25,4	100	493,38
<i>Pipe 6</i>	58	25,4	100	493,38

Lampiran C. 3 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-326,65
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-652,30
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-977,96
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-1631,26
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-10116,58
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-29045,36
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C. 4 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 2 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	50,8	100	123,34
<i>Pipe 2</i>	1	50,8	100	123,34
<i>Pipe 3</i>	1	50,8	100	123,34
<i>Pipe 4</i>	2	50,8	100	123,34
<i>Pipe 5</i>	26	50,8	100	123,34
<i>Pipe 6</i>	58	50,8	100	123,34

Lampiran C. 5 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-46,19
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-91,37
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-136,56
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-228,93
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-1422,16
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-4083,97
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C. 6 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 3 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	76,2	100	54,82
<i>Pipe 2</i>	1	76,2	100	54,82
<i>Pipe 3</i>	1	76,2	100	54,82
<i>Pipe 4</i>	2	76,2	100	54,82
<i>Pipe 5</i>	26	76,2	100	54,82
<i>Pipe 6</i>	58	76,2	100	54,82

Lampiran C. 7 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure</i> (m)
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-12,13
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-23,26
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-34,39
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-58,64
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-366,35
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-1052,76
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C. 8 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 4 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	101,6	100	30,84
<i>Pipe 2</i>	1	101,6	100	30,84
<i>Pipe 3</i>	1	101,6	100	30,84
<i>Pipe 4</i>	2	101,6	100	30,84
<i>Pipe 5</i>	26	101,6	100	30,84
<i>Pipe 6</i>	58	101,6	100	30,84

Lampiran C.1 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-4,75
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-8,51
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-12,26
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-21,77
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-137,71
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-396,35
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.2 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 5 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	127	100	19,74
<i>Pipe 2</i>	1	127	100	19,74
<i>Pipe 3</i>	1	127	100	19,74
<i>Pipe 4</i>	2	127	100	19,74
<i>Pipe 5</i>	26	127	100	19,74
<i>Pipe 6</i>	58	127	100	19,74

Lampiran C.3 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-2,54
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-4,09
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-5,63
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-10,72
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-69,24
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-199,76
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.4 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	152,4	100	13,70
<i>Pipe 2</i>	1	152,4	100	13,70
<i>Pipe 3</i>	1	152,4	100	13,70
<i>Pipe 4</i>	2	152,4	100	13,70
<i>Pipe 5</i>	26	152,4	100	13,70
<i>Pipe 6</i>	58	152,4	100	13,70

Lampiran C.5 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure</i> (m)
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,38
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,76
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-2,14
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-4,90
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-33,16
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-96,17
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.6 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 8 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	203,2	100	7,71
<i>Pipe 2</i>	1	203,2	100	7,71
<i>Pipe 3</i>	1	203,2	100	7,71
<i>Pipe 4</i>	2	203,2	100	7,71
<i>Pipe 5</i>	26	203,2	100	7,71
<i>Pipe 6</i>	58	203,2	100	7,71

Lampiran C.7 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,13
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,26
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,38
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,64
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-25,34
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-73,74
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.8 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 10 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	254	100	4,93
<i>Pipe 2</i>	1	254	100	4,93
<i>Pipe 3</i>	1	254	100	4,93
<i>Pipe 4</i>	2	254	100	4,93
<i>Pipe 5</i>	26	254	100	4,93
<i>Pipe 6</i>	58	254	100	4,93

Lampiran C.9 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,05
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,11
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,16
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,26
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-23,00
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-67,02
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.10 Hasil Simulasi Epanet Pada Pipe 12 Inch Link

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	304,8	100	3,43
<i>Pipe 2</i>	1	304,8	100	3,43
<i>Pipe 3</i>	1	304,8	100	3,43
<i>Pipe 4</i>	2	304,8	100	3,43
<i>Pipe 5</i>	26	304,8	100	3,43
<i>Pipe 6</i>	58	304,8	100	3,43

Lampiran C.11 Hasil Simulasi Epanet Pada Juntion

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure</i> (m)
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,02
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,05
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,07
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,12
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-22,14
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-64,54
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.12 Hasil Simulasi Epanet Pada Pipe 14 Inch Link

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	355,6	100	2,52
<i>Pipe 2</i>	1	355,6	100	2,52
<i>Pipe 3</i>	1	355,6	100	2,52
<i>Pipe 4</i>	2	355,6	100	2,52
<i>Pipe 5</i>	26	355,6	100	2,52
<i>Pipe 6</i>	58	355,6	100	2,52

Lampiran C.13 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,01
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,03
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,04
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,06
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-21,77
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-63,48
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.14 Hasil Simulasi Epanet Pada *Pipe 16 Inch Link*

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	406,4	100	1,93
<i>Pipe 2</i>	1	406,4	100	1,93
<i>Pipe 3</i>	1	406,4	100	1,93
<i>Pipe 4</i>	2	406,4	100	1,93
<i>Pipe 5</i>	26	406,4	100	1,93
<i>Pipe 6</i>	58	406,4	100	1,93

Lampiran C.15 Hasil Simulasi Epanet Pada *Juntion*

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,01
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,01
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,02
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,04
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-21,60
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-62,98
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.16 Hasil Simulasi Epanet Pada Pipe 18 Inch Link

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	457,2	100	1,52
<i>Pipe 2</i>	1	457,2	100	1,52
<i>Pipe 3</i>	1	457,2	100	1,52
<i>Pipe 4</i>	2	457,2	100	1,52
<i>Pipe 5</i>	26	457,2	100	1,52
<i>Pipe 6</i>	58	457,2	100	1,52

Lampiran C.17 Hasil Simulasi Epanet Pada Juntion

<i>Node ID</i>	<i>Elevation</i> (m)	<i>Base Demand</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc 2</i>	804,2947	0	-1,00
<i>Junc 3</i>	804,2947	0	-1,01
<i>Junc 4</i>	804,2947	0	-1,01
<i>Junc 5</i>	806,2947	0	-3,02
<i>Junc 6</i>	824,663	0	-21,50
<i>Junc 7</i>	865,622	250	-62,72
<i>Reservoir 1</i>	802,186	-	0,00

Lampiran C.18 Hasil Simulasi Epanet Pada Pipe 20 Inch Link

<i>Link ID</i>	<i>Length</i> (m)	<i>Diameter</i> (mm)	<i>Roughness</i>	<i>Velocity</i> (m/s)
<i>Pipe 1</i>	1	508	100	1,23
<i>Pipe 2</i>	1	508	100	1,23
<i>Pipe 3</i>	1	508	100	1,23
<i>Pipe 4</i>	2	508	100	1,23
<i>Pipe 5</i>	26	508	100	1,23
<i>Pipe 6</i>	58	508	100	1,23

LAMPIRAN D GAMBAR DAN SPESIFIKASI POMPA

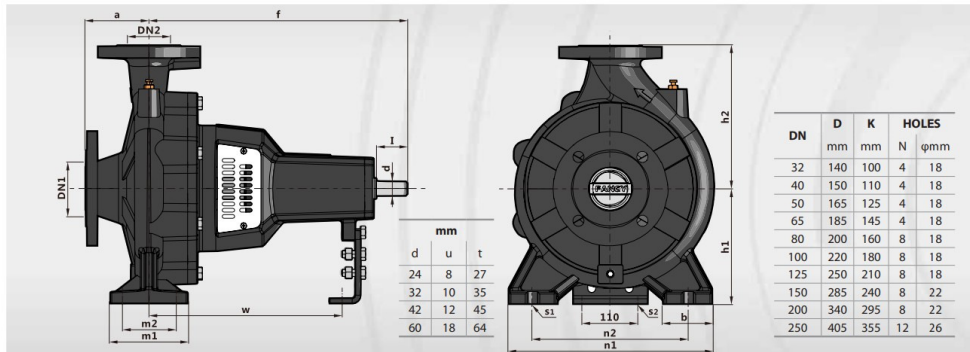
Lampiran D.1 Gambar Pompa *End Suction Centrifugal*



Lampiran D.2 Gambar *Technical Data* Pompa

TECHNICAL DATA/DATOS TÉCNICOS/DONNÉES TECHNIQUES											50 Hz n=2900 l/min												
MODEL MODELO MODELE	DN	Impulsi Ø mm	Power Potencia Puissance		Q=DELIVERY/CAUDAL/DÉBIT																		
			kw	hp	GPM Ø	264	396	529	634	793	881	925	969	1057	1233	1322	1586	1762	2203	2643	2907	3524	4405
					l/min Ø	1000	1500	2000	2400	3000	3333	3500	3667	4000	4667	5000	6000	6667	8333	10000	11000	13333	16667
					m ³ /h Ø	60	90	120	144	180	200	210	220	240	280	300	360	400	500	600	660	800	1000
					H=Head/Altura/Hauteur(m)																		
FS 150-315/1850	200x150	287	185	250	92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	88.3	87.2	82.8	77.8	72	60	-
FS 150-315/2500	200x150	305	250	340	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	108	106	102	96	92	81	62.2
FS 150-315/2800	200x150	315	280	380	124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	121	119	118	114	109	105	94	73.6
FS 150-315/3150	200x150	327	315	430	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	134	133	132	128	122	118	106	85

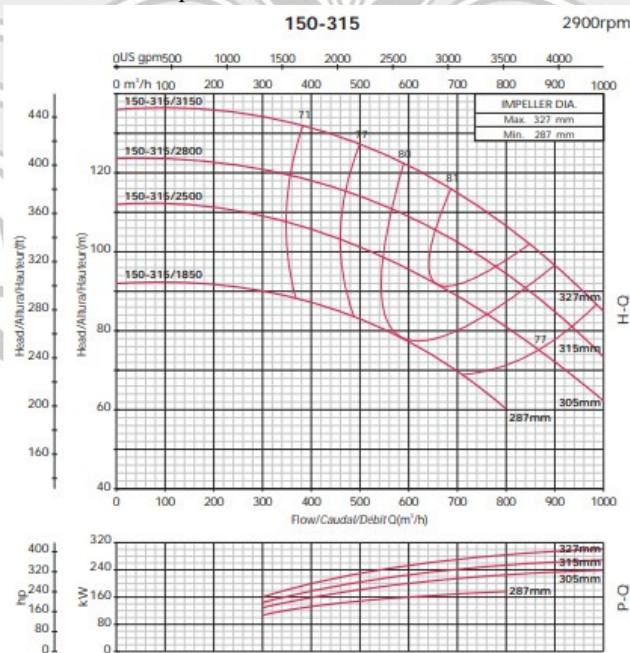
Lampiran D.3 Gambar Dimensi Pompa



Lampiran D.4 Gambar Data Dimensi Pompa

MODEL MODELO MODÈLE	DIMENSIONS/DIMENSIONES/DIMENSIONS mm															kg	
	DN1	DN2	a	f	h1	h2	b	m1	m2	n1	n2	s1	s2	w	d	l	3~
150-400	200	150	160	530	315	450	100	200	150	550	450	23	14	370	42	110	228
200-250	250	200	180	530	355	475	100	200	150	550	450	23	14	370	42	110	230
200-315	250	200	180	530	355	450	100	200	150	550	450	23	14	370	42	110	234
200-400	250	200	180	770	400	500	110	300	250	710	600	28	14	525	60	140	363
250-315	300	250	250	530	400	500	110	300	250	710	600	28	14	525	42	110	316
250-400	300	250	250	770	400	560	110	300	250	710	600	28	14	525	60	140	400

Lampiran D.5 Gambar Pump Curve



Lampiran D.6 Gambar Motor Pompa



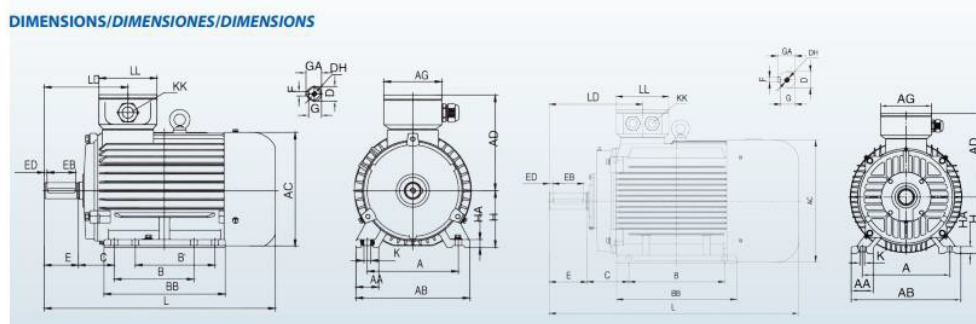
Lampiran D.7 Gambar *Technical Data* Motor

TECHNICAL SHEET/HOJA TÉCNICA/FICHE TECHNIQUE

50 Hz n=2900 1/min

MODEL MODELO MODELE	Power Potencia Puissance		RPM 1/min	η			$\cos \Phi$	A			Nm	Ts/Tn	Tmax/Tn	Is/In	dB(A)	Kgs
	kw	hp		%	75%	50%		380V	400V	415V						
	YE3-801-2	0.75	1	2880	80.7	80.7	79.1	0.82	1.72	1.64	1.58	2.49	2.3	2.3	7	73
YE3-802-2	1.1	1.5	2880	82.7	82.7	81	0.83	2.43	2.31	2.23	3.65	2.2	2.3	7.3	73	19.5
YE3-90S-2	1.5	2	2895	84.2	84.2	82.5	0.84	3.22	3.06	2.95	4.95	2.2	2.3	7.6	76	23.3
YE3-90L-2	2.2	3	2895	85.9	85.9	84.2	0.85	4.58	4.35	4.19	7.26	2.2	2.3	7.6	77	27.1
YE3-100L-2	3	4	2895	87.1	87.1	85.4	0.87	6.02	5.71	5.51	9.9	2.2	2.3	7.8	79	38.8
YE3-112M-2	4	5.5	2905	88.1	88.1	86.3	0.88	7.84	7.45	7.18	13.1	2.2	2.3	8.3	80	48.3
YE3-132S1-2	5.5	7.5	2930	89.2	89.2	87.4	0.88	10.6	10.1	9.75	17.9	2	2.3	8.3	83	55.1
YE3-132S2-2	7.5	10	2930	90.1	90.1	88.3	0.88	14.4	13.7	13.2	24.4	2	2.3	7.9	84	69.2
YE3-160M1-2	11	15	2945	91.2	91.2	89.4	0.89	20.6	19.6	18.9	35.7	2	2.3	8.1	87	113
YE3-160M2-2	15	20	2945	91.9	91.9	90.1	0.89	27.9	26.5	25.5	48.6	2	2.3	8.1	87	123
YE3-160L-2	18.5	25	2940	92.4	92.4	90.6	0.89	34.2	32.5	31.3	60.1	2	2.3	8.2	90	142
YE3-180M-2	22	30	2955	92.7	92.7	90.8	0.89	40.5	38.5	37.1	71.1	2	2.3	8.2	90	182
YE3-200L1-2	30	40	2960	93.3	93.3	91.4	0.89	54.9	52.1	50.3	96.8	2	2.3	7.6	91	246
YE3-200L2-2	37	50	2960	93.7	93.7	91.8	0.89	67.4	64	61.7	119.4	2	2.3	7.6	91	265
YE3-225M-2	45	60	2965	94	94	92.1	0.9	80.8	76.8	74	144.9	2	2.3	7.7	93	323
YE3-250M-2	55	75	2970	94.3	94.3	92.4	0.9	98.5	93.5	90.2	176.9	2	2.3	7.7	93	413
YE3-280S-2	75	100	2975	94.7	94.7	92.8	0.9	134	127	122	240.8	1.8	2.3	7.1	94	546
YE3-280M-2	90	125	2975	95	95	93.1	0.9	160	152	146	288.9	1.8	2.3	7.1	94	569
YE3-315S-2	110	150	2978	95.2	95.2	93.3	0.9	195	185	179	352.8	1.8	2.3	7.1	94	897
YE3-315M-2	132	180	2978	95.4	95.4	93.5	0.9	234	222	214	423.3	1.8	2.3	7.1	95	1029
YE3-315L1-2	160	220	2980	95.6	95.6	93.7	0.91	279	265	256	512.8	1.8	2.3	7.2	95	1067
YE3-315L2-2	200	270	2980	95.8	95.8	93.9	0.91	349	331	319	640.9	1.8	2.2	7.2	95	1194
YE3-355M-2	250	340	2982	95.8	95.8	93.9	0.91	436	414	399	800.6	1.6	2.2	7.2	103	1685
YE3-355L-2	315	430	2982	95.8	95.8	93.9	0.91	549	522	503	1009	1.6	2.2	7.2	103	1734

