

OPTIMALISASI PENGOPERASIAN PLTMH PT.TOMBOLO ENERGI PADA
SAAT MUSIM KEMARAU DENGAN *PUMPED STORAGE HYDROPOWER*



PENDIDIKAN DIPLOMA 4 (D-4) PROGRAM STUDI TEKNIK
PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2022/2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*” oleh Nur Pratiwi Septiriani NIM 44222201, Makhraza Fadhlul Bahri NIM 44222202, dan Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar NIM 44222211 dinyatakan telah diterima dan disahkan.

Makassar, 04 September 2023

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Ir. Firman, M.T.

NIP. 19641231 199103 1 028



Indra Mutiara, S.T., M.T.

NIP 19810311 201404 1 002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi



Ir. Chandra Buana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin tanggal 04 September 2023, tim penguji ujian sidang skripsi tugas akhir telah menerima hasil ujian sidang skripsi tugas akhir oleh mahasiswa Nur Pratiwi Septiriani NIM 44222201, Makhraza Fadhlul Bahri NIM 44222202, dan Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar NIM 44222211 dengan judul **“Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*”**.

Makassar, 04 September 2023

Tim Pengujian Ujian Sidang Skripsi :

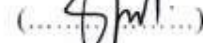
Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.

Ketua

()

Sri Suwasti, S.ST., M.T.

Sekretaris

()

Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.

Anggota I

()

Yiyin Klistafani, S.T., M.T.

Anggota II

()

Dr. Ir. Firman, M.T.

Pembimbing I

()

Indra Mutiara, S.T., M.T.

Pembimbing II

()

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. Atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga pengajuan skripsi yang berjudul,

“Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim

Kemarau Dengan Pumped Stroge Hydropower”. Dapat penulis selesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta inspirasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudari penulis yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi 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 Koordinator Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. selaku wali kelas.
7. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Indra Mutiara, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. PT.Tombolo Energi selaku perusahaan yang telah mengizinkan untuk dilakukannya penelitian skripsi ini.
9. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas dan sarana dalam mengerjakan skripsi.
10. Seluruh rekan-rekan mahasiswa teknik Mesin angkatan 2022 terkhusus kepada saudara (i) Fahrudidn, Nur Rahmah Firman, Musdolifah Habibuddin yang telah menjadi banyak memberikan motivasi,bantuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
11. Buat semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa seminar hasil ini masih kurang sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang, akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Makassar, 04 September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

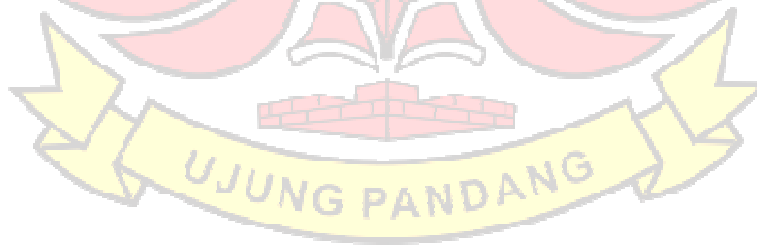
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PENERIMAAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
SURAT PERNYATAAN.....	xix
RINGKASAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Ruang Lingkup	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Optimalisasi	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro PT.Tombolo Energi.....	6
2.3 Komponen - Komponen PLTMH.....	8
2.3.1 Komponen Sipil	9
2.3.2 Komponen Mekanikal Elektrikal	10
2.3.3 Komponen Transmisi Dan Distribusi	11

2.4	Debit Air	11
2.4.1	Pengukuran Debit.....	12
2.4.1.1	Pengukuran Debit Dengan Cara Apung (<i>Float Area Methode</i>) ...	12
2.4.1.2	Pengukuran Debit Dengan <i>Current Meter</i>	13
2.4.2	Debit Andalan	15
2.5	<i>Teknologi Global Positioning System Geodetic</i>	16
2.6	Daya Hidrolik	18
2.7	Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>).....	18
2.8	<i>Theodolite</i>	19
2.9	Pompa Penyimpanan Air (<i>Pumped Storage Hydropower</i>).....	24
2.9.1	Penelitian Terdahulu Terkait <i>Pumped Storage Hydropower</i>	28
2.9.2	Klasifikasi Pompa Berdasarkan Prinsip Kerja	30
2.10	Sistem Pipa	33
2.10.1	Komponen Sistem Pipa.....	33
2.10.2	Jenis Pipa.....	34
2.11	Perancangan Pipa <i>Pump Storage</i>	38
2.11.1	Kontinuitas	38
2.11.2	<i>Reynold Number</i> (R_e)	39
2.11.3	Head Instalasi	40
2.11.3.1	<i>Head Statis</i> (H_s)	40
2.11.3.2	<i>Head Dimanis</i> (H_D)	41
2.11.3.3	<i>Head Total</i> (H_{tot}).....	43
2.11.4	Kavitasi	43
2.11.4.1	<i>Net Positive Suction Head</i> (NPSH).....	43
2.11.5	Daya Poros Pompa	45

2.12	Analisis Ekonomi.....	45
2.12.1	Biaya Investasi	45
2.12.2	Biaya Operasional Dan Pemeliharaan.....	46
2.12.3	Biaya Investasi Penggantian Komponen.....	47
2.12.4	Faktor Diskonto/ <i>Discount Factor</i> (DF).....	47
2.12.5	Biaya Siklus Hidup/ <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	47
2.12.6	Faktor Pemulihan Modal/ <i>Capital Recovery Factor</i> (CRF).....	48
2.12.7	Biaya Energi/ <i>Cost Of Energy</i> (COE)	48
2.13	Kelayakan Ekonomi.....	49
2.13.1	<i>Cash Flow</i> (CF).....	49
2.13.2	<i>Net Present Value</i> (NPV)	49
2.13.3	<i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR).....	50
2.13.4	<i>Payback Period</i> (PP).....	51
2.13.5	<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR)	51
BAB III METODE PENELITIAN.....		52
3.1	Tempat Dan Waktu Kegiatan.....	52
3.2	Alat Penelitian.....	52
3.3	Prosedur Penelitian	52
3.3.1	Metode Perancangan	53
3.3.2	Pengumpulan Data	55
3.3.2	Pengambilan Data	57
3.3.2.1	Pengukuran Beda Ketinggian Menggunakan <i>Theodolite</i>	57
3.3.2.2	Pengukuran Debit Air Menggunakan Pelampung	58
3.3.2.3	Pengukuran Debit Air Menggunakan <i>Current Meter</i> Pada Saluran PLTMH PT.Tombolo Pao.....	58
3.3.3	Teknik Analisis Data.....	59

3.3.3.1	Analisis Penentuan Desain Pompa Dan Perencanaan Desain Pipa	59
3.3.3.2	Analisis Estimasi Biaya Proyek Dan Kelayakan Ekonomi	60
3.4	Diagram Alir Penelitian	61
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		62
4.1	Analisis Perhitungan Debit	62
4.1.1	Perhitungan Debit Pada Saluran Masuk <i>Headpond</i> PLTMH Menggunakan <i>Current Meter</i> ($Q_{headpond}$)	62
4.1.2	Perhitungan Debit Sesaat Aliran Sungai Menggunakan Benda Apung ($Q_{sesaat\ Sungai}$)	64
4.1.3	Perhitungan Debit Yang Akan Ke Suplai <i>Headpond</i> (Q_{suplai})	65
4.2	Perhitungan <i>Head</i> Menggunakan <i>Theodolite</i> (H_{statis})	66
4.3	Perhitungan Sistem Pipa	68
4.3.1	Menghitung Diameter Dalam Dan Kecepatan Air Dalam Pipa	68
4.3.2	Menghitung Bilangan <i>Reynold</i> (N_{re})	69
4.3.3	Menghitung <i>Head</i> Total (H_{tot})	69
4.3.4	Penentuan Spesifikasi Pompa	73
4.3.4.1	Menghitung Bilang <i>Reynold</i> (R_e) Berdasarkan Spesifikasi Pompa	74
4.3.4.2	Menghitung <i>Head</i> Total (H_{tot}) Berdasarkan Spesifikasi Pompa	74
4.3.5	Perhitungan Kavitasi	77
4.3.5.1	Menghitung $NPSH_A$ (H_{sv})	78
4.3.5.2	Menghitung $NPSH_R$ (H_{svh})	78
4.4	Perhitungan Daya	79
4.4.1	Perhitungan Daya Hidrolik Pompa	79
4.4.2	Perhitungan Daya Poros Pompa	79
4.5	Diagram Hasil Debit Dan <i>Head</i>	80

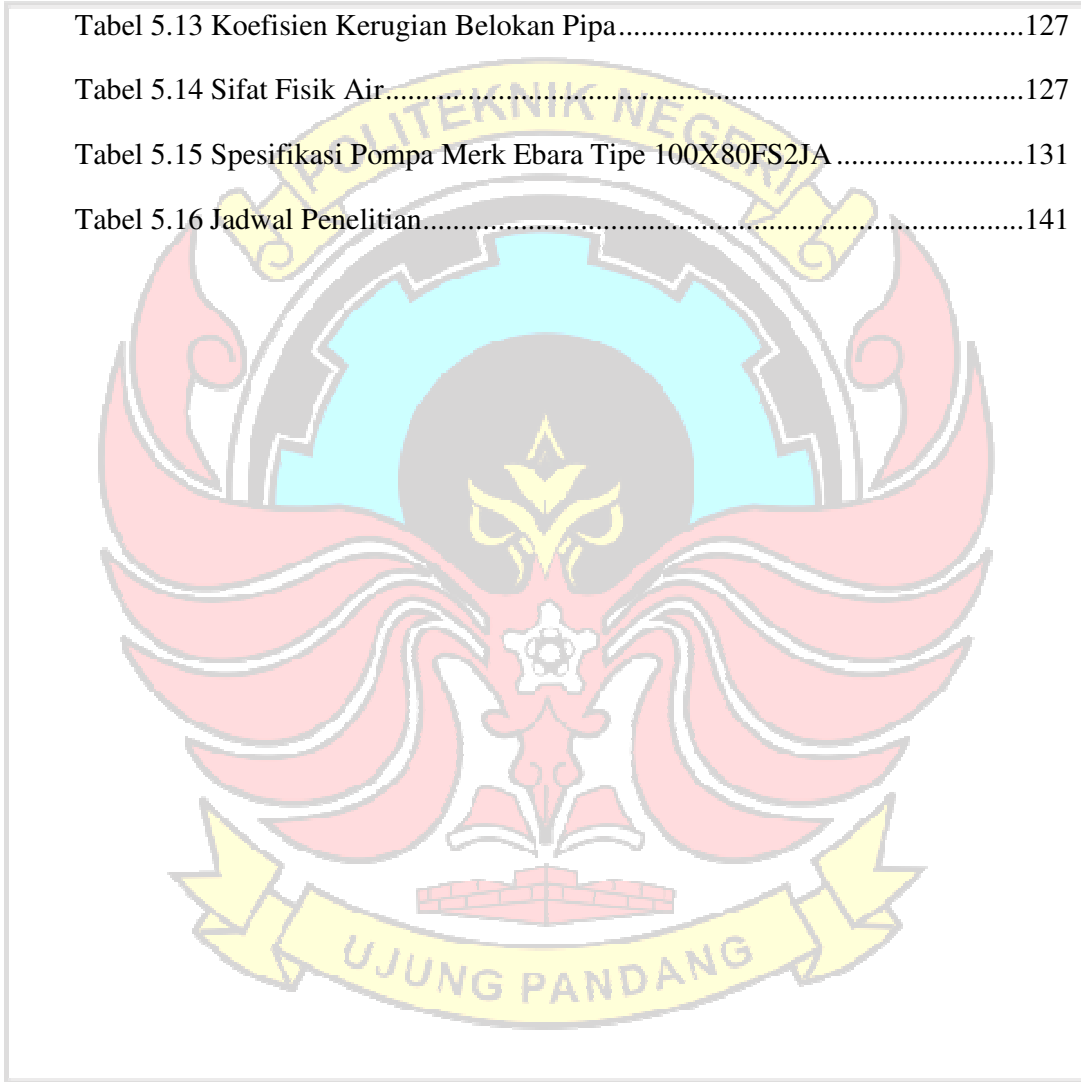
4.5.1	Diagram Hasil Debit	80
4.5.2	Diagram Hasil <i>Head</i>	81
4.6	Analisis Aspek Biaya Proyek PSH.....	82
4.6.1	Biaya Investasi	82
4.6.2	Biaya O&M.....	84
4.6.3	Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>)	84
4.6.4	Biaya Energi (COE).....	85
4.7	Analisis Kelayakan Investasi Proyek PSH.....	85
4.7.1	<i>Net Present Value</i> (NPV).....	89
4.7.2	<i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR).....	89
4.7.3	<i>Payback Period</i> (PP).....	90
4.7.4	<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR)	90
4.8	Biaya Tahunan (<i>Annual Cost</i>).....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		99
5.1	Kesimpulan	99
5.2	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA		102



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Metode Pengukuran Kecepatan Dan Kecepatan Rata – rata.....	13
Tabel 2.2 Interval Pengukuran Kecepatan Pada Penampang Sungai	14
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Hydropower Generating Unit</i> 0,5 MW	55
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Hydropower Generating Unit</i> 2,5 MW	56
Tabel 4.1 Rancangan Anggaran Biaya Proyek.....	82
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan NPV, BCR Dan PP	87
Tabel 4.3 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun	90
Tabel 4.4 Perhitungan NPV Suku Bunga 10% Selama 30 Tahun.....	91
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan NPV Menggunakan <i>Annual Cost</i>	95
Tabel 4.6 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan <i>Annual Cost</i>	96
Tabel 4.7 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan <i>Annual Cost</i>	97
Tabel 5.1 Pengukuran Debit Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH Turbin 0,5 M Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	107
Tabel 5.2 Pengukuran Debit Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH Turbin 2,5 M Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	108
Tabel 5.3 Pengukuran Debit Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH Turbin 2,5 M Dan 0,5 Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	108
Tabel 5.4 Pengukuran Debit Saluran <i>Water Way</i> PLTMH Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	109
Tabel 5.5 Pengukuran Debit Saluran Masuk <i>Headpond</i> PLTMH Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	110
Tabel 5.6 Pengukuran Debit Sesaat Aliran Sungai Tangka Meggunakan Benda Apung.....	111
Tabel 5.7 Data Debit PLTMH PT.Tombolo Pao.....	112
Tabel 5.8 Tabel Pengukuran <i>Theodolite</i>	114

Tabel 5.9 Hasil Pengolahan <i>Head</i>	117
Tabel 5.10 Koefisien Kerugian <i>Valve</i> Dan <i>Fittings</i>	125
Tabel 5.11 A.5-1 <i>Dimensions Of Standard Steel Pipe</i>	126
Tabel 5.12 Koefisien Kerugian Dari Berbagai Katup.....	127
Tabel 5.13 Koefisien Kerugian Belokan Pipa.....	127
Tabel 5.14 Sifat Fisik Air.....	127
Tabel 5.15 Spesifikasi Pompa Merk Ebara Tipe 100X80FS2JA.....	131
Tabel 5.16 Jadwal Penelitian.....	141



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Layout</i> PLTMH Tombolo Pao.....	7
Gambar 2.2 Bagian - bagian PLTMH	8
Gambar 2.3 Titik Jalannya Pelampung	13
Gambar 2.4 Metode Pengukuran Kecepatan 2 Titik dan 3 Titik.....	14
Gambar 2.5 <i>Current Meter</i>	14
Gambar 2.6 Saluran Masuk <i>Headpond</i> PLTHM PT.Tombolo Energi.....	15
Gambar 2.7 Geometri DAS	16
Gambar 2.8 Satu Set <i>Trimble R10 GNSS GPS Receiver Kit</i>	17
Gambar 2.9 <i>Theodolite Wild T2</i> Dan Bagian-Bagiannya.....	20
Gambar 2.10 Skema Penggunaan <i>Theodolite</i>	23
Gambar 2.11 PSH Tipe <i>Open Loop</i> Dan <i>Closed Loop</i>	25
Gambar 2.12 PSH <i>Pump-Back Storage</i>	26
Gambar 2.13 Skema Klasifikasi Pompa Berdasarkan Prinsip Kerja.....	30
Gambar 2.14 Konstruksi Aliran Fluida Dalam Pompa Sentrifugal.....	31
Gambar 2.15 Instalasi Pada Pipa <i>Suction</i>	41
Gambar 3.1 Ilustrasi Proyek.....	53
Gambar 3.2 Skema Diagram Perencanaan.....	61
Gambar 4.1 Saluran Masuk <i>Headpond</i>	63
Gambar 4.2 Luas Penampang Sungai	64
Gambar 4.3 Grafik Diagram Perbandingan Debit Berdasarkan Kebutuhan	80
Gambar 4.4 Diagram Perbandingan <i>Head</i>	81
Gambar 5.1 Grafik Debit Pada Tahun 2007.....	112
Gambar 5.2 Aliran Air Pada PLTMH Tombolo Pao.....	119

Gambar 5.3 Luas Penampang Saluran <i>Waterways</i>	120
Gambar 5.4 Luas Penampang Saluran Masuk <i>Headpond</i>	120
Gambar 5.5 Luas Penampang Saluran <i>Tailrace</i> Turbin Kapasitas 0,5 MW	121
Gambar 5.6 Luas Penampang Saluran <i>Tailrace</i> Turbin Kapasitas 2,5 MW	121
Gambar 5.7 Luas Penampang Saluran <i>Tailrace</i> Gabungan	122
Gambar 5.8 Luas Penampang <i>Reservoir</i> Sumber (Aliran Sungai Tangka).....	122
Gambar 5.9 Volume <i>Headpond Minimum</i>	123
Gambar 5.10 Grafik Efisiensi Standar Pompa Terhadap Debit	125
Gambar 5.11 Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik	128
Gambar 5.12 Kapasitas Faktor (CF)	128
Gambar 5.13 Grafik Pemilihan Pompa Merk Ebara Tipe 2 Kutub 50 Hz	130
Gambar 5.14 Grafik Efisiensi Performa Pompa Ebara Tipe 100X80FS2JA.....	130
Gambar 5.15 Desain Jalur Pipa Sisi <i>Suction</i> Dan Pompa	139
Gambar 5.16 Dokumentasi PLTMH PT.Tombolo Energi	142
Gambar 5.17 Dokumentasi Survey Lapangan Dan Diskusi Dengan Pihak PT.Tombolo Energi	142
Gambar 5.18 <i>Reservoir</i> Alami, Saluran <i>Waterway</i> , Saluran Pelimpah Dan Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH PT.Tombolo Energi	142
Gambar 5.19 Pengukuran Saluran <i>Waterway</i> , Saluran Masuk <i>Headpond</i> , <i>Tailrace</i> Menggunakan <i>Current Meter</i> & Rambu Ukur.....	143
Gambar 5.20 Pengukuran <i>Tailrace</i> Turbin 2,5 MW Dan 0.5 MW Menggunakan <i>Current Meter</i> & Rambu Ukur	143
Gambar 5.21 Pengukuran Panjang, Lebar, Dan Kedalam <i>Reservoir</i> Alami Menggunakan Roll Meter & Rambu Ukur	143
Gambar 5.22 Pengukuran Kecepatan aliran Menggunakan Alat Ukur <i>Current</i> <i>Meter</i> Dan Bola Kasti (Metode Apung).....	143
Gambar 5.23 Pengukuran Volume <i>Reservoir</i> Alami	144

Gambar 5.24 Penentuan Titik Acuan Beda tinggi MDPL Menggunakan *Apps My Elevation* & Pengukuran Beda Tinggi Menggunakan Alat Ukur *Theodolite* 144

Gambar 5.25 Diskusi Tim Dalam Mengerjakan Proyek 144

Gambar 5.26 Dokumentasi Tim Proyek..... 144

Gambar 5.27 Dokumentasi Evaluasi *Capstone Project* Dengan Pihak RESD Dan Dosen - Dosen D4 Teknik Pembangkit Enegri Spesialisasi Energi Terbarukan 145



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Debit air	m ³ /s
A	Luas penampang	m ²
v	Kecepatan	m/s
V	Volume	m ³
t	Waktu	s
α	Faktor koreksi	
V _{pelampung}	Kecepatan pelampung	m/s
\bar{v}	Kecepatan aliran rata – rata	m/s
p	Panjang aliran yang dilalui benda apung	m
n _{putaran}	Jumlah putaran tiap waktu tertentu	
a, b	Konstanta tergantung jenis alat	
d _n	Jarak interval terukur	m
d	Kedalam/tinggi permukaan air	m
P _h	Daya hidrolis	Watt
ρ	Massa jenis fluida	kg/m ³
H	Tinggi jatuh air/head	m
ba	Benang atas	m
bb	Benang bawah	m
D _{AB}	Jarak titik satu ke titik lainnya	m
h	Bacaan sudut bt terhadap sudut horizontal	°
ta	Tinggi alat	m
bt	Benang tengah	m
ΔH	Beda tinggi titik satu dengan titik lainnya	m
ver	Bacaan vertikal	°
'	Menyatakan ukuran sudut	menit
“	Menyatakan ukuran sudut	s
Q ₁	Debit aliran yang masuk pompa	m ³ /s
Q ₂	Debit aliran yang keluar pompa	m ³ /s
A _{pipa1}	Luas penampang bagian dalam pipa masuk pompa	m ²
v ₁	Kecepatan aliran fluida masuk pompa	m/s
A _{pipa2}	Luas penampang bagian dalam pipa keluar pompa	m ²
v ₂	Kecepatan aliran fluida masuk keluar pompa	m/s
P	Tekanan	N/m ²
g	Percepatan gravitasi	m/s ²
A _{pipa}	Luas pipa	m ²
D _{outside}	Diameter	m
π	phi	
D _{inside}	Diameter dalam pipa	m
ρ	Massa jenis fluida	kg/m ³
μ	Viskositas dinamik	kg/ms

ν	Viskositas kinematik	m^2/s
H_S	<i>Head</i> statis	m
H_{dis}	<i>Head discharge</i>	m
H_{suc}	<i>Head suction</i>	m
l	Panjang pipa	m
$H_{f\ major}$	Kerugian akibat gesekan sepanjang pipa	m
f	Faktor kerugian gesek	
θ	Sudut belokan	°
$H_{l\ minor}$	Kerugian head	m
Σn	Jumlah <i>elbow, valve, reducer</i> dan lain – lain	
H_{sv}	NPSH yang tersedia pada instalasi	m
$\frac{P_a}{\gamma}$	Tekanan absolut diatas permukaan cairan pada <i>suction reservoir</i>	m
$\frac{P_v}{\gamma}$	Tekanan uap cairan yang dipompa pada temperatur pipa	m
H_{suc}	Head isap statis	m
γ	Berat fluida per satuan volume	kN/m^3
$\Sigma H_{l\ suc}$	Head loss pada pipa isap	m
H_{svN}	NPSH yang yang dibutuhkan	m
σ	Koefisien kavitasi	
n_{pompa}	Putaran pompa	rpm
S	Kecepatan spesifik isap	
Q_N	Debit pompa	m^3/min
H_N	<i>Head</i> total pompa	m
$P_{h\ pompa}$	Daya hidrolis pompa	Watt
P_{pompa}	Daya poros pompa	Watt
η_{pompa}	Efisiensi poros pompa	
M_{pw}	Biaya pemeliharaan dan operasional dimasa mendatang selama umur proyek	Rp
i	Tingkat suku bunga	%
n	Umur proyek/Jangka waktu proyek	tahun
M	Biaya pemeliharaan dan operasional pada tahun awal	Rp
$n_{O\&M}$	Nilai presentase <i>operation & maintenance cost</i> PLTMH	%
C	Biaya tahun awal perencanaan/biaya investasi	Rp
DF	Faktor diskonto/ <i>Discount factor</i>	%
LCC	Biaya siklus hidup	Rp
COE	<i>Cost of energy</i>	Rp/kWh
$AkWh$	energi yang digunakan dalam waktu tertentu	kWh
H_{PLTMH}	<i>Head</i> PLTMH PT.Tombolo Energi	m
$P_{terbangkit}$	Daya yang dibangkitkan	Watt
$E_{terbangkit}$	Energi yang dibangkitkan	kWh
NPV	<i>Net present value</i>	Rp
BCR	<i>Benefit cost ratio</i>	
PP	<i>Payback period</i>	tahun

NFCt	<i>Net cash flow</i> periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n	Rp
IRR	<i>Internal rate of return</i>	Rp
i'	Tingkat <i>discount rate</i> tinggi yang menghasilkan NPV +	%
i''	Tingkat <i>discount rate</i> tinggi yang menghasilkan NPV -	%
NPV'	<i>Net present value</i> bunga rendah bernilai positif	Rp
NPV''	<i>Net present value</i> bunga tinggi bernilai negatif	Rp



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Pengukuran Debit Dan Data Debit Perusahaan	106
Lampiran II	Pengukuran Beda Tinggi <i>Reservoir</i> Sumber Air Dengan <i>Headpond</i> & Hasil Analisis Data <i>Head</i>	113
Lampiran III	Gambar Sketsa Luas Penampang Saluran Pada <i>Pltmh</i> & <i>Reservoir</i> Sumber (Aliran Sungai Tangka)	118
Lampiran IV	Grafik Efisiensi Pompa Standar, Tabel Koefisien Kerugian Komponen Pipa, Tabel Sifat Fisik Air, Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik & <i>Capacity Factor</i>	124
Lampiran V	Spesifikasi Pompa, Desain Pipa & Simulasi <i>Software Epanet 2.2</i>	129
Lampiran VI	Jadwal Penelitian & Dokumentasi Kegiatan.....	140



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nur Pratiwi Septiriani

Nim 44 2222 01

menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*” merupakan gagasan dan hasil karya seni sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh .

Makassar, 04 September 2023

(Nur Pratiwi Septiriani)

NIM 44 2222 01

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Makhraza Fadhlul Bahri

Nim 44 2222 02

menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*” merupakan gagasan dan hasil karya seni sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh .

Makassar, 04 September 2023

(Makhraza Fadhlul Bahri)

NIM 44 2222 02

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar

Nim 44 2222 11

menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*” merupakan gagasan dan hasil karya seni sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh .

Makassar, 04 September 2023

(Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar)

NIM 44 2222 11

RINGKASAN

Pengoptimalan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) PT.Tombolo Energi selama musim kemarau merupakan tantangan dalam memastikan pasokan energi yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, sistem penyimpanan energi berupa *Pumped Storage Hydropower* (PSH) dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi fluktuasi pasokan air yang terjadi selama musim kemarau.

Proyek penelitian bertujuan merancang sistem PSH untuk mengoptimalkan produksi energi selama periode musim kemarau pada PLTMH PT.Tombolo Energi. Kondisi hidrologis yang bervariasi selama musim kemarau dipertimbangkan dalam desain perancangan untuk mengakomodasi fluktuasi pasokan air dengan memperoleh solusi optimal berdasarkan parameter seperti kapasitas suplai dan biaya investasi. Desain sistem dihitung dan dianalisis untuk mendapatkan spesifikasi pompa dan rancangan instalasi pipa.

Dari hasil tersebut didapat spesifikasi pompa dengan kapasitas suplai 500 US PGM atau sama dengan $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head max* 80 m serta desain pipa dan komponen lainnya yang berdiameter 8in. Biaya untuk rancangan sistem PSH tersebut berkisar Rp 348.119.111,00 tidak termasuk biaya sumber energi dengan investasi umur proyek 30 tahun, suku bunga 8,44 % dan *net cash flow* sama per tahun sebesar Rp 106.464.786,80. Sehingga untuk paramter kelayakannya rancangan sistem PSH dengan NPV bernilai positif, BCR 3,305 lebih besar dari 1, *payback periode* selama 3,270 tahun dan nilai IRR 16,19%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup berlimpah, salah satunya banyak aliran sungai yang terletak di desa-desa dan daerah terpencil.

Aliran sungai yang memiliki debit tertentu dapat dimanfaatkan untuk membuat pembangkit listrik salah satunya, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan dayanya 500 W-100 kW (Poapa, 2017). PLTMH adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Dimana keunggulan dari PLTMH sendiri adalah dapat beroperasi sehari penuh karena air tidak tergantung siang dan malam serta pengoperasian PLTMH tidak memerlukan biaya yang mahal (Ointu *et al.*, 2020).

Salah satu PLTMH yang terdapat di Sulawesi Selatan adalah PLTMH Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa yang telah beroperasi sejak tahun 2015 milik PT Tombolo Energi anak perusahaan dari PT Bumi Karsa (Kalla Group) dengan kapasitas 3 MW. PLTMH ini memiliki dua unit pembangkit dengan masing-masing kapasitasnya 2,5 MW dan 0,5 MW.

PLTMH Tombolo Pao memberikan kontribusi kepada masyarakat setempat, juga memberikan kontribusi terhadap dunia pendidikan karena PLTMH tersebut sering dijadikan tempat kunjungan industri bagi mahasiswa dan beberapa perguruan tinggi lainnya. Keberadaan PLTMH dapat meningkatkan kesejahteraan dan ekonomi masyarakat, sebagaimana harapan Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan.

Pada musim hujan PLTMH Tombolo Pao dapat membangkitkan daya sebesar 3 MW dengan mengoperasikan kedua turbinnya, sedangkan pada musim kemarau hanya dapat mengoperasikan 1 turbin dengan kapasitas daya 0,5 MW. Pada saat musim kemarau panjang volume air dari sungai mengalami

penurunan, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air dilakukan sistem penampung terlebih dahulu pada bendung. Kemudian disalurkan ke *headpond* selama ± 5 jam hingga volume air pada *headpond* terpenuhi dan turbin dapat beroperasi. Berdasarkan dari informasi operator bahwa pada saat turbin beroperasi, volume air pada *headpond* lebih cepat berkurang dibandingkan saat waktu pengisian. Pada saat volume minimum operator akan menonaktifkan turbin dan mengoperasikan turbin kembali ketika volume air telah terpenuhi dan begitu seterusnya, akan tetapi ketika waktu pengisian ke *headpond* memakan waktu yang cukup lama (hingga berhari-hari) maka turbin tidak akan dioperasikan, melainkan akan dilakukan perawatan. Dari permasalahan tersebut peneliti ingin berinovasi dengan memanfaatkan teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH).

Teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH) merupakan salah satu sistem penyimpanan energi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia sejak tahun 1890-an yang mencapai perkiraan kapasitas terpasang sebesar 130 GW (Pérez-Díaz *et al.*, 2015). Di Indonesia sendiri pusat listrik tenaga air

teknologi *pumped storage* berada di Jawa Barat yang merupakan proyek PLTA didalam RUPTL 2019 - 2028 yaitu 2 lokasi yang menjadi usulan PLTA *Pumped Storage* Matenggeng (943 MW) dan PLTA *Pumped Storage* Grindulu

(1000 MW) (Rahmanta, 2022). Di sisi lain PSH dapat digunakan untuk menstabilkan sistem kelistrikan sehingga dapat dimanfaatkan dalam skala besar dan biayanya yang ekonomis dibandingkan dengan penggunaan baterai (Florian *et al*, 2015). Adapun penelitian yang mendukung tentang teknologi *pumped-storage hydropower* yaitu teknologi ini dapat meningkatkan kembali energi sekitar 70% – 80% dari input energi (Yang & Jackson, 2011). Beberapa hasil kajian yang menunjukkan bahwa sistem *pumped-storage hydropower* bisa memberikan *payback period* lebih cepat sekitar 2,5 - 5,5 tahun (Pramono & Lasman, 2020).

Berdasarkan permasalahan dan kajian yang telah dilakukan penulis melakukan penelitian di perusahaan PT.Tombolo Energi yang berfokus pada turbin kapasitas 0,5 MW dengan judul “**Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Stroge Hydropower***”, dimana *ouput* dari penelitian ini berupa saran desain perancangan *pumped stroge hydropower*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana menentukan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau?
2. Bagaimana desain instalasi pipa dari sumber air sampai ke *reservoir* untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau?
3. Berapa biaya instalasi pompa dan pipa berdasarkan rancangan optimalisasi pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower*?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menjaga *level* air *headpond* PLTMH Tombolo Energi pada batas ambang andal.
2. Menentukan spesifikasi pompa dan mendesain instalasi pipa pada optimalisasi pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower*.
3. Menentukan analisis biaya untuk pompa dan instalasi pipa pada analisis optimalisasi pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower*.