Lampiran D.8 Gambar Dimensi Motor Pompa

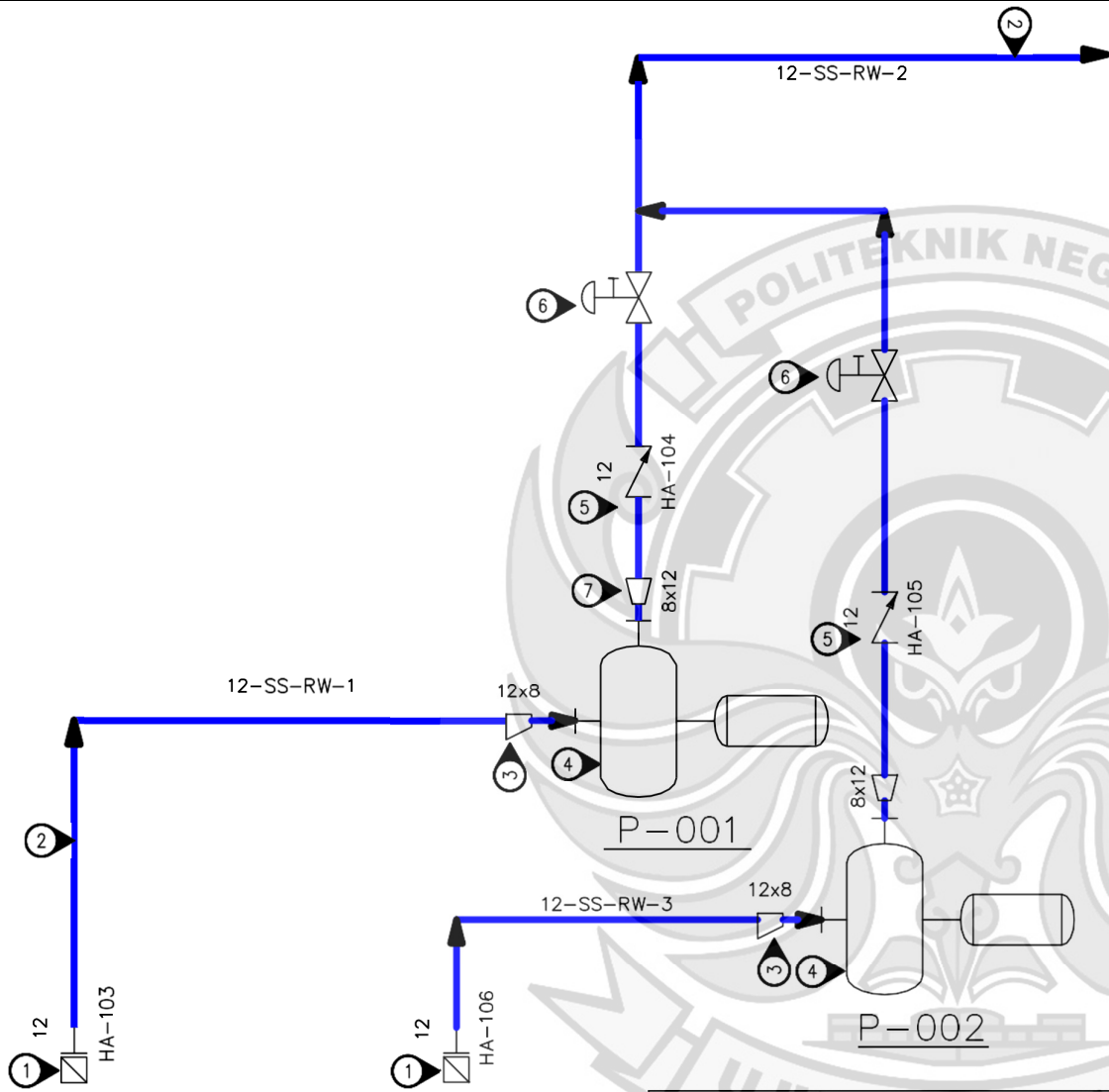


Lampiran D. 9 Gambar Data Dimensi Pompa

MODEL MODELO MODÈLE	DIMENSIONS/DIMENSIONES/DIMENSIONS mm																							
	A	AA	AB	AC	AD	AG	B	BB	C	D	DH	E	EB	ED	F	G	GA	H	HA	K	KK	L	LD	LL
80	125	34	160	167	147	102	100	150	50	19	M6X16	40	30	2.5	6	15.5	21.5	80	10	4-Φ10	1-M25X1.5	304	119	102
90S	140	36	176	182.4	154.5	102	100	161	56	24	M8X19	50	40	5	8	20	27	90	12	4-Φ10	1-M25X1.5	336	143	102
90L	140	36	176	182.4	154.5	102	125	186	56	24	M8X19	50	40	5	8	20	27	90	12	4-Φ10	1-M25X1.5	361	143	102
100L	160	40	200	205.4	166	102	140	213	63	28	M10X22	60	50	5	8	24	31	100	14	4-Φ12	1-M32X1.5	406	147	102
112M	190	50	240	230	188	118	140	188	70	28	M10X22	60	50	5	8	24	31	112	15	4-Φ12	2-M32X1.5	394	147	110
132S	216	55	265	258.4	203	118	140	186	89	38	M12X28	80	65	5	10	33	41	132	18	4-Φ12	2-M32X1.5	438	172	110
132M	216	55	265	258.4	203	118	178	224	89	38	M12X28	80	65	7.5	10	33	41	132	18	4-Φ12	2-M32X1.5	476	172	110
160M	254	65	314	314	251	162	210	260	108	42	M16X36	110	90	7.5	12	37	45	160	20	4-Φ14.5	2-M40X1.5	608	256	152
160L	254	65	314	314	251	162	254	304	108	42	M16X36	110	90	10	12	37	45	160	20	4-Φ14.5	2-M40X1.5	652	256	152
180M	279	70	349	355	267	162	241	311	121	48	M16X36	110	90	10	14	42.5	51.5	180	22	4-Φ14.5	2-M40X1.5	688	271	152
180L	279	70	349	355	267	162	279	349	121	48	M16X36	110	90	10	14	42.5	51.5	180	22	4-Φ14.5	2-M40X1.5	726	271	152
200L	318	70	388	397	299	210	305	369	133	55	M20X42	110	100	10	16	49	59	200	25	4-Φ18.5	2-M50X1.5	779	296	190
225S	356	75	431	446	322	210	286	368	149	60	M20X42	140	125	5	18	53	64	225	28	4-Φ18.5	2-M50X1.5	824	329	190
225M	356	75	431	446	322	210	311	393	149	55	M20X42	110	100	7.5	16	49	59	225	28	4-Φ18.5	2-M50X1.5	819	299	190
250M	406	80	484	485	358	248	349	445	168	60	M20X42	140	125	7.5	18	53	64	250	30	4-Φ24	2-M63X1.5	910	347	218
280S	457	85	542	547	387	248	368	485	190	65	M20X42	140	125	7.5	18	58	69	280	35	4-Φ24	2-M63X1.5	982	355.5	218
280M	457	85	542	547	387	248	419	536	190	65	M20X42	140	125	7.5	18	58	69	280	35	4-Φ24	2-M63X1.5	1033	355.5	218
315S	508	120	628	620	527	320	406	570	216	65	M20X42	140	125	7.5	18	58	69	315	45	4-Φ28	2-M63X1.5	1194	397	280
315M	508	120	628	620	527	320	457	680	216	65	M20X42	140	125	7.5	18	58	69	315	45	4-Φ28	2-M63X1.5	1304	397	280
315L	508	120	628	620	527	320	508	680	216	65	M20X42	140	125	7.5	18	58	69	315	45	4-Φ28	2-M63X1.5	1304	397	280
355M	610	116	726	698	642	380	560	750	254	75	M20X42	140	130	5	20	67.5	79.5	355	52	6-Φ28	2-M63X1.5	1486	414	330
355L	610	116	726	698	642	380	630	750	254	75	M20X42	140	130	5	20	67.5	79.5	355	52	6-Φ28	2-M63X1.5	1486	414	330

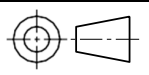
LAMPIRAN E GAMBAR-GAMBAR TEKNIK

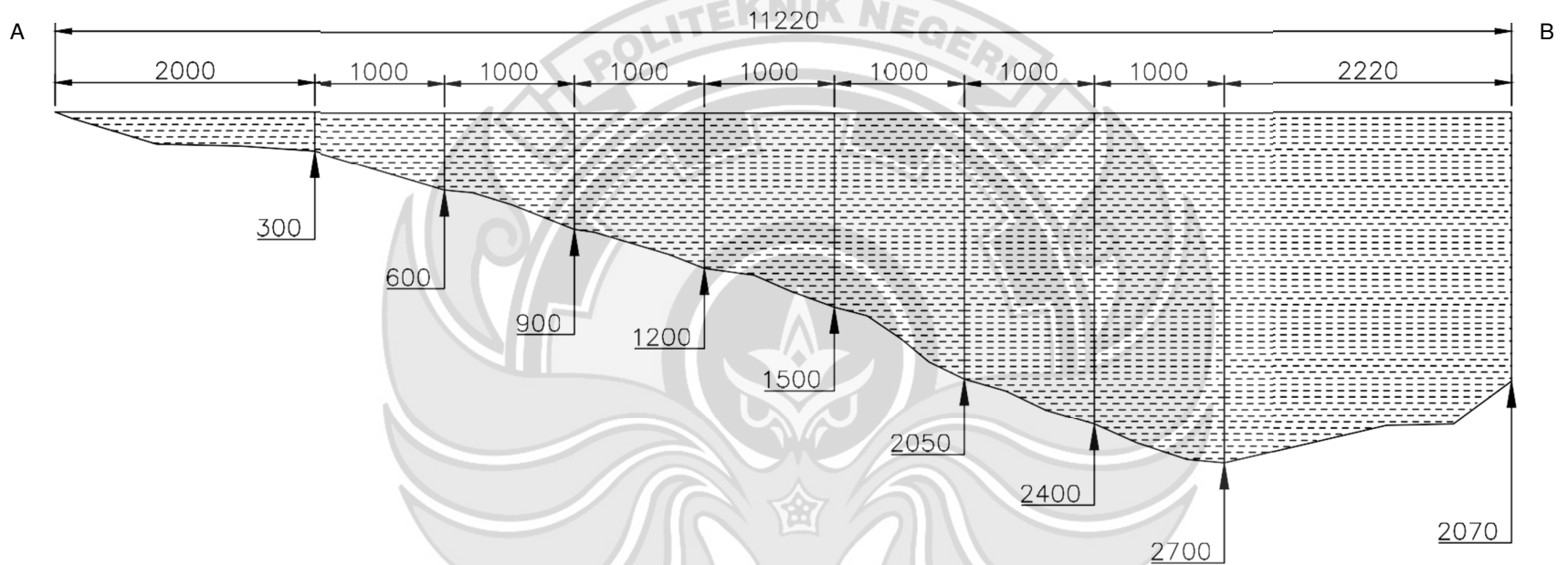


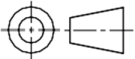


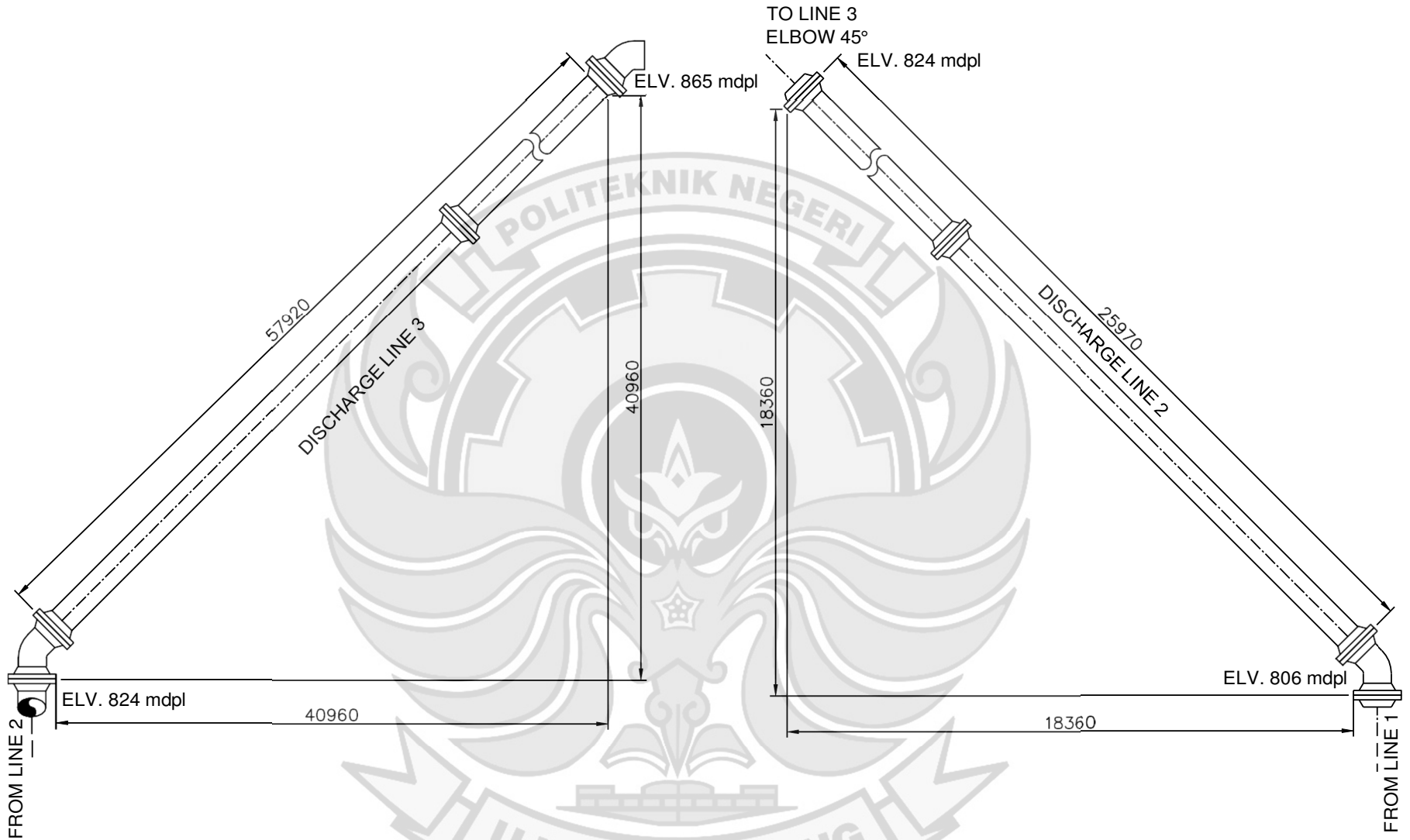
DAFTAR MATERIAL		
NOMOR SIMBOL	DESKRIPSI	KETERANGAN
1	Foot Valve	12"
2	Pipa	12"
3	Eccentrik Reducer	12" x 8"
4	Pompa sentrifugal	150-315/2500
5	Check Valve	12"
6	Isolation Valve	12"
7	Concentric Reducer	12" x 8"