1.4 Tujuan

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

1. Menentukan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
2. Mendesain instalasi pipa dari sumber mata air sampai ke reservoir untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
3. Menentukan biaya instalasi dan kelayakan investasi.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

a. Bagi Mahasiswa

Mendapatkan data untuk penyusunan Skripsi yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma IV pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, .

b. Bagi Perusahaan

Sebagai bahan rekomendasi dalam optimalisasi pengoperasian PLTMH Tombolo Pao pada saat musim kemarau baik dari segi energi yang dibangkitkan maupun peningkatan nilai profit perusahaan.

c. Bagi Masyarakat

Membantu menarik perhatian masyarakat setempat dalam pemanfaatan energi dan mengambil peran lebih dalam inovasi PLTMH serta bermanfaat dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimalisasi

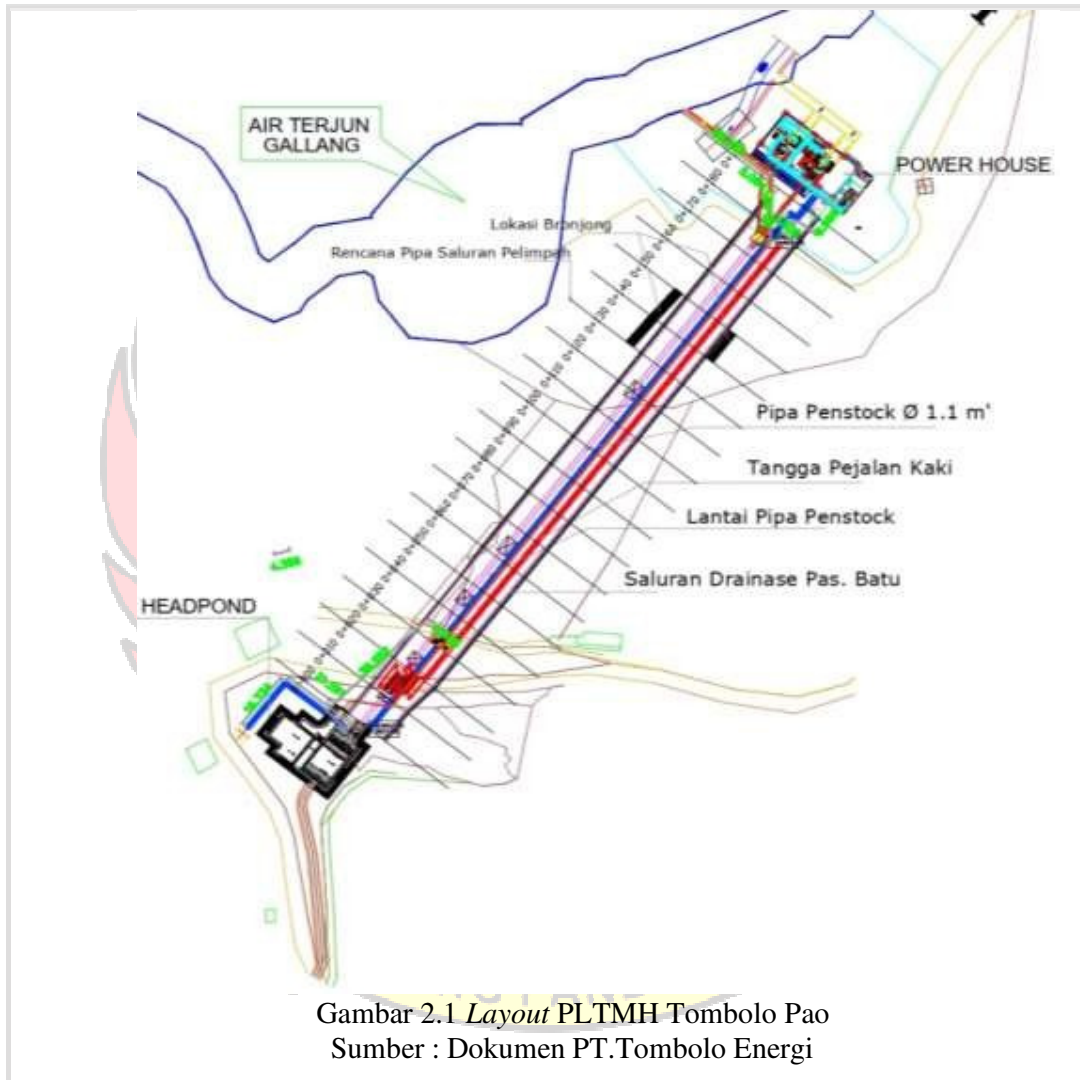
Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), bahwa optimalisasi adalah kata dasar optimal yang berarti terbaik, paling menguntungkan, pengoptimalan proses, cara, perbuatan mengoptimalkan (menjadikan paling baik, paling tinggi, dan sebagainya) sehingga optimalisasi adalah suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu (sebagai sebuah desain, sistem, atau keputusan) menjadi lebih/sepenuhnya sempurna, fungsional, atau lebih efektif.

Dalam pembahasan skripsi ini membahas terkait optimalisasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro PT.Tombolo Energi kapasitas 0,5 MW dengan teknologi *pumped storage hydropower* untuk menyuplai air pada saat musim kemarau guna menjaga *level headpond* pada batas ambang andal.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro PT.Tombolo Energi

Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit skala kecil yang memanfaatkan aliran air sebagai sumber penghasil energi sehingga disebut *clean energy* karena ramah lingkungan dan termasuk sumber energi terbarukan serta layak. Pemanfaatan energi air sebagai sumber utama dalam instalasi pembangkit listrik memiliki besar kapasitas dan ketinggian yang berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan. Sehingga apabila kapasitas dan ketinggian besar atau mencukupi maka energi yang dihasilkan juga semakin besar. Begitu pun sebaliknya, jika kapasitas dan ketinggiannya kecil atau kurang maka energi yang dihasilkan juga semakin kecil. Dimana sebuah

skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik.



PLTMH Tombolo Pao beroperasi pada tahun 2015. PLTMH ini didirikan oleh PT.Tombolo Energi anak perusahaan PT.Bumi Karsa yang tergabung dalam HAJI KALLA GROUP. Perusahaan ini mengkhususkan diri dalam

pengembangan usaha energi listrik tenaga air ber skala minihidro di wilayah Sulawesi Selatan dan Kabupaten Gowa. Dengan visi misi perusahaan yaitu :

- Visi : Menjadi perusahaan jasa pengembangan energi listrik tenaga air berskala nasional, berdaya saing dan inovatif.
- Misi : Menyediakan energi listrik tenaga air berskala minihidro yang handal dan berkomitment pada Biaya, Mutu, Waktu dan K3 dan kerjasama yang sinergis serta senantiasa memberikan memberikan jaminan terhadap Kepuasan Pelanggan.

2.3 Komponen - komponen PLTMH

Komponen-komponen utama dalam sistem PLTMH terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu komponen sipil, komponen mekanikal, dan elektrikal serta komponen transmisi dan distribusi.



Gambar 2.2 Bagian - bagian PLTMH
Sumber : (Yayasan Tunas Cendekia, 2023)

2.3.1 Komponen Sipil

a. Pintu pengambilan air berfungsi mengatur banyaknya air yang masuk ke saluran dan mencegah masuknya benda-benda padat dan kasar kedalam saluran.

b. Waduk (*Reservoir*) adalah danau yang dibuat untuk membendung sungai untuk memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi.

c. Bendungan (*Dam*) berfungsi menutup aliran sungai – sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan.

d. Saringan (*Sand trap*) dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran – kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.

e. Bak pengendap (*Settling basin*) digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.

f. Saluran pembawa (*Headrace*) mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.

g. Pipa pesat (*Penstock*) dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin.

h. Katup utama (*Main valve atau inlet valve*) dipasang di depan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, memulai turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau

perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama menggunakan pompa hidrolik.

- i. Rumah pembangkit/*Power house* merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang *control*.

2.3.2 Komponen Mekanikal Elektrikal

1. Turbin air berfungsi untuk mengonversi energi aliran air menjadi energi putaran mekanis.
2. Generator pembangkit listrik AC untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo Volt Ampere (kVA).
3. Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat menggunakan sabuk atau puli, roda gigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.
 - Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator.
 - Roda gigi mempunyai sifat yang sama dengan puli.
4. Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran rotor pada generator.
5. *Panel control* berfungsi untuk menstabilkan tegangan.

6. Pengalih beban (*Ballast load*) berfungsi sebagai beban sekunder (*dummy*) ketika beban konsumen mengalami penurunan. Kinerja pengalih beban ini diatur oleh panel kontrol yang masih tinggi ke tekanan atmosfer.

2.3.3 Komponen Transmisi Dan Distribusi

- a. Instalasi konsumen
- b. Jaringan transmisi induk
- c. Jaringan distribusi

Penggunaan beberapa komponen disesuaikan dengan tempat instalasi (kondisi geografis, baik potensi aliran air serta ketinggian tempat) dan budaya masyarakat. Sehingga terdapat kemungkinan terjadi perbedaan desain mikrohidro dan komponen yang digunakan antara satu daerah dengan daerah yang lain (Siahaan, 2019).

2.4 Debit Air

Debit air merupakan banyaknya volume air mengalir yang melewati suatu tempat dan jarak tertentu dalam satuan waktu. Debit air sungai juga disebut dengan istilah laju aliran air yang melewati sebuah penampang yang melintang dengan satuan waktu. Besar debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per sekon (m^3/s).

Untuk menentukan debit air yang melalui suatu luas penampang yaitu dengan cara menentukan luas penampang dan kecepatan yang akan dijadikan

percobaan maka dilakukan dengan menggunakan persamaan Bernouli” :

$$Q = A \times v \text{ atau } Q = V/t \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

Q = Debit air(m³/s)

A = Luas penampang (m²)

v = Kecepatan (m/s)

V = Volume (m³)

t = Waktu (s)

2.4.1 Pengukuran Debit

2.4.1.1 Pengukuran Debit Dengan Cara Apung (*Float Area Methode*)

Prinsip :

- 1) Kecepatan rata – rata aliran (\bar{v}) ditetapkan berdasarkan kecepatan pelampung (v)
- 2) Luas penampang (A) ditetapkan berdasarkan pengukuran lebar (L) dan kedalaman saluran (D)
- 3) Debit sungai (Q)

$$v_{\text{pelampung}} = \frac{p}{t} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\bar{v} = \alpha \cdot v_{\text{pelampung}} \dots\dots\dots (2-3)$$

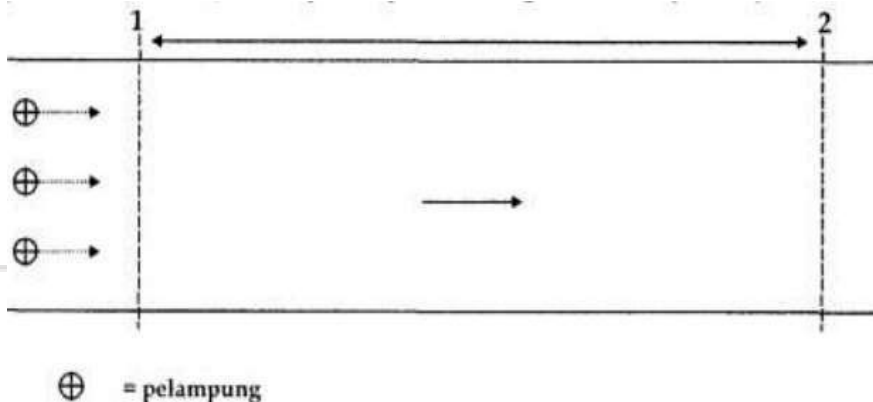
Keterangan :

α = Faktor koreksi (0,70 – 0,90)

$v_{\text{pelampung}}$ = Kecepatan pelampung (m/s)

\bar{v} = Kecepatan aliran rata – rata (m/s)

p = Panjang aliran yang dilalui benda apung (m)



Gambar 2.3 Titik Jalannya Pelampung

2.4.1.2 Pengukuran Debit Dengan *Current Meter*

Current meter merupakan alat yang paling umum digunakan karena dapat menghasilkan ketelitian yang cukup baik. Prinsip kerja alat ukur ini adalah dengan mencari hubungan antara kecepatan aliran dan kecepatan putaran baling - baling *current meter* tersebut (Hartini, 2017). Hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut :

$$v = a n_{\text{putaran}} + b \dots\dots\dots (2-4)$$

Keterangan :

n_{putaran} = Jumlah putaran tiap waktu tertentu

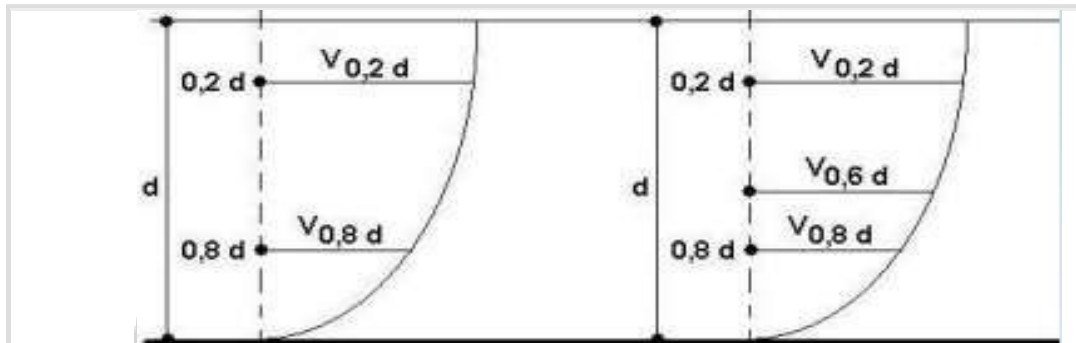
a,b = Konstanta tergantung jenis alat

Tabel 2.1 Metode Pengukuran Kecepatan Dan Kecepatan Rata – rata

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

Sumber : (Saiby & Klistafani, 2023)

Dengan alat ini seperti pada Gambar 2.5 dapat dilakukan pengukuran pada beberapa titik dalam suatu penampang aliran contohnya pada Gambar 2.4. Dalam praktek digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran rata-rata pada satu vertikal dalam suatu tampang aliran tertentu.



Gambar 2.4 Metode Pengukuran Kecepatan 2 Titik dan 3 Titik
 Sumber : (Saiby & Klistafani, 2023)

Tabel 2.2 Interval Pengukuran Kecepatan Pada Penampang Sungai

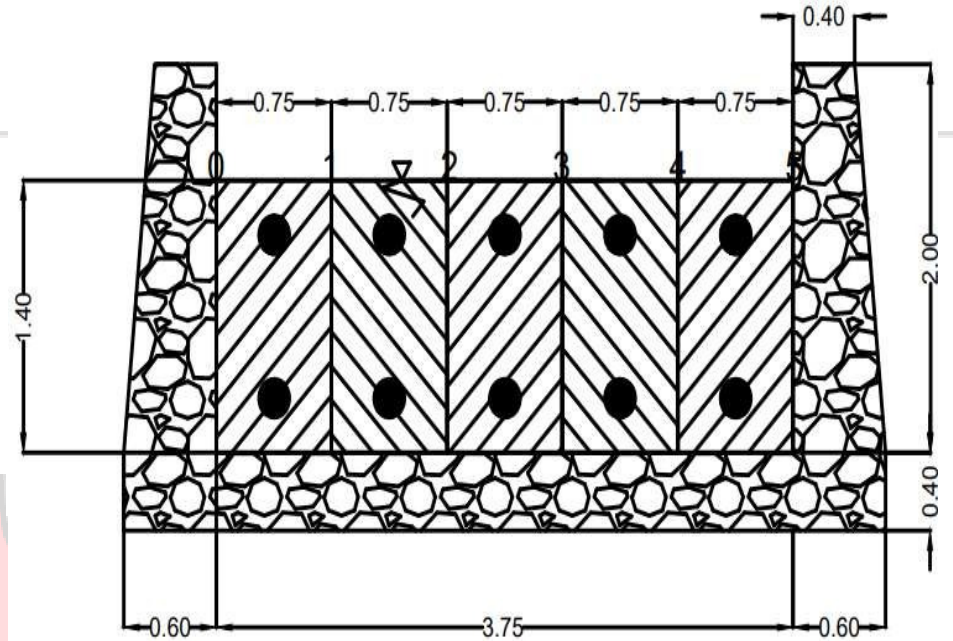
Lebar sungai	< 50 m	50 < B < 100 m	100 < B < 200 m	200 < B < 400 m	400 < B < 800 m	> 800 m
Jumlah Penampang	3	4	5	6	7	8

Sumber : (Saiby & Klistafani, 2023)



Gambar 2.5 Current Meter Sumber : (Current Meter Flowwatch FL-03, 2023)

Setelah mendapatkan nilai kecepatan aliran, selanjutnya dapat menentukan debit dengan area *Velocity Method* (Cara langsung).



Gambar 2.6 Saluran Masuk *Headpond* PLTHM PT.Tombolo Energi

$$\text{Luas penampang basah sub irisan 0-1 } A_{0-1} = \frac{d_0+d_1}{2} \times d \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\text{Debit melalui sub irisan 0-1} = A_{0-1} \times \bar{v} \dots\dots\dots(2-6)$$


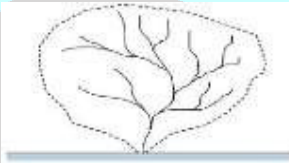

$$Q_{\text{total}} = \sum_{i=1}^N Q_i \dots\dots\dots(2-7)$$

2.4.2 Debit Andalan

Dalam perencanaan PLTMH atau bangunan air lainnya, biasanya ditentukan terlebih dahulu debit andalan (*dependable discharge*), guna menentukan debit yang diharapkan tersedia di sungai. Debit andalan adalah debit aliran sungai yang tersedia sepanjang tahun yang akan digunakan untuk proyek-proyek pengembangan sumberdaya air (Salim, 2017).

Debit andalan merupakan penggambaran debit perkiraan dan probabilitas dalam *flow duration curve* yang menggambarkan probabilitas atau persentase

ketersediaan air pada sumbu ordinat dan besar debit andalan pada suatu sumbu aksis (Amalia *et al.*, 2015). Debit andalan didapat dari pengolahan data kondisi hidrologi yang meliputi potensi debit dan curah hujan, termasuk perubahan iklim. Dimana hal tersebut menghasilkan hidrograf dengan memantau bentuk hidrograf suatu sungai dari waktu ke waktu, maka secara otomatis kondisi penutup lahan dalam wilayah DAS (Daerah Aliran Sungai) seperti pada Gambar 2.7. Karakteristik yang umumnya diamati pada suatu hidrograf debit aliran adalah debit puncak, waktu puncak, waktu dasar, dan volume limpasan (Udjianto & Yusuf, 2019).

		
<p>DAS bentuk BULU BURUNG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debit banjir kecil, karena waktu tiba air dari anak sungai (<i>concentration time</i>) berbeda • Waktu banjir relatif lama 	<p>DAS bentuk BULU BURUNG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debit banjir besar, dengan konsentrasi di titik – titik pertemuan anak sungai 	<p>DAS bentuk BULU BURUNG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debit banjir besar, dengan konsentrasi di titik pertemuan sungai di bagian hilir.
<p>Bentuk daerah pengaliran yang berbeda dari ketiga bentuk tersebut disebut Daerah Pengaliran KONMPLEKS</p>		

Gambar 2.7 Geometri DAS

Sumber : (Pengertian Daerah Aliran Sungai (DAS) Atau *Watershed*, 2023)

2.5 Teknologi *Global Positioning System Geodetic*

Global Positioning System (GPS) Geodetic adalah GPS yang mempunyai

kemampuan untuk menangkap signal L1, L2, atau *Global Navigation Satellite System (GNSS)* (Rohman, 2019), dimana :

- Gelombang L1 akan membawa dan merekam data *pseudorange* dan data fase atau kode P(Y) dan C/A beserta pesan navigasi.
- Gelombang L2 akan membawa kode P(Y) dan pesan navigasi.

GPS Geodetik mempunyai kemampuan untuk merekam *Raw* data atau data primer yang secara umum mempunyai *Format Receiver Independent Exchange Format* (RINEX). GPS Geodetik mempunyai ketelitian lebih tinggi dari GPS Navigasi, untuk mendapatkan ketelitian tinggi GPS Geodetik harus menggunakan dua alat waktu pengukuran. Jadi, satu set GPS Geodetik terdiri dari dua alat, sebagai base line dan sebagai *rover* seperti pada Gambar 2.8 . GPS Geodetik dual frekuensi digunakan untuk mengukur pergerakan tanah (Putra & Ingrid, 2019).



Gambar 2.8 Satu Set Trimble R10 GNSS GPS Receiver Kit
Sumber : (Trimble R10 GNSS GPS Receiver Kit, 2023)

Pengaplikasian dari GPS Geodetik antara lain :

- a. Untuk penentuan batas wilayah misal : batas antar negara, batas antar wilayah.

b. Penentuan titik kontrol : untuk BPN (Badan Pertanahan Nasional), BAKOSURTANAL (Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional) dan Titik kontrol tambang.

c. Pemetaan topografi.

d. Penentuan volume.

e. *Stake out* : mencari koordinat di lapangan.

Dalam penelitian ini teknologi GPS Geodetik digunakan untuk pemetaan topografi dan penentuan volume air pada sumber air (aliran sungai tangka) yang akan dipompakan sebagai suplai air untuk menjaga level *headpond* saat musim kemarau.

2.6 Daya Hidrolik

Untuk mendapatkan daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, didapatkan dengan persamaan :

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \dots\dots\dots(2-8)$$

Keterangan :

P_h = Daya hidrolik (Watt)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Tinggi jatuh air/*head* (m)

2.7 Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Head merupakan tinggi jatuh air dari posisi tertinggi menuju posisi terendah. Untuk pengukuran tinggi jatuh efektif dilapangan, dapat dilakukan dengan pengukuran langsung (Ointu *et al.*, 2020). Pengukuran tersebut dapat

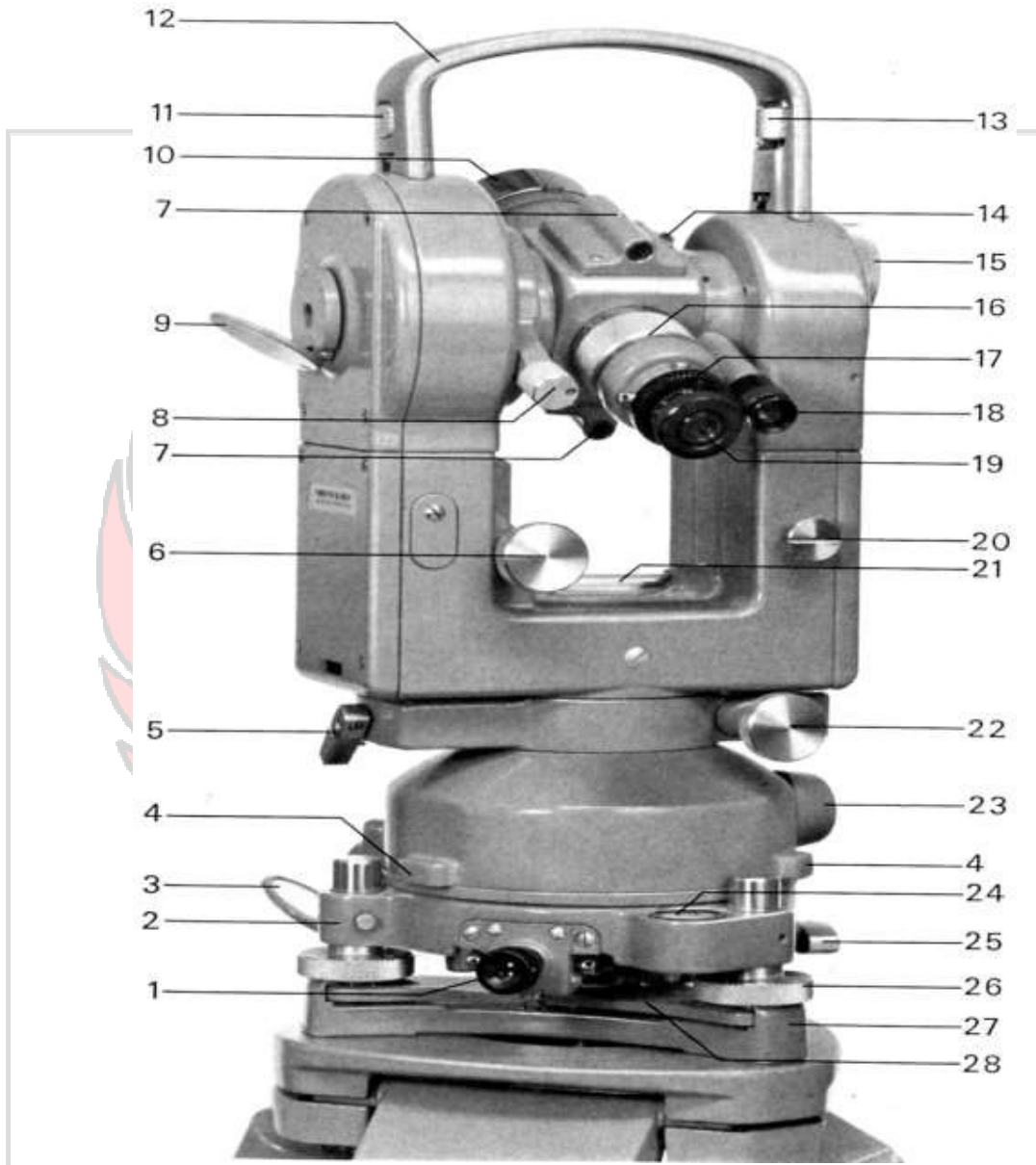
dilakukan dengan cara detail menggunakan standar alat pemetaan maupun dilakukan dengan cara yang sederhana. Alat yang digunakan untuk mengukur tinggi jatuh adalah *theodolite*.

2.8 *Theodolite*

Theodolite atau theodolit adalah instrument/alat yang dirancang untuk menentukan tinggi tanah pengukuran sudut yaitu sudut mendatar (sudut horizontal) dan sudut tegak (sudut vertikal) (Bahari *et al.*, 2015). Dimana sudut – sudut tersebut berperan dalam penentuan jarak mendatar dan jarak tegak diantara dua buah titik lapangan. Umumnya theodolite memiliki tipe sepasang sumbu (*double axis*) yang terdiri atas dua lempeng, atas dan bawah yang masing – masing berputar pada sumbu I. Setiap lempengan dilengkapi dengan klem dan penggerak halus. Klem bagian bawah mengunci putaran lempengan bawah, sementara klem bagian atas mengunci kedua lempengan itu. Penggerak halus digunakan untuk penempatan bidikan ke target (*pointing*).

Pada theodolit elektronik digunakan pembacaan digital yang mempunyai bacaan terkecil 20", 10", 5" atau 1". Tampilannya menggunakan layar LCD, dan dilengkapi kemampuan tombol fasilitas 'menahan' dan 'set' bacaan piringan horizontal sesuai yang diinginkan pengamat. Hasil ukurannya disajikan lebih cepat dan mampu mengubah putaran bacaan horizontal berlawanan arah jarum jam, mampu mengeset nol dengan menekan tombol yang disediakan. Beberapa dilengkapi fasilitas kompensasi elektronis untuk pengaturan kemiringan sumbu I (*Modul Pengukuran Sudut*, 2023).

Adapun bagian – bagian theodolit dapat dilihat pada Gambar 2.9 setiap bagian diberi angka dalam kurung sebagai petunjuk.



Gambar 2.9 *Theodolite Wild T2* Dan Bagian-Bagiannya
Sumber : (*Modul Pengukuran Sudut, 2023*)

Keterangan Gambar 2.9 :

- 1) Teropong sentering optik (*Optical plummet*).

- 2) *Tribrach*.
- 3) Cermin pemantul cahaya untuk bacaan lingkaran horisontal.
- 4) Titik penumpu. Ketika alat diletakkan dalam boks, alat ditumpu oleh titik ini.

- 5) Klem horisontal.
- 6) Skrup pemutar horisontal.
- 7) *Vizier* optik, dilengkapi titik untuk sentering di bawah atap.
- 8) Klem vertikal.
- 9) Cermin pemantul cahaya untuk bacaan lingkaran vertikal.
- 10) Lensa objektif.
- 11) Jepitan pengaman untuk pegangan-pembawa.
- 12) Pegangan-pembawa.
- 13) Skrup pengunci untuk pegangan-pembawa.
- 14) Pengungkit untuk pencahayaan. Jika digunakan cahaya elektrik, pengungkit ini digerakkan ke arah lensa objektif sampai terhenti.
- 15) Kenop mikrometer.
- 16) Lengan-putar pemfokusan objek bidikan.
- 17) Cincin bayonet, *eyepiece* terkunci di dalamnya.
- 18) *Eyepiece* mikroskop bacaan.
- 19) *Eyepiece* teropong dengan lensa dioptrik (lensa okuler).

20) Kenop pemilihan horisontal atau vertikal.

21) Pendatar pelat, atau nivo tabung.

22) Skrup pemutar horisontal.

23) Penutup untuk kenop pemutar lingkaran.

24) *Nivo* kotak.

25) Kenop pengunci *swivel*.

26) Sekrup kaki-kaki.

27) Pelat dasar.

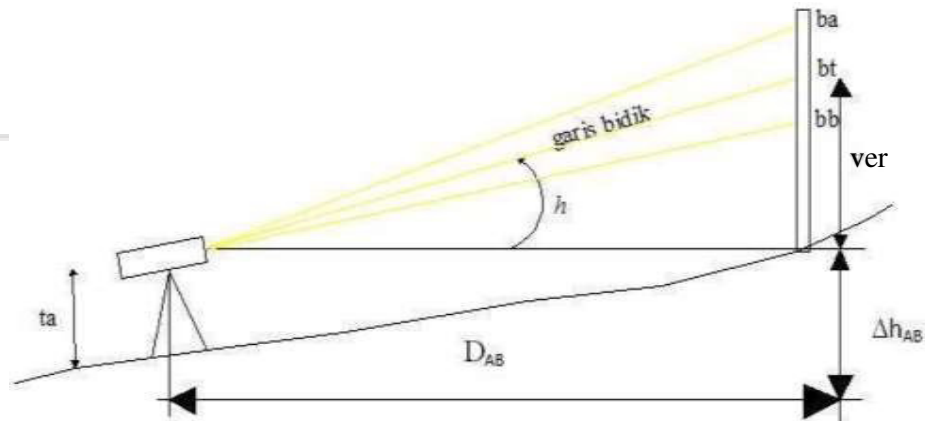
28) Pelat lentur.

Persyaratan pengoperasian theodolit : Syarat-syarat utama yang harus dipenuhi alat theodolit sehingga siap dipergunakan untuk pengukuran yang benar adalah sebagai berikut :

1. Sumbu ke I harus tegak lurus dengan sumbu II / vertikal (dengan menyetel nivo tabung dan nivo kotaknya).
2. Sumbu II harus tegak lurus Sumbu I
3. Garis bidik harus tegak lurus dengan sumbu II (Sumbu II harus mendatar).
4. Tidak adanya salah indeks pada lingkaran kesatu (kesalahan indek vertical sama dengan nol.)
5. Apabila ada nivo teropong, garis bidik harus sejajar dengan nivo teropong.
6. Garis jurusan nivo skala tegak, harus sejajar dengan garis indeks skala tegak
7. Garis jurusan nivo skala mendatar, harus tegak lurus dengan sumbu II (Garis bidik tegak lurus sumbu kedua / mendatar).

Syarat pertama harus dipenuhi setiap kali berdiri alat (bersifat dinamis), sedangkan untuk syarat kedua sampai dengan syarat kelima bersifat statis dan

pada alat-alat baru dapat dihilangkan dengan merata-rata bacaan biasa dan luar biasa.



Gambar 2.10 Skema Penggunaan *Theodolite*
 Sumber : (Maali, 2017)

$$D_{AB} = (ba - bb) \times 100 \times (\cos h)^2 \dots\dots\dots(2-9)$$

Keterangan :

ba = Benang atas (m)

bb = Benang bawah (m)

D_{AB} = Jarak titik satu ke titik lainnya (m)

h = Bacaan sudut bt terhadap sudut horizontal (°)

$$\Delta H = ta - bt + D_{AB} \times \tan h \dots\dots\dots(2-10)$$

Keterangan :

ta = Tinggi alat (m)

bt = Benang tengah (m)

ΔH = Beda tinggi titik satu dengan titik lainnya (m)

Bacaan biasa

$$h = 90^\circ - ver \dots\dots\dots(2-11)$$

Keterangan :

ver = Bacaan vertikal (°)

Jika v atau h diubah dalam bentuk desimal maka,

$$v \text{ atau } h = 0^{\circ}0'0'' = 0 + \frac{0}{60} + \frac{0}{3600} \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan :

Simbol (‘) = Menyatakan ukuran sudut (menit)

Simbol (‘‘) = Menyatakan ukuran sudut (s)

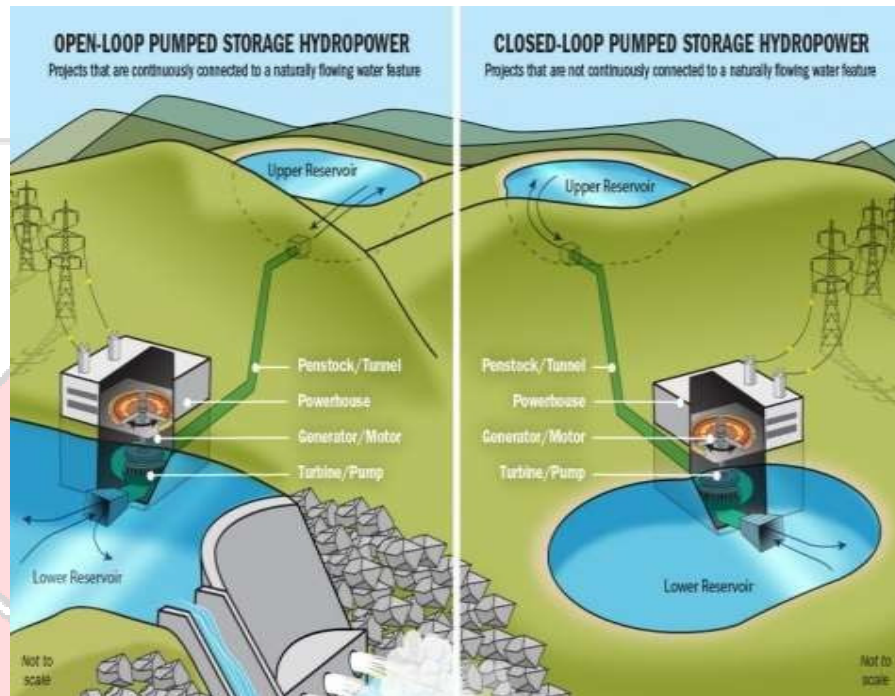
2.9 Pompa Penyimpanan Air (*Pumped Storage Hydropower*)

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara mengalirkan fluida. Pompa dapat mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Dalam penelitian ini akan membahas terkait *Pumped Storage Hydropower (PSH)*. PSH adalah salah satu media penyimpanan energi dengan cara *hydroelectric* dengan konfigurasi 2 *reservoir* air pada elevasi yang berbeda (Rahmanta, 2022). PSH dapat dikarakteristikan menjadi 3 yaitu :

- a. *Open loop* (*reservoir* bawah terhubung ke aliran air yang mengalir secara alami)

PSH tipe *open loop* dapat digunakan jika terdapat arus sungai yang terletak didekat *reservoir*. Namun PSH tipe ini dapat mengganggu laju aliran air dan biota sungai. Efek buruk tersebut dapat diminimalkan dengan memanfaatkan bendungan sebagai *lower reservoir*, sehingga rumah pembangkit dapat dibangun pada *downstream* dari bendungan. Hal tersebut meminimalisir kegiatan penggalian yang dapat mengganggu kestabilan lingkungan sekitar sungai, karena rumah pembangkit dapat

membangkitkan listrik dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian air yang sudah ada.



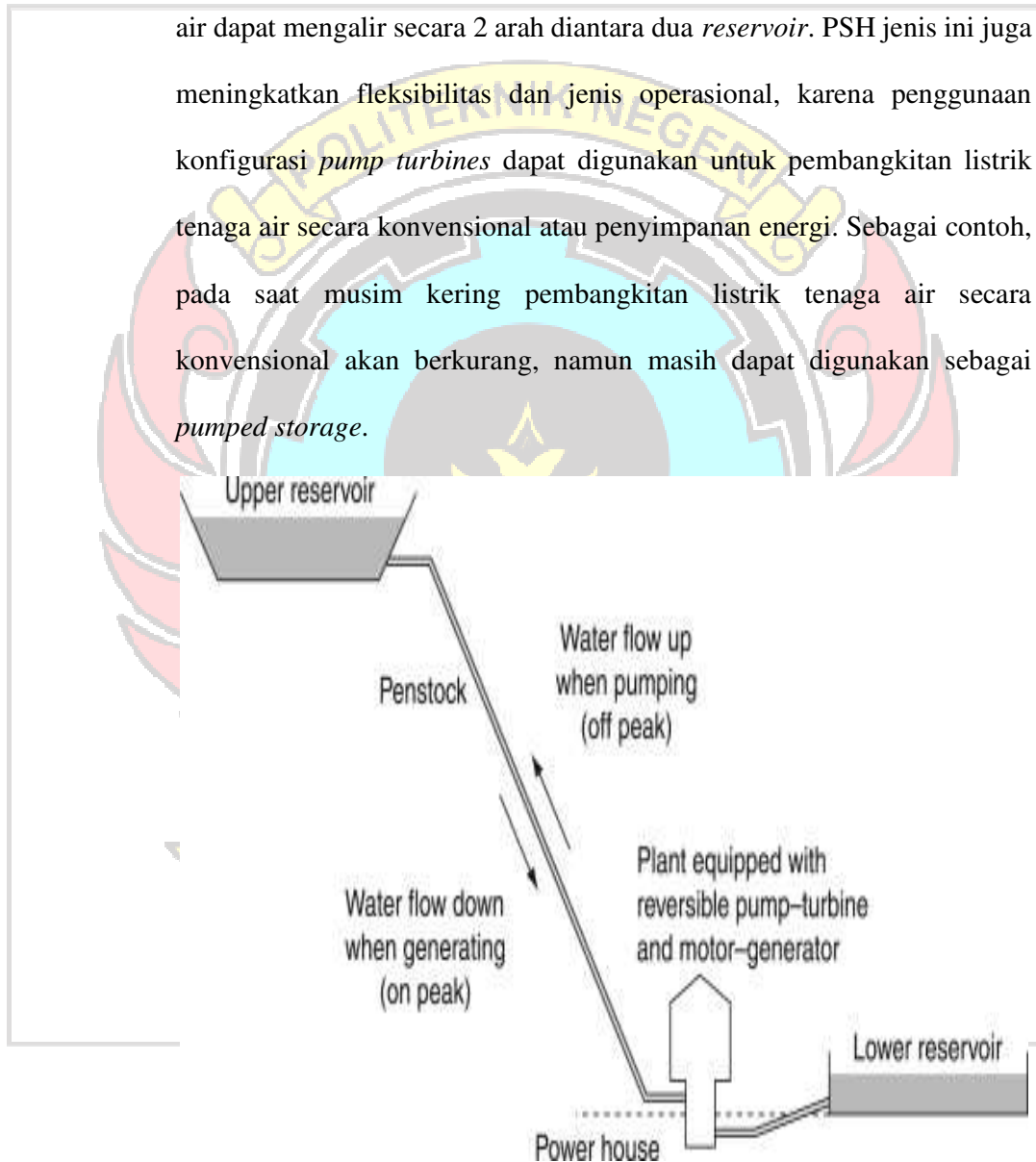
Gambar 2.11 PSH Tipe *Open Loop* Dan *Closed Loop*
Sumber : (*Pumped Storage Hydropower*, 2023)

b. *Closed loop* (*reservoir* bawah tidak mengalir).

PSH tipe *closed loop* terdiri dari *upper* dan *lower reservoir* yang terletak jauh dari sumber air melimpah, sehingga input air kedalam sistem PSH terbatas. Tipe ini dapat diterapkan 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*. Akan tetapi, penggunaan PSH tipe *closed loop* memiliki siklus operasi yang terbatas disebabkan penyimpanan air hanya terbatas dalam jangka beberapa hari hingga satu bulan, bergantung ketersediaan air.

c. *Pump-back storage*

PSH tipe *pump-back storage* yang dapat diimplementasikan pada bendungan *hydropower* yang memiliki *reservoir* langsung tambahan dibawahnya. Penggunaan PSH jenis *pump-back storage* memungkinkan air dapat mengalir secara 2 arah diantara dua *reservoir*. PSH jenis ini juga 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*.



Gambar 2.12 PSH *Pump-Back Storage*
Sumber : (Hino & Lejeune, 2012)

PSH Sebagai teknologi dalam penyimpanan energi, menyeimbangkan produksi daya dan kapasitas yang kuat berfungsi sebagai cadangan energi yang dapat diandalkan, sehingga dapat menstabilkan jaringan sekaligus mengurangi resiko pemadaman listrik.

Dengan fleksibilitas operasional, *pumped storage* mempunyai manfaat yang luas serta memainkan peranan penting dalam program tenaga air dan energi pada skala lokal dan regional (ANDRITZ, 2023). Adapun manfaat *pumped storage* sebagai berikut :

- Teknologi beresiko rendah yang sudah terbukti terbaik
- Menyeimbangkan pembangkit energi terbarukan yang fluktuatif
- Mengelola penghambat jaringan
- Mendukung stabilitas jaringan dengan respons yang cepat terhadap perubahan permintaan atau pemadaman mendadak
- Berkontribusi pada stabilitas jaringan dengan meningkatkan inersia jaringan dan menyediakan kemampuan asut-gelap (black start)
- Masa pakai fasilitas yang sangat lama

Ada tiga desain dasar teknologi *pumped storage* (PS) yang tergantung pada layanan yang dibutuhkan berdasarkan (ANDRITZ, 2023), yaitu :

- *Reversible pump-turbines* dengan generator motor dengan kecepatan tetap
- *Set Turner*
- *Reversible pump-turbines* dengan generator motor dengan kecepatan variabel

2.9.1 Penelitian Terdahulu Terkait *Pumped Storage Hydropower*

Diperkirakan kapasitas penyimpanan energi dunia sebesar 17.325 TWh atau sekitar 79% dari konsumsi listrik dunia yang tercatat tahun 2017 (Rahmanta, 2022). Pada saat ini 94 % dari kapasitas penyimpanan energi dunia dan lebih dari 96% energi dalam aplikasi skala jaringan adalah dari pembangkit listrik *pumped storage*. Menurut *International Hydropower Association* (IHA), perkiraan total energi yang disimpan dalam *reservoir pumped storage* di seluruh dunia adalah hingga 9.000 GWh (ANDRITZ, 2023). Hal ini tentunya disebabkan besarnya potensi PSH yang ada dan merupakan salah satu alternatif pengganti baterai yang sering mengalami kendala dalam proses daur ulang berdampak pada lingkungan. Dimana Teknologi PSH merupakan teknologi energi terbarukan dan berkelanjutan yang memiliki fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan yang memungkinkan peningkatan stabilitas jaringan serta mendukung pengembangan sumber energi terbarukan yang terputus – putus, sehingga meminimalisir resiko pemadaman listrik (Rahmanta, 2022).

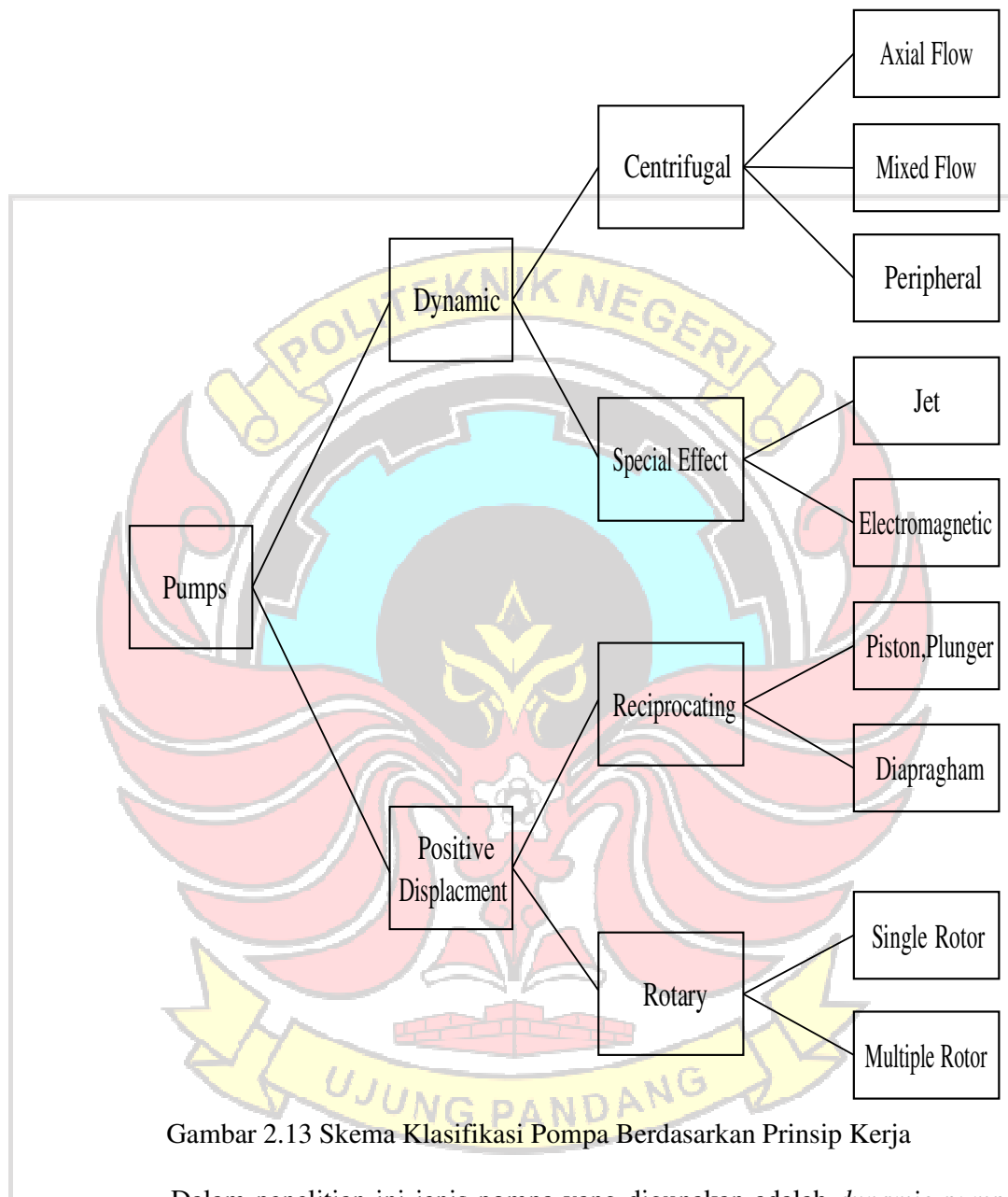
Beberapa negara telah menerapkan penggabungan pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Sehubungan dengan itu diketahui dari tahun 1960 – 1980 proyek PLTA *pumped storage* telah terkenal di Amerika Serikat dan Jepang sebagai cara untuk memenuhi kebutuhan listrik yang fluktuasi bersama dengan pembangkit listrik tenaga nuklir yang tak dapat menyesuaikan diri dengan perubahan kebutuhan secara tepat waktu (Antal, 2014). Tak hanya Amerika Serikat dan Jepang, Indonesia pun telah melakukan studi terkait peran panel surya dan PSH terhadap 100% energi terbarukan di Indonesia.

Indonesia memiliki 26.000 calon lokasi potensial untuk PSH dengan total kapasitas penyimpanan hingga 821.000 GWh (Rahmanta, 2022). Salah satu calon lokasi yang telah dalam proses pembangunan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air *Pumped Storage* (PLTA PS) kapasitas 1040 megawatt (MW) yang berlokasi di Provinsi Jawa Barat (*Siaran Pers (SP-02/DJPb/2022) Kemenkeu Dukung Pembiayaan Proyek PLTA Pumped Storage Pertama Dan Terbesar Di Asia Tenggara*, 2022). Selain itu kelebihan teknologi PS dikemukakan oleh (Lampung, 2021) bahwa .

Kelebihan dari hasil pemodelan sistem operasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) yang mengkombinasikan unit-unit pembangkit termal konvensional, dengan pembangkit *Variable Renewable Energy* (VRE) yang bersifat *intermittent*, serta *energy storage* menggunakan PLTA PS yang memanfaatkan air laut, untuk pulau-pulau berukuran kecil hingga sedang, guna mendukung kegiatan ekonomi lokal dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan lokal.

Adapun penelitian lain tentang teknologi *pumped-storage hydropower* yaitu teknologi PSH dapat meningkatkan kembali energi sekitar 70% – 80% dari input energi. Dan beberapa hasil kajian yang menunjukkan bahwa sistem *pumped-storage hydropower* bisa memberikan *payback period* lebih cepat sekitar 2,5 - 5,5 tahun (Pramono & Lasman, 2020).

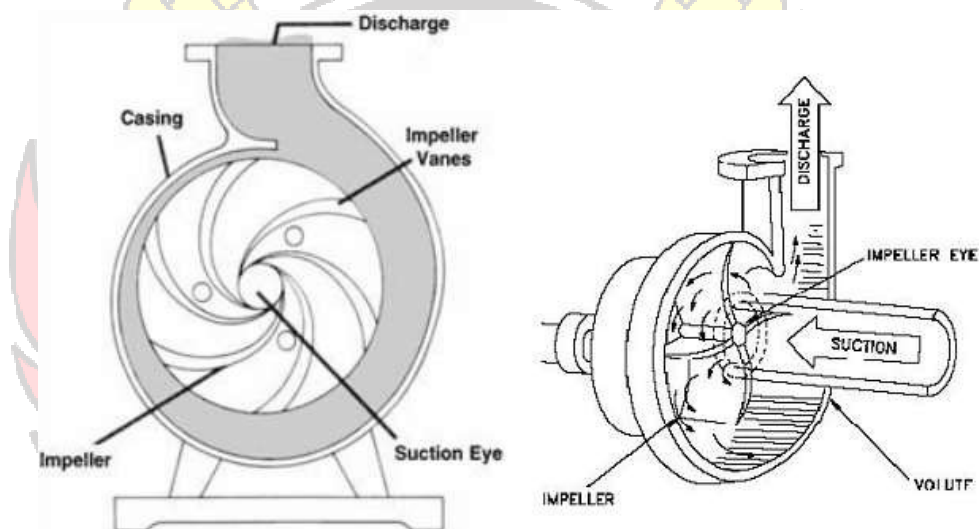
2.9.2 Klasifikasi Pompa Berdasarkan Prinsip Kerja



Gambar 2.13 Skema Klasifikasi Pompa Berdasarkan Prinsip Kerja

Dalam penelitian ini jenis pompa yang digunakan adalah *dynamic pump* atau yang sering disebut pompa sentrifugal. Prinsip kerja pompa ini adalah mengubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu impeller yang berputar dalam *casing*.

Pompa sentrifugal memiliki sebuah impeller (baling-baling) yang berguna mengangkat aliran fluida dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Konstruksi pompa sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.14, dari konstruksi tersebut menjadikan aliran fluida yang keluar dari impeller tegak lurus poros pompa secara kontinu (Permana, 2017). Berdasarkan proses perpindahan energi dan fluida cair sebagai bahan aliran maka pompa sentrifugal termasuk mesin aliran fluida hidraulik.



Gambar 2.14 Konstruksi Aliran Fluida Dalam Pompa Sentrifugal
Sumber : (Siregar *et al.*, 2021)

Karakteristik pompa sentrifugal ditentukan oleh besaran-besaran sebagai berikut :

1. Volume fluida yang dipompa (V)
2. Tinggi kenaikan (H)
3. Sifat atau keadaan disisi bagian isap
4. Daya yang dibutuhkan untuk memutar pompa

Adapaun keuntungan dan kekurangan dari pompa sentrifugal dibandingkan pompa *reciprocating* (Fachrudin, 2014), adalah :

Keuntungan :

- 1) Tidak menggunakan mekanisme katup, pompa ini dapat digunakan untuk memompa fluida yang mengandung pasir atau Lumpur.
- 2) Aliran yang dihasilkan lebih kontinyu (*continue*) bila dibandingkan dengan pompa *reciprocating* yang alirannya tersendat-sendat (*intermittent*).
- 3) Harga pembelian murah dan mudah perawatannya.
- 4) Tidak terjadi gesekan antara *impeller* dan *casings*nya sehingga keausannya lebih kecil.
- 5) Pengoperasiannya, pada putaran tinggi dapat dihubungkan langsung dengan motor penggeraknya.
- 6) Ukuran relatif kecil, maka bobotnya ringan dan pondasinya kecil.

Kerugian :

1. Untuk kapasitas kecil dan head yang besar, efisiensinya lebih kecil.
2. Agar pompa dapat bekerja lebih efisien, maka pompa harus bekerja pada titik kerjanya saja.
3. Pompa dengan head yang tinggi dan kapasitas rendah sulit dibuat, terkecuali dibuat dengan tingkat yang lebih banyak (*multistage pump*)
4. memerlukan priming untuk menggerakkannya.

Penggunaan pompa sentrifugal sangat luas, seperti pada pemakaian dalam masalah ekonomi air, mesin tenaga dan instalasi pemanas, kimia maupun petro

kimia, perkapalan dan pompa yang dipakai di tambang dengan berbagai kebutuhan terhadap kapasitas dan tinggi kenaikan yang berbeda (Siregar *et al.*, 2021).

2.10 Sistem Pipa

Sistem pipa atau *piping system* adalah suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan dari suatu tempat ke tempat yang lain.

2.10.1 Komponen Sistem Pipa

Adapun komponen-komponen sistem pipa sebagai berikut :

1. Pipa (*Pipes*) adalah suatu batang silinder berongga yang dapat mengalirkan zat cair, uap, dan gas. Untuk pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan daribatas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut. Pada sistem pipa, pipa menjadi saluran tertutup sebagai media transportasi atau pengaliran suatu fluida baik cair maupun gas dari suatu tempat ke tempat yang lain.
2. *Flange* adalah suatu mekanisme yang menyambungkan antar elemen perpipaanyaitu 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* dipasang bersama gasket untuk mencegah kebocoran pada sambungan *flange*.
3. Katup (*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* 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 pipa seperti *elbow*, sambungan *tee*, sambungan *stub-in*, *cap* dan lainnya.
5. Saringan (*Strainer*) adalah alat yang berfungsi menahan atau menghalang bahan atau materil yang hendak masuk yang memungkinkan mengganggu dari pada kerja sistem.

2.10.2 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*
5. Pipa galvanis.
6. Pipa *ferro nikel*.
7. Pipa *chrome moly*.
8. Pipa PVC.
9. Pipa HDPE (*High Density Poly Ethylene*).

Dari beberapa jenis pipa yang telah disebutkan tersebut dalam penelitian ini menggunakan jenis pipa *galvanis*. Pipa *galvanis* adalah jenis pipa yang terbuat dari besi atau umumnya disebut seng dengan proses *galvanisasi* (pencelupan pipa ke dalam seng cair) yang berfungsi melindungi permukaan pipa, untuk membantu pipa agar tahan karat dan anti korosi sehingga penggunaannya menjadi lebih tahan lama. Lapisan seng berfungsi untuk bertahan di iklim dan cuaca yang ekstrem atau berubah-ubah.

Pipa galvanis dapat digunakan untuk saluran air, instalasi listrik, mengalirkan gas seperti oksigen, gas nitrogen dan lainnya. Perhatikan secara detail pipa galvanis yang akan Anda gunakan sebelum digunakan untuk berbagai kebutuhan.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari pipa *galvanis* sebagai berikut :

- Kelebihan

- 1) Tahan Karat

Lapisan seng yang melapisi pipa *galvanis* membuat pipa tersebut menjadi tahan karat. “Rata-rata nilai laju korosi baja galvanis memenuhi kategori *excellent* (0,02–0,1 milimeter *per year*) pada standar laju korosi yang diijinkan yaitu standar ASTM G5-94 dengan metode sel tiga elektroda” (Marcell *et al.*, 2021). Dimana laju korosi merupakan kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu

2) Memiliki Usia Pemakaian Yang Panjang

Pipa *galvanis* memiliki usia pemakaian yang bisa dibilang cukup panjang karena keunggulan tahan karat. “Material baja galvanis lebih singkat jika dibandingkan dengan material aluminium, namun proses galvanisasi dan lapisan galvanis yang melindungi material baja terbukti dapat memperpanjang umur material” (Marcell *et al.*, 2021). Untuk penggunaan di perkotaan kira-kira dapat digunakan kurang lebih 25 tahun dan kira-kira 50 tahun untuk di perdesaan. Hal ini dikarenakan di kota polusi, cuaca, dan iklim yang berubah-ubah dari pada di desa. Selain penggunaan pipa yang mempunyai usia pemakaian yang panjang, biaya yang dikeluarkan untuk merawatnya terbilang lebih hemat.

3) Tahan Banting

Bahan dasar dari pipa *galvanis* adalah besi, sehingga kuat dan tidak mudah rusak.

4) Harga Murah

Pipa *galvanis* memiliki harga yang jauh lebih murah dari pada jenis pipa lainnya. Dikarenakan biaya pelapisan pipa glavanis cukup murah dibandingkan lapisan pipa lainnya.

- Kekurangan

1) Menghantarkan Listrik

Pipa *galvanis* terbuat dari bahan dasar besi sehingga memiliki sifat menghantarkan listrik.

2) Proses Pemasangan Yang Cenderung Rumit

Pemasangan pipa *galvanis* membutuhkan waktu yang lama karena material yang berat dan pemasangan yang rumit, sehingga dibutuhkan tenaga yang ekstra.

3) Cenderung Lebih Cepat Panas

Karena berbahan dasar besi pipa *galvanis* juga akan cepat panas jika terkena sinar matahari secara langsung dalam kondisi terik.

Pipa *galvanis* memiliki berbagai macam ukuran seperti pipa lainnya. Tak hanya ukuran pipa *galvanis* juga memiliki bentuk yang bermacam-macam.

Beberapa macam bentuk pipa *galvanis* :

1. Pipa Standar

Pipa *galvanis* bentuk standar merupakan bentuk pipa bulat yang dipakai untuk mengalirkan air.

2. Pipa *Hollow*

Pipa *galvanis hollow* atau juga disebut pipa galvanis kotak. Pipa bentuk ini digunakan untuk pembuatan railing jendela, pagar rumah, penopang untuk kanopi dan terkadang dimanfaatkan untuk material penyekat antar ruangan.

3. Pipa Berbentuk H

Pipa *galvanis* berbentuk H berbeda dengan 2 jenis yang ada di atas karena pipa bentuk ini memiliki material yang biasa digunakan untuk proyek besar seperti pembuatan jembatan dan bangunan yang besar.

4. Pipa Berbentuk Siku

Pipa *galvanis* berbentuk siku dibentuk dengan sudut 90 derajat yang biasanya digunakan untuk pembuatan material tangga bangunan, rak besi, dan semua sudut-sudut di tiap ruangan.

2.11 Perancangan Pipa Pump Storage

2.11.1 Kontinuitas

Laju aliran yg masuk ke dalam pompa adalah sama dengan laju aliran yang keluar dari pompa.

$$Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots(2-13)$$

$$A_{\text{pipa1}}v_1 = A_{\text{pipa2}}v_2 \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

Q_1 = Debit aliran yang masuk pompa (m^3/s)

Q_2 = Debit aliran yang keluar pompa (m^3/s)

A_{pipa1} = Luas penampang bagian dalam pipa masuk pompa (m^2)

v_1 = Kecepatan aliran fluida masuk pompa (m/s)

A_{pipa2} = Luas penampang bagian dalam pipa keluar pompa (m^2)

v_2 = Kecepatan aliran fluida keluar pompa (m/s)

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_2 \dots\dots\dots(2-15)$$

Karena titik 1 tidak memiliki kecepatan ($v_1 = 0$), tekanan P_1 , P_2 yang sama yaitu = 0 dan ketinggian $h_2 = 0$ maka :

$$\rho \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \dots\dots\dots(2-16)$$

Dalam rumus diatas ρ adalah massa jenis air. Dimana nilai dari ρ dapat dilihat pada Tabel 5.14 Lampiran IV.

Dengan luas penampang (A) adalah :

$$A_{\text{pipa}} = \frac{1}{4} \pi D_{\text{outside}}^2 \dots\dots\dots(2-17)$$

$$D_{\text{outside}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot v}} \dots\dots\dots(2-18)$$

Keterangan :

P = Tekanan (N/m²)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

A_{pipa} = Luas pipa (m²)

D_{outside} = Diameter (m)

π = 3,14 atau 22/7

2.11.2 Reynold Number (Re)

Reynold Number digunakan untuk mengetahui jenis aliran yang terjadi dalam sistem aliran di dalam pipa. Pembagian jenis aliran berdasarkan *Reynold Number* yaitu:

- Jika $Re \leq 2300$ adalah jenis aliran laminar.
- Jika $2300 \leq Re \leq 4000$ adalah jenis aliran transisi.
- Jika $Re \geq 4000$ adalah jenis aliran turbulen.

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D_{\text{inside}}}{\mu} \text{ atau } R_e = \frac{v \cdot D_{\text{inside}}}{\nu} \dots\dots\dots(2-19)$$

Keterangan :

D_{inside} = Diameter dalam pipa (m)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

μ = Viskositas dinamika (kg/ms)

ν = Viskositas kinematik (m^2/s)

2.11.3 Head Instalasi

Head pompa adalah energi per satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa, sehingga fluida mengalir dari *suction* ke *discharge*. *Head* pompa terdiri dari *Head* Statis dan *Head* Dinamis.

2.11.3.1 Head Statis (H_S)

- *Pressure Head* (H_p) merupakan energi yang terdapat pada fluida akibat perbedaan tekanan antara *discharge reservoir* dengan *suction reservoir* (Fachrudin, 2014). ΔH_p adalah selisih atau beda tekanan yang terjadi pada permukaan air yang berbeda.
- *Elevation Head* merupakan head yang terjadi akibat beda ketinggian dari permukaan *fluida disuction reservoir* dengan permukaan fluida di *discharge reservoir* dengan sumbu pompa sebagai acuannya. Sehingga dengan demikian ada dua kondisi instalasi, yaitu :
 - a) *Suction Lift* adalah kondisi instalasi pipa, dimana permukaan fluida terletak dibawah sumbu pompa.

$$H_S = H_{dis} + H_{suc} \dots \dots \dots (2-20)$$

- b) *Suction Head* adalah kondisi instalasi pipa, dimana permukaan fluida hisap terletak diatas sumbu pompa.

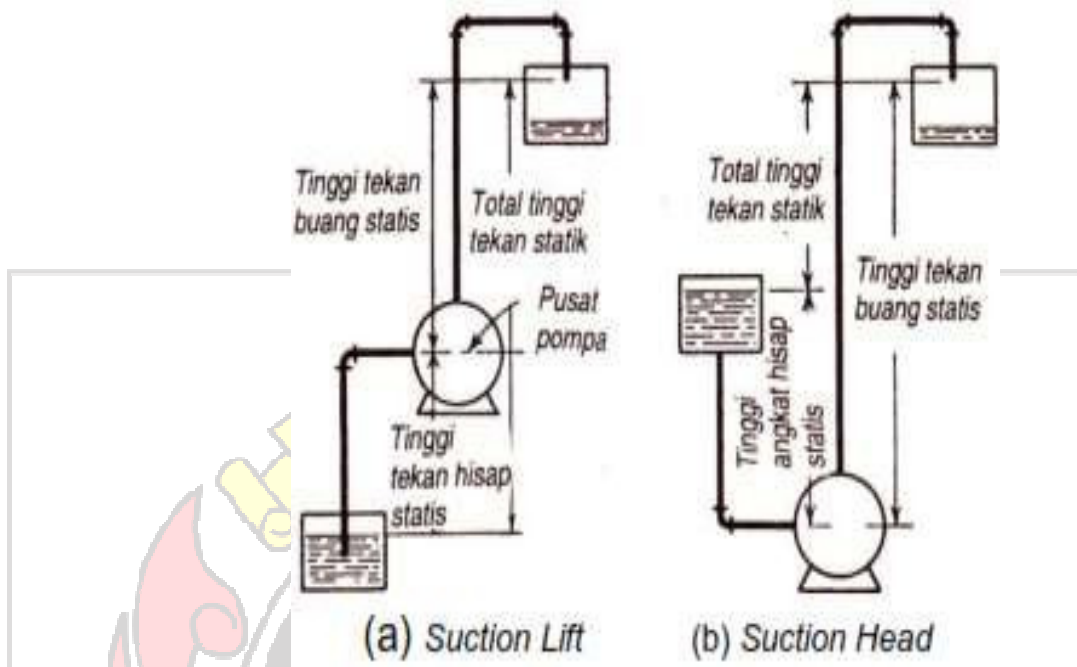
$$H_S = H_{dis} - H_{suc} \dots \dots \dots (2-21)$$

Keterangan :

H_S = *Head* statis (m)

H_{dis} = *Head discharge* (m)

H_{suc} = *Head suction* (m)



Gambar 2.15 Instalasi Pada Pipa Suction
 Sumber : (Permana, 2017)

2.11.3.2 Head Dimanis (H_D)

- *Velocity Head* (H_v) merupakan *head* yang disebabkan adanya perbedaan kecepatan fluida di *suction reservoir* dengan di *discharge reservoir*.
- *Head Loss* (H_l) adalah rugi-rugi gesekan yang terjadi sepanjang saluran pipa dan komponen komponen yang pada pipa. *Head Loss* dibagi menjadi dua yaitu *Head Loss Minor* dan *Head Loss Mayor*.