P&ID SISTEM PEMIPAAN PUMPED STORAGE		Tanggal : 15-06-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan :		Dicek :
Skala :		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 001-008/013-TPE19-23

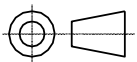


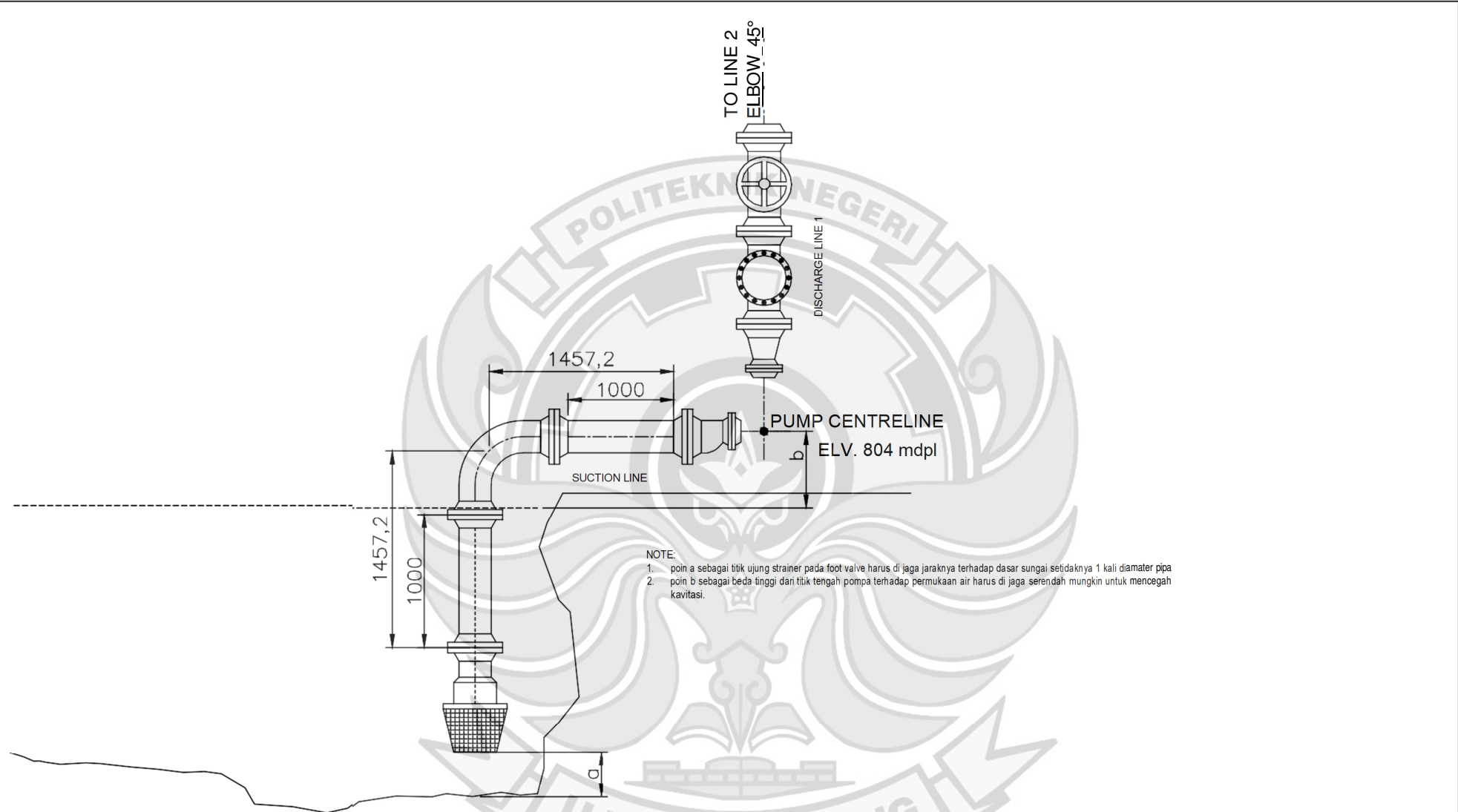


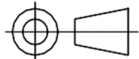
KEDALAMAN SUNGAI TITIK AB2		Tanggal	: 01-06-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Skala	: 1 : 50
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		Diperiksa	:
		No. Gambar	: 002-008/013-TPE19-23
			

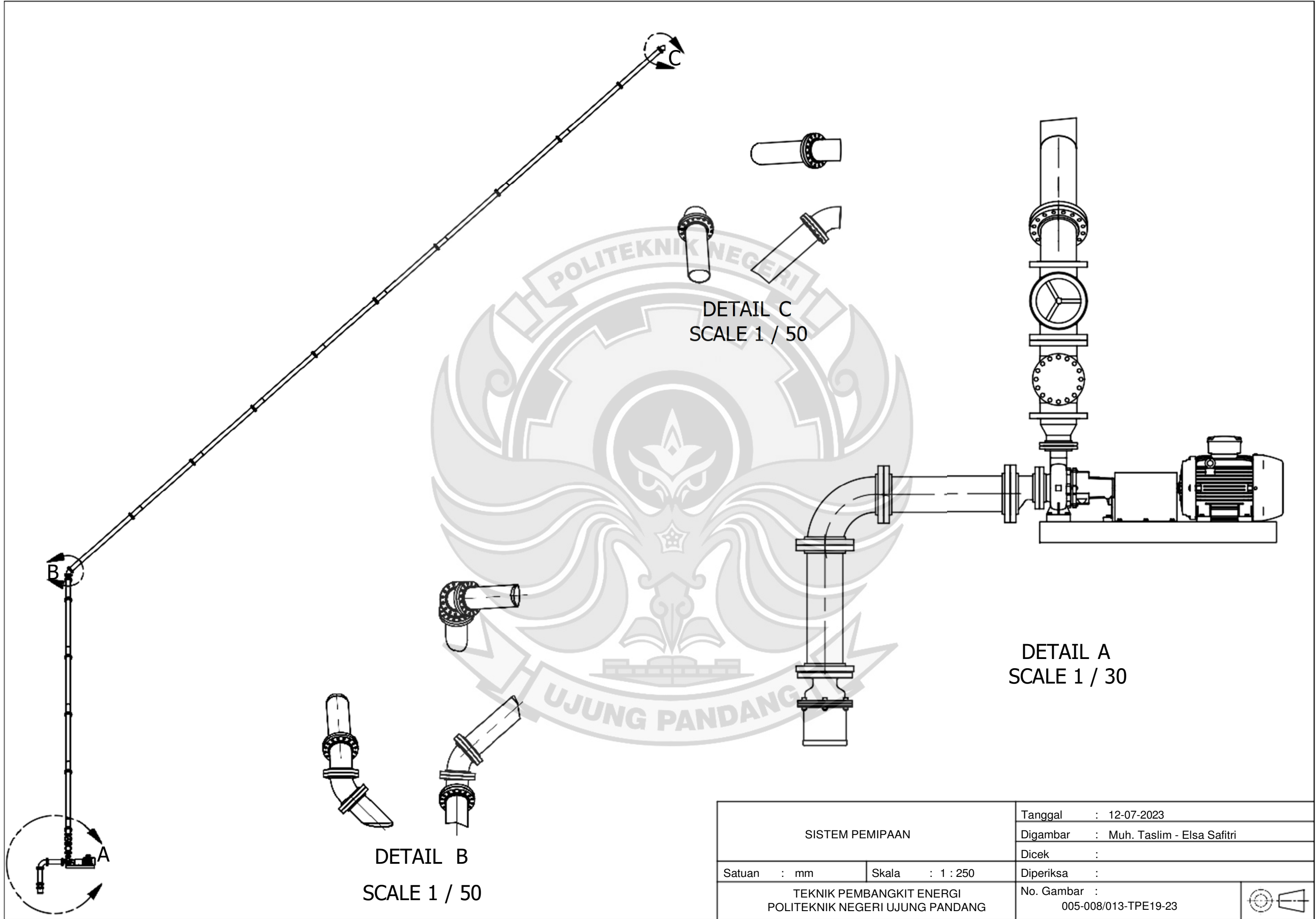


JALUR PEMIPAAN		Tanggal : 07-07-2023	
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri	
Satuan : mm		Diperiksa :	
Skala : 1 : 60		No. Gambar :	
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		003-008/013-TPE19-23	





JALUR PEMIPAAN		Tanggal	: 07-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Dicek	:
		Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 004-008/013-TPE19-23
			

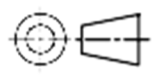


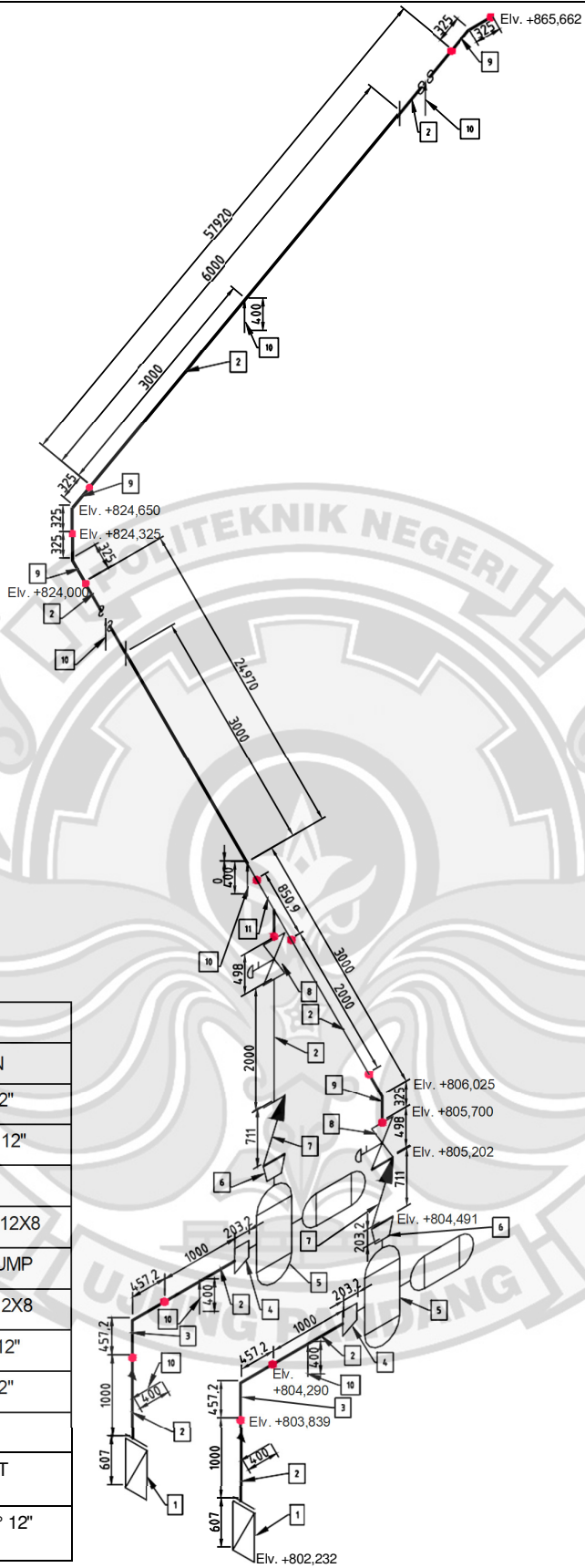
DETAIL C
SCALE 1 / 50

DETAIL A
SCALE 1 / 30

DETAIL B
SCALE 1 / 50

SISTEM PEMIPAAN		Tanggal	: 12-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Dicek	:
Skala : 1 : 250		Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 005-008/013-TPE19-23





BILL OF MATERIALS

ID	QTY.	DESCRIPTION
1	2	FOOT VALVE 12"
2	15	SS PIPE SCH 40 12"
3	2	LR 90° 12"
4	2	CONC. REDUCER 12X8
5	2	CENTRIFUGAL PUMP
6	2	ECC. REDUCER 12X8
7	2	CHECK VALVE 12"
8	2	GATE VALVE 12"
9	4	LR 45° 12"
10	16	PIPE SUPPORT
11	1	LATERAL TEE 45° 12"

ISOMETRIC PUMP STORAGE

Tanggal : 12-07-2023

Digambar : Muh. Taslim - Elsa Saftri

Dicek :

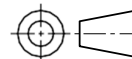
Satuan : mm

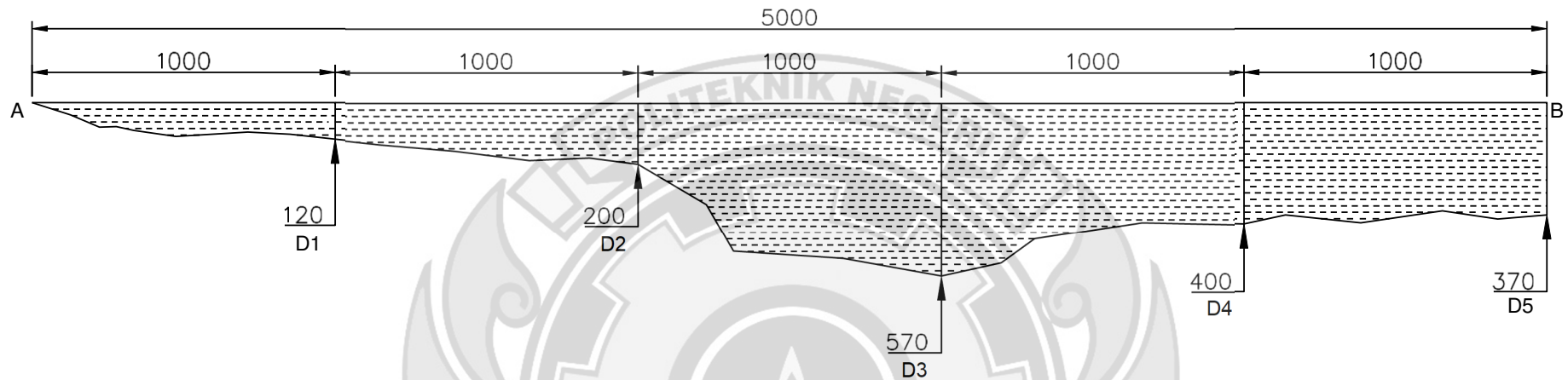
Skala : 1 : 80

Diperiksa :

TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

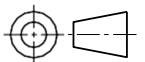
No. Gambar :
006-008/013-TPE19-23

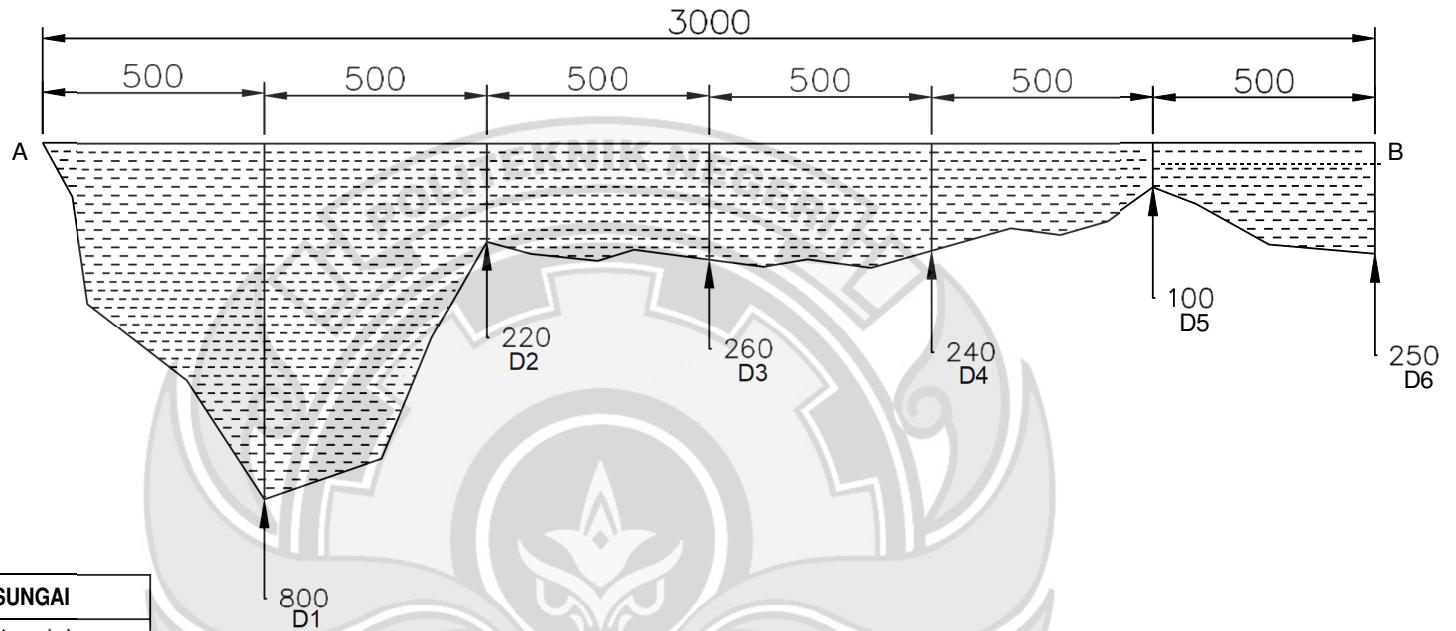




KECEPATAN ALIRAN SUNGAI	
TITIK	V (m/s)
D1	0,1
D2	0,1
D3	0,4
D4	0,2
D5	0,1

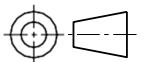
PENAMPANG SUNGAI LEBAR 5 METER		Tanggal : 01-06-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Dicek :
Skala : 1 : 20		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 007-008/013-TPE19-23

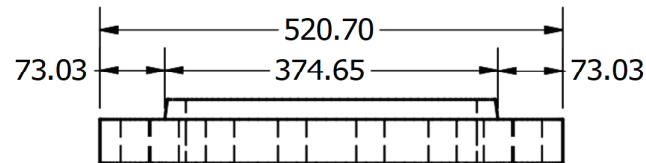
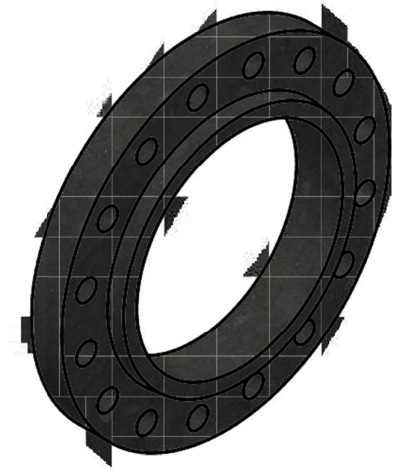
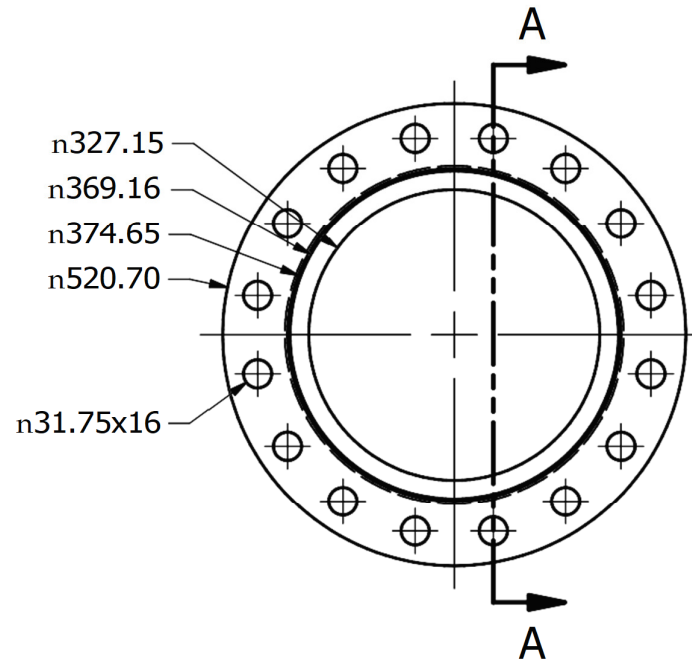
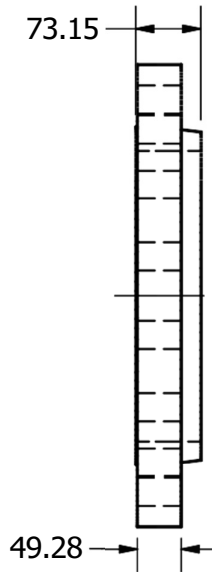
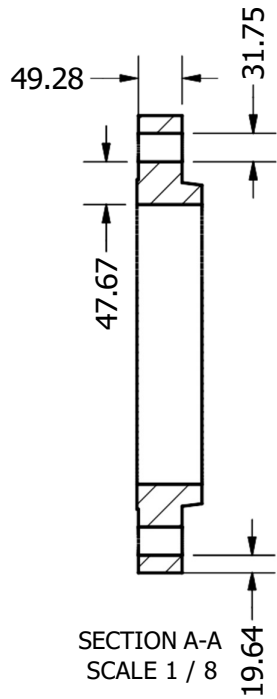




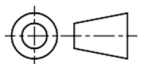
KECEPATAN ALIRAN SUNGAI	
TITIK	v (m/s)
D1	0,1
D2	0,4
D3	0,4
D4	0,4
D5	0,1
D6	0,4

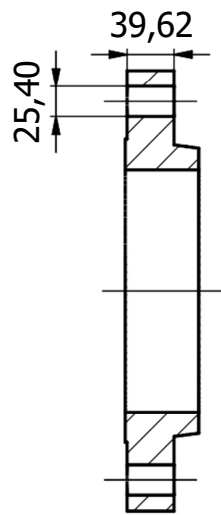
PENAMPANG SUNGAI LEBAR 3 METER		Tanggal : 01-06-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Dicek :
Skala : 1 : 16		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 008-008/013-TPE19-23



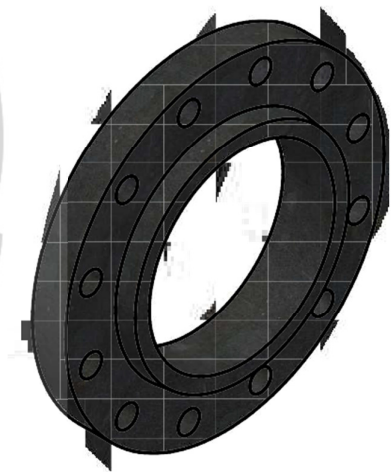
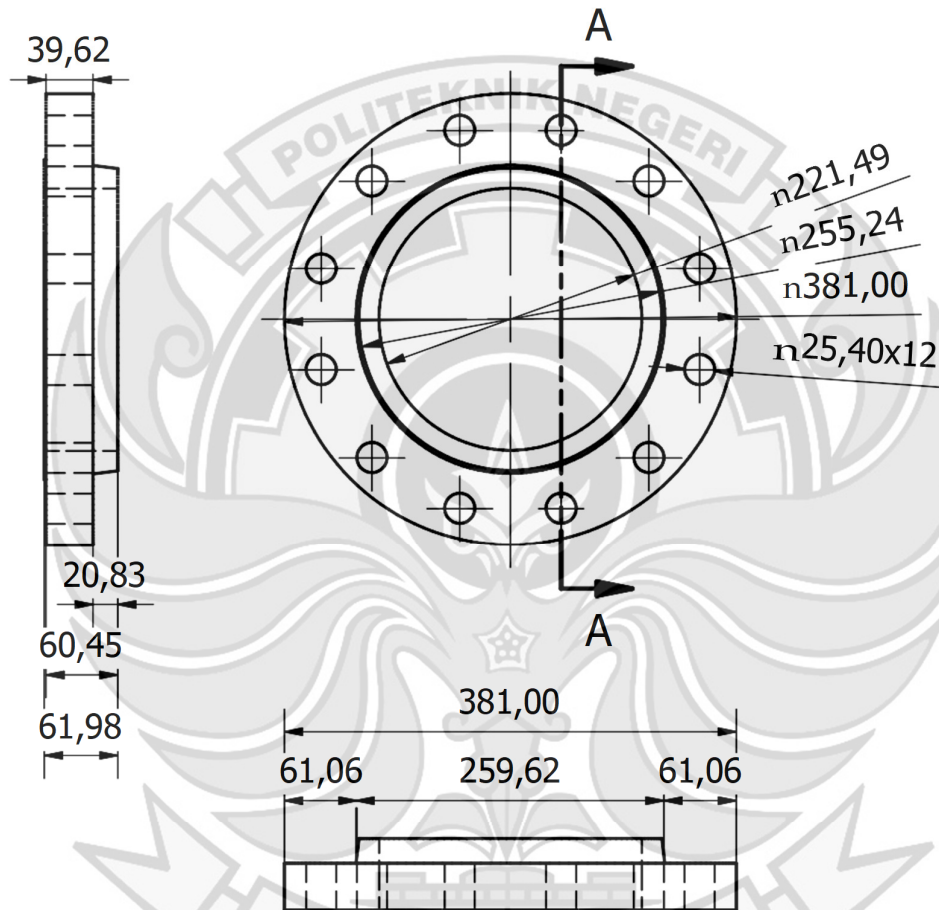


FLANGE 12" 300 SO ASME B16.5		Tanggal : 07-07-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm	Skala : 1 : 8	Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 009-008/013-TPE19-23

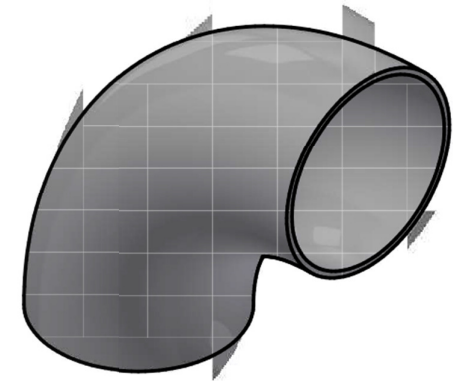
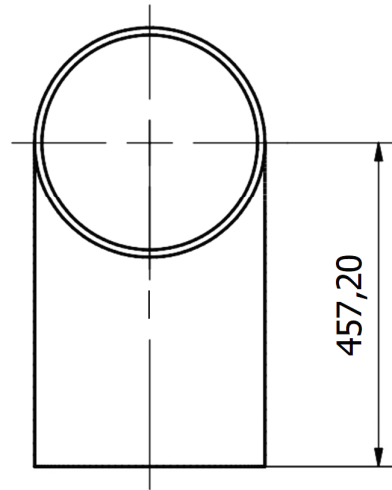
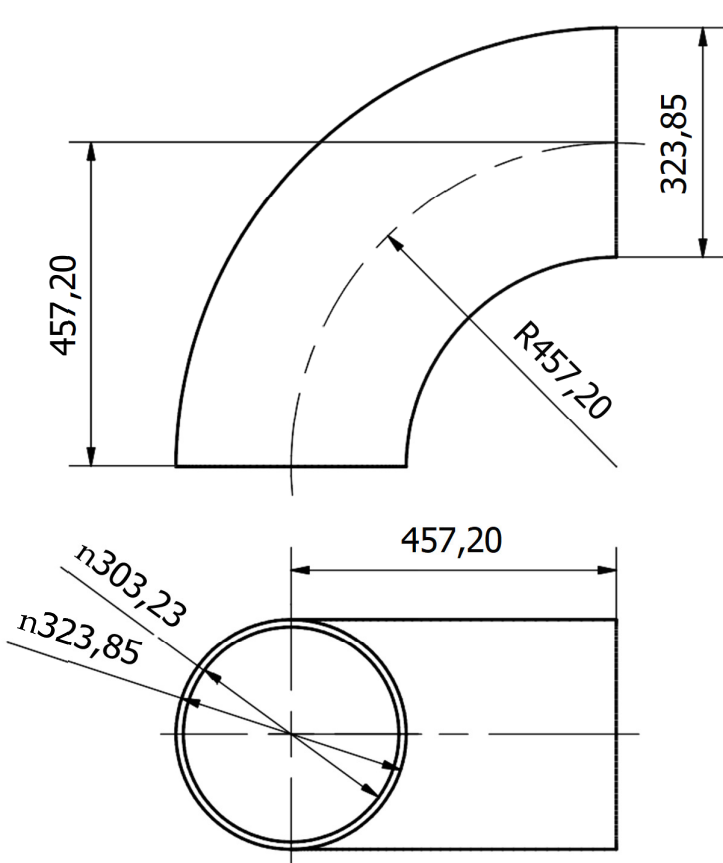




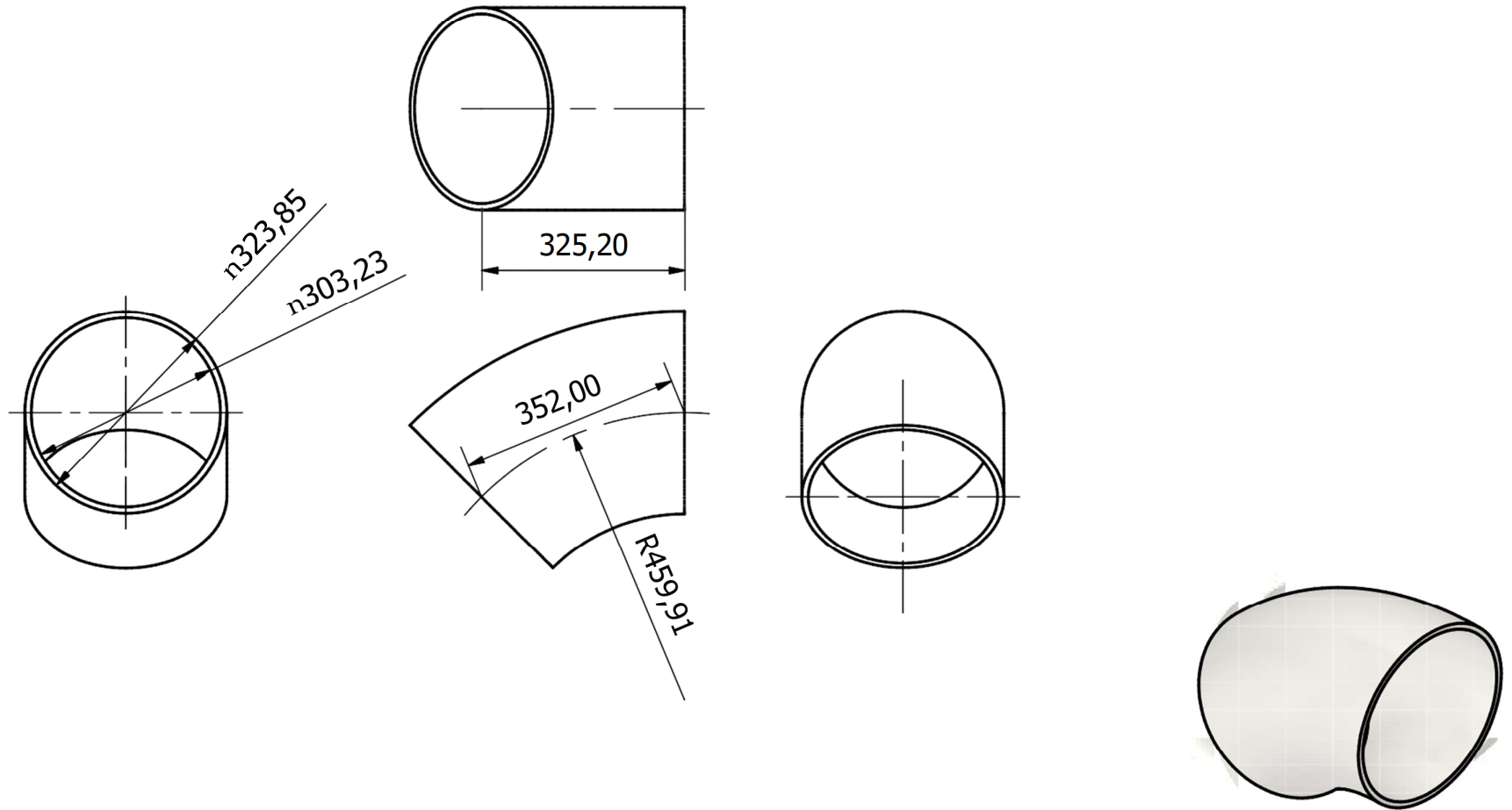
SECTION A-A
SCALE 1 / 6



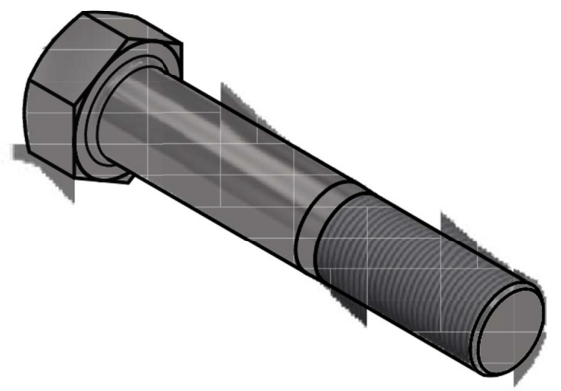
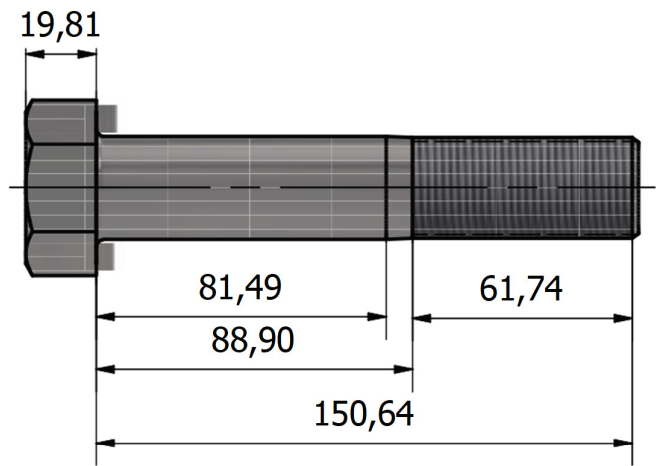
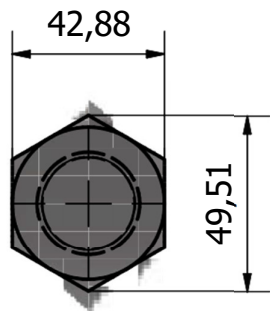
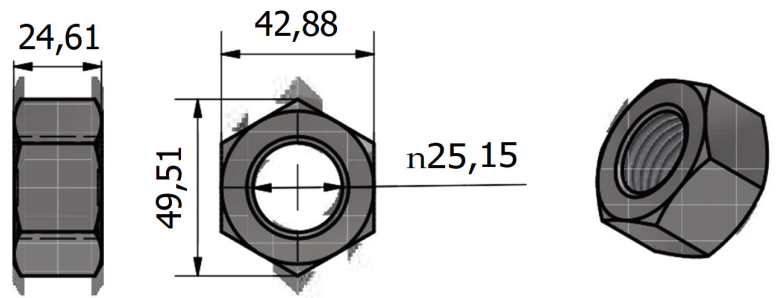
FLANGE 8" 300 SO ASME B16.5		Tanggal	: 07-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Dicek	:
Skala : 1 : 6		Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 010-008/013-TPE19-23



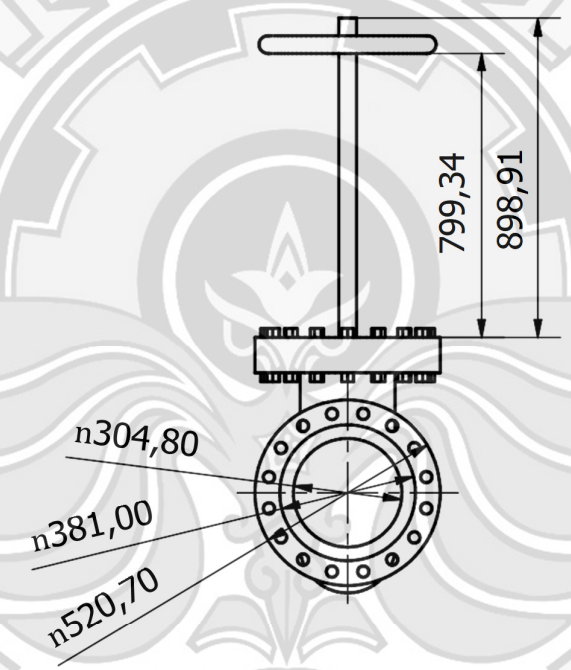
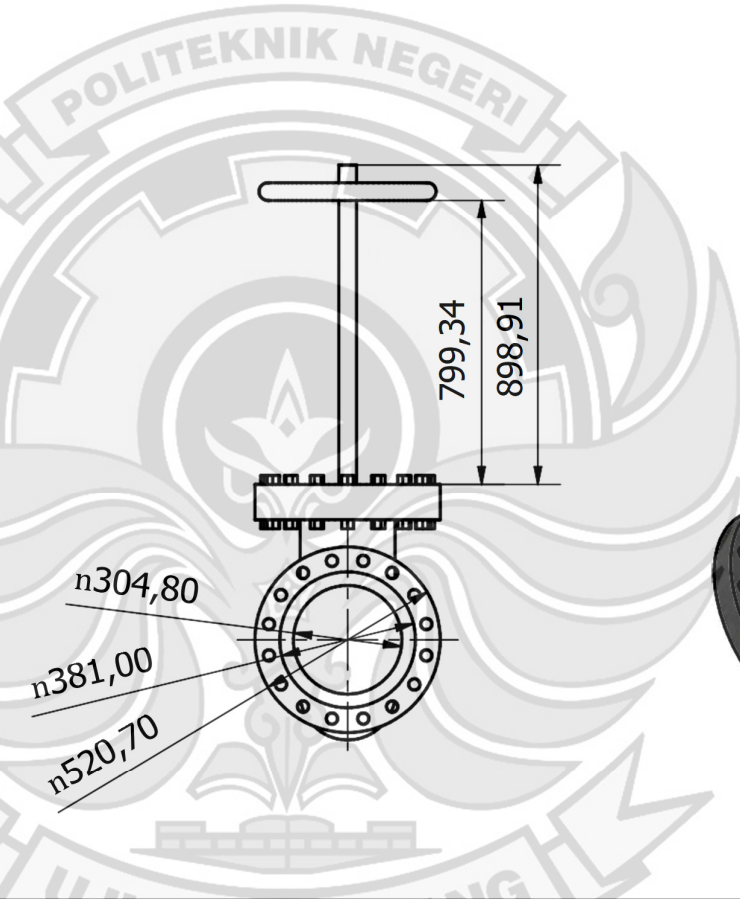
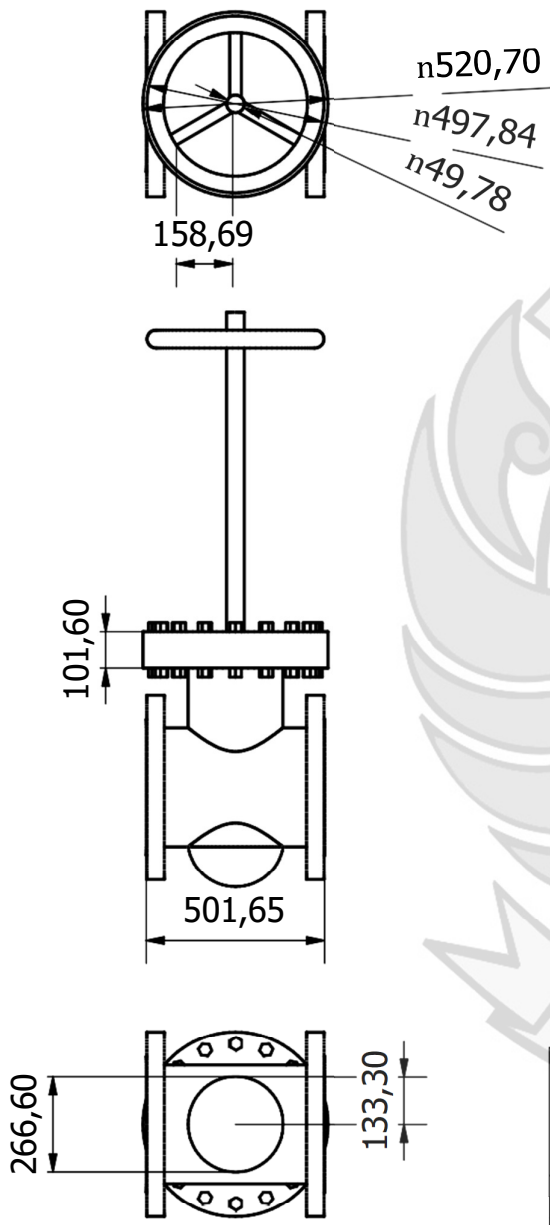
ELBOW 90° LR ASME B16.9		Tanggal	: 07-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Dicek	:
Skala : 1:10		Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 011-008/013-TPE19-23



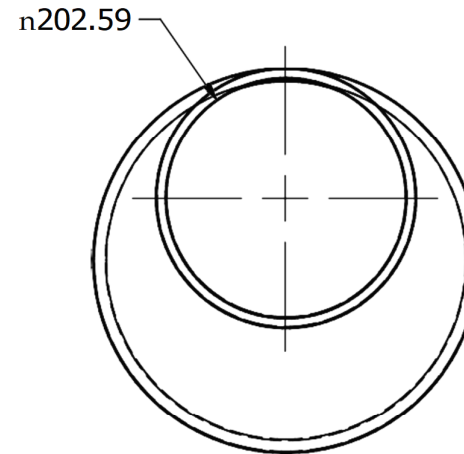
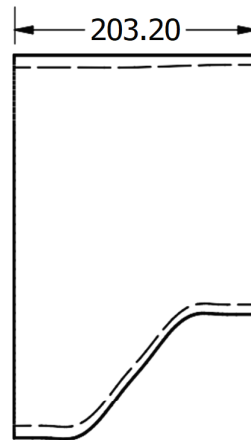
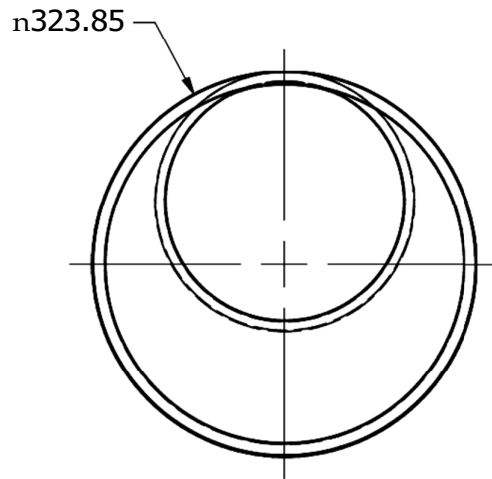
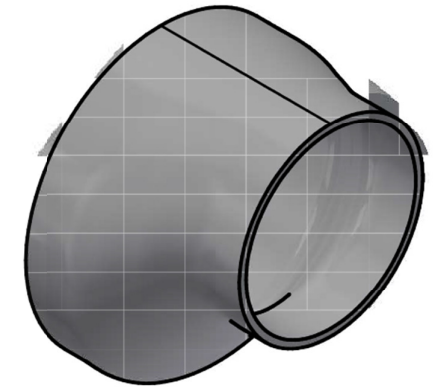
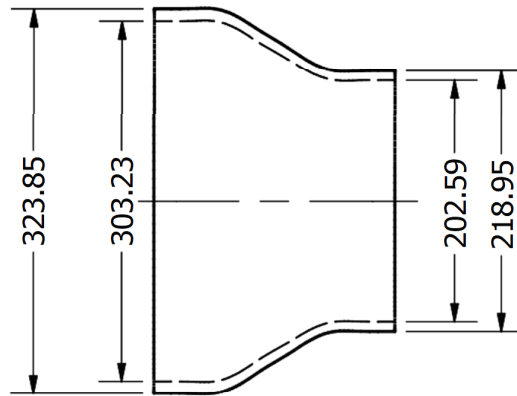
ELBOW 45° ASME B16.9		Tanggal	: 07-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Skala	: 1 : 10
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		Diperiksa	:
		No. Gambar	: 012-008/013-TPE19-23