1. Head kerugian gesek dalam pipa (*major losses*) : Untuk menghitung kerugian gesek yang terjadi di dalam pipa dipakai persamaan *Darcy-Weisbach*

$$H_{f\text{ mayor}} = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}} \dots \dots \dots (2-22)$$

Keterangan :

l = Panjang pipa (m)

$H_{f\text{ mayor}}$ = Kerugian akibat gesekan sepanjang pipa (m)

f = Faktor kerugian gesek

D_{inside} = Diameter dalam pipa (m)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

Faktor gesek dapat dilihat pada diagram *moody* atau dapat dihitung dengan persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots (2-23)$$

atau untuk jenis aliran turbulen dapat digunakan persamaan

Darcy-Weisbach untuk pipa lurus

$$f = 0.02 + \frac{0.0005}{D_{\text{inside}}} \dots \dots \dots (2-24)$$

dan untuk faktor gesek belokan patah digunakan persamaan *Darcy-Weisbach*

$$f = 0.946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (2-25)$$

Keterangan :

θ = Sudut belokan ($^{\circ}$)

2. Head kerugian gesek dalam pipa (*minor losses*) : kerugian juga akan terjadi apabila ukuran pipa, bentuk penampang, atau arah aliran berubah dan adanya komponen tambahan seperti *elbow*, *valve*, *reducer* dan lain-lain. Kerugian head *minor losses* terjadi di tempat – tempat transis.

$$H_{I_{minor}} = \sum n \cdot f \frac{v^2}{2 \times g} \dots\dots\dots(2-26)$$

Keterangan :

$H_{I_{minor}}$ = Kerugian head (m)

Σn = Jumlah *elbow, valve, reducer* dan lain – lain

2.11.3.3 Head Total (H_{Tot})

$$H_{Tot} = H_S + \Delta H_p + H_I + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2-27)$$

2.11.4 Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya sehingga akan timbul gelembung – gelembung uap zat cair dan akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung akan pecah dan menyebabkan *shock* pada dinding di dekatnya. Apabila pompa mengalami kavitasi, maka timbul suara berisik dan getaran. Selain itu performa pompa akan menurun secara tiba – tiba, sehingga pompa tidak dapat bekerja dengan baik. Jika pompa dijalankan terus – menerus dalam jangka lama, maka permukaan dinding saluran di sekitar aliran yang berkavitasi akan mengalami kerusakan (Permana, 2017).

2.11.4.1 Net Positive Suction Head (NPSH)

Net Positive Suction head (NPSH) adalah Ukuran dari *head suction* terendah yang memungkinkan bagi cairan untuk tidak mengalami kavitasi. Ada 2 macam NPSH, yaitu :

- *Net Positive Suction head Available* (NPSH_A)

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - H_{suc} - \sum H_{l\ suc} \dots\dots\dots(2-28)$$

Keterangan :

H_{sv} = NPSH yang tersedia pada instalasi (m)

$\frac{P_a}{\gamma}$ = Tekanan absolut diatas permukaan cairan pada *suction* reservoir (m)

$\frac{P_v}{\gamma}$ = Tekanan uap cairan yang dipompa pada temperatur pipa (m)

H_{suc} = *Head* isap statis (m)

γ = Berat fluida per satuan volume (kN/m³)

$\sum H_{l\ suc}$ = *Head loss* pada pipa isap (m)

- *Net Positive Suction head Require* (NPSH_R)

Jika Q_n dinyatakan dalam (m³/min), H_{svN} dalam m, dan n dalam rpm, maka harga S untuk pompa – pompa berbentuk umum adalah sebesar 1200. Harga ini tidak bergantung pada n_s , sehingga persamaan H_{svN} :

$$H_{svN} = \left(\frac{n_{pompa}}{S} \right)^{4/3} \times Q_N^{2/3} - \sigma H_N \dots\dots\dots(2-29)$$

Keterangan :

H_{svN} = NPSH yang yang dibutuhkan (m)

σ = Koefisien kavitasi

n_{pompa} = Putaran pompa (rpm)

S = Kecepatan spesifik isap

Q_N = Debit pompa (m³/min)

H_N = Head total pompa (m)

Agar pompa tidak mengalami kavitas ($NPSH_A$) harus lebih besar dari ($NPSH_R$).

2.11.5 Daya Poros Pompa

Daya poros pompa merupakan daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa dimana sama dengan daya air ditambah kerugian daya di dalam pompa yang dinyatakan dalam persamaan :

$$P_{\text{pompa}} = \frac{P_h}{\eta_{\text{pompa}}} \dots\dots\dots(2-30)$$

Keterangan :

P_{pompa} = Daya poros sebuah pompa (Watt)

η_{pompa} = Efisiensi poros sebuah pompa

Nilai standar efisiensi pompa dapat dilihat dari grafik spesifikasi kecepatan (n_s) terhadap debit pada Gambar 5.10 Lampiran IV dan untuk pompa jenis khusus harus diperoleh dari pabrik pembuatnya. Nilai n_s dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut :

$$n_s = \eta_{\text{pompa}} \frac{Q_N^{1/2}}{H_N^{3/4}} \dots\dots\dots(2-31)$$

2.12 Analisis Ekonomi

2.12.1 Biaya Investasi

Biaya investasi adalah biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan aktiva tetap yang akan digunakan perusahaan untuk menjalankan aktivitas proyeknya.

2.12.2 Biaya Operasional Dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan merupakan biaya yang dikeluarkan selama proyek PSH beroperasi dan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan mesin/peralatan (Danu, 2020). Komponen biaya pemeliharaan

mesin/perawatan adalah biaya perawatan preventif, biaya perawatan korektif, dan biaya overhaul. Dimana biaya O&M pertahun untuk PLTMH umumnya diperhitungkan sebesar 1-4 % dari total biaya investasi awal (USAID *et al.*, 2016). Nilai sekarang (PV) biaya operasional dan pemeliharaan tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap (Sitohang, 2019). Dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_{PW} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots(2-32)$$

Dimana nilai M dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M = n_{O\&M} \times C \dots\dots\dots(2-33)$$

Keterangan :

M_{PW} = Biaya pemeliharaan dan operasional dimasa mendatang
(selama umur proyek) (Rp)

i = Tingkat suku bunga (%)

n = Umur proyek/Jangka waktu proyek (tahun)

M = Biaya pemeliharaan dan operasional pada tahun awal (Rp)

$n_{O\&M}$ = Nilai presentase *operation & maintenance cost* PLTMH (%)

C = Biaya tahun awal perencanaan/biaya investasi (Rp)

2.12.3 Biaya Investasi Penggantian Komponen

Biaya investasi penggantian komponen adalah biaya yang dikeluarkan akibat penurunan nilai mesin/ peralatan.

2.12.4 Faktor Diskonto/*Discount Factor* (DF)

Faktor diskonto adalah faktor yang digunakan untuk nilai penerimaan-penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang yang dapat berupa tingkat suku bunga pasar (tingkat suku bunga bank) (Suhendar, 2022). Adapun persamaan faktor diskonto adalah sebagai berikut :

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots(2-34)$$

Keterangan :

DF = Faktor diskonto/*Discount factor* (%)

2.12.5 Biaya Siklus Hidup/*Life Cycle Cost* (LCC)

Biaya siklus hidup merupakan suatu metode dalam mengevaluasi dan menghitung keseluruhan biaya total yang dikeluarkan dalam pembangunan suatu proyek atau sistem (Danu, 2020). Dalam perhitungan LCC meliputi jumlah biaya instalasi, operasi, dan pemeliharaan dalam jangka waktu tertentu serta biaya penggantian komponen yang artinya merujuk pada penjumlahan semua biaya-biaya, baik yang berulang maupun tidak berulang sehubungan dengan produk, struktur, sistem, atau jasa selama jangka waktu hidupnya (Aditya *et al.*, 2022). Sehingga untuk Perhitungan LCC dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$LCC = C + M_{PW} \dots\dots\dots(2-35)$$

Keterangan :

LCC = Biaya siklus hidup (Rp)

2.12.6 Faktor Pemulihan Modal/*Capital Recovery Factor* (CRF)

Faktor Pemulihan Modal adalah faktor yang dipergunakan untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama (Herliyanso & Abdul Rozak, 2023). Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots(2-36)$$

2.12.7 Biaya Energi/*Cost Of Energy* (COE)

Biaya Energi adalah perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Perhitungan biaya energi suatu proyek PSH ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan AkWh penggunaan tahunan PSH (Sitohang, 2019). Perhitungan biaya energi proyek PSH dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AkWh} \dots\dots\dots(2-37)$$

Keterangan :

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

AkWh = energi yang digunakan dalam waktu tertentu (kWh)

2.13 Kelayakan Ekonomi

Kelayakan ekonomi merupakan salah satu kelayakan yang penting dalam suatu perancangan proyek, karena kelayakan ekonomi memegang peranan didalam memperhitungkan suatu proyek dapat memperoleh keuntungan yang optimal atau kerugian yang akan di terima (Suatan *et al.*, 2020).

2.13.1 Cash Flow (CF)

Cash flow atau arus kas adalah arus kas merupakan suatu parameter untuk mencatat pendapatan dan pengeluaran dalam suatu investasi dalam periode waktu umur ekonomis suatu proyek atau aset (Suatan *et al.*, 2020).

2.13.2 Net Present Value (NPV)

Net present value merupakan sebuah parameter yang menggambarkan sebuah pendapatan yang diperoleh dimasa depan yang bunganya telah dibayar diawal atau semua laba bersih sekarang dinilai berdasarkan diskonto faktor (DF).

Nilai *net present value* dihitung dengan melihat arus kas bersih (*net cash flow*) untuk mendapatkan nilai *future value* sebuah sistem (*present value net cash flow*), kemudian nilai *future value* dibandingkan dengan investasi awal proyek (Danu, 2020). Dengan persamaan yaitu :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFCt}{(1+i)^n} - C \dots\dots\dots(2-38)$$

Keterangan :

NPV = *Net present value* (Rp)

NFCt = *Net cash flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n (Rp)

Adapun kriteria dalam penilaian hasil perhitungan dari parameter NPV terhadap sistem atau proyek adalah sebagai berikut :

- Apabila $NPV > 0$ artinya investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan atau yang menjalankan proyek tersebut, sehingga proyek bisa dijalankan.
- Apabila $NPV < 0$ artinya investasi yang dilakukan akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan atau yang menjalankan proyek tersebut, sehingga proyek ditolak atau tidak dapat dijalankan.
- Apabila $NPV = 0$ artinya investasi yang dilakukan tidak akan mengakibatkan perusahaan atau yang menjalankan proyek tersebut untung ataupun rugi, sehingga proyek dilaksanakan atau tidak dilaksanakan tidak berpengaruh pada keuangan perusahaan.

2.13.3 *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Benefit cost ratio adalah perbandingan antara nilai sekarang arus kas bersih (*present value net cash flow*) dengan nilai investasi yang sekarang. Metode ini sering juga disebut dengan *profitability index* (PI) atau *model rasio* manfaat biaya (Nashar, 2015). Faktor penentu BCR yaitu bila $BCR \geq 1$, maka proyek dikatakan layak, karena keuntungan melebihi modal investasi (Siagian, 2018). Dengan persamaan sebagai berikut :

$$BCR = \frac{\text{biaya sekarang arus kas bersih.....}}{\text{biaya investasi}} \quad (2-39)$$

2.13.4 Payback Period (PP)

Payback period adalah jangka waktu kembalinya investasi yang telah dikeluarkan, melalui keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek yang telah direncanakan (Siagian, 2018). Dengan persamaan sebagai berikut jika jumlah arus kas (NCF) per tahun sama.

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Investasi awal}}{\text{ arus kas}} \times 1 \text{ tahun} \dots\dots\dots(2-40)$$

2.13.5 Internal Rate Of Return (IRR)

Internal Rate Of Return adalah parameter untuk mencari besarnya potensi balik modal dari suatu investasi (Suatan *et al.*, 2020). Analisa ini untuk menentukan apakah suatu usulan proyek investasi dianggap layak atau tidak, dengan cara membandingkan antara IRR dengan tingkat keuntungan yang diharapkan, dilakukan dengan cara mencari *discount rate* yang dapat menyamakan antara *present value* dari aliran kas dengan *present value* investasi. Suatu proyek dapat dinyatakan layak untuk investasi apabila nilai IRR investasi tersebut lebih besar dari pada nilai MARR (*Minimum Acceptable Rate of Return*) (Aditya *et al.*, 2022). Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{IRR} = i' + \frac{\text{NPV}^f}{\text{NPV}^f + \text{NPV}''} \times (i'' - i') \dots\dots\dots(2-41)$$

Keterangan :

IRR = *Internal Rate Of Return* (Rp)

i' = Tingkat *discount rate* rendah (yang menghasilkan NPV +) (%)

i'' = Tingkat *discount rate* tinggi (yang menghasilkan NPV -) (%)

NPV' = *Net present value* bunga rendah bernilai positif (Rp)

NPV'' = *Net present value* bunga tinggi bernilai negatif (Rp)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Kegiatan

Pengambilan Data dilaksanakan pada PLTMH PT.Tombolo Energi yang berlokasi di Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. Sedangkan waktu pengambilan dan analisis data yang dilakukan kurang lebih 7 bulan, mulai bulan Maret 2023 sampai dengan September 2023. Uraian kegiatan dan waktu pengerjaan penelitian skripsi dapat dilihat pada Tabel 5.16 Lampiran VI.

3.2 Alat Penelitian

Selama penelitian, peralatan-peralatan diperlukan dalam pengambilan dan pengolahan data baik secara aktual dan teoritis adalah sebagai berikut :

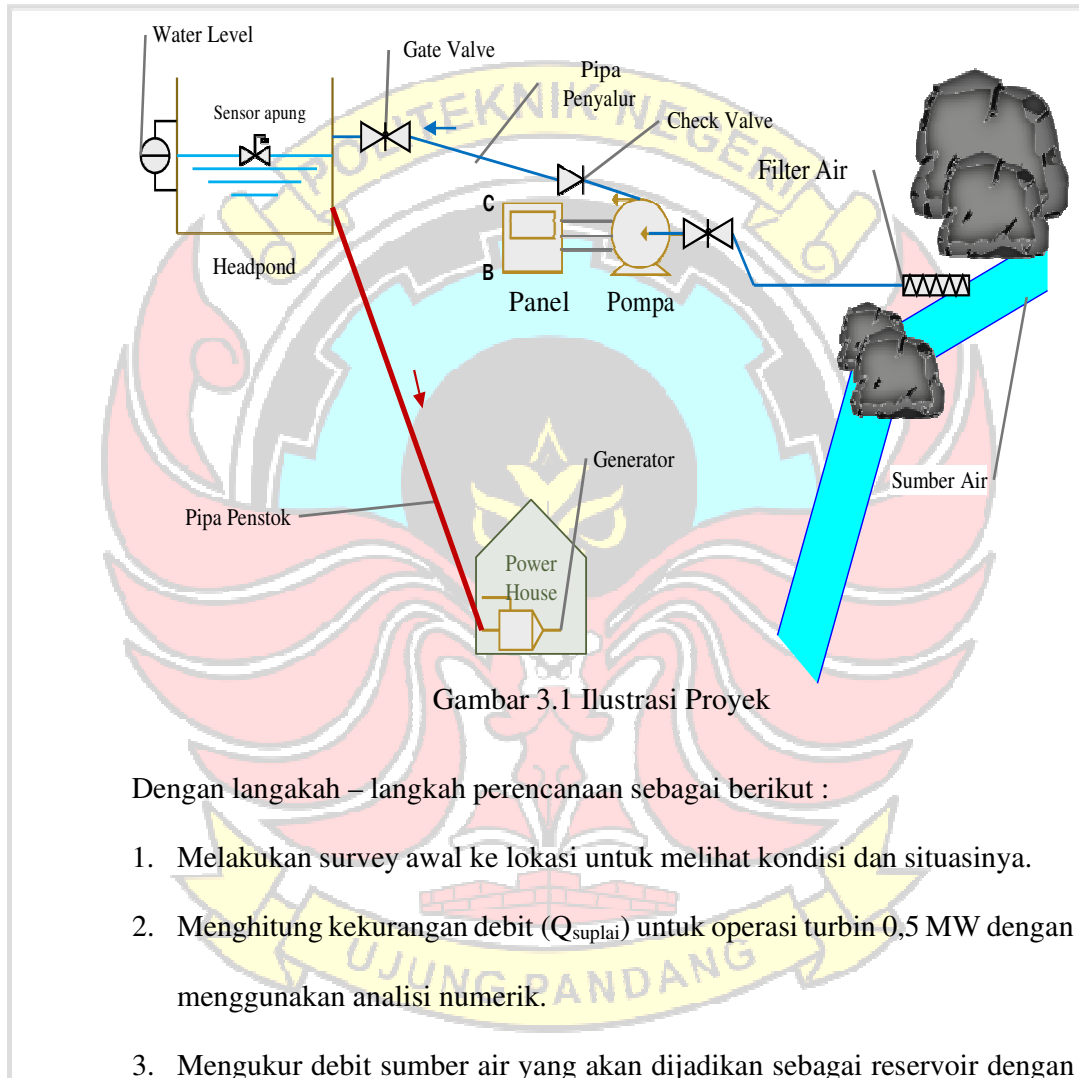
- *Theodolite*
- *GPS Geodetik Trimble R10*
- *Current Meter*
- *Roll Meter dan Rambu Ukur*
- Bola Kasti
- Tali Rapia
- Safety K3 Standar (Sepatu, Helm, Rompi, dll)
- *Software Google Earth dan My Elevation*
- *Software untuk gambar AutoCAD atau SketcUp*
- *Software Epanet untuk simulasi perancangan*

3.3 Prosedur Penelitian

Tahap Penelitian dilakukan dengan membagi kegiatan kedalam tahapan - tahapan berikut :

3.3.1 Metode Perancangan

Ilustrasi awal perencanaan penelitian proyek dapat dilihat pada Gambar 3.1. Dimana penelitian ini berfokus pada pengoptimalisasian waktu kerja turbin kapasitas 0,5 MW saat musim kemarau.



Gambar 3.1 Ilustrasi Proyek

Dengan langkah – langkah perencanaan sebagai berikut :

1. Melakukan survey awal ke lokasi untuk melihat kondisi dan situasinya.
2. Menghitung kekurangan debit (Q_{suplai}) untuk operasi turbin 0,5 MW dengan menggunakan analisi numerik.
3. Mengukur debit sumber air yang akan dijadikan sebagai reservoir dengan

menggunakan peralatan ukur seperti GPS geodetik *trimble R10*, *current meter*, *roll meter* dan rambu ukur.

4. Penentuan tipe sistem PSH yang digunakan.

Dalam penelitian ini menggunakan tipe *open loop* dikarenakan *reservoir* yang digunakan terhubung ke aliran air yang mengalir secara sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *lower reservoir* dan untuk *upper reservoir* digunakan bangunan *headpond* yang sudah ada pada PLTMH Tombolo pao.

5. Melakukan pengukuran beda ketinggian antara *lower reservoir* (sumber air) dan *upper reservoir (headpond)* menggunakan alat ukur *Theodolite*

6. Setelah mengetahui nilai dari langkah 2,3 dan 5, selanjut menentukan spesifikasi pompa.

Penentuan spesifikasi pompa dilakukan berdasarkan nilai debit yang akan disuplai dan beda ketinggian antara *lower reservoir* (sumber air) dan *upper reservoir (headpond)*. Dalam perancangan ini digunakan pompa jenis sentrifugal, dimana *head* yang dihasilkan relatif rendah dengan debit yang lebih tinggi (Utomo, 2018). Hal tersebut sesuai dengan penelitian ini yang berfokus pada debit yang akan ditambahkan untuk memenuhi kekurangan debit yang ada. Sedangkan untuk pompa jenis *positive displacement* menghasilkan *head* yang tinggi tetapi kapasitas yang dihasilkan rendah (Lubis *et al.*, 2020).

7. Memilih material pipa dan komponen yang digunakan.

Pemilihan material pipa dan komponen pada penelitian ini menggunakan material *galvanis*. Material jenis ini mampu melindungi dari korosi maupun karat sehingga cocok untuk lingkungan *outdoor*, selain itu

material *galvanis* mudah didapatkan dipasar indonesia. Di sisi lain ketahanan terhadap gangguan fisik seperti hewan, ranting pohon yang jatuh, dan lain- lain material pipa *galvanis* lebih bagus dibandingkan dengan pipa PVC.

8. Mendesain instalasi pipa dari *lower reservoir* (sumber air) sampe dengan *upper reservoir (headpond)* menggunakan *software AutoCAD* untuk gambar 2 dimensi dan *software SketcUp* untuk gambar 3 dimensi.

3.3.2 Pengumpulan Data

1. Teknik Observasi

Penulis melakukan pengamatan langsung dilapangan terhadap objek penelitian untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam analisis dan penyusunan skripsi nantinya. Adapun data spesifikasi peralatan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi *Hydropower Generating Unit 0,5 MW*

Generator	
<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 (lagging)</i>	0.80
<i>Rated excitation voltage</i>	50 V
<i>Rated exctiation current</i>	175 A
<i>Weight</i>	9.814 t
Turbin	
<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>Raed speed</i>	1000 r/min
<i>Maximum runaway speed</i>	1632.9 r/min
<i>Maximum water thrust</i>	35 kN
<i>Direction of rotation (overlook)</i>	Clockwise
<i>Weight</i>	6.2 t

Tabel 3.2 Spesifikasi *Hydropower Generating Unit 2,5 MW*

Generator	
<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 (lagging)</i>	0.80
<i>Rated excitation voltage</i>	95 V
<i>Rated excitation current</i>	300 A
<i>Weight</i>	30 t
Turbin	
<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
<i>Maximum water thrust</i>	78.4 kN
<i>Direction of rotation (overlook)</i>	Clockwise
<i>Weight</i>	10.6 t

Sumber : (PT.Tombolo Energi, 2015)

2. Wawancara

Salah satu teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis berupa komunikasi tanya dan jawab kepada pihak - pihak yang bersangkutan dengan PLTMH PT.Tombolo Energi.

3. Studi Literatur

Penulis mengumpulkan data-data dengan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur yang ada sesuai dengan pokok masalah yang hendak diteliti

3.3.2 Pengambilan Data

3.3.2.1 Pengukuran Beda Ketinggian Menggunakan *Theodolite*

1) Meletakkan tripod (kaki tiga) diatas patok usahakan lempengan logam dalam keadaan datar, kaki tripod diukur sesuai dengan tinggi si pengukur.

2) Memasang alat *theodolite* diatas tripod, usahakan unting - unting membentuk garis lurus pada patok.

3) Melevelkan alat *theodolite* (plat bagian bawah) dengan bantuan nivo kotak dan nivo tabung, dengan menggunakan tiga buah sekrup penyetel, tempatkan gelembung ditengah-tengah nivo kotak dan nivo tabung.

4) Mengukur tinggi alat dengan menggunakan *rol meter* dan mencatat pada tabel.

5) Mengarahkan teropong pada titik yang akan diukur, untuk memudahkan perhitungan usahakanlah pembacaan benang silang (tengah) sama dengan tinggi alat, lalu baca benang atas dan benang bawah.

6) Mengunci dan membaca sudut horisontal dan vertikal melalui nonius.

7) Menempatkan rambu ukur pada titik pengukuran

8) Mengarahkan teropong pada titik yang mau diukur, lalu bacalah benang atas, benang bawah, benang tengah, sudut vertikal, dan sudut horisontal. kemudian mencatat kedalam tabel.

9) Mengulang langkah 7 dan 8 untuk titik selanjutnya.

10) Setelah semua selesai, menyimpan alat seperti semula.

3.3.2.2 Pengukuran Debit Air Menggunakan Pelampung

- 1) Menetapkan satu titik pada salah satu sisi sungai, misal ditandai dengan patok kayu atau hal lainnya dan satu titik yang lain di seberang sungai yang jika dihubungkan dua titik tersebut akan berupa garis tegak lurus arah aliran. Setelah menentukan titik, ukur dan bentangkan tali pada titik tersebut kemudian mencatat ukurnya.
- 2) Menentukan jarak p , misalnya N meter dan buat garis yang sama seperti pada langkah pertama (tegak lurus aliran) pada titik p tersebut seperti pada Gambar 2.3. Kemudian mencatat jarak p tersebut.
- 3) Menghanyutkan pelampung (benda yang dapat terapung, misalnya bola ping-pong, gabus, kayu dll.) dalam percobaan kali ini menggunakan bola kasti. Pada saat bola melewati garis pertama tekan tombol *stopwatch* dan ikuti terus pelampung tersebut. Dan pada saat bola berada pada garis kedua *stopwatch* ditekan kembali, sehingga akan didapat waktu aliran pelampung yang diperlukan, yaitu t .
- 4) Mencatat waktu tersebut dan lakukan berulang percobaan minimal 3 kali.
- 5) Setelah semua selesai, merapikan peralatan dan menyimpan alat seperti semula.

3.3.2.3 Pengukuran Debit Air Menggunakan *Current Meter* Pada Saluran

PLTMH PT.Tombolo Pao

- 1) Merakit (*stel*) alat ukur.

- 2) Mengukur lebar penampang basah menggunakan *roll meter* dan bagi lebar penampang basah menjadi berapa skemen berdasarkan Tabel 2.2. Kemudian mencatat ukur tersebut.
- 3) Mengukur kedalaman penampang basah menggunakan rambu ukur.
- 4) Mengukur kecepatan menggunakan metode pengukuran kecepatan dan kecepatan rata – rata berdasarkan Tabel 2.1 seperti contoh pada Gambar 2.4. mencatat setiap hasil pengukuran.
- 5) Setelah semua selesai, merapikan peralatan dan menyimpan alat seperti semula.

3.3.3 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh akan dievaluasi dan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian ini, yaitu dengan melakukan perhitungan agar mendapatkan desain yang sesuai dengan apa yang diharapkan. Adapun perhitungan yang akan dilakukan yaitu analisis data untuk menentukan spesifikasi pompa, analisis data untuk perencanaan instalasi pipa dan analisis perhitungan untuk mengetahui kelayakan dari segi ekonomi pada sistem perencanaan ini.

3.3.3.1 Analisis Penentuan Desain Pompa dan Perencanaan Desain Pipa

Sebelum mengetahui spesifikasi pompa dan merancang desain pipa terlebih dahulu dilakukan perhitungan *head* total dan debit air yang akan disuplai dari sumber air ke *waterway/headpond*. Dimana sebelum itu dilakukan

pengukur head aktual dan debit dari *reservoir* yang akan dijadikan sebagai sumber air serta pengukuran debit yang ada pada *headpond* untuk mengetahui

debit suplai yang akan digunakan untuk mencari spesifikasi pompa dan merancang desain pipa.

3.3.3.2 Analisis Estimasi Biaya Proyek Dan Kelayakan Ekonomi

1. Estiamasi Biaya

Definisi perkiraan menurut *National Estimating Society* – USA adalah sebagai berikut: “Perkiraan biaya adalah seni memperkirakan kemungkinan jumlah biaya yang diperlukan untuk suatu kegiatan yang didasarkan atas informasi yang tersedia pada waktu itu” (Roring *et al.*, 2014). Rencana anggaran biaya adalah perkiraan biaya yang diperlukan atas informasi yang tersedia pada saat itu. Adapun perhitungan estimasi biaya proyek penelitian ni merujuk pada anggaran awal dengan jumlah komponen yang dibutuhkan berdasarkan dari desain yang dibuat.

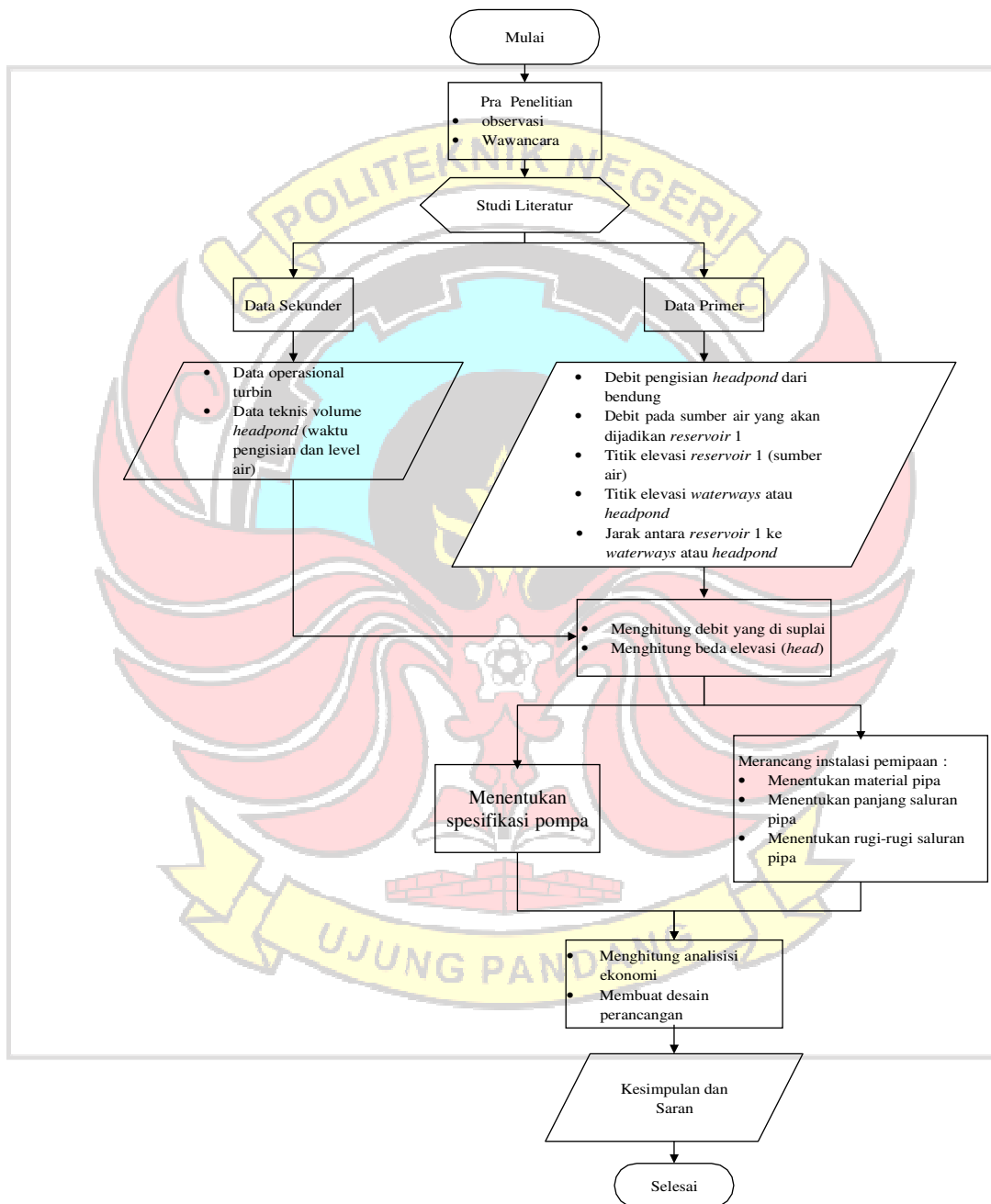
2. Analisis kelayakan investasi

Analisis kelayakan investasi adalah suatu kegiatan yang perlu investor lakukan untuk mengetahui prospek dari suatu investasi yang mendasari pengambilan keputusan investasi tersebut menguntungkan atau tidak. Salah satu cara analisa kelayakan investasi adalah dengan menghitung IRR Perhitungan selanjutnya menggunakan kriteria investasi diantaranya, *net present value* (NPV), *benefit cost ration* (BCR), *payback period* (PP) dan *internal rate of return* (IRR).

IRR merupakan perhitungan penting dalam keuangan terutama yang berhubungan dengan investasi. Lebih jelasnya, IRR adalah salah satu acuan penghitungan efisiensi dari sebuah investasi. Secara umum, semakin

tinggi tingkat pengembalian internal, semakin diinginkan investasi untuk dilakukan (Mardatila, 2022).

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Skema Diagram Perencanaan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

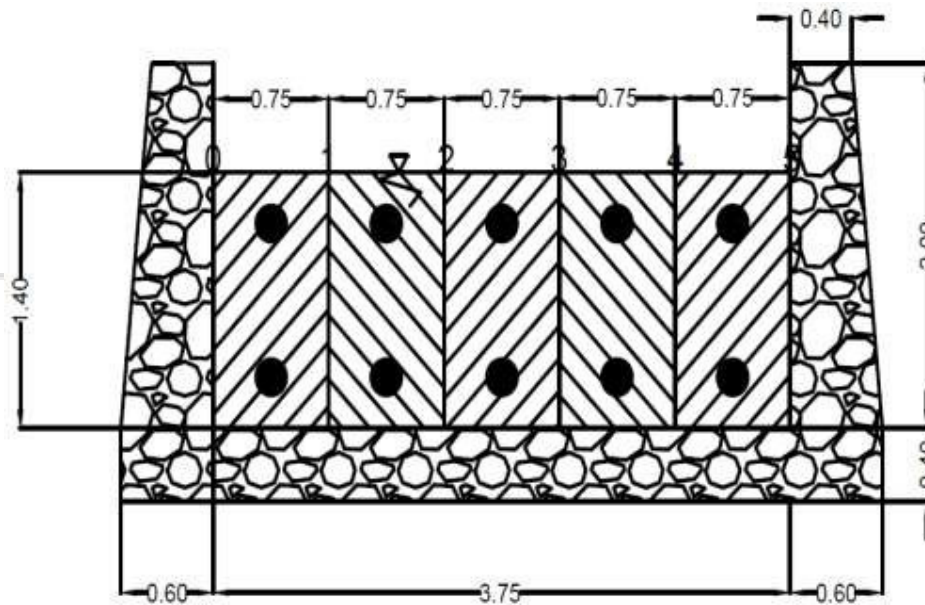
4.1 Analisis Perhitungan Debit

Pengukuran dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 14 dan 31 Mei 2023. Pada tanggal 14 Mei 2023 dilakukan pengukuran dan pengambilan data menggunakan alat ukur *current meter* pada saluran masuk *headpond*, saluran *water way*, saluran *tailrace* turbin kapasitas 0,5 MW dan saluran *tailrace* turbin kapasitas 2,5 MW, serta saluran *tailrace* gabungan. Adapun sketsa dengan keterangan debitnya dapat dilihat pada Gambar 5.2 Lampiran III. Dan pada tanggal 31 Mei 2023 dilakukan pengukuran dan pengambilan data aliran sungai (sungai tangka) yang akan dijadikan sebagai *reservoir* alami menggunakan metode apung (bola kasti dihayutkan pada aliran sungai dengan mengukur waktu tempuh pada jarak p).

Pengukuran dan pengambilan data yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kapasitas debit pada *headpond*, mengetahui debit *reservoir* alami yang dijadikan sebagai sumber air dan menentukan debit yang akan disuplai ke *headpond* untuk mengisi kekurangan air pada *headpond* selama musim kemarau.

4.1.1 Perhitungan Debit Pada Saluran Masuk *Headpond* PLTMH Menggunakan *Current Meter* (Q_{Headpond})

Dilakukan pengukuran dan analisis guna mengetahui kecepatan dan debit yang masuk ke *headpond* melalui saluran utama yang berasal dari bendungan (*waterway*).



Gambar 4.1 Saluran Masuk Headpond

Diketahui :

Jarak langsung = 3,75 m

Jarak interval masing – masing = 0,75 m

Tinggi muka air = 1,40 m

$$v_{0-1} = 0,8 \text{ m/s dan } 0,4 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{0-1} = \frac{0,8+0,4}{2} = 0,600 \text{ m/s}$$

$$v_{1-2} = 0,7 \text{ m/s dan } 0,3 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{1-2} = \frac{0,7+0,3}{2} = 0,500 \text{ m/s}$$

$$v_{2-3} = 0,7 \text{ m/s dan } 0,2 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{2-3} = \frac{0,7+0,2}{2} = 0,450 \text{ m/s}$$

$$v_{3-4} = 0,6 \text{ m/s dan } 0,4 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{3-4} = \frac{0,6+0,4}{2} = 0,500 \text{ m/s}$$

$$v_{4-5} = 0,6 \text{ m/s dan } 0,5 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{4-5} = \frac{0,6+0,5}{2} = 0,550 \text{ m/s}$$

Penyelesaian :

$$A_{0-1} = \frac{0,75 \text{ m} + 0 \text{ m}}{2} \times 1,40 \text{ m} = 1,05 \text{ m}^2$$

$$Q_{0-1} = A_{0-1} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,600 \text{ m/s} = 0,630 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-2} = A_{1-2} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,500 \text{ m/s} = 0,525 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = A_{2-3} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,450 \text{ m/s} = 0,473 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = A_{3-4} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,500 \text{ m/s} = 0,525 \text{ m}^3/\text{s}$$

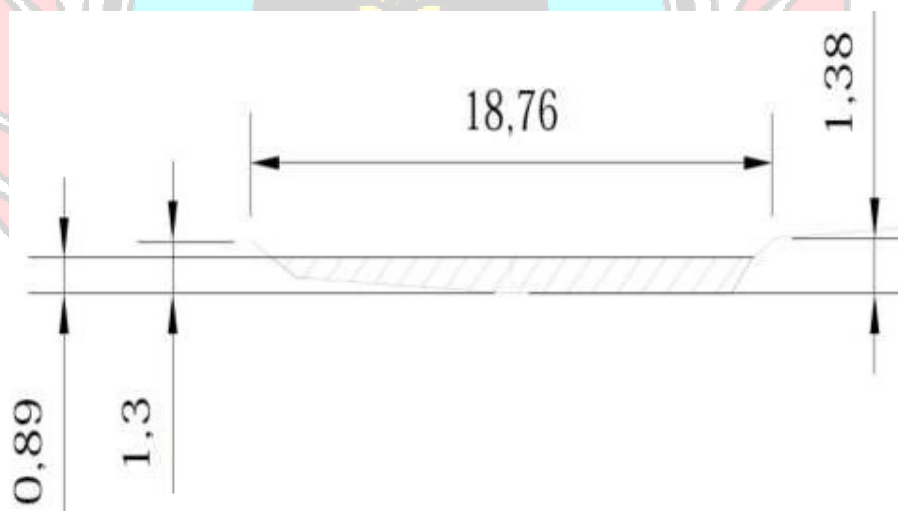
$$Q_{4-5} = A_{4-5} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,550 \text{ m/s} = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} Q_{Headpond} &= Q_{0-1} + Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-5} \\ &= (0,630 + 0,525 + 0,473 + 0,525 + 0,578) \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 2,730 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Debit Sesaat Aliran Sungai Menggunakan Benda Apung

($Q_{\text{sesaat Sungai}}$)

Pengukuran dan analisis pada aliran sungai bertujuan untuk mengetahui debit yang tersedia pada sungai yang akan dijadikan sebagai *reservoir* sumber.



Gambar 4.2 Luas Penampang Sungai

Diketahui :

Panjang aliran yang dilalui bola apung = 9,4 m

Luas penampang sungai = 13,052 m² (diketahui dari output hasil pengukuran alat geodetik yang di konversi menjadi gambar pada *software autocad*)

$$t_{\text{rata-rata}} = 71,429 \text{ s}$$

$$V_{\text{rata-rata}} = 0,132 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha \text{ (Faktor Koreksi)} = 0,70 - 0,90$$

Ditanya : $Q_{\text{Sesaat rata-rata}} \dots ?$

Penyelesaian :

$$Q_{\text{Sesaat rata-rata}} = \alpha \times v_{\text{rata-rata}} \times A_{\text{penampang sungai tangka}}$$

$$Q_{\text{Sesaat rata-rata}} = 0,80 \times 0,132 \text{ m/s} \times 13,052 \text{ m}^2 = 1,357 \text{ m}^3/\text{s}$$

Didapatkan nilai debit sesaat rata-rata sungai yang akan dijadikan sebagai *reservoir* alami yaitu $1,357 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1.3 Perhitungan Debit Yang Akan Ke Suplai *Headpond* (Q_{suplai})

Nilai debit air yang akan di suplai ke *headpond* di dapat dari hasil analisis dan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

$$H_{\text{PLTMH PT.Tombolo Pao}} = 105 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{\text{sept}} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (berdasarkan data perusahaan Tabel 5.7)}$$

Diasumsikan pada bulan september tahun 2007 (Data PLTMH PT.Tombolo Pao) sebagai puncak musim kemarau dengan data dapat dilihat pada Tabel 5.7 Lampiran I. Adapun daya yang terbangkit pada bulan september

2007 yaitu :

$$P = \rho \times Q \times g \times H_{\text{PLTMH PT.Tombolo Pao}}$$

$$P = 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,36 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 105 \text{ m}$$

$$P = 370,150 \text{ Watt} = 0,370 \text{ MW}$$

Dari nilai daya terbangkit sebesar 0,037 MW dianggap sebagai daya minum yang dapat dibangkitkan PLTMH PT.Tombolo Poa.

$$Q_{0,5 \text{ MW}} : \text{Min} = 0,386 \text{ m}^3/\text{s}, \text{Max} = 0,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

Penyelesaian :

Untuk operasi turbin 0,5 MW tambahan debit yang dibutuhkan yaitu :

$$Q_{s \text{ 0,5 MW}} = Q_{\text{min 0,5 MW}} - Q_{\text{sept 2007}}$$

$$Q_{s \text{ 0,5 MW}} = 0,386 \text{ m}^3/\text{s} - 0,36 \text{ m}^3/\text{s} = 0,026 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Perhitungan *Head* Menggunakan *Theodolite* (H_{statis})

Data pengukuran *head* menggunakan alat *Theodolite* dapat dilihat pada Tabel 5.8 Lampiran II. Adapun data yang digunakan yaitu :

DT3 : BM Dusun (BS) – J2 (FS)

DT4 : J2 (BS) – JS2 (FS)

DT5 : JS2 (BS) – JS3 (FS)

DT6 : JS3 (BS) – JS5 (FS)

DT7 : JS5 (BS) – Pinggir Sungai (FS)

Sebagai contoh analisis data *head* digunakan data DT3 : BM Dusun (BS) dan J2 (FS) sebagai beriku :

Diketahui :

$$ta = 1,332 \text{ m}$$

	BM Dusun (BS)	J2 (FS)
Ba	= 1,312 m	= 1,671 m
Bt	= 1,125 m	= 1,465 m
Bb	= 0,942 m	= 1,253 m
H	= 0°0'0"	= 159°27'15"
ver	= 85°0'35" = 85,010	= 94°53'25" = 94.890

Ditanya : D_{AB} dan ΔH DM Dusun (BS) ... ?

D_{AB} dan ΔH J2 (FS) ... ?

ΔH DM Dusun (BS) - J2 (FS) ... ?

Penyelesaian :

- DT3 BM Dusun (BS)

$$\alpha = 90^\circ - \text{ver} = 90^\circ - 85,010^\circ = 4,990^\circ$$

$$\begin{aligned} D_{AB} &= (b_a - b_b) \times 100 \times (\cos \alpha)^2 \\ &= (1,312 \text{ m} - 0,942 \text{ m}) \times 100 \times (\cos 4,990^\circ)^2 = 36,720 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= t_a - t_b + (D_{AB} \times \tan a) \\ &= 1,332 \text{ m} - 1,125 \text{ m} + (36,720 \times \tan 4,990^\circ) = 3,413 \text{ m} \end{aligned}$$

- DT3 J2 (FS)

$$\alpha = 90^\circ - \text{ver} = 90^\circ - 94,890^\circ = -4,890^\circ$$

$$\begin{aligned} D_{AB} &= (b_a - b_b) \times 100 \times (\cos \alpha)^2 \\ &= (1,671 \text{ m} - 1,253 \text{ m}) \times 100 \times (\cos -4,890^\circ)^2 = 41,496 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= t_a - t_b + (D_{AB} \times \tan a) \\ &= 1,332 \text{ m} - 1,465 \text{ m} + (41,496 \text{ m} \times \tan -4,890^\circ) = -5,015 \text{ m} \end{aligned}$$

- DT3 BM Dusun (BS) - J2 (FS)

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H \text{ BM Dusun (BS)} - \Delta H \text{ J2 (FS)} \\ &= 3,413 \text{ m} - (-5,015 \text{ m}) = 8,429 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis yang dilakukan di dapat nilai H_{statis} adalah 62,55 m.

Adapun hasil analisis selisih *head* dan nilai D_{AB} dari keseluruhan data dapat dilihat pada Tabel 5.9 Lampiran II.

4.3 Perhitungan Sistem Pipa

4.3.1 Menghitung Diameter Dalam Dan Kecepatan Air Dalam Pipa

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_{s,0.5 MW}}{\pi \times v}}$$

Diasumsikan kecepatan dalam pipa sebesar 1 m/s untuk dapat diameter pipa yang akan digunakan.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times 1}} = 0,179 \text{ m} = 7 \text{ in}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat diameter pipa sebesar 7 in (0,179 m), namun kebanyakan yang terjual di pasar adalah pipa galvanis dengan diameter 8 in. Sehingga pada penelitian proyek ini menggunakan pipa galvanis diameter 8 in. Adapun dimensi – dimensi standar pipa dapat diketahui dari Tabel 5.11 Lampiran IV, sebagai berikut :

<i>Diameter optimal</i>	= 8 in	= 0,2023 m
<i>Schedule number</i>	= 40	
<i>Wall thickness</i>	= 0,322 in	= 0,008 m
<i>Inside diameter</i>	= 7,981 in	= 0,202 m
<i>Outside diameter</i>	= 8,625 in	= 0,219 m
<i>Inside cross sectional area</i>	= 0,347 ft ²	= 322 × 10 ² = m ²

Setelah mengetahui diameter dalam pipa 8 in sebesar 7,981 in (0,202 m), maka dapat diketahui kecepatan dalam pipa yang sebenarnya dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{Dalam pipa}} = \frac{4 \times Q}{3,14 \times D_{\text{inside}}^2} = \frac{4 \times 0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times (0,202 \text{ m})^2} = 0,812 \text{ m/s}$$

Sehingga kecepatan air dalam pipa adalah , $V_{\text{Dalam pipa}} = 0,812 \text{ m/s}$

4.3.2 Menghitung Bilangan *Reynold* (N_{Re})

Asumsi suhu air pada *reservoir* sumber (aliran sungai tangka) pada tanggal 31 Mei adalah $\pm 20^\circ\text{C}$. Berdasarkan Tabel 5.14 Lampiran IV maka dapat

diketahui parameter untuk mencari nilai bilangan *reynold* berdasarkan persamaan (2-19).

Diketahui :

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,002 \times 10^{-3} \text{ kg/ms} = 0,001002 \text{ kg/ms}$$

Penyelesaian :

$$Re = \frac{998,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,812 \text{ m/s} \times 0,202 \text{ m}}{0,001002 \text{ kg/ms}} = 163401,953$$

Berdasarkan ketentuan $Re > 4000$ merupakan aliran turbulen maka, nilai $Re = 163401,953$ adalah aliran jenis turbulen. Setelah mendapatkan jenis alirannya maka dapat ditentukan koefisien gesek (f) pada pipa lurus dengan persamaan (2-24) sebagai berikut :

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{0,202} = 0,023$$

4.3.3 Menghitung *Head Total* (H_{Tot})

Menghitung *head* total berdasarkan persamaan (2-20)

- Menghitung *Head Statis* (H_s)

$$H_s = H_{\text{Dis}} (\text{m}) + H_{\text{Suc}} (\text{m})$$

$$H_s = 60,55 \text{ m} + 2 \text{ m} = 62,55 \text{ m}$$

- **Menghitung Head Tekanan (H_P)**

ΔH_P adalah selisih atau beda tekanan yang terjadi pada permukaan air yang ada pada sungai dan permukaan pada headpond. Tekanan pada permukaan air yang ada pada sungai dan headpond adalah sama 1 atm (tekanan lingkungan sekitar) karena termasuk saluran terbuka. Sehingga $\Delta H_P = 0$.

- **Menghitung Head Losses (H_l)**

Head losses yang terjadi adalah jumlah total *mayor losses* dan *minor losses* yang terjadi pada pipa suction dan pipa discharge.

1. Menghitung *Head Losses Sisi Suction* ($H_{l\text{ suc}}$)

- a. Gesekan sepanjang pipa isap sampai pompa

Diketahui :

$l_{\text{suc}} = 13 \text{ m}$ (berdasarkan desain perencanaan)

$$H_{l\text{ mayor}} = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}} = \frac{0,023 \times 13 \text{ m} \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}}$$

$$H_{l\text{ mayor}} = 0,061 \text{ m}$$

- b. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_{l\text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 3 \times \frac{0,75 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l\text{ minor}} = 0,093 \text{ m}$$

- c. Gesekan pada *gate valve*

$$H_{l\text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l\text{ minor}} = 0,008 \text{ m}$$

d. Gesekan pada katup isap dan saringan

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{1,91 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= 0,049 \text{ m}$$

Koefisien *radius elbow*, *gate valve* dan katup gesek beserta saringan berdasarkan pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.12 , Lampiran IV yang mengacu pada diameter pipa *suction*.

Maka, *Head losses* total pada sisi *suction* :

$$H_{l \text{ suc}} = 0,061 \text{ m} + 0,093 \text{ m} + 0,008 \text{ m} + 0,049 \text{ m} = 0,211 \text{ m}$$

2. Menghitung *Head Losses Sisi Discharge* ($H_{l \text{ dis}}$)

a. Gesekan sepanjang pipa dari pompa ke *headpond*

$$l_{\text{Dis}} = 226,39 \text{ m (berdasarkan desain perencanaan)}$$

$$H_{l \text{ mayor}} = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}}$$

$$H_{l \text{ mayor}} = \frac{0,023 \times 226,39 \text{ m} \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}} = 0,866 \text{ m}$$

b. Gesekan pada belokan pipa (patahan 26°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{26^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{26^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,053$$

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,053 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l \text{ minor}} = 0,002 \text{ m}$$

c. Gesekan pada belokan pipa (patahan 13°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{13^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{13^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,013$$

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,013 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l \text{ minor}} = 0,0004 \text{ m}$$

a. Gesekan pada belokan pipa (patahan 7°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{7^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{7^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,004$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,004 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0001 \text{ m}$$

e. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 7 \times \frac{0,75 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l \text{ minor}} = 0,217 \text{ m}$$

f. Gesekan pada *check valve*

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{2 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,083 \text{ m}$$

g. Gesekan pada *gate valve*

$$H_{l\ minor} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l\ minor} = 0,008 \text{ m}$$

Maka, *head losses* total pada sisi *discharge* :

$$H_{l\ dis} = (0,866 + 0,002 + 0,0004 + 0,0001 + 0,217 + 0,083 + 0,008) \text{ m}$$

$$H_{l\ dis} = 1,177 \text{ m}$$

3. Menghitung *head losses total*

$$H_l = H_{l\ suc} + H_{l\ dis} = 0,211 \text{ m} + 1,177 \text{ m} = 1,388 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } H_{Tot} = H_s + \Delta H_P + H_l + \frac{v^2}{2g}$$

$$H_{Tot} = 62,55 \text{ m} + 0 + 1,388 \text{ m} + \frac{(0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 63,922 \text{ m}$$

4.3.4 Penentuan Spesifikasi Pompa

Setelah mengetahui nilai *head* total sebesar 63,922 m dan debit yang akan disuplai untuk turbin 0,5 MW sebesar 0,026 m³/s. Dari nilai *head* dan debit tersebut dapat ditentukan spesifikasi pompa yang akan digunakan. Dimana jenis pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan spesifikasi pompa sebagai berikut :

ELECTRIC HYDRANT PUMP :

Merk : EBARA
Type : 100X80 FSJA
Cap. : 500 US GPM
Head Max. : 80 M
Sealling : Gland Paking
Power : 45 KW/ 60 HP/ 380 V/ 50 HZ/ 2 Pole/ 2950 RPM

Dari data spesifikasi pompa tersebut dapat diketahui kecepatan aliran dalam pipa dengan debit 500 US GPM = 0,032 m³/s.

Diketahui :

$$D_{\text{inside}} = 0,202 \text{ m (diameter pipa yang digunakan)}$$

$$v = \frac{4 \times Q}{3,14 \times D^2} = \frac{4 \times 0,032 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times 0,202^2 \text{ m}} = 0,999 \text{ m/s}$$

4.3.4.1 Menghitung Bilang Reynold (Re) Berdasarkan Spesifikasi Pompa

Asumsi suhu air pada *reservoir* sumber (aliran sungai tangka) $\pm 20^\circ\text{C}$, sehingga untuk mencari bilangan reynold dapat digunakan persamaan (2-19).

Diketahui :

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,002 \times 10^{-3} \text{ kg/ms} = 0,001002 \text{ kg/ms}$$

Penyelesaian :

$$Re = \frac{998,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,999 \text{ m/s} \times 0,202 \text{ m}}{0,001002 \text{ kg/ms}} = 201032,698$$

Berdasarkan ketentuan $Re > 4000$ merupakan aliran turbulen maka, nilai $Re = 201032,698$ adalah aliran jenis turbulen. Setelah mendapatkan jenis alirannya maka dapat ditentukan koefisien gesek (f) pada pipa lurus dengan persamaan (2-24) sebagai berikut :

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{0,202} = 0,023$$

4.3.4.2 Menghitung Head Total (H_{Tot}) Berdasarkan Spesifikasi Pompa

Menghitung *head* total berdasarkan persamaan (2-20)

- Menghitung *Head Statis* (H_s)

$$H_s = H_{\text{dis}} (\text{m}) + H_{\text{suc}} (\text{m})$$

$$H_s = 60,55 \text{ m} + 2 \text{ m} = 62,55 \text{ m}$$

- Menghitung *Head Tekanan* (H_P)

$$\Delta H_P = 0.$$

- Menghitung *Head Losses* (H_I)

Head losses yang terjadi adalah jumlah total *major losses* dan *minor losses* yang terjadi pada pipa suction dan pipa discharge.

losses yang terjadi pada pipa suction dan pipa discharge.

1. Menghitung *Head Losses Sisi Suction* ($H_{I \text{ suc}}$)

- a. Gesekan sepanjang pipa isap sampai pompa

Diketahui :

$$l_{\text{suc}} = 13 \text{ m (berdasarkan desain perencanaan)}$$

$$H_f = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}} = \frac{0,023 \times 13 \text{ m} \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}}$$

$$H_f = 0,075 \text{ m}$$

- b. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 3 \times \frac{0,75 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,115 \text{ m}$$

- c. Gesekan pada *gate valve*

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,010 \text{ m}$$

- d. Gesekan pada katup isap dan saringan

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{1,91 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,097 \text{ m}$$

Maka, *Head losses* total pada sisi *suction* :

$$H_{I \text{ suc}} = 0,075 \text{ m} + 0,115 \text{ m} + 0,010 \text{ m} + 0,097 \text{ m} = 0,297 \text{ m}$$

2. Menghitung *Head Losses Sisi Discharge* ($H_{l \text{ dis}}$)

a. Gesekan sepanjang pipa dari pompa ke *headpond*

$l_{\text{Dis}} = 226,39 \text{ m}$ (berdasarkan desain perencanaan)

$$H_f = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}}$$

$$H_f = \frac{0,023 \times 226,39 \text{ m} \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}} = 1,311 \text{ m}$$

b. Gesekan pada belokan pipa (patahan 26°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{26^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{26^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,053$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,053 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,003 \text{ m}$$

c. Gesekan pada belokan pipa (patahan 13°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{13^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{13^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,013$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,013 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,001 \text{ m}$$

d. Gesekan pada belokan pipa (patahan 7°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{7^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{7^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,004$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,004 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0002 \text{ m}$$

a. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 7 \times \frac{0,75 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,267 \text{ m}$$

b. Gesekan pada *check valve*

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{2 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,102 \text{ m}$$

c. Gesekan pada *gate valve*

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,010 \text{ m}$$

Maka, *head losses* total pada sisi *discharge* :

$$H_{l \text{ dis}} = (1,311 + 0,003 + 0,001 + 0,0002 + 0,267 + 0,102 + 0,010) \text{ m}$$

$$H_{l \text{ dis}} = 1,694 \text{ m}$$

4. Menghitung *head losses total*

$$H_l = H_{l \text{ suc}} + H_{l \text{ dis}} = 0,297 \text{ m} + 1,694 \text{ m} = 1,991 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } H_{\text{Tot}} = H_s + \Delta H_p + H_l + \frac{v^2}{2g}$$

$$H_{\text{Tot}} = 62,55 \text{ m} + 0 + 1,991 \text{ m} + \frac{(0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 64,592 \text{ m}$$

4.3.5 Perhitungan Kavitasi

Syarat kerja pompa yang tidak mengalami kavitasi adalah $NPSH_A$ (NPSH yang tersedia pada instalasi) > $NPSH_R$ (NPSH yang dibutuhkan).

4.3.5.1 Menghitung NPSH_A (H_{sv})

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - H_{suc} - \sum H_{l\text{ suc}}$$

Diketahui :

Berdasarkan Tabel 5.14 Lampiran IV, P_v ($T_{\text{permukaan air}} 20^\circ\text{C}$) = 2,34 kN/m² = 238,613

Kgf/m²

$$P_a = 1 \text{ atm} = 1,03323 \text{ kgf/cm}^2 = 10.332 \text{ kgf/m}^2$$

$$H_{suc} = 2 \text{ m}$$

$$H_{l\text{ suc}} = 0,297 \text{ m (berdasarkan spesifikasi pompa head losses sisi suction)}$$

Penyelesaian :

$$H_{sv} = \frac{10332,3 \text{ kgf/m}^2}{998,2 \text{ kgf/m}^3} - \frac{238,613 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{998,2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}} - 2 \text{ m} - 0,297 \text{ m} = 7,815 \text{ m}$$

4.3.5.2 Menghitung NPSH_R (H_{svN})

$$H_{svN} = \left(\frac{n_p}{S}\right)^{4/3} \times Q_N^{2/3} - \sigma H_N$$

Diketahui :

$$n_p = 2950 \text{ rpm}$$

$$S = 1200$$

$$Q_N = 500 \text{ US GPM} = 1,893 \text{ m}^3/\text{min}$$

Penyelesaian :

$$H_{svN} = \left(\frac{2950 \text{ rpm}}{1200}\right)^{4/3} \times (1,893 \text{ m}^3/\text{min})^{2/3} = 5,074 \text{ m}$$

Nilai NPSH_A = 7,815 m lebih besar dari pada nilai NPSH_R = 5,074 m, sehingga kerja pompa yang tidak mengalami kavitasi.

4.4 Perhitungan Daya

4.4.1 Perhitungan Daya Hidrolik Pompa

Nilai debit yang akan disuplai untuk turbin operasi 0,5 MW sebesar 0,026 m³/s dengan debit spesifikasi pompa yang digunakan sebesar 500 US GPM atau setara dengan 0,032 m³/s dan head 80 m dapat dihitung daya hidrolik pompa.

$$Q_s = 0,026 \text{ m}^3/\text{s} - 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_N = 80 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Penyelesaian :

$$P_{h \text{ pompa}} = 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,032 \text{ m}^3/\text{s} \times 80 \text{ m}$$

$$P_{h \text{ pompa}} = 25068,396 \text{ watt} = 25,068 \text{ kW}$$

4.4.2 Perhitungan Daya Poros Pompa

Diketahui :

$$P_{h \text{ pompa}} = 25068,396 \text{ watt}$$

$$\eta_p = 73\% \text{ (berdasarkan spesifikasi pompa Gambar 5.13 Lampiran V)}$$

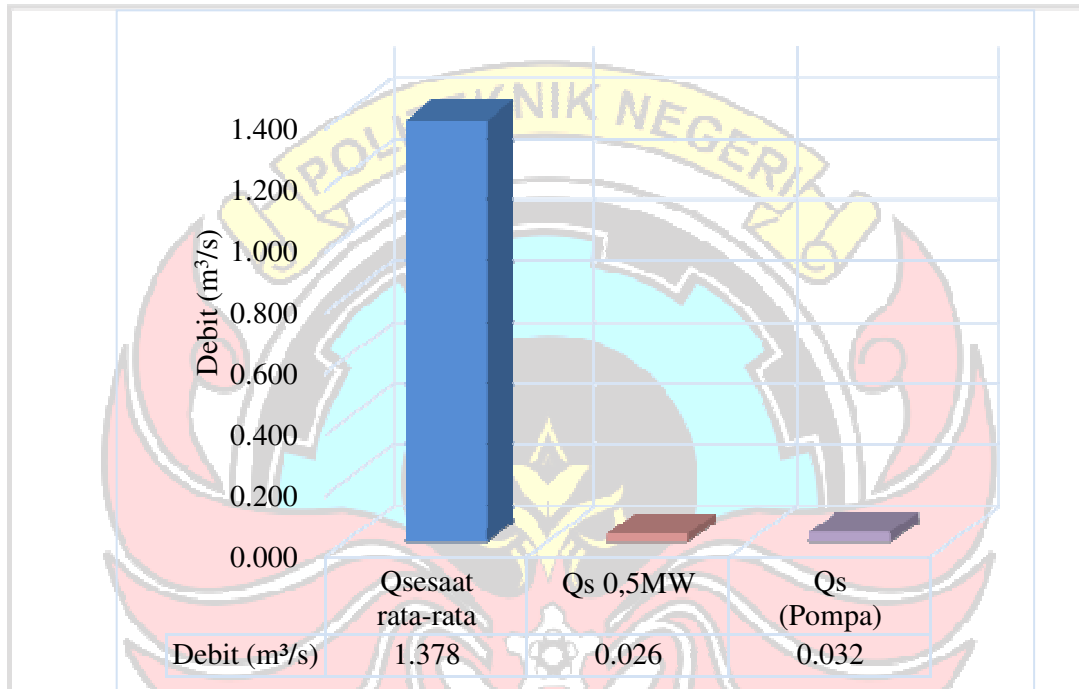
Penyelesaian :

$$P_{\text{pompa}} = \frac{25068,396 \text{ watt}}{0,73} = 34340,269 \text{ watt} = 34,340 \text{ kW}$$

4.5 Diagram Hasil Debit Dan Head

4.5.1 Diagram Hasil Debit

Dari hasil pengukuran yang dilakukan untuk mencari nilai debit yang akan suplai dan debit pada *reservoir* alami, didapat diagram sebagai berikut :

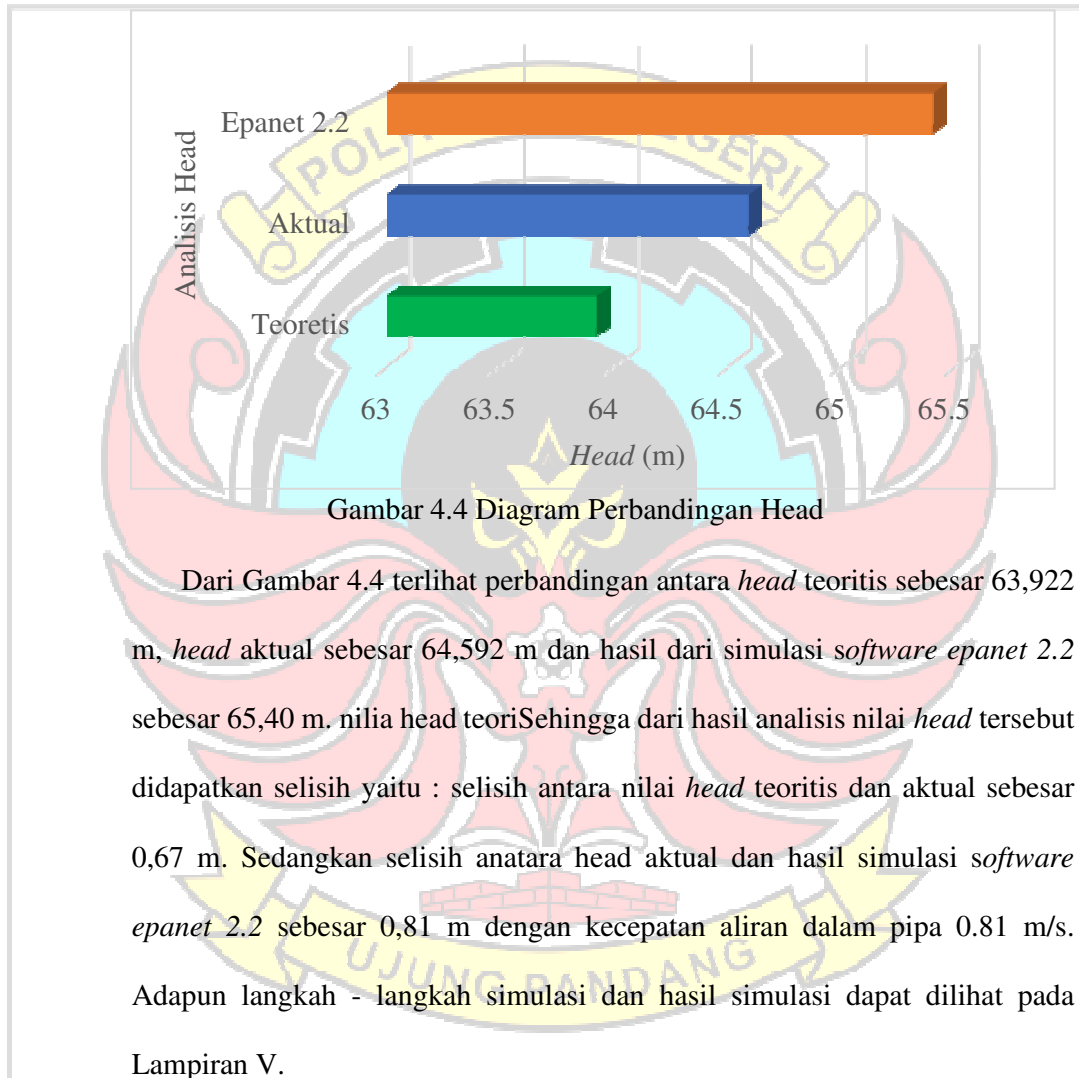


Gambar 4.3 Grafik Diagram Perbandingan Debit Berdasarkan Kebutuhan

Dari Gambar 4.3 $Q_{\text{sesaat rata-rata}}$ merupakan debit yang tersedia pada sumber air yang akan dijadikan sebagai *reservoir* alami (aliran sungai tangka) dengan kapasitas sebesar $1,378 \text{ m}^3/\text{s}$. Debit *minimum* yang dibutuhkan untuk operasi turbin 0,5 MW yaitu $0,026 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari hasil penentuan spesifikasi pompa didapatkan debit yang dapat disuplai pompa sebesar 500 US GPM atau sama dengan $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan *volume headpond* sebesar 4765,8 m.