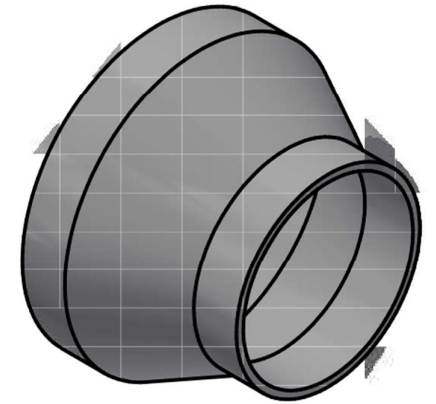
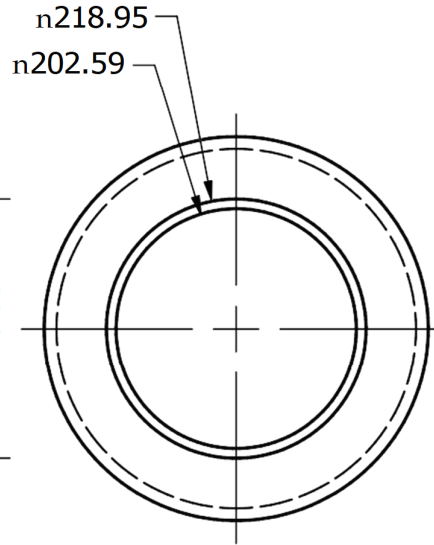
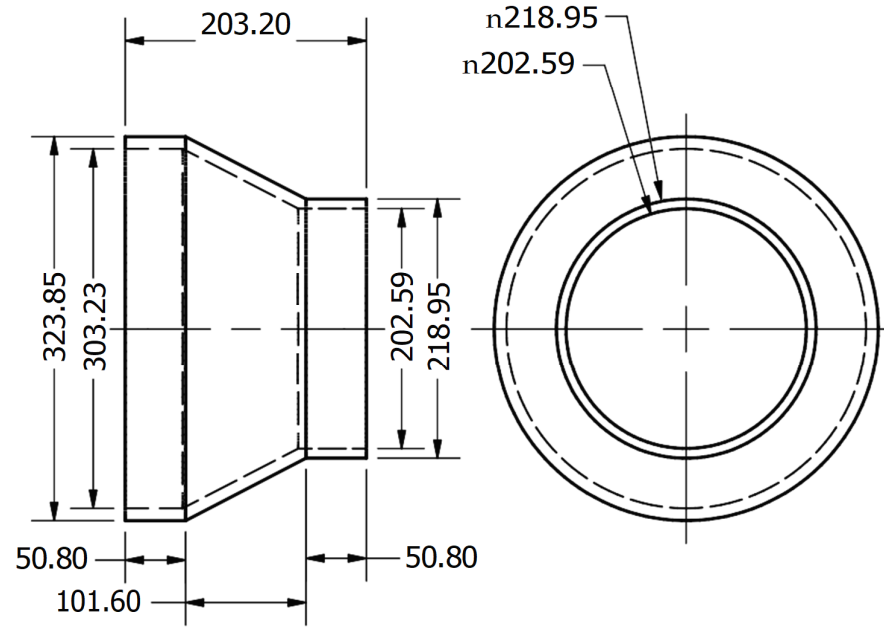
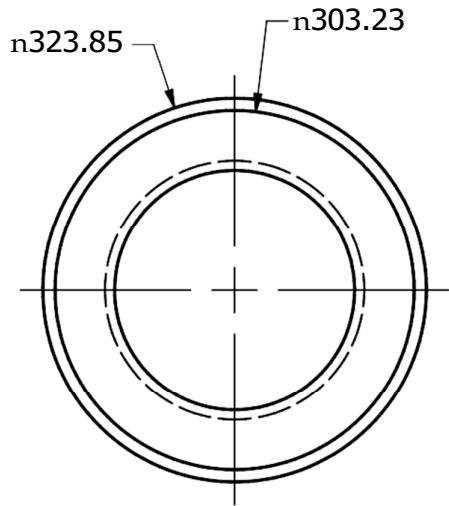
HEX BOLT ASME B18.2.1 & NUT ASME B18.2.2		Tanggal	: 08-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Skala	: 1 : 2
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 013-008/013-TPE19-23



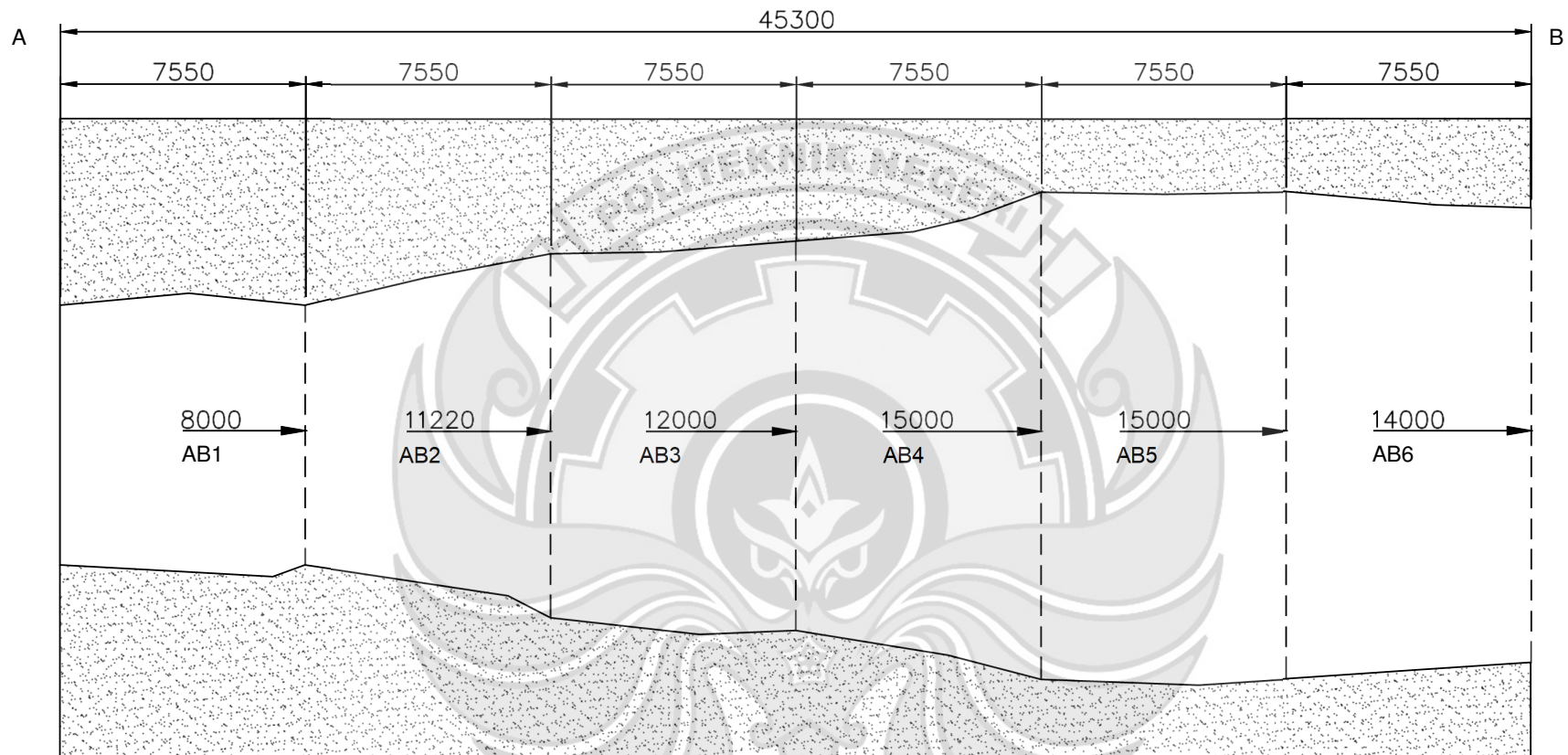
GATE VALVE ASME B16.34 CLASS 300 12"		Tanggal	: 07-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Dicek	:
Skala : 1 : 20		Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 014-008/013-TPE19-23



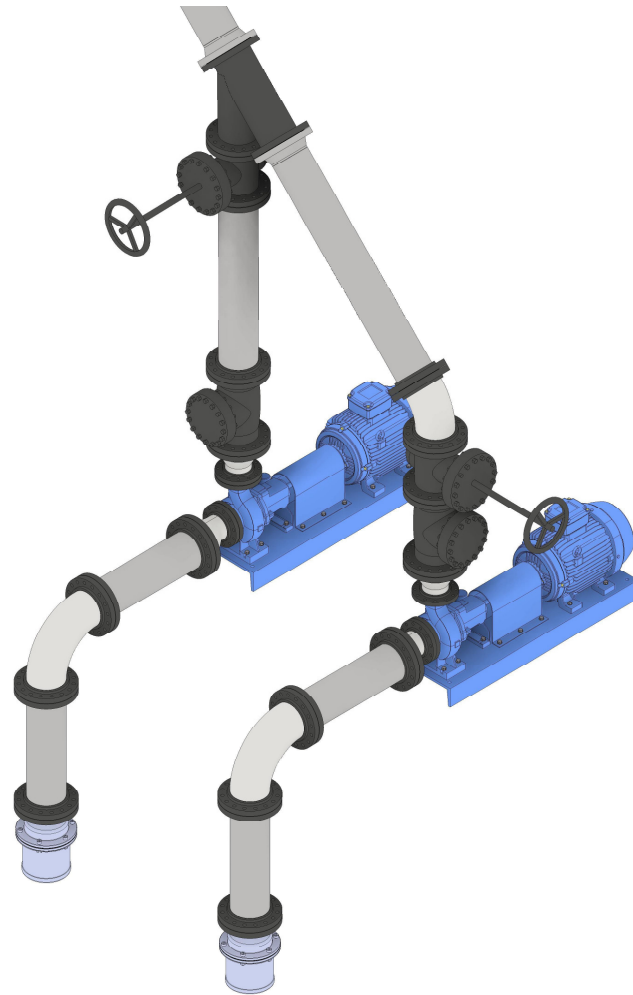
ECCENTRIC REDUCER ASME B16.9 12" x 8"		Tanggal : 09-07-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm	Skala : 1 : 6	Dicek :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		Diperiksa : No. Gambar : 015-008/013-TPE19-23



CONCENTRIC REDUCER ASME B16.9 12" x 8"		Tanggal : 09-07-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Dicek :
Skala : 1 : 6		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 016-008/013-TPE19-23



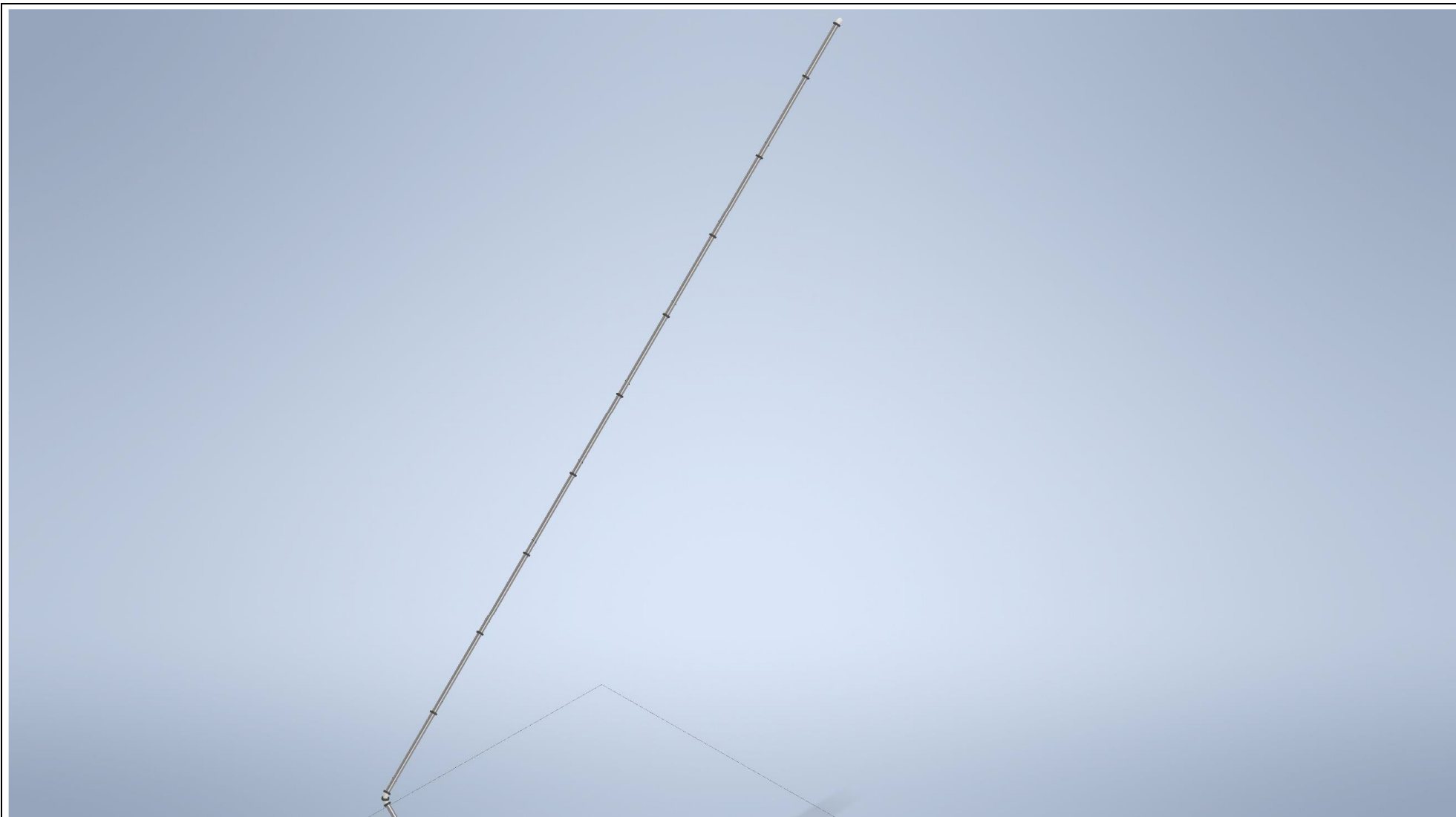
PANJANG SUNGAI RENCANA RESERVOIR		Tanggal	: 09-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Skala	: 1 : 200
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		Diperiksa	:
		No. Gambar	: 017-008/013-TPE19-23
			