4.5.2 Diagram Hasil Head

Dari hasil analisis untuk mencari nilai *head* dari *headpond* sampai ke *reservoir* alami berdasarkan teori dan spesifikasi pompa dapat dilihat perbandingannya yaitu :



4.6 Analisis Aspek Biaya Proyek PSH

4.6.1 Biaya Investasi

Tabel 4.1 Rancangan Anggaran Biaya Proyek

Standar	No. Urut	Keterangan			Harga Satuan		Jumlah Harga	
			Tipe	Satuan	Bahan	Harga	Bahan	Harga
	I	Pekerjaan Persiapan						
Template Standar ASH Fungsi Reliability & Project Development Tahun 2020 Revisi - 0	1	Mobilisasi peralatan (sewa <i>dump truck</i>)	5 Ton/jam	bh	1	Rp 205.611,00	1	Rp 205.611,00
	II	Pekerjaan Instalasi <i>Pumped Storage Hydropower</i>						
	a	Material-Material						
SKU : 202011324	1	Pipa 8in Asia Jaya <i>Steel</i> Toko Besi	Galvanis	bh	1	Rp 3.757.000,00	40	Rp 150.280.000,00
ISO 9001 : 2015	2	Pompa sentrifugal Ebara	100X80FS2JA	bh	1	Rp 27.530.000,00	1	Rp 27.530.000,00
SGP 10K	3	<i>Elbow</i> las 90° 8in	Besi Galvanis	bh	1	Rp 1.000.000,00	10	Rp 10.000.000,00
JIS 10K	4	<i>Foot valve</i> mizu 8in <i>cast iron</i> - <i>foot klep</i> DN 200 Besi	Besi Galvanis	bh	1	Rp 4.650.000,00	1	Rp 4.650.000,00
JIS 10K	5	<i>Gate valve</i> 8in <i>cast iron</i> Onda	Besi Galvanis	bh	1	Rp 12.000.000,00	2	Rp 24.000.000,00

4.6.2 Biaya O&M

Biaya operasional dan pemeliharaan ditetapkan sebesar 3% sebagai ketentuan umum dari biaya investasi awal untuk setiap tahunnya. Perhitungan biaya O&M dengan menggunakan persamaan (2-33) sebagai berikut :

$$\text{Biaya O\&M (M)} = 0,03 \times \text{Rp } 348.119.111,00 = \text{Rp } 10.443.573,33$$

4.6.3 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Dalam perencanaan proyek *pumped stroge hydropower* ini diasumsikan beroperasi 6 bulan dalam setahun dengan masa proyek selama 30 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada umur rata-rata dipertimbangkan untuk tujuan investasi proyek yang berkaitan dengan PLTMH (USAID *et al.*, 2016). Suku bunga yang digunakan dalam proyek ini adalah 8,44% (*Badan Pusat Statistik*, 2023).

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (M_{PW}) proyek PSH selama umur proyek 30 tahun dengan suku bunga 8,44% dihitung dengan persamaan (2-32) sebagai berikut :

$$M_{PW} = \text{Rp } 10.443.573,33 \left[\frac{(1 + 8,44\%)^{30} - 1}{8,44\%(1 + 8,44\%)^{30}} \right]$$

$$M_{PW} = \text{Rp } 10.443.573,33 \left[\frac{(1 + 0,0844)^{30} - 1}{0,0844(1 + 0,0844)^{30}} \right]$$

$$M_{PW} = \text{Rp } 10.443.573,33 \times 10,81 = \text{Rp } 112.895.027,70$$

Dari biaya investasi awal dan biaya O&M selama 30 tahun tersebut dapat ditentukan biaya siklus hidup (LCC), sebagai berikut :

$$LCC = C + M_{PW}$$

$$LCC = \text{Rp } 348.119.111,00 + \text{Rp } 112.895.027,70 = \text{Rp } 461.014.138,70$$

4.6.4 Biaya Energi (COE)

Perhitungan biaya energi (*cost of energy*) suatu proyek PSH ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF), dan energi tahunan yang digunakan. Biaya energi (*cost of energy*) proyek PSH

diperhitungkan dengan persamaan (2-37). Dimana Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, diperhitungkan dengan persamaan (2-36) sebagai berikut :

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,0844(1+0,0844)^{30}}{(1+0,0844)^{30} - 1} = 0,093$$

Sedangkan untuk energi yang digunakan PSH diperhitungkan berdasarkan daya motor pompa yang beroperasi selama 24 jam, yaitu :

$$E_{pompa} = P_{pompa} \times 24 \text{ jam} = 34,340 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 824,16 \text{ kWh}$$

Sehingga untuk energi konsumsi pompa selama 6 bulan beroperasi dalam setahun adalah

$$AkWh = 824,16 \text{ kWh} \times 168 \text{ hari} = 138458,88 \text{ kWh}$$

Berdasarkan hasil LCC, CRF, dan energi tahunan yang digunakan maka besar biaya (COE) untuk proyek PSH adalah sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AkWh} = \frac{Rp 461.014.138,70 \times 0,093}{138458,88 \text{ kWh}} = Rp 309,65/\text{kWh}$$

4.7 Analisis Kelayakan Investasi Proyek PSH

Kelayakan investasi proyek PSH ditentukan berdasarkan perhitungan *net present value* (NPV), *benefit cost ratio* (BCR), *payback period* (PP), dan *internal rate of return* (IRR). Perhitungan NPV, BCR, PP, dan IRR ditentukan

oleh besar arus kas bersih (*net cash flow*), faktor diskonto (*discount factor*), dan nilai sekarang arus kas bersih (*present value net cash flow*). Arus kas bersih (NCF) dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. Sedangkan untuk nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF) dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan tingkat diskonto, dimana :

- Arus kas masuk

arus kas masuk = energi terbangkit \times harga jual listrik (COE)

Sedangkan untuk energi yang bangkitkan oleh sistem PSH diperhitungkan berdasarkan daya terbangkitkan, yaitu :

Diketahui :

$$Q_{\text{suplai}} = 0,026 - 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_{\text{PLTMH PT.Tombolo Pao}} = 105 \text{ m}$$

Berdasarkan dari (Komarudin, 2022) nilai efisiensi untuk PLTMH yaitu :

- Head Losses pipa (5-10%) : 95%
- Efisiensi turbin (70-85%) : 75%
- Efisiensi generator (85-92%) : 90%
- Efisiensi *belt/coupling* : 95% (0.85-1)

Maka didapat nilai total efisiensi = 61% = 0,61

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} P_{\text{terbangkit}} &= 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,032 \text{ m}^2/\text{s} \times 105 \text{ m} \times 0,61 \\ &= 20070,384 \text{ watt} = 20,070 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka, untuk energi terbangkitkan selama 24 jam untuk 6 bulan beroperasi dalam setahun, yaitu :

$$E_{\text{terbangkit}} = P_{\text{terbangkit}} \times 24 \text{ jam} \times 168 \text{ hari}$$

$$= 20,070 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \times 168 \text{ hari} = 80922,24 \text{ kWh/tahun}$$

Sehingga untuk arus kas masuk per tahun dengan harga jual listrik sebesar Rp 1.444,70 berdasarkan (*Tariff Adjustment Juli - September 2023, 2023*) Gambar 5.11 Lampiran IV adalah sebagai berikut :

$$\text{ arus kas masuk} = 80922,24 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp } 1.444,70/\text{kWh}$$

$$\text{ arus kas masuk} = \text{Rp } 116.908.360,13/\text{tahun}$$

- Arus kas keluar

$$\text{ arus keluar} = \text{biaya O\&M tahunan (M)}$$

$$\text{ arus keluar} = \text{Rp } 10.443.573,33$$

Sehingga dapat dihitung arus kas bersih (NCF) yang dimana nilai per tahunnya sama, yaitu :

$$\text{NCF} = \text{ arus kas masuk} - \text{ arus kas keluar}$$

$$\text{NCF} = \text{Rp } 116.908.360,13 - \text{Rp } 10.443.573,33 = \text{Rp } 106.464.786,80$$

Berdasarkan hasil perhitungan NCF dan faktor diskonto, maka PVNCF, NPV, BCR, PP, dan IRR dapat diperhitungkan. Adapun untuk total nilai PVNCF dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan NPV, BCR Dan PP

NVP Pada Suku Bunga 8,44% Selama 30 Tahun				
Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Bersih (NCF)	Faktor Diskonto	PVNCF
0	Rp 348.119.111,00		1	Rp 348'119'111.00
1		Rp 106'464'786.80	0,922	Rp 98'178'519.73
2		Rp 106'464'786.80	0,850	Rp 90'537'181.61

3		Rp 106'464'786.80	0,784	Rp	83'490'576.91
4		Rp 106'464'786.80	0,723	Rp	76'992'416.93
5		Rp 106'464'786.80	0,667	Rp	71'000'015.61
6		Rp 106'464'786.80	0,615	Rp	65'474'009.23
7		Rp 106'464'786.80	0,567	Rp	60'378'097.78
8		Rp 106'464'786.80	0,523	Rp	55'678'806.51
9		Rp 106'464'786.80	0,482	Rp	51'345'266.05
10		Rp 106'464'786.80	0,445	Rp	47'349'009.64
11		Rp 106'464'786.80	0,410	Rp	43'663'786.09
12		Rp 106'464'786.80	0,378	Rp	40'265'387.40
13		Rp 106'464'786.80	0,349	Rp	37'131'489.67
14		Rp 106'464'786.80	0,322	Rp	34'241'506.52
15		Rp 106'464'786.80	0,297	Rp	31'576'453.82
16		Rp 106'464'786.80	0,274	Rp	29'118'824.99
17		Rp 106'464'786.80	0,252	Rp	26'852'476.01
18		Rp 106'464'786.80	0,233	Rp	24'762'519.38
19		Rp 106'464'786.80	0,214	Rp	22'835'226.28
20		Rp 106'464'786.80	0,198	Rp	21'057'936.44
21		Rp 106'464'786.80	0,182	Rp	19'418'974.96
22		Rp 106'464'786.80	0,168	Rp	17'907'575.58
23		Rp 106'464'786.80	0,155	Rp	16'513'810.01
24		Rp 106'464'786.80	0,143	Rp	15'228'522.70
25		Rp 106'464'786.80	0,132	Rp	14'043'270.65
26		Rp 106'464'786.80	0,122	Rp	12'950'268.03
27		Rp 106'464'786.80	0,112	Rp	11'942'334.96
28		Rp 106'464'786.80	0,103	Rp	11'012'850.39
29		Rp 106'464'786.80	0,095	Rp	10'155'708.58
30		Rp 106'464'786.80	0,088	Rp	9'365'279.03
TOTAL PVNCF					Rp 1'150'468'101.47
Diskonto Annuities					10.806
Faktor Diskonto = $\frac{1}{(1+k)^i}$					
k =	i				1
I =	suku bunga				8.44%
t → n					1
Faktor Diskonto =					0.922
Keterangan					
Sel berwarna kuning dapat dirubah sesuai suku bunga yang diinginkan, maka IRR juga dapat terhitung jika Arus kas sudah diketahui					

4.7.1 *Net Present Value (NPV)*

Perhitungan *net present value* pada proyek PSH dengan suku bunga 8,44% menggunakan persamaan (2-38).

Diketahui :

$$\sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^n} = \text{Rp } 1.150.468.101,47$$

$$C = \text{Rp } 348.119.111,00$$

Penyelesaian :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^n} - C = \text{Rp } 1.150.468.101,47 - \text{Rp } 348.119.111,00$$

$$NPV = \text{Rp } 802.348.990,47$$

Berdasarkan dari kriteria NPV, apabila $NPV > 0$ artinya investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan atau yang menjalankan proyek tersebut. Dari hasil perhitungan didapat biaya NPV adalah (positif) $\text{Rp } 802.348.990,47 > 0$, sehingga memenuhi kriteria hasil tersebut maka proyek bisa dijalankan. Namun pada biaya tersebut tidak termasuk sumber energi untuk PSH.

4.7.2 *Benefit Cost Ratio (BCR)*

Perhitungan *benefit cost ratio* pada proyek PSH dengan menggunakan persamaan (2-39) sebagai berikut :

Diketahui :

$$\text{Nilai sekarang arus kas bersih} = \text{Rp } 1.150.468.101,47$$

$$\text{Nilai investasi awal} = \text{Rp } 348.119.111,00$$

Penyelesaian :

$$BCR = \frac{\text{nilai sekarang arus kas bersih}}{\text{nilai investasi}} = \frac{\text{Rp } 1.150.468.101,47}{\text{Rp } 348.119.111,00} = 3,305$$

Berdasarkan faktor penentu BCR yaitu bila $BCR \geq 1$, maka proyek dikatakan layak, karena keuntungan melebihi modal investasi. Dari hasil perhitungan BCR didapatkan nilai sebesar $3,305 \geq 1$, sehingga proyek PSH ini dikatakan layak.

4.7.3 Payback Period (PP)

Perhitungan payback period pada proyek PSH dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-40).

$$PP = \frac{\text{Rp } 348.119.111,00}{\text{Rp } 106.464.786,80} \times 1 \text{ tahun} = 3,270 \text{ tahun} = 3 \text{ tahun}$$

4.7.4 Internal Rate Of Return (IRR)

Perhitungan *internal rate of retur* pada proyek PSH dengan nilai suku bunga rendah sebesar 7% dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan suku bunga tinggi sebesar 10% dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun

Tahun ke -	Biaya Investasi	NCF	DF	PVNCF
0	Rp 348.119.111,00		1	
1		Rp106'464'786.80	0,935	Rp99'499'800.75
2		Rp106'464'786.80	0,873	Rp92'990'467.99
3		Rp106'464'786.80	0,816	Rp86'906'979.43
4		Rp106'464'786.80	0,763	Rp81'221'476.10
5		Rp106'464'786.80	0,713	Rp75'907'921.59
6		Rp106'464'786.80	0,666	Rp70'941'982.79
7		Rp106'464'786.80	0,623	Rp66'300'918.50
8		Rp106'464'786.80	0,582	Rp61'963'475.23
9		Rp106'464'786.80	0,544	Rp57'909'789.94
10		Rp106'464'786.80	0,508	Rp54'121'299.01

11		Rp106'464'786.80	0,475	Rp50'580'653.28
12		Rp106'464'786.80	0,444	Rp47'271'638.58
13		Rp106'464'786.80	0,415	Rp44'179'101.47
14		Rp106'464'786.80	0,388	Rp41'288'879.88
15		Rp106'464'786.80	0,362	Rp38'587'738.21
16		Rp106'464'786.80	0,339	Rp36'063'306.74
17		Rp106'464'786.80	0,317	Rp33'704'024.99
18		Rp106'464'786.80	0,296	Rp31'499'088.77
19		Rp106'464'786.80	0,277	Rp29'438'400.72
20		Rp106'464'786.80	0,258	Rp27'512'524.04
21		Rp106'464'786.80	0,242	Rp25'712'639.29
22		Rp106'464'786.80	0,226	Rp24'030'504.01
23		Rp106'464'786.80	0,211	Rp22'458'414.96
24		Rp106'464'786.80	0,197	Rp20'989'172.86
25		Rp106'464'786.80	0,184	Rp19'616'049.40
26		Rp106'464'786.80	0,172	Rp18'332'756.45
27		Rp106'464'786.80	0,161	Rp17'133'417.24
28		Rp106'464'786.80	0,150	Rp16'012'539.48
29		Rp106'464'786.80	0,141	Rp14'964'990.17
30		Rp106'464'786.80	0,131	Rp13'985'972.12
TOTAL				Rp1'321'125'923.97
NPV				Rp973'006'812.97
Diskonto Annuities				12,409

Tabel 4.4 Perhitungan NPV Suku Bunga 10% Selama 30 Tahun

Tahun ke -	Biaya Investasi	NCF	DF	PVNCF
0	Rp 348.119.111,00		1	
1		Rp106'464'786.80	0,909	Rp96'786'169.82
2		Rp106'464'786.80	0,826	Rp87'987'427.11
3		Rp106'464'786.80	0,751	Rp79'988'570.10
4		Rp106'464'786.80	0,683	Rp72'716'881.91
5		Rp106'464'786.80	0,621	Rp66'106'256.28
6		Rp106'464'786.80	0,564	Rp60'096'596.62
7		Rp106'464'786.80	0,513	Rp54'633'269.65
8		Rp106'464'786.80	0,467	Rp49'666'608.77
9		Rp106'464'786.80	0,424	Rp45'151'462.52
10		Rp106'464'786.80	0,386	Rp41'046'784.11
11		Rp106'464'786.80	0,350	Rp37'315'258.28
12		Rp106'464'786.80	0,319	Rp33'922'962.07

13		Rp106'464'786.80	0,290	Rp30'839'056.43
14		Rp106'464'786.80	0,263	Rp28'035'505.85
15		Rp106'464'786.80	0,239	Rp25'486'823.50
16		Rp106'464'786.80	0,218	Rp23'169'839.54
17		Rp106'464'786.80	0,198	Rp21'063'490.49
18		Rp106'464'786.80	0,180	Rp19'148'627.72
19		Rp106'464'786.80	0,164	Rp17'407'843.38
20		Rp106'464'786.80	0,149	Rp15'825'312.17
21		Rp106'464'786.80	0,135	Rp14'386'647.42
22		Rp106'464'786.80	0,123	Rp13'078'770.39
23		Rp106'464'786.80	0,112	Rp11'889'791.26
24		Rp106'464'786.80	0,102	Rp10'808'901.15
25		Rp106'464'786.80	0,092	Rp9'826'273.77
26		Rp106'464'786.80	0,084	Rp8'932'976.15
27		Rp106'464'786.80	0,076	Rp8'120'887.41
28		Rp106'464'786.80	0,069	Rp7'382'624.92
29		Rp106'464'786.80	0,063	Rp6'711'477.20
30		Rp106'464'786.80	0,057	Rp6'101'342.91
TOTAL				Rp1'003'634'438.89
NPV				Rp 655'515'327.89
Diskonto Annuities				9,427

Pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 didapat nilai biaya NPV rendah dan tinggi adalah Rp 1.321.125.923,97 dan Rp 1.003.634.438,89 dari biaya tersebut dapat dihitung nilai IRR menggunakan persamaan (2-41) sebagai berikut :

Diketahui :

$$i' = 7\%$$

$$i'' = 10\%$$

$$NPV' = \text{Rp } 1.321.125.923,97$$

$$NPV'' = \text{Rp } 1.003.634.438,89$$

Penyelesaian :

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 973.006.812,97}{\text{Rp } 973.006.812,97 + \text{Rp } 655.515.327,89} (0,10 - 0,07)$$

$$IRR = 0,07 + \frac{Rp\ 973.006.812,97}{Rp\ 1.628.522.140,86} \times 0,03 = 0,1619 = 16,19\%$$

Ukuran dari penilaian suatu kelayakan proyek bisa dilihat dengan mengacu dapat nilai $IRR \geq$ tingkat suku bunga pinjaman maka proyek atau investasi layak diusahakan atau dijalankan. Dari hasil perhitungan IRR didapat nilai sebesar $16,19\% \geq 8,44\%$ tingkat suku bunga pinjaman yang digunakan.

4.8 Biaya Tahunan (*Annual Cost*)

Sebagai perbandingan nilai alternatif lain dalam menganalisis aspek biaya dan kelayakan investasi proyek PSH dengan menghitung biaya tahunan atau yang disebut juga dengan *annual cost* yaitu biaya yang harus dikeluarkan selama umur rencana proyek 30 tahun dengan suku bunga 8,44% menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$annual\ cost = \frac{annual\ interest\ rate \times total\ cost\ of\ the\ plant}{1 - \frac{1}{(1 + annual\ interest\ rate)^n}}$$

Diketahui :

$$Annual\ interest\ rate/suku\ bunga = 8.44\% = 0.0844$$

$$Total\ cost\ of\ the\ plant/ biaya\ investasi = Rp\ 348.119.111,00$$

$$n = 30\ tahun$$

Penyelesaian :

$$annual\ cost = \frac{0.0844 \times Rp\ 348.119.111,00}{1 - \frac{1}{(1 + 0.0844)^{30}}} = Rp32.215.084,35$$

Setelah menghitung biaya tahunan (*annual cost*), maka dapat diketahui *cost per kWh* untuk membayar *annual cost* dengan menghitung jumlah jam

kerja efektif per tahun dan energi yang dihasilkan per tahun terlebih dahulu sebagai berikut :

Diketahui :

Capacity factor untuk PLTMH dapat dilihat pada Gambar 5.12 = 85 % = 0.85

Waktu operasi PSH dalam setahun = 24 jam 168 hari

$P_{\text{terbangkit}} = 20070,384 \text{ watt} = 20,070 \text{ kW}$

Penyelesaian :

- Untuk energi yang dihasilkan per tahun, yaitu :

$E_{\text{terbangkit}} = \text{kapasitas pembangkit} \times \text{capacity factor} \times \text{waktu operasi PSH}$
dalam setahun

$E_{\text{terbangkit}} = 20,070 \text{ kW} \times 0.85 \times 24 \text{ jam} \times 168 \text{ hari} = 68783.904 \text{ kWh}$

- Nilai *cost* per kWh untuk membayar *annual cost* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{cost per kWh} = \frac{\text{annual cost}}{\text{Energi yang dihasilkan/tahun}}$$

$$\text{cost per kWh} = \frac{\text{Rp}32.215.084,35}{68783.904 \text{ kWh}}$$

- Total *cost* per kWh dapat dihitung sebagai berikut :

Total *cost* per kWh = *cost* per kWh untuk *annual cost* + biaya O&M (M)

Total *cost* per kWh = Rp 10.444.042,68

Sehingga untuk keuntungan dari proyek PSH dengan harga jual listrik

sebesar Rp 1.444,70 berdasarkan (*Tariff Adjustment Juli - September 2023, 2023*) Gambar 5.11 Lampiran IV adalah sebagai berikut :

Keuntungan = (Total Cost per kWh - Harga Jual/kWh) × $E_{\text{terbangkit}}$

$$\text{Keuntungan} = (\text{Rp } 10.444.042,68 - \text{Rp } 1.444,70) \times 68783.904 \text{ kWh}$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Rp } 718.282.144.752,59$$

Sehingga dapat dihitung arus kas netto/ arus kas bersih (NCF) yang dimana nilai per tahunnya sama, yaitu :

$$\text{NCF} = \text{Keuntungan} - \text{biaya O\&M (M)}$$

$$\text{NCF} = \text{Rp } 718.282.588.325,92 - \text{Rp } 10.443.573,33 = \text{Rp } 718.282.144.752,59$$

Berdasarkan hasil perhitungan NCF dan faktor diskonto, maka PVNCF, NPV, dan IRR dapat diperhitungkan. Adapun untuk total nilai PVNCF dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan NPV Menggunakan *Annual Cost*
NVP Pada Suku Bunga 8,44% Selama 30 Tahun

Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PVNCF
Investasi awal	Rp 348'119'111.00		
0	Rp 718'272'144'752.59	1.000	Rp 718'272'144'752.59
1	Rp 718'272'144'752.59	0.922	Rp 662'368'263'327.73
2	Rp 718'272'144'752.59	0.850	Rp 610'815'440'176.81
3	Rp 718'272'144'752.59	0.784	Rp 563'275'027'828.12
4	Rp 718'272'144'752.59	0.723	Rp 519'434'736'101.18
5	Rp 718'272'144'752.59	0.667	Rp 479'006'580'690.87
6	Rp 718'272'144'752.59	0.615	Rp 441'724'991'415.41
7	Rp 718'272'144'752.59	0.567	Rp 407'345'067'701.41
8	Rp 718'272'144'752.59	0.523	Rp 375'640'969'846.38
9	Rp 718'272'144'752.59	0.482	Rp 346'404'435'490.94
10	Rp 718'272'144'752.59	0.445	Rp 319'443'411'555.64
11	Rp 718'272'144'752.59	0.410	Rp 294'580'792'655.52
12	Rp 718'272'144'752.59	0.378	Rp 271'653'257'705.20
13	Rp 718'272'144'752.59	0.349	Rp 250'510'197'072.30
14	Rp 718'272'144'752.59	0.322	Rp 231'012'723'231.55
15	Rp 718'272'144'752.59	0.297	Rp 213'032'758'420.84
16	Rp 718'272'144'752.59	0.274	Rp 196'452'193'305.82
17	Rp 718'272'144'752.59	0.252	Rp 181'162'111'126.73
18	Rp 718'272'144'752.59	0.233	Rp 167'062'072'230.48
19	Rp 718'272'144'752.59	0.214	Rp 154'059'454'288.52
20	Rp 718'272'144'752.59	0.198	Rp 142'068'843'866.22
21	Rp 718'272'144'752.59	0.182	Rp 131'011'475'346.93

22	Rp 718'272'144'752.59	0.168	Rp 120'814'713'525.39
23	Rp 718'272'144'752.59	0.155	Rp 111'411'576'471.22
24	Rp 718'272'144'752.59	0.143	Rp 102'740'295'528.61
25	Rp 718'272'144'752.59	0.132	Rp 94'743'909'561.61
26	Rp 718'272'144'752.59	0.122	Rp 87'369'890'779.79
27	Rp 718'272'144'752.59	0.112	Rp 80'569'799'686.27
28	Rp 718'272'144'752.59	0.103	Rp 74'298'966'881.47
29	Rp 718'272'144'752.59	0.095	Rp 68'516'199'632.49
30	Rp 718'272'144'752.59	0.088	Rp 63'183'511'280.42
Total			Rp 7'761'713'666'731.86
DISKONTO ANNUITIES			10.806

Perhitungan *net present value* pada proyek PSH dengan suku bunga 8,44% menggunakan persamaan (2 - 38) :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^n} - C = Rp 7.761.713.666.731,86 - Rp 348.119.111,00$$

$$NPV = Rp 7.761.365.547.620,86$$

Perhitungan *internal rate of retur* pada proyek PSH dengan nilai suku bunga rendah sebesar 7% dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan suku bunga tinggi sebesar 10% dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan *Annual Cost*

Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PV NCF
Investasi awal	Rp 348'119'111.00		
0	Rp 718'272'144'752.59	1.000	Rp 718'272'144'752.59
1	Rp 718'272'144'752.59	0.935	Rp 671'282'378'273.45
2	Rp 718'272'144'752.59	0.873	Rp 627'366'708'666.78
3	Rp 718'272'144'752.59	0.816	Rp 586'324'026'791.38
4	Rp 718'272'144'752.59	0.763	Rp 547'966'380'178.86
5	Rp 718'272'144'752.59	0.713	Rp 512'118'112'316.69
6	Rp 718'272'144'752.59	0.666	Rp 478'615'058'239.90
7	Rp 718'272'144'752.59	0.623	Rp 447'303'792'747.57
8	Rp 718'272'144'752.59	0.582	Rp 418'040'927'801.47
9	Rp 718'272'144'752.59	0.544	Rp 390'692'455'889.22
10	Rp 718'272'144'752.59	0.508	Rp 365'133'136'345.07

11	Rp 718'272'144'752.59	0.475	Rp 341'245'921'817.82
12	Rp 718'272'144'752.59	0.444	Rp 318'921'422'259.64
13	Rp 718'272'144'752.59	0.415	Rp 298'057'403'980.98
14	Rp 718'272'144'752.59	0.388	Rp 278'558'321'477.55
15	Rp 718'272'144'752.59	0.362	Rp 260'334'879'885.56
16	Rp 718'272'144'752.59	0.339	Rp 243'303'626'061.27
17	Rp 718'272'144'752.59	0.317	Rp 227'386'566'412.40
18	Rp 718'272'144'752.59	0.296	Rp 212'510'809'731.22
19	Rp 718'272'144'752.59	0.277	Rp 198'608'233'393.66
20	Rp 718'272'144'752.59	0.258	Rp 185'615'171'395.94
21	Rp 718'272'144'752.59	0.242	Rp 173'472'122'799.95
22	Rp 718'272'144'752.59	0.226	Rp 162'123'479'252.29
23	Rp 718'272'144'752.59	0.211	Rp 151'517'270'329.24
24	Rp 718'272'144'752.59	0.197	Rp 141'604'925'541.35
25	Rp 718'272'144'752.59	0.184	Rp 132'341'051'907.80
26	Rp 718'272'144'752.59	0.172	Rp 123'683'226'082.06
27	Rp 718'272'144'752.59	0.161	Rp 115'591'800'076.69
28	Rp 718'272'144'752.59	0.150	Rp 108'029'719'697.84
29	Rp 718'272'144'752.59	0.141	Rp 100'962'354'857.79
30	Rp 718'272'144'752.59	0.131	Rp 94'357'340'988.59
Total			Rp 8'913'068'625'200.01
NPV 7%			Rp 8'912'720'506'089.01
DISKONTO ANNUITIES			12.409

Tabel 4.7 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan *Annual Cost*

Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PVNCF
Investasi awal	Rp 348'119'111.00		
0	Rp 718'272'144'752.59	1.000	Rp 718'272'144'752.59
1	Rp 718'272'144'752.59	0.909	Rp 652'974'677'047.81
2	Rp 718'272'144'752.59	0.826	Rp 593'613'342'770.74
3	Rp 718'272'144'752.59	0.751	Rp 539'648'493'427.94
4	Rp 718'272'144'752.59	0.683	Rp 490'589'539'479.95
5	Rp 718'272'144'752.59	0.621	Rp 445'990'490'436.32
6	Rp 718'272'144'752.59	0.564	Rp 405'445'900'396.65
7	Rp 718'272'144'752.59	0.513	Rp 368'587'182'178.77
8	Rp 718'272'144'752.59	0.467	Rp 335'079'256'526.16
9	Rp 718'272'144'752.59	0.424	Rp 304'617'505'932.87
10	Rp 718'272'144'752.59	0.386	Rp 276'925'005'393.52
11	Rp 718'272'144'752.59	0.350	Rp 251'750'004'903.20
12	Rp 718'272'144'752.59	0.319	Rp 228'863'640'821.09
13	Rp 718'272'144'752.59	0.290	Rp 208'057'855'291.90
14	Rp 718'272'144'752.59	0.263	Rp 189'143'504'810.82

15	Rp 718'272'144'752.59	0.239	Rp 171'948'640'737.11
16	Rp 718'272'144'752.59	0.218	Rp 156'316'946'124.64
17	Rp 718'272'144'752.59	0.198	Rp 142'106'314'658.77
18	Rp 718'272'144'752.59	0.180	Rp 129'187'558'780.70
19	Rp 718'272'144'752.59	0.164	Rp 117'443'235'255.18
20	Rp 718'272'144'752.59	0.149	Rp 106'766'577'504.71
21	Rp 718'272'144'752.59	0.135	Rp 97'060'525'004.28
22	Rp 718'272'144'752.59	0.123	Rp 88'236'840'912.98
23	Rp 718'272'144'752.59	0.112	Rp 80'215'309'920.89
24	Rp 718'272'144'752.59	0.102	Rp 72'923'009'018.99
25	Rp 718'272'144'752.59	0.092	Rp 66'293'644'562.72
26	Rp 718'272'144'752.59	0.084	Rp 60'266'949'602.47
27	Rp 718'272'144'752.59	0.076	Rp 54'788'136'002.25
28	Rp 718'272'144'752.59	0.069	Rp 49'807'396'365.68
29	Rp 718'272'144'752.59	0.063	Rp 45'279'451'241.53
30	Rp 718'272'144'752.59	0.057	Rp 41'163'137'492.30
Total			Rp 6'771'090'072'602.94
NPV 10%			Rp 6'770'741'953'491.94
DISKONTO ANNUITIES			9.427

Pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 didapat nilai biaya NPV rendah dan tinggi adalah Rp 8.912.720.506.089,01 dan Rp 6.770.741.953.491,94 dari biaya tersebut dapat dihitung nilai IRR menggunakan persamaan (2-41) sebagai berikut :

Diketahui :

$$i' = 7\%$$

$$i'' = 10\%$$

$$NPV' = \text{Rp } 8.912.720.506.089,01$$

$$NPV'' = \text{Rp } 6.770.741.953.491,94$$

Penyelesaian :

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 8.912.720.506.089,01}{\text{Rp } 8.912.720.506.089,01 + \text{Rp } 6.770.741.953.491,94} (0,10 - 0,07)$$

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 8.912.720.506.089,01}{\text{Rp } 15.683.462.459.581,00} \times 0,03 = 0,1948 = 19,48 \%$$

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil survey, pengukuran dan analisis yang telah dilakukan untuk merancang pengotimalisasian operasi PLTMH PT.Tombolo Energi saat musim kemarau dengan *pumped stroge hydropower* dapat ditarik sebuah kesimpulan yaitu :

1. Penentuan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau adalah dengan mengetahui debit yang akan disuplai untuk menggerakkan turbin 0,5 MW sebesar $0,026 \text{ m}^3/\text{s}$, dan debit yang tersedia pada *reservoir* alami (debit sungai) sebesar $1,378 \text{ m}^3/\text{s}$, serta mengetahui nilai *head* dari *reservoir* alami ke *headpond* yaitu sebesar 64,116 m. Dari hal tersebut dapat ditentukan spesifikasi pompa yang akan digunakan dengan minimal kapasitas debit sebesar $0,026 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai *head* 64,116 m. Pompa yang digunakan merupakan pompa sentrifugal merk ebara *type* 100X80 FSJA dengan kapasitas debit 500 US GPM atau sama dengan $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head max* 80 m.
2. Desain instalasi pipa dari *reservoir alami* sampai ke *headpond* menggunakan pipa jenis galvanis 8in kode produksi SKU : 202011324 dengan komponen – komponen lain yaitu : *elbow las* 90° diameter 8in (standar SGP 10K), *foot klep valve* DN 200 8in (standar JIS 10K), *gate valve* 8in (standar JIS 10K), *swing check valve* 8in (JIS 10K), *rubber gasket flange* 8in tebal 3 mm (JIS 10K), *flange pipe* 8in DN 200 (JIS 10K), baut & mur M22×100 mm (JIS 10K) untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang

pada musim kemarau. Adapun gambar desain instalasi pipa dapat dilihat pada Lampiran V.

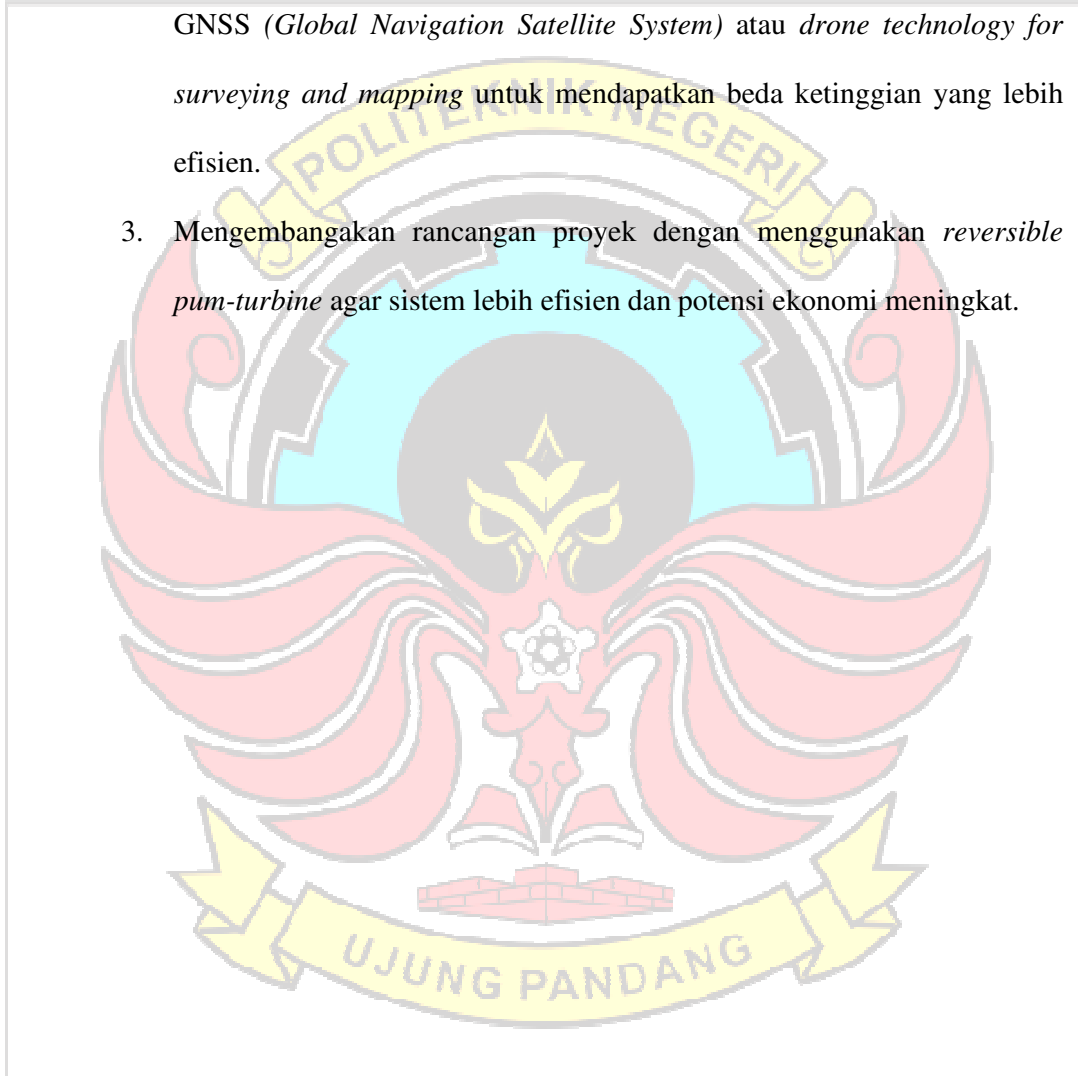
3. Rancangan biaya proyek optimalisasi pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower* yaitu

berkisar Rp 348.119.111,00 tidak termasuk biaya sumber energi. Dimana biaya tersebut terdiri dari pompa *type* 100X80 FSJA, pipa & komponen – komponen berdiameter 8'in, serta jasa instalasi. Berdasarkan dari hasil analisis kelayakan investasi dengan umur proyek 30 tahun dan suku bunga 8,44% yaitu :

- Nilai NPV (positif) Rp 802'348'990.47 > 0, sehingga memenuhi kriteria maka proyek bisa dijalankan. Dimana nilai tersebut tidak termasuk sumber energi untuk proyek PSH.
- Nilai BCR 3,305 \geq 1, sehingga proyek PSH ini dikatakan layak.
- Nilai PP selama 3,270 tahun.
- Nilai IRR 16,19% \geq 8,44% tingkat suku bunga pinjaman yang digunakan, sehingga proyek atau investasi layak dijalankan.

5.2 Saran

1. Dapat menambahkan data debit andalan terkait ketersediaan air pada *reservoir* alami.
2. Meninjau kembali jalur instalasi pipa dengan menggunakan teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) atau *drone technology for surveying and mapping* untuk mendapatkan beda ketinggian yang lebih efisien.
3. Mengembangkan rancangan proyek dengan menggunakan *reversible pum-turbine* agar sistem lebih efisien dan potensi ekonomi meningkat.



DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, P., Bani, A. K., & Raharjo, J. (2022). Simulasi Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Nusa Penida Menggunakan Aplikasi Homer. *E-Proceeding of Engineering*, 9(5), 2429–2435.
- Amalia, Y., Juwono, P. T., & Wicaksono, P. H. (2015). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Juju Desa Muwun Kabupaten Murung Raya Provinsi Kalimantan Tengah*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/143434>
- ANDRITZ. (2023). *Pumped Storage*. ANDRITZ. <https://www.andritz.com/hydro-en/about-andritz-hydro/locations/jakarta-indonesia/jakarta-indonesia-id/pumped-storage-indonesia-id>
- Antal, B. A. (2014). Pumped Storage Hydropower: A Technical Review. *Department of Civil Engineering -Univ.of Colorado Denver, May*, 84.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Www.Bps.Go.Id*. <https://www.bps.go.id/indicator/13/383/1/suku-bunga-kredit-rupiah-menurut-kelompok-bank.html>
- Bahari, N. A. S., Musrizal, Kiki, C., Mufadhhal, Lianda, D., T, N. R., Fitria, T., Yusuf, T., Wardah, U., & Muriza, Z. (2015). *Laporan Pengukuran Theodolit. Current Meter Flowatch FL-03*. (2023). Tokopedia. <https://www.tokopedia.com/upstoreshop/current-meter-flowatch-fl-03-garansi-1-tahun?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch>
- Danu, A. R. (2020). Analisa Keekonomian Tarif Listrik Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya FTI UII 5 kWp dengan Metode Life Cycle Cost (LCC). In *Tesis*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Fachrudin, I. N. (2014). *Perhitungan ulang (Manual & Numerik) Crude Oil Booster Pump pada CPA Pertamina Petrochina Tuban*. <http://repository.its.ac.id/41148/>
- Hartini, E. (2017). *Modul Hidrologi Hidrolika Terapan*. Studocu.
- Herliyanso, D., & Abdul Rozak, O. (2023). Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Sebagai Suplai Daya Listrik Perpustakaan Universitas Pamulang. *ELECTRICES - Jurnal Otomasi Kelistrikan Dan Energi Terbarukan*, 5, 20–29.
- Hino, T., & Lejeune, A. (2012). Pumped Storage Hydropower Developments. *Comprehensive Renewable Energy*, 405–434. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00616-8>
- Komarudin. (2022). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pengenalan, Operasi Dan Perawatan)*. PT. Protel Multi Eneгри - CV. Protel Multi Energy.

Lampung, A. T. (2021). Tinjauan Pemodelan Sistem Dan Formulasi Economic Dispatch Untuk Sistem Tenaga Listrik Hibrida Berbasis Variable Renewable Energy Dengan PLTA Pumped Storage. *Jurnal Ilmiah SUTET*, 10(1), 15–28. <https://doi.org/10.33322/sutet.v10i1.1167>

Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 85–92. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5270>

Marcell, M. R. R., Supomo, H., & Arif, M. S. (2021). Analisis Teknis dan Ekonomis Perbandingan Laju Korosi Material Galvanis dan Aluminium untuk Memprediksi Umur dan Biaya Reparasi Lambung Kapal. *JURNAL TEKNIK ITS*, 10(2), G108–G115.

Mardatila, A. (2022). *IRR adalah Internal Rate of Return, Ketahui Fungsinya dalam investasi | merdeka.com*. Merdeka.Com. <https://www.merdeka.com/sumut/irr-adalah-internal-rate-of-return-ketahui-fungsinya-dalam-investasi-klm.html>

Modul Pengukuran Sudut. (2023). https://prodi4.stpn.ac.id/wp-content/uploads/2020/2020/Modul/Semester I/MODUL IUT D4 DI/Modul_IUT_3baru.pdf

Nashar, M. (2015). Analisa Kelayakan Bisnis Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltb) Di Indonesia Dengan Menggunakan Software Retscreen. *Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Bisnis*, 1(1), 1–8.

Ointu, S., Surusa, F. E. P., & Zainuddin, M. (2020). Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berdasarkan Potensi Air yang Ada di Desa Pinogu. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2(2), 30–38. <https://doi.org/10.37905/jjee.v2i2.4618>

Pengertian Daerah Aliran Sungai (DAS) atau Watershed. (2023, January 10). Tukangbata.Blogspot.Com. <http://tukangbata.blogspot.com/2013/01/pengertian-daerah-aliran-sungai-das.html>

Pérez-Díaz, J. I., Chazarra a, M., García-González, J., Cavazzini, G., & Stoppato, A. (2015). Trends and challenges in the operation of pumped-storage hydropower plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 767–784. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.029>

Permana, D. S. (2017). Analisa Jenis Dan Spesifikasi Pompa Air Bersih Gedung Pabrik Perakitan Pt. Adm. *Sinergi*, 21(2), 91. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2017.2.003>

Poapa, I. A. P. (2017). Perencanaan PLTMH Dengan Menggunakan Saluran Irigasi. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer*,

Elektronika Dan Kendali, 2(4), 1–7. <https://doi.org/10.33772/jfe.v2i4.7897>

Pramono, I., & Lasman, A. N. (2020). Optimasi Desain Pembangkit Listrik Kapasitas 200 kW Menggunakan Tenaga Matahari dengan Sistem Pumped Storage. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah ...*, 10(3), 32–39.
<http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/teknobiz/article/view/1761%0Ah>
<http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/teknobiz/article/download/1761/1055>

PT.Tombolo Energi. (2015). *Company Profile*. PT. Tombolo Energi.

Pumped Storage Hydropower. (2023). www.energy.gov.
<https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower>

Putra, I. D., & Ingrid, D. (2019). *Analisis Pengukuran Penampang Memanjang Jalan Poros Sungguminasa-Malino Dengan GNSS Metode RTK-Radio*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Rahmanta, M. A. (2022). Analisis PASTEL & SWOT Pemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower Untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.30588/jo.v6i1.1012>

Rohman, A. (2019). *GPS untuk Pemetaan?*
<https://geodesigeodinamik.ft.ugm.ac.id/2019/09/23/595/>

Roring, H. S. D., Sompie, B. F., & Mandagi, R. J. M. (2014). Model Estimasi Biaya Tahap Konseptual Konstruksi Bangunan Gedung dengan Metode Parametrik. In *Jurnal Ilmiah Media Engineering, Universitas Sam Ratulangi* (Vol. 4, Issue 2).

Saiby, A. M. S., & Klistafani, Y. (2023). *Hidrometeri*.

Salim, S. (2017). Listrik Mikro Hidro Berdasarkan Potensi Debit Andalan Sungai. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*.

Siagian, A. J. (2018). *ANALISIS EKONOMI DAN FINANSIAL SHORTCUT TEGINENENG- TARAHAH*. UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR.

Siahaan, S. (2019). Kajian Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang. *Jurnal Teknik Nommensen*, III(1), 111–139.

Siaran Pers (SP-02/DJPb/2022) Kemenkeu Dukung Pembiayaan Proyek PLTA Pumped Storage Pertama dan Terbesar di Asia Tenggara. (2022). Direktur Sistem Manajemen Investasi Direktorat Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan.
<https://djp.kemenkeu.go.id/portal/id/berita/berita/siaran-pers/3863-kemenkeu-dukung-pembiayaan-proyek-plta-pumped-storage-pertama-dan-terbesar-di-asia-tenggara.html>

Siregar, M. A., Damanik, W. S., & Harahap, A. H. (2021). Karakteristik Unjuk

Kerja Pump As Turbine (PAT) Menggunakan Satu Pompa Hisap. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 2(1), 17–24.
<https://doi.org/10.53695/jm.v2i1.237>

Sitohang, M. P. (2019). PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERPUSAT OFF-GRID SYSTEM (Studi Kasus: Desa Tanjung Beringin, Kabupaten Kampar, Riau) [Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau]. In *175.45.187.195*. [ftp://175.45.187.195/Titipan-Files/BAHAN WISUDA PERIODE V 18 MEI 2013/FULLTEKS/PD/lovita meika savitri \(0710710019\).pdf](ftp://175.45.187.195/Titipan-Files/BAHAN WISUDA PERIODE V 18 MEI 2013/FULLTEKS/PD/lovita meika savitri (0710710019).pdf)

Suatan, R. A., Giriantari, I. A. D., & Sukerayasa, I. W. (2020). Kajian Ekonomi Rencana PLTMH di Desa Panji. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(2), 263. <https://doi.org/10.24843/mite.2020.v19i02.p20>

Suhendar. (2022). *Dasar - Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya* (D. Tesniyadi (Ed.); Issue 1). Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI).

Tariff Adjustment Juli - September 2023. (2023). PT PLN (Persero).
<https://web.pln.co.id/static/uploads/2023/06/ttl-Juli-September-2023.jpg>

Trimble R10 GNSS GPS Receiver Kit. (2023). Frugalindustry.
<https://frugalindustry.com/products/Trimble-R10-GNSS-GPS-Receiver-Kit.html>

Udjianto, T., & Yusuf, E. (2019). Analisis Penentuan Kapasitas PLTM Berdasarkan Tinggi Muka Air di Satu Sungai di Kalimantan Barat. *Jurnal.Polban.Ac.Id*, 9(1), 108–114.
<https://jurnal.polban.ac.id/energi/article/view/1653>

USAID, OJK (Otoritas Jasa Keuangan), & UI, L. P. E. D. M. F. E. D. B. (2016). Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro. In *Modul Pelatihan Keuangan Berkelanjutan & Pembiayaan Energi Bersih Untuk Lembaga Jasa Keuangan*.

Utomo, W. G. S. (2018). *Perencanaan Ulang Impeller Pompa Sentrifugal Dengan Fluida Kerja Air Bersih Pada Unit Ipa Plosowahyu PDAM Lamongan* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
[https://repository.its.ac.id/58882/1/10211500000025-Wahyu Giant S.U.pdf](https://repository.its.ac.id/58882/1/10211500000025-Wahyu%20Giant%20S.U.pdf)

Yayasan Tunas Cendekia. (2023). *Pembangunan PLTMH Waruwue Sulawesi Selatan*. Wordpress. <http://tunascendekia.org/wordpress/archives/1051>



LAMPIRAN I
PENGUKURAN DEBIT
DAN DATA DEBIT
PERUSAHAAN

The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is centered in the background. It features a circular emblem with a yellow banner at the top containing the text 'POLITEKNIK NEGERI' and a yellow banner at the bottom containing 'UJUNG PANDANG'. The central part of the emblem includes a stylized red and white figure, possibly a Garuda, and a red and white building-like structure at the base.

Tanggal : 14 Mei 2023

Jam : 11.00 – 14.00 WITA

Cuaca : Cerah

Lokasi : PLTMH PT.Tombolo Poa Desa Poa, Kelurahan Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa, Prov. Sulawesi Selatan

Tabel 5.1 Pengukuran Debit Saluran *Tailrace* PLTMH Turbin 0,5 M Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0			0.6			
1	0.82	0.82	0.6	0.2	0.492	0.098
	0.81	1.63		0.1	0.486	0.049
2			0.6			
	0.82	2.45	0.6	0.3	0.492	0.148
3						
Rata - rata				0.2	∑Q	0.295

Tabel 5.2 Pengukuran Debit Saluran *Tailrace* PLTMH Turbin 2,5 M Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

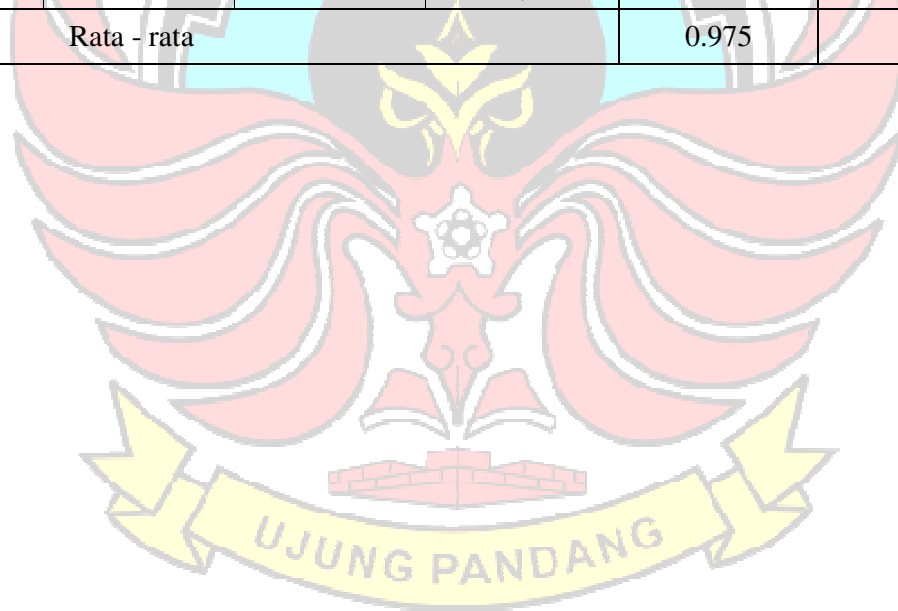
Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1.65	1.65	1.1	0.8	1.815	1.452
1			1.1			
2	1.65	3.30	1.1	0.8	1.815	1.452
Rata - rata				0.8	ΣQ	2.904

Tabel 5.3 Pengukuran Debit Saluran *Tailrace* PLTMH Turbin 2,5 M Dan 0,5 Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1.00	1.00	1.2	1.4	1.2	1.680
1			1.2			
2	1.00	2.00	1.2	1.2	1.2	1.440
Rata - rata				1.3	ΣQ	3.120

Tabel 5.4 Pengukuran Debit Saluran *Water Way* PLTMH Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1.00	1.00	1.43	0.8	0.85	1.43	1.216
1			1.43	0.9			
2	1.00	2.00	1.43	1.1	1.1	1.43	1.573
			1.43	1.1			
		Rata - rata			0.975	ΣQ	2.789



Tabel 5.5 Pengukuran Debit Saluran Masuk *Headpond* PLTMH Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	0.75	0.75	1.4	0.8	0.600	1.05	0.63
1				0.4			
2	0.75	1.50	1.4	0.7	0.500	1.05	0.525
3				0.3			
4	0.75	2.25	1.4	0.7	0.450	1.05	0.473
5				0.2			
6	0.75	3.00	1.4	0.6	0.500	1.05	0.525
7				0.4			
8	0.75	3.75	1.4	0.6	0.550	1.05	0.578
9				0.5			
				Rata - rata	0.500	ΣQ	2.730

Tanggal : 31 Mei 2023
 Jam : 13.00 – 16.40 WITA
 Cuaca : Mendung
 Lokasi : Sungai Tangka Desa Poa, Kelurahan Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa, Prov. SULSEL

Tabel 5.6 Pengukuran Debit Sesaat Aliran Sungai Tangka Menggunakan Benda Apung

No	Jenis Pelampung	Luas Penampang (m ²)	p (m)	Waktu	T (s)	v (m/s)	Q _{Sesaat} (m ³ /s)	
1	Bola kasti	13.052	9.4	01.11.02	71	0.132	1.382	
2	Bola kasti	13.052	9.4	01.13.23	73	0.129	1.345	
3	Bola kasti	13.052	9.4	01.14.71	74	0.127	1.326	
4	Bola kasti	13.052	9.4	01.17.74	77	0.122	1.275	
5	Bola kasti	13.052	9.4	01.02.26	62	0.152	1.583	
6	Bola kasti	13.052	9.4	01.15.08	75	0.125	1.309	
7	Bola kasti	13.052	9.4	01.08.28	68	0.138	1.443	
		Rata - rata				71.429	0.132	1.380

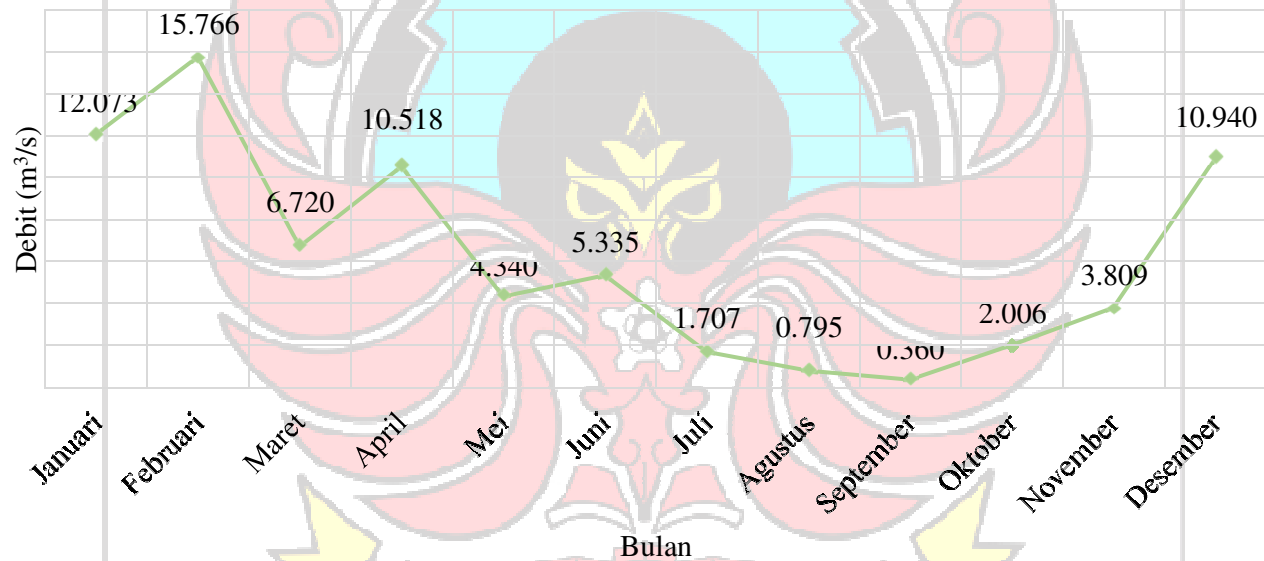
Keterangan :

α (Nilai Faktor Koreksi) = 0,8

Tabel 5.7 Data Debit PLTMH PT.Tombolo Pao

Tahun	Bulan											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Juni.	Jul.	Agt.	Sep	Okt.	Nop.	Des.
2007	12,07269	15,76613	6,719648	10,51769	4,340073	5,335197	1,707224	0,795118	0,360178	2,003702	3,809447	10,94003

Grafik Debit Selama Setahun (2007)



Gambar 5.1 Grafik Debit Pada Tahun 2007
 Sumber : (PT.Tombolo Energi, 2015)

LAMPIRAN II
PENGUKURAN BEDA
TINGGI *RESERVOIR*
SUMBER AIR DENGAN
HEADPOND & HASIL
ANALISIS DATA *HEAD*



Nama : Pengukuran Jalur Pipa
 Alat : DT-200 Topkom
 Lokasi : Desa Poa, Kelurahan Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa, Prov. Sulawesi Selatan
 Hari/Tanggal : Rabu – Kamis, 23 – 24 Mei 2023
 Jam (Cuaca) : Rabu, 15.30 -17.30 WITA (Cerah) Pengukuran DT1 – DT2
 Kamis, 09.30 – 13.00 WITA (Mendung) Pengukuran DT3 – DT
 Surveyor : Raynaldi Tikungpadang

Tabel 5.8 Tabel Pengukuran *Theodolite*

Instrument		Sight Arah	Prisma		Horizontal				Vertikal				Distance		
Titik	Tinggi		Titik	*Tinggi	dd	m m	ss	Nilai Desimal	dd	m m	ss	Nilai Desimal	BA	BT	BB
DT1	1.515	BS	BM Dusun	870	0	0	0	0.000	90	0	0	90.000	0.545	0.501	0.460
		FS	BM Desa		272	33	35	272.560	90	0	0	90.000	0.942	0.909	0.875
		FS	SP1		14	5	5	14.085	95	24	25	95.407	0.883	0.730	0.680
		FS	SP2		14	28	15	14.471	93	56	35	93.943	0.543	0.305	0.065
		SS	SP3		11	10	25	11.174	96	25	10	96.419	0.865	0.745	0.623
			SP4		11	28	10	11.469	96	25	10	96.419	2.854	2.731	2.613
			SP5		9	39	45	9.663	93	44	55	93.749	3.156	2.975	2.791
			SP6		12	39	5	12.651	93	57	55	93.965	2.720	2.510	2.305
	SP7		11	19	45	11.329	93	57	55	93.965	2.435	2.208	1.980		

DT2		BS2	SP2		0	0	0	0.000	93	58	30	93.975	0.455	0.411	0.367
		FS	SP1		354	47	20	354.789	90	0	0	90.000	1.135	0.969	0.805
		Detail			248	31	20	248.522	90	0	0	90.000	2.739	2.595	2.450
		FS	SP3		238	28	30	238.475	90	0	0	90.000	1.035	0.981	0.926
		Detail			237	43	10	237.719	90	0	0	90.000	2.762	2.708	2.655
			SP4		251	25	30	251.425	90	0	0	90.000	1.279	1.098	0.918
		Detail			251	32	20	251.539	90	0	0	90.000	2.832	2.650	2.471
		Detail			254	35	5	254.585	90	0	0	90.000	2.738	2.485	2.237
		Detail			255	30	10	255.503	90	0	0	90.000	2.779	2.448	2.120
DT3	1.332	BS3	BM Dusun		0	0	0	0.000	85	0	35	85.010	1.312	1.125	0.942
		FS	BM Desa		9	49	20	9.822	84	34	25	84.574	2.000	1.771	1.545
			Dinding Headpond		266	18	25	266.307	84	34	25	84.574	1.151	1.081	1.031
		FS	J1		159	53	0	159.883	94	53	20	94.889	1.708	1.491	1.280
		FS	J2		159	27	15	159.454	94	53	25	94.890	1.671	1.465	1.253
DT4	1.370	BS	J2		0	0	0	0.000	84	37	40	84.628	2.655	2.137	1.620
		FS	J1		0	32	20	0.539	84	37	40	84.628	2.775	2.255	1.739
			Elevasi Jebatan		359	50	20	359.839	84	37	45	84.629	1.955	1.711	1.468
		FS	JS1		18	38	5	18.635	98	48	0	98.800	1.779	1.580	1.368
		FS	JS2		16	45	10	16.753	98	41	25	98.690	1.855	1.650	1.440

Keterangan :

BS : Back Sight, FS : Front Sight, SS : Side Sight

DT5	1.285	BS	JS2		0	0	0	0.000	79	39	0	79.650	1.950	1.775	1.601
		FS	JS1		357	55	40	357.928	79	39	0	79.650	1.920	1.745	1.565
		FS	JS3		203	45	10	203.753	97	31	50	97.531	1.660	1.462	1.265
		FS	JS4		200	12	20	200.206	97	31	55	97.532	1.786	1.595	1.400
DT6	1.335	BS	JS3		0	0	0	0.000	76	1	45	76.029	1.175	0.971	0.775
		FS	JS4		3	48	55	3.815	76	1	45	76.029	1.260	1.060	0.861
		FS	JS6		192	24	15	192.404	104	36	0	104.600	1.360	1.288	1.218
		FS	JS5		194	19	45	194.329	104	35	55	104.599	1.361	1.268	1.175
DT7	1.270	BS	JS5		0	0	0	0.000	75	52	50	75.881	0.885	0.830	0.775
		FS	JS6		9	55	45	9.929	75	37	5	75.618	0.829	0.755	0.681
		SS	Pinggir Sungai		243	22	50	243.381	98	51	35	98.860	2.300	1.861	1.425
		FS	JS7		253	26	40	253.444	99	23	25	99.390	1.494	1.272	1.051
		FS	JS8		250	11	50	250.197	101	54	10	101.903	0.979	0.771	0.568
DT		BS	JS7	827	0	0	0	0.000	81	39	0	81.650	1.595	1.395	1.198
		FS	JS8		4	54	45	4.913	81	46	35	81.776	1.910	1.695	1.480
		SS	Pinggir Sungai		251	19	40	251.328	90	0	0	90.000	2.241	2.154	2.065
		SS	Pinggir Sungai		246	10	30	246.175	99	57	20	99.956	2.969	2.901	2.833