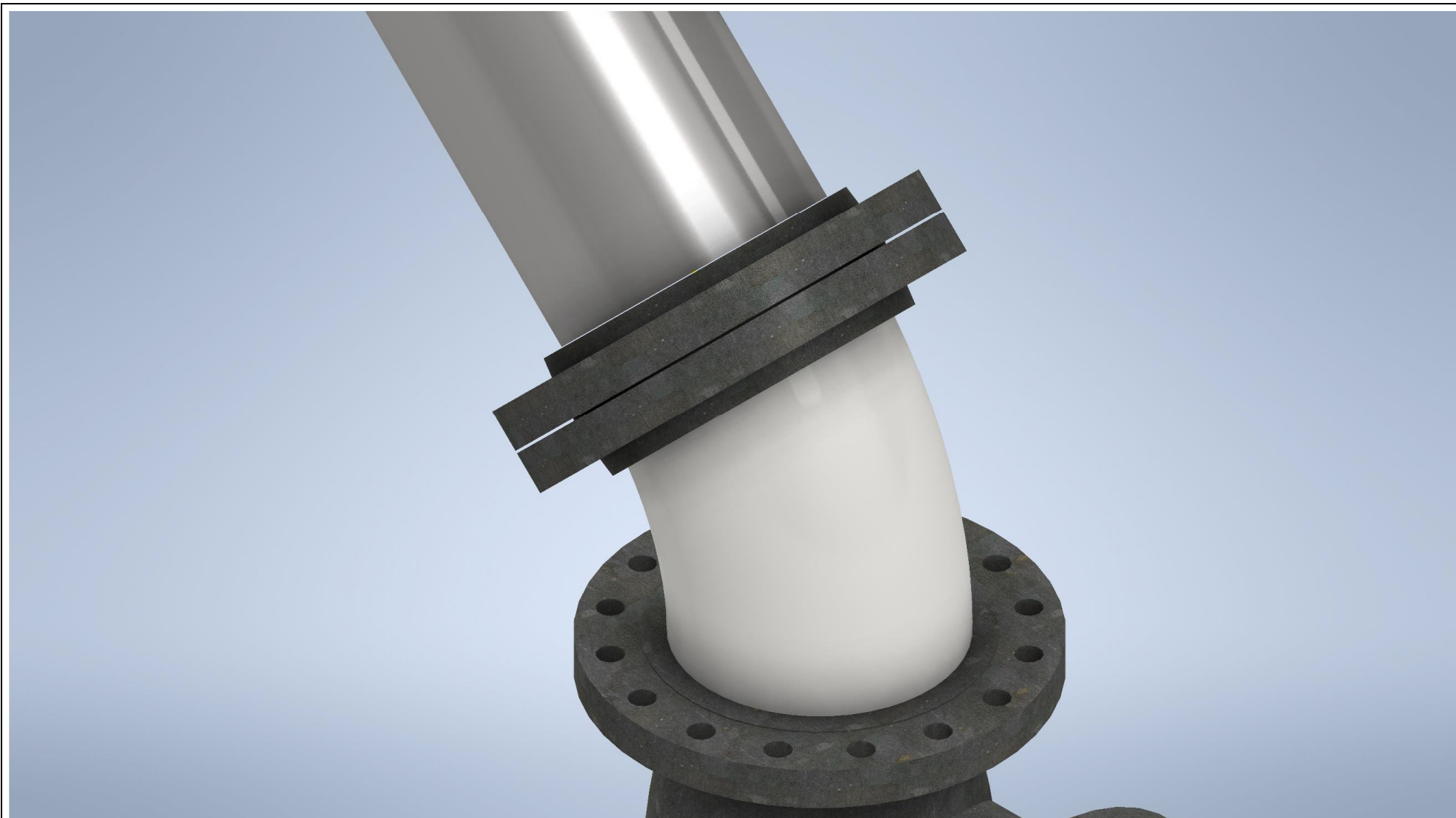
		09-07-2023	
		Muh. Taslim - Elsa Safitri	
Satuan : mm	Skala :	Diperiksa :	
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 018-008/013-TPE19-23	



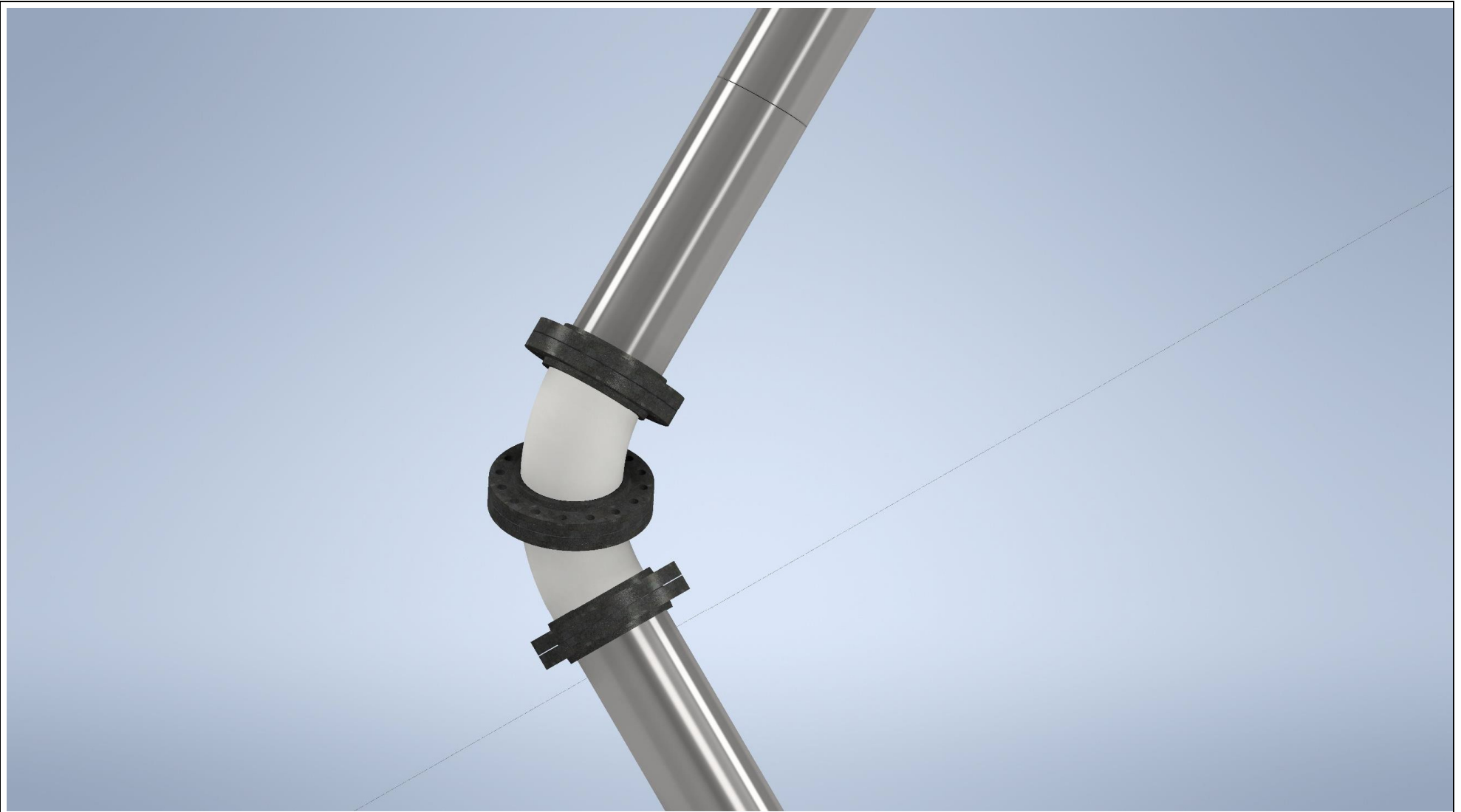
TIGA DIMENSI PERSPECTIVE 2		Tanggal : 09-07-2023	
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri	
Satuan : mm		Skala :	Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 019-008/013-TPE19-23	



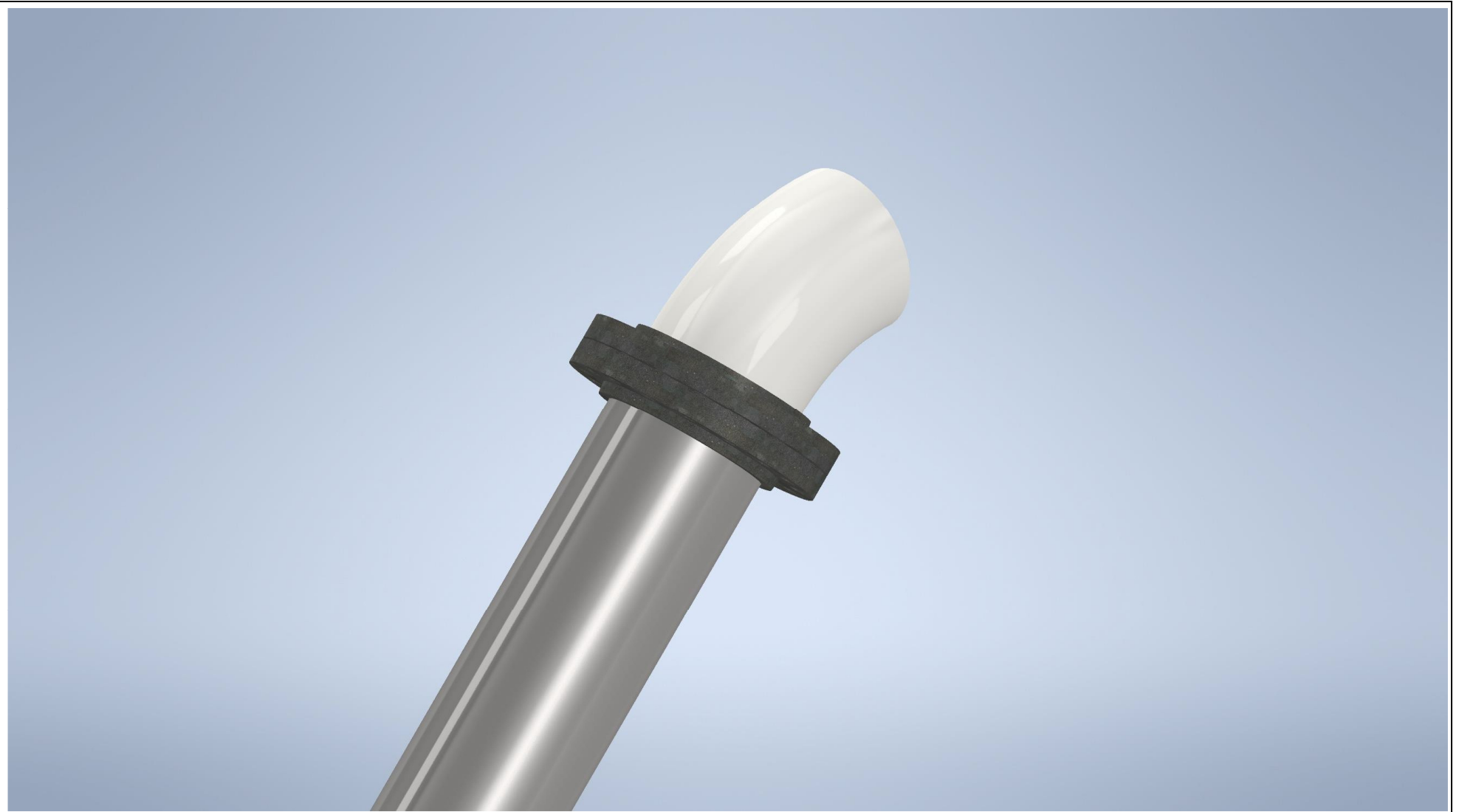
	TIGA DIMENSI PERSPECTIVE 3		Tanggal : 09-07-2023		
			Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri		
			Dicek :		
	Satuan : mm		Skala :		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			No. Gambar : 019-008/013-TPE19-23		



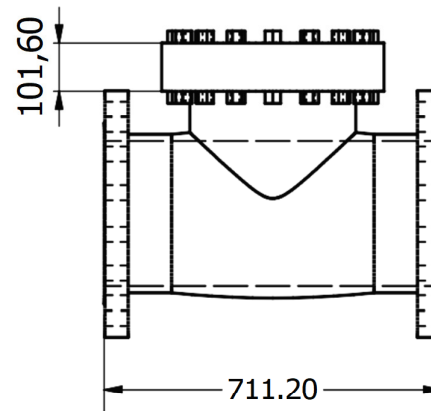
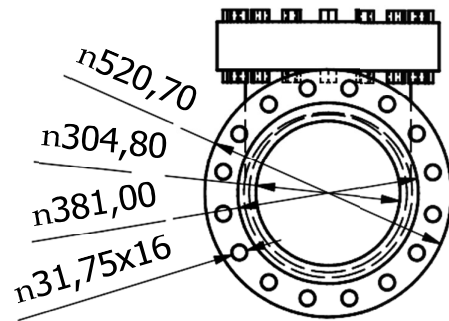
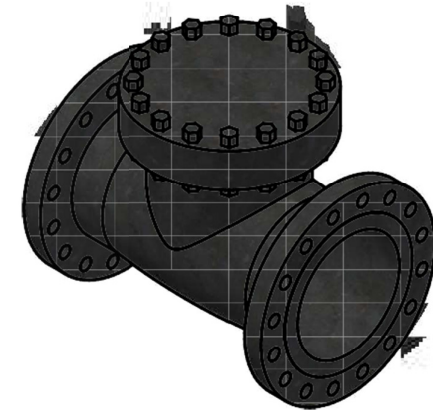
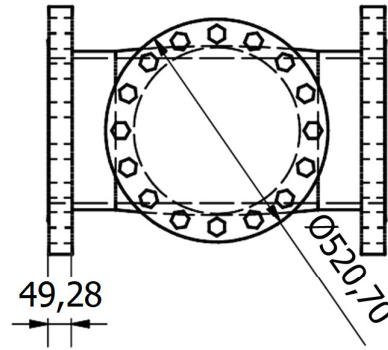
TIGE DIMENSI ELBOW 45 1		Tanggal : 09-07-2023	
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri	
Satuan : mm		Skala :	Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 021-008/013-TPE19-23	



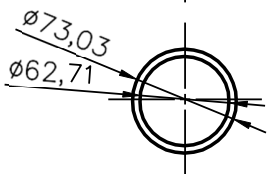
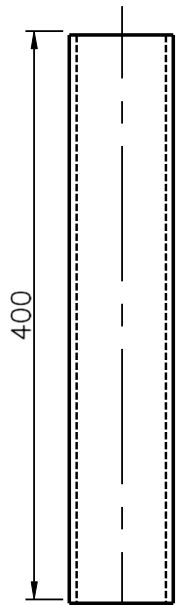
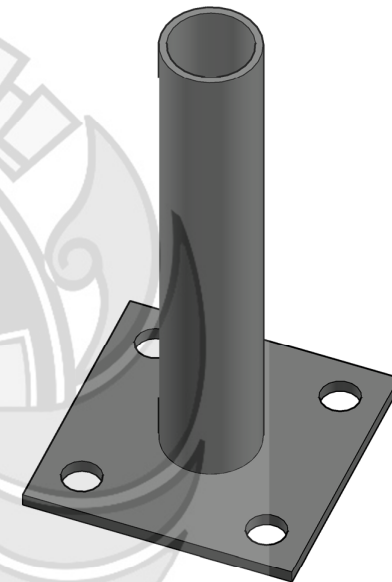
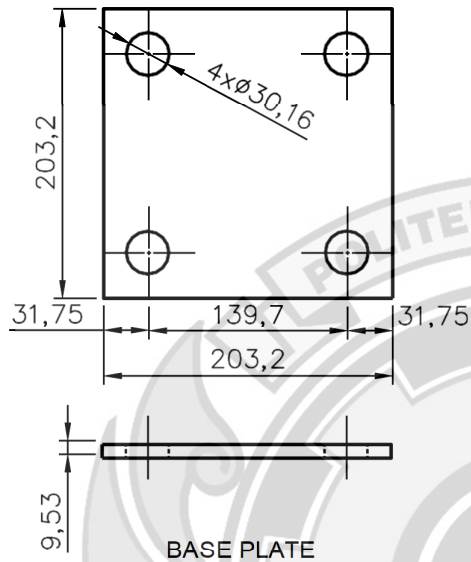
		TIGE DIMENSI ELBOW 45 2&3		Tanggal : 09-07-2023	
				Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri	
				Dicek :	
Satuan : mm		Skala :		Diperiksa :	
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				No. Gambar : 022-008/013-TPE19-23	



	TIGE DIMENSI ELBOW 45 4		Tanggal : 09-07-2023	
			Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri	
	Satuan : mm		Skala :	
	Diperiksa :		No. Gambar :	
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			023-008/013-TPE19-23	



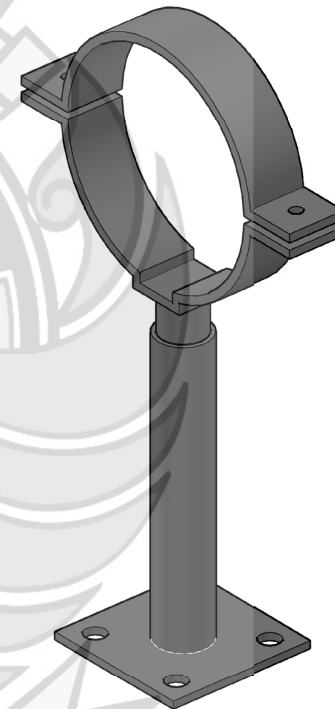
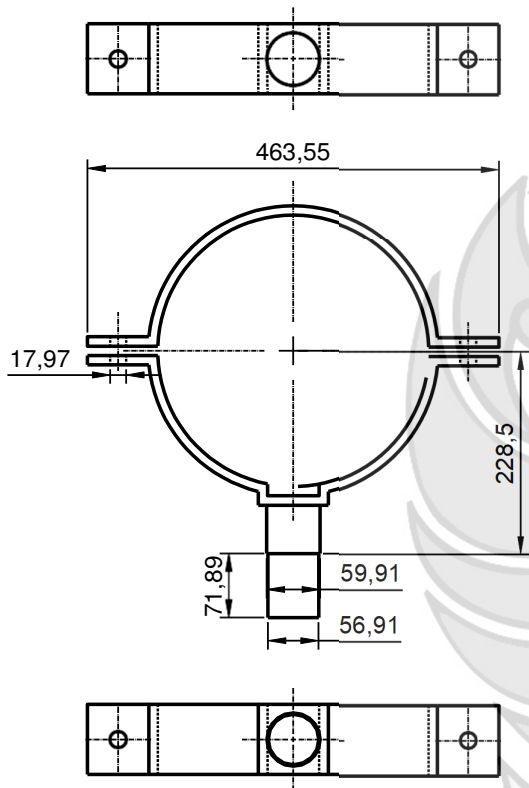
CHECK VALVE ASME B16.34 CLASS 300 12"		Tanggal : 10-07-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa safitri
Satuan : mm		Dicek :
Skala : 1 : 15		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 024-008/013-TPE19-23



PIPA 2 $\frac{1}{2}$ " SCH 40

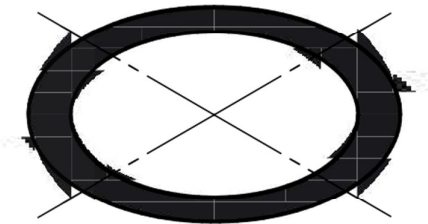
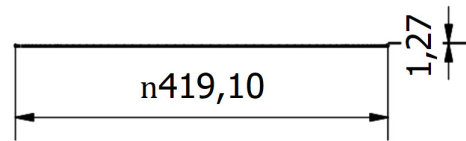
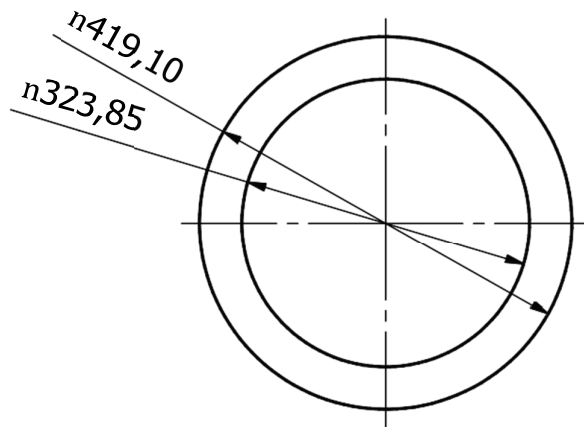
SECONDARY SUPPORT

Tanggal : 10-07-2023	
Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri	
Dicek :	
Diperiksa :	
Satuan : mm	Skala : 1 : 5
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	
No. Gambar : 025-008/013-TPE19-23	

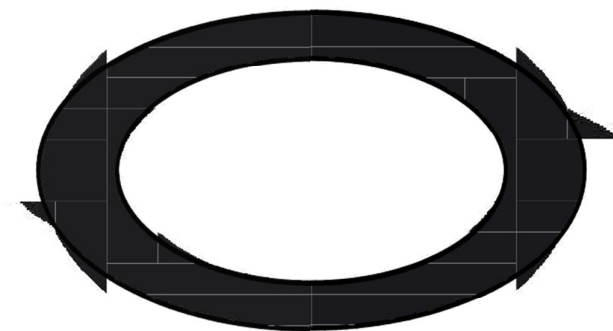
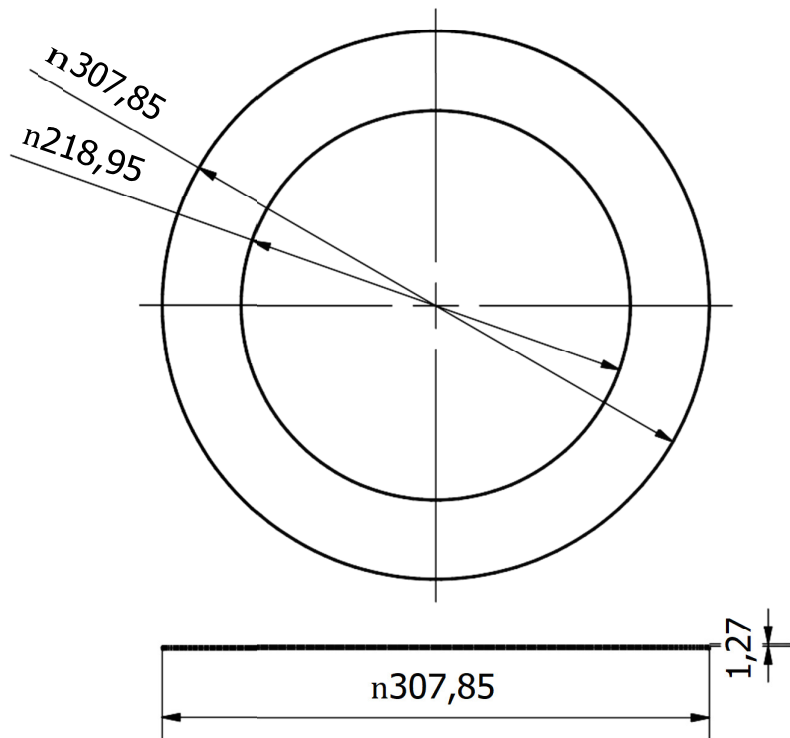


PRIMARY SUPPORT

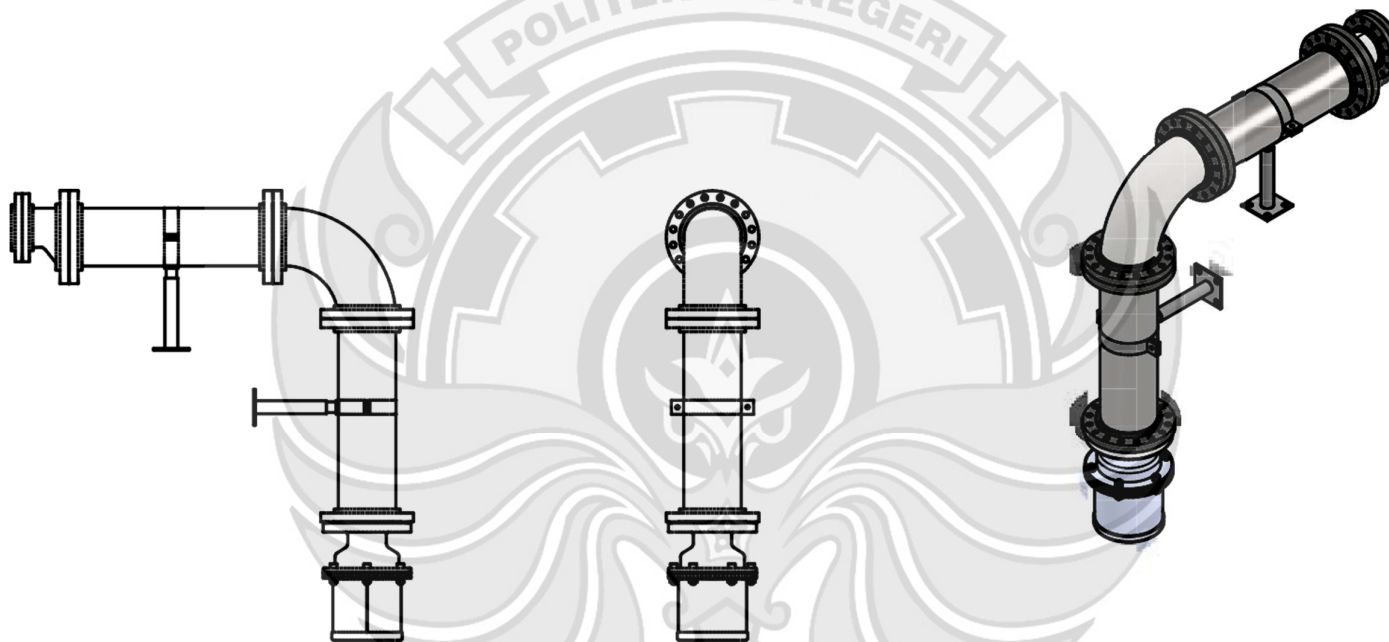
Satuan : mm		Skala : 1 : 8	Tanggal : 10-07-2023
			Digambar : Muh. Taslim - Elsa Saftri
			Dicek :
			Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 026-008/013-TPE19-23	



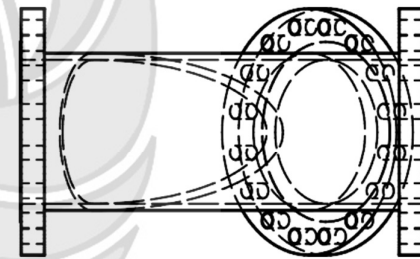
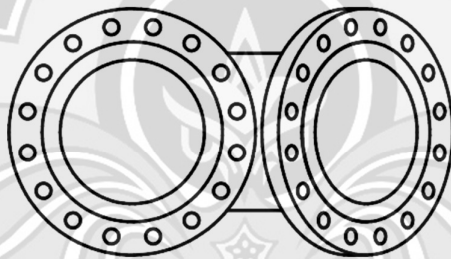
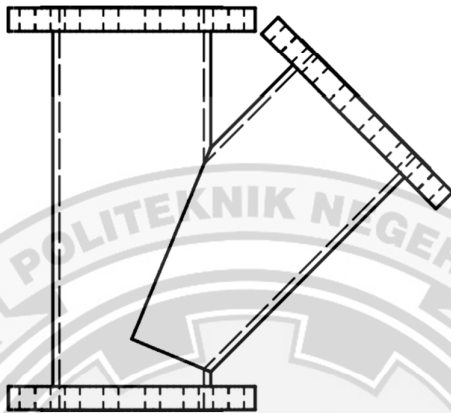
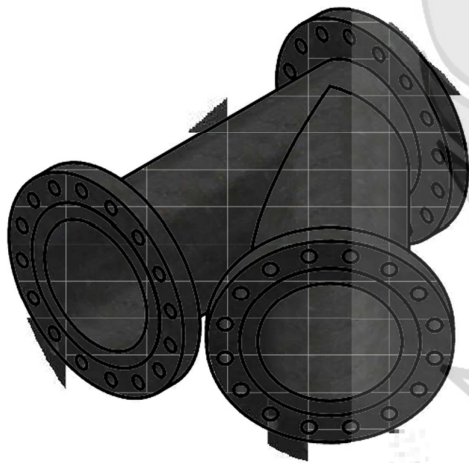
GASKET FLANGE 12"		Tanggal	: 10-07-2023
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Dicek	:
Skala : 1 : 8		Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 027-008/013-TPE19-23



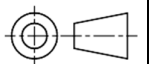
GASKET FLANGE 8 INCH		Tanggal : 10-07-2023
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm	Skala : 1 : 4	Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 028-008/013-TPE19-23



SUPPORT PIPA SUCTION		Tanggal	: 10-07-2023	
		Digambar	: Muh. Taslim - Elsa Safitri	
Satuan		: mm	Dicek	:
Skala		: 1 : 40	Diperiksa	:
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar	: 029-008/013-TPE19-23	



LATERAL TEE 45 ASME B16.5		Tanggal : 14-09-23
		Digambar : Muh. Taslim - Elsa Safitri
Satuan : mm		Dicek :
Skala : 1 : 15		Diperiksa :
TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG		No. Gambar : 030-008/013-TPE19-23



LAMPIRAN F GAMBAR PENGUKURAN DAN PENGAMBILAN DATA

Lampiran F.1 Gambar *Survey Lapangan*



Lampiran F. 2 Gambar *Survey Power House PLT Minihidro*



Lampiran F.3 Gambar *Survey* Intensitas Matahari PLT Minihidro Tombolo Energi



Lampiran F.4 Gambar *Survey* Bendung PLT Minihidro Tombolo Energi



Lampiran F.5 Gambar *Survey Waterways* PLTMH Tombolo Energi



Lampiran F.6 Gambar *Penyusuran Sungai* untuk Penentuan Titik *Lower Reservoir*



Lampiran F.7 Gambar Pengukuran Menggunakan *Theodolite*



Lampiran F.8 Gambar Pengukuran Menggunakan Bak Ukur



Lampiran F.9 Gambar Pengukuran Lebar Sungai untuk *Lower Reservoir*



Lampiran F.10 Gambar Pengukuran Kecepatan Aliran Sungai



Lampiran F.11 Gambar Pengambilan Data Kecepatan Aliran Sungai



Lampiran F.12 Gambar Pengambilan Data Mei 2023