Keterangan :

SP : Spill Way,

J : Jalan Raya,

JS : Jalan Setapak

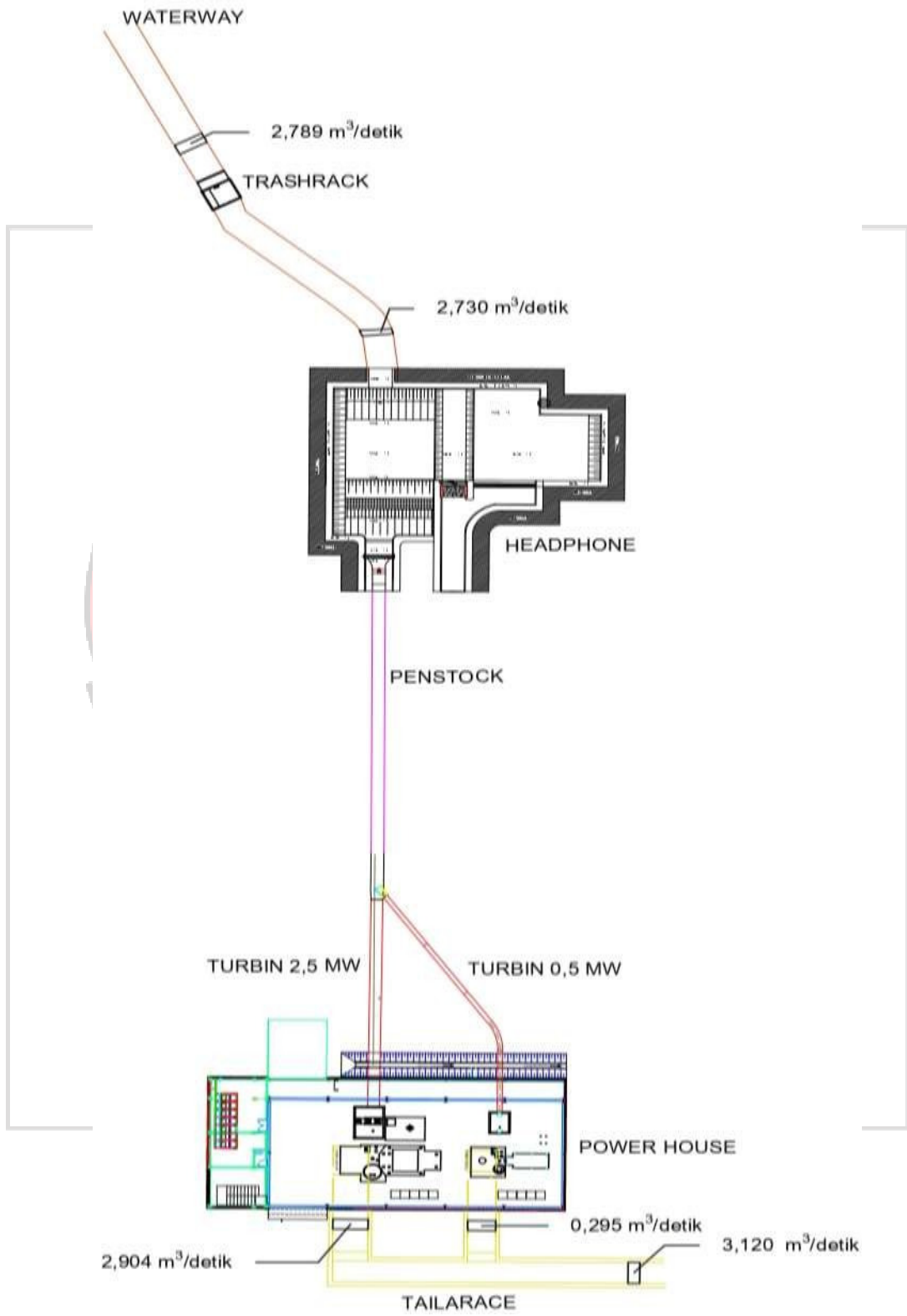
*(Data prisma tinggi diambil dari *App My Elevation*)

Tabel 5.9 Hasil Pengolahan *Head*

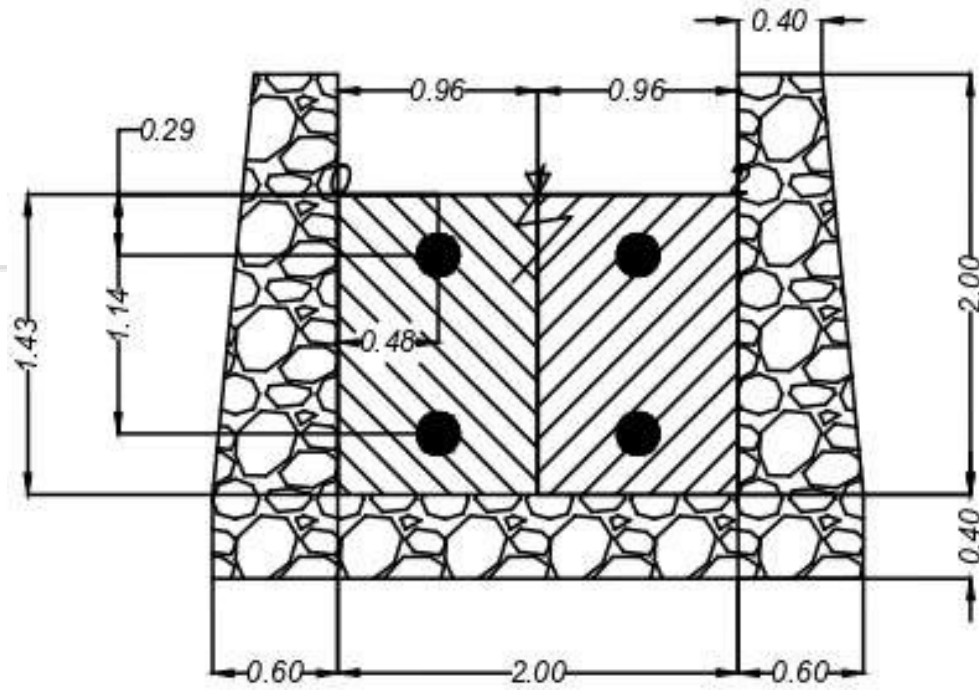
Posisi Alat	ta (m)	BS	FS	ba (M)	bt (m)	bb (m)	h			ver			α	D _{AB} (m)	ΔH (m)	ΔH (m)		
							dd	mm	ss	dd	mm	ss						dd.ddd
DT3	1.332	BM Dusun		1.312	1.125	0.942	0	0	0	85	0	35	85.010	4.990	36.720	3.413		
			J2	1.671	1.465	1.253	159	27	15	94	53	25	94.890	-4.890	41.496	-5.015	9.930	BM Dusun - J2
DT4	1.370	J2		2.655	2.137	1.620	0	0	0	84	37	40	84.628	5.372	102.593	8.881		
			JS2	1.855	1.650	1.440	16	45	10	98	41	25	98.690	-8.690	40.553	-6.516	15.397	J2 - JS2
DT5	1.285	JS2		1.950	1.775	1.601	0	0	0	79	39	0	79.650	10.350	33.773	5.678		
			JS3	1.660	1.462	1.265	203	45	10	97	31	50	97.531	-7.531	38.822	-5.309	10.987	JS2 - JS3
DT6	1.335	JS3		1.175	0.971	0.775	0	0	0	76	1	45	76.029	13.971	37.669	9.735		
			JS5	1.361	1.268	1.175	194	19	45	104	35	55	104.599	-14.599	17.418	-4.470	14.205	JS3 - JS5
DT7	1.270	JS5		0.885	0.830	0.775	0	0	0	75	52	50	75.881	14.119	10.345	3.042		
			Pinggir Sungai	2.300	1.861	1.425	243	22	50	98	51	35	98.860	-8.860	85.424	-13.907	16.949	JS5 - Pinggir Sungai
																	65.967	BM Dusun - Pinggir Sungai
																	62.554	DT3 - Pinggir Sungai

LAMPIRAN III
GAMBAR SKETSA
LUAS PENAMPANG
SALURAN PADA
PLTMH & *RESERVOIR*
SUMBER (ALIRAN
SUNGAI TANGKA)

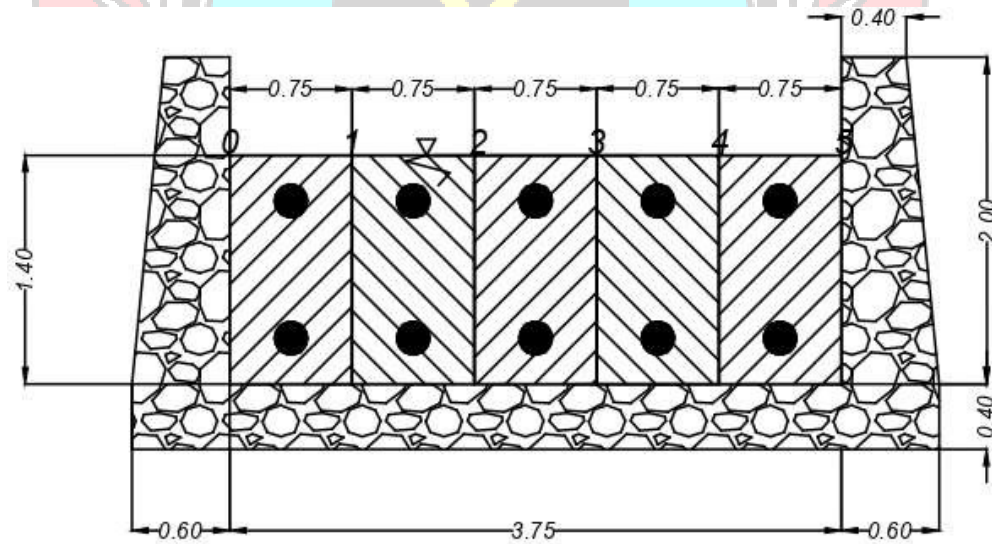




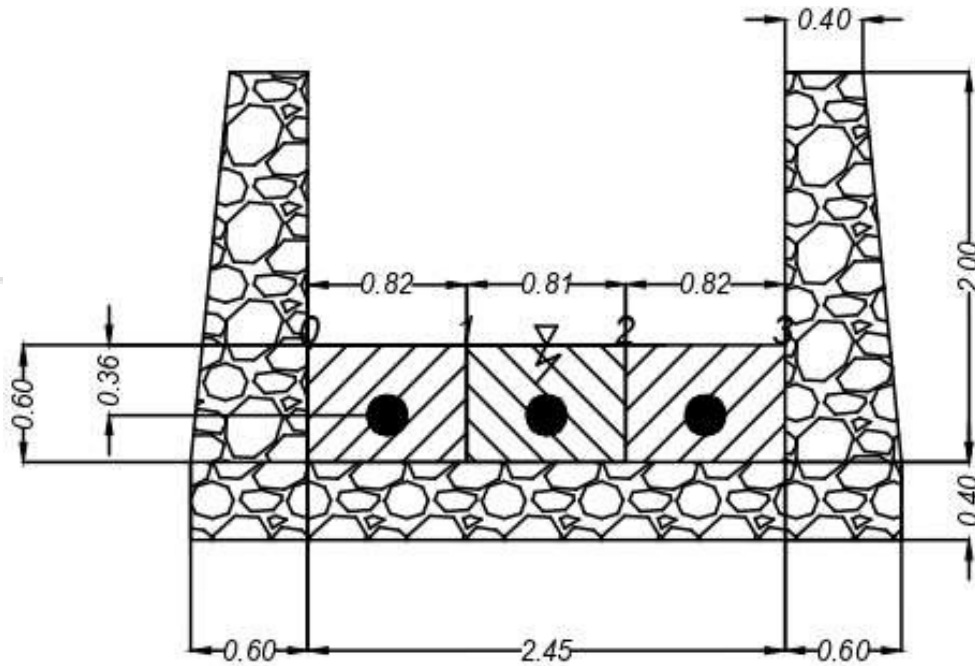
Gambar 5.2 Aliran Air Pada PLTMH Tombolo Pao



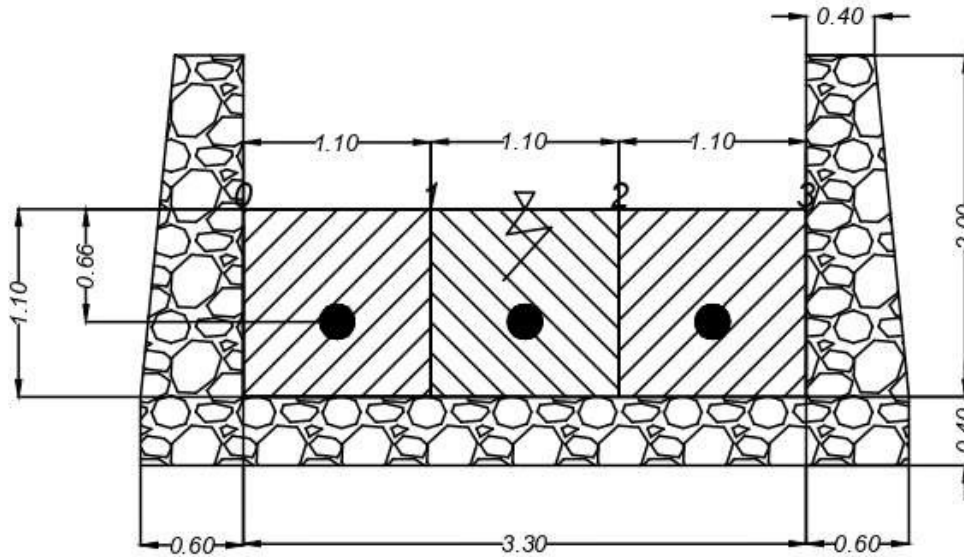
Gambar 5.3 Luas Penampang Saluran *Waterways*



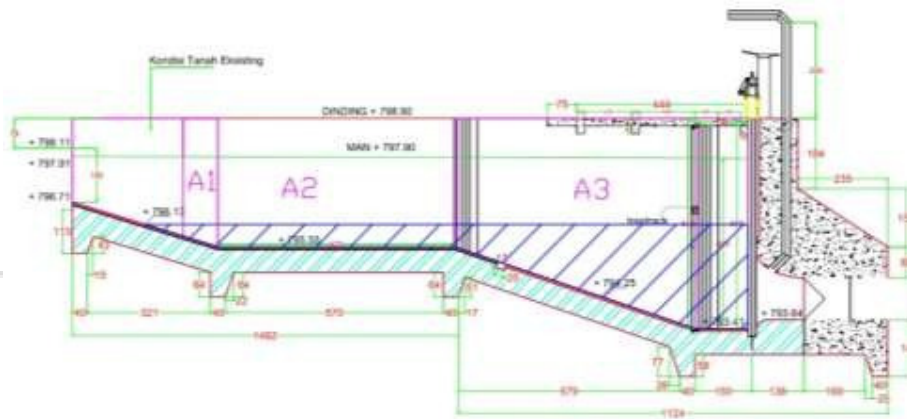
Gambar 5.4 Luas Penampang Saluran Masuk *Headpond*



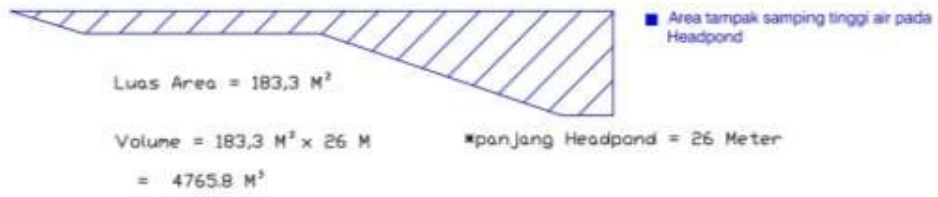
Gambar 5.5 Luas Penampang Saluran *Tailrace* Turbin Kapasitas 0,5 MW



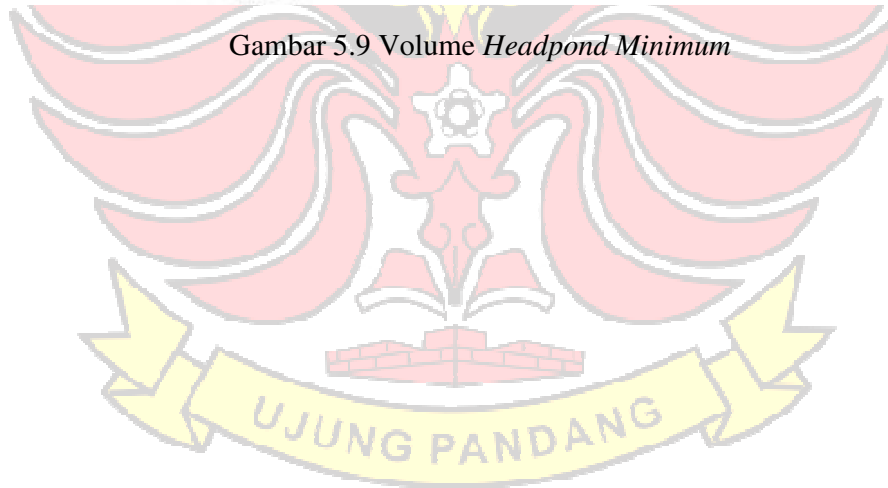
Gambar 5.6 Luas Penampang Saluran *Tailrace* Turbin Kapasitas 2,5 MW



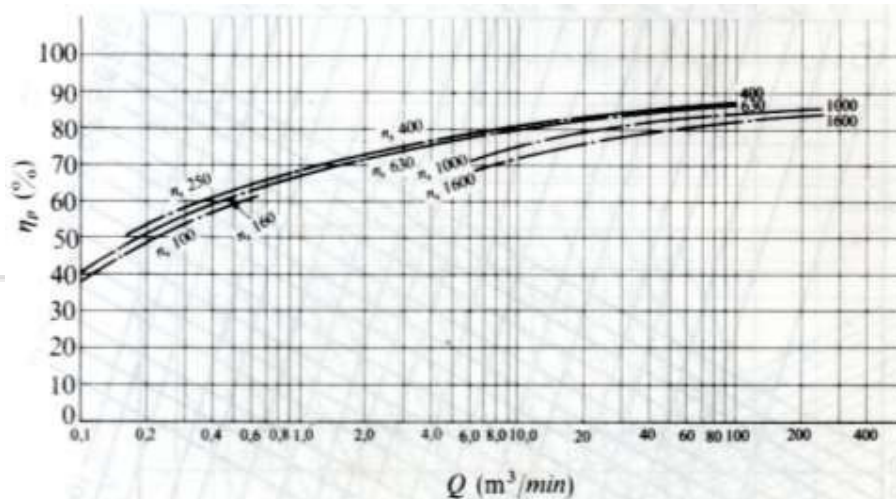
POTONGAN A - A



Gambar 5.9 Volume *Headpond Minimum*



LAMPIRAN IV GRAFIK
EFISIENSI POMPA
STANDAR, TABEL
KOEFSIEN KERUGIAN
KOMPONEN PIPA,
TABEL SIFAT FISIK
AIR, PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF
TENAGA LISTRIK &
CAPACITY FACTOR



Efisiensi standar pompa sentrifugal menurut n_s

Gb. 2.26 Efisiensi standar pompa.

Gambar 5.10 Grafik Efisiensi Standar Pompa Terhadap Debit

Tabel 5.10 Koefisien Kerugian Valve Dan Fittings

TABLE 2.10-1. Friction Loss for Turbulent Flow Through Valves and Fittings

Type of Fitting or Valve	Frictional Loss, Number of Velocity Heads, K_f	Frictional Loss, Equivalent Length of Straight Pipe in Pipe Diameters, L_e/D
Elbow, 45°	0.35	17
Elbow, 90°	0.75	35
Tee	1	50
Return bend	1.5	75
Coupling	0.04	2
Union	0.04	2
Gate valve		
Wide open	0.17	9
Half open	4.5	225
Globe valve		
Wide open	6.0	300
Half open	9.5	475
Angle valve, wide open	2.0	100
Check valve		
Ball	70.0	3500
Swing	2.0	100
Water meter, disk	7.0	350

Source: R. H. Perry and C. H. Chilton, *Chemical Engineers' Handbook*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1973. With permission.

Table 5.11 A.5-1 Dimensions Of Standard Steel Pipe

A.5-1 Dimensions of Standard Steel Pipe

Nominal Pipe Size (in.)	Outside Diameter		Sched- ule Number	Wall Thickness		Inside Diameter		Inside Cross- Sectional Area	
	in.	mm		in.	mm	in.	mm	ft ²	m ² × 10 ⁴
1/8	0.405	10.29	40	0.068	1.73	0.269	6.83	0.00040	0.3664
			80	0.095	2.41	0.215	5.46	0.00025	0.2341
1/4	0.540	13.72	40	0.088	2.24	0.364	9.25	0.00072	0.6720
			80	0.119	3.02	0.302	7.67	0.00050	0.4620
3/8	0.675	17.15	40	0.091	2.31	0.493	12.52	0.00133	1.231
			80	0.126	3.20	0.423	10.74	0.00098	0.9059
1/2	0.840	21.34	40	0.109	2.77	0.622	15.80	0.00211	1.961
			80	0.147	3.73	0.546	13.87	0.00163	1.511
3/4	1.050	26.67	40	0.113	2.87	0.824	20.93	0.00371	3.441
			80	0.154	3.91	0.742	18.85	0.00300	2.791
1	1.315	33.40	40	0.133	3.38	1.049	26.64	0.00600	5.574
			80	0.179	4.45	0.957	24.31	0.00499	4.641
1 1/8	1.660	42.16	40	0.140	3.56	1.380	35.05	0.01040	9.648
			80	0.191	4.85	1.278	32.46	0.00891	8.275
1 1/2	1.900	48.26	40	0.145	3.68	1.610	40.89	0.01414	13.13
			80	0.200	5.08	1.500	38.10	0.01225	11.40
2	2.375	60.33	40	0.154	3.91	2.067	52.50	0.02330	21.65
			80	0.218	5.54	1.939	49.25	0.02050	19.05
2 1/2	2.875	73.03	40	0.203	5.16	2.469	62.71	0.03322	30.89
			80	0.276	7.01	2.323	59.00	0.02942	27.30
3	3.500	88.90	40	0.216	5.49	3.068	77.92	0.05130	47.69
			80	0.300	7.62	2.900	73.66	0.04587	42.61
3 1/2	4.000	101.6	40	0.226	5.74	3.548	90.12	0.06870	63.79
			80	0.318	8.08	3.364	85.45	0.06170	57.35
4	4.500	114.3	40	0.237	6.02	4.026	102.3	0.08840	82.19
			80	0.337	8.56	3.826	97.18	0.07986	74.17
5	5.563	141.3	40	0.258	6.55	5.047	128.2	0.1390	129.1
			80	0.375	9.53	4.813	122.3	0.1263	117.5
6	6.625	168.3	40	0.280	7.11	6.065	154.1	0.2006	186.5
			80	0.432	10.97	5.761	146.3	0.1810	168.1
8	8.625	219.1	40	0.322	8.18	7.981	202.7	0.3474	322.7
			80	0.500	12.70	7.625	193.7	0.3171	294.7

Tabel 5.12 Koefisien Kerugian Dari Berbagai Katup

2.4 Head 39


Tabel 2.20 Koefisien kerugian dari berbagai katup.

Jenis katup \ Diameter (mm)	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.200	1.350	1.500	1.650	1.800	2.000	
Katup sorong	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	= 0													
Katup kupu-kupu	0,6–0,16 (bervariasi menurut konstruksi dan diameternya)																		
Katup putar	0,09–0,026 (bervariasi menurut diameternya)																		
Katup cegah jenis ayun			1,2	1,15	1,1	1,0	0,98	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88							
Katup cegah tutup-cepat jenis tekanan			1,2	1,15	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4							
Katup cegah jenis angkat bebas	1,44	1,39	1,34	1,3	1,2														
Katup cegah tutup-cepat jenis pegas	7,3	6,6	5,9	5,3	4,6														
Katup kepak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9–0,5 (bervariasi menurut diameternya)						
Katup isap (dengan saringan)	1,97	1,91	1,84	1,78	1,72														

Tabel 5.13 Koefisien Kerugian Belokan Pipa

Tabel 2.15 Koefisien kerugian belokan pipa.

θ	5	10	15	22,5	30	45	60	90
f Halus	0,016	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
Kasar	0,024	0,44	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265



Tabel 5.14 Sifat Fisik Air

Physical properties of water (SI units)

Temperature T (°C)	Specific Weight γ (kN/m ³)	Density ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity ^a ($\times 10^{-3}$ kg/m-s)	Kinematic Viscosity ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	Surface Tension ^c (N/m)	Modulus of Elasticity ^d ($\times 10^9$ N/m ²)	Vapor Pressure P_v (kN/m ²)
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.0765	1.98	0.61
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.0749	2.05	0.87
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.0742	2.10	1.23
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.0735	2.15	1.70
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.0728	2.17	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.0720	2.22	3.17
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.0712	2.25	4.24
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.0696	2.28	7.38
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.0679	2.29	12.33
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.0662	2.28	19.92
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.0644	2.25	31.16
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.0626	2.20	47.34
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.0608	2.14	70.10
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.0589	2.07	101.33

Sumber: Kerry J.Howe ,dkk, John Wiley & Sons, Inc. (2012). *Principles of Water Treatment*

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)
JULI - SEPTEMBER 2023**

NO.	DOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVAh (Rp/kVAh)	
1.	R-1/TR	300 VA-RTM	*	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*	1.444,70	1.444,70
3.	R-1/TR	2.200 VA	*	1.444,70	1.444,70
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*	1.599,53	1.599,53
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*	1.599,53	1.599,53
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*	1.444,70	1.444,70
7.	B-3/TM	d' atas 200 kVA	**	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = 1.035,78 kVAh = 1.114,74 ****	-
8.	I-3/TM	d' atas 200 kVA	**	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = 1.035,78 kVAh = 1.114,74 ****	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVAh = 996,74 ****	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*	1.599,53	1.599,53
11.	P-2/TM	d' atas 200 kVA	**	Blok WBP = $K \times 1.415,01$ Blok LWBP = 1.415,01 kVAh = 1.522,88 ****	-
12.	P-3/TR		*	1.599,53	1.599,53
13.	L/TR, TM, TT		-	1.444,70	-

Catatan :

* Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$
 Diterapkan Rekening Minimum (RM).

** $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

*** Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM3 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

**** Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVAh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem tenaga listrik setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
 LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

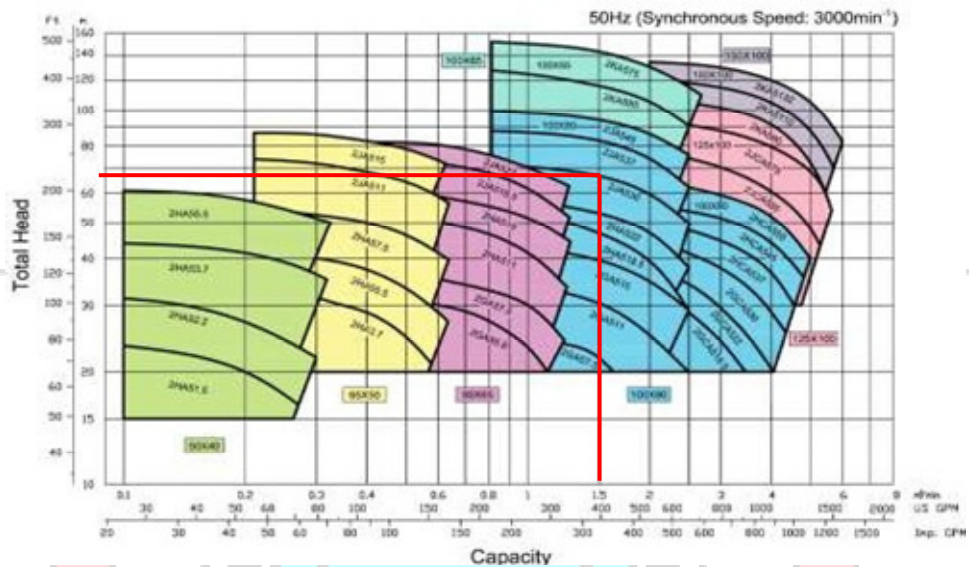
Gambar 5.11 Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik
Sumber : (Tariff Adjustment) Juli – September 2023

CAPACITY FACTOR (CF)	
Typical capacity factors for power generating plants (%)	
Technologies	Capacity factor (%)
• Gas turbine combined cycle	80-90
• Internal Combustion engine	85
• Nuclear	90
• Average Coal Plant (Steam)	68-75
• Biomass Steam Plant	68
• Geothermal	90
• Hydropower	44-90
• Wind turbine	30
• Solar/PLTS	20.8

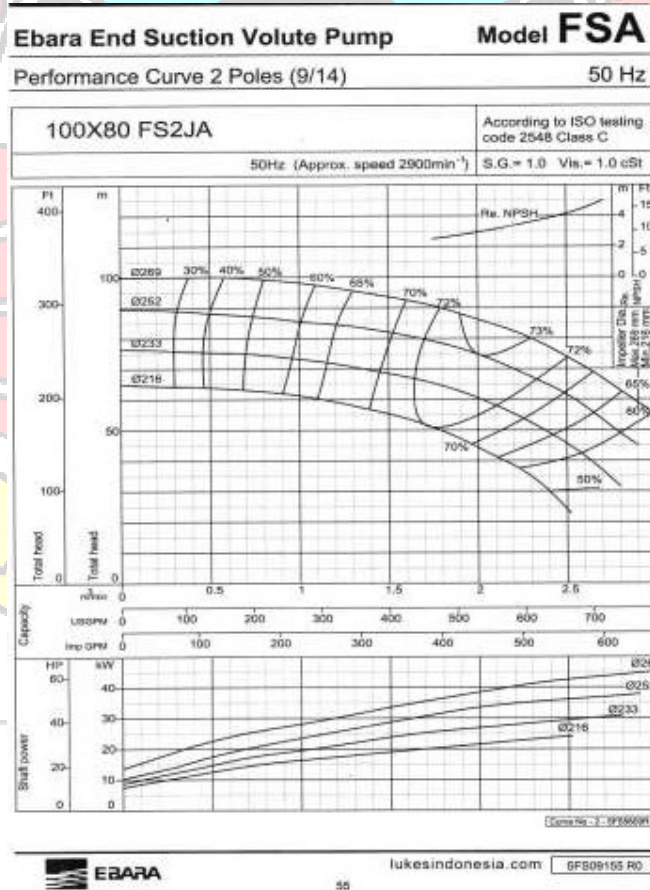
Gambar 5.12 Kapasitas Faktor (CF)

LAMPIRAN V
SPESIFIKASI POMPA,
DESAIN PIPA &
SIMULASI *SOFTWARE*
EPANET 2.2





Gambar 5.13 Grafik Pemilihan Pompa Merk Ebara Tipe 2 Kutub 50 Hz



Gambar 5.14 Grafik Efisiensi Performma Pompa Ebara Tipe 100X80FS2JA

Tabel 5.15 Spesifikasi Pompa Merk Ebara Tipe 100X80FS2JA

Ebara End Suction Volute Pump **Model FSA**
Specifications **50 Hz**

■ Pump

Description		Standard		Optional	
		2 poles model	4 poles model	2 poles model	4 poles model
Liquid	Name	Clean water			
	Temperature	0 to 80 °C (32 to 176 °F)			
Max. Working Pressure		10 bar (10.2 kgf/cm ²) for standard flange JIS 10K RF 16 bar (16.3 kgf/cm ²) for standard flange JIS 16K RF		16 bar (16.3 kgf/cm ²)	
Synchronous Speed		3000 min ⁻¹	1500 min ⁻¹		
Installation		Indoors		Outdoors	
Construction	Impeller	Enclosed			
	Shaft seal	Mechanical seal		Gland Packing	
	Sealing	Self flushing		External flushing	
	Bearing	Sealed ball bearing		Oil bath (some models only)	
Flange	Suction & Discharge	Suction = φ 150 mm, except 100x65 FSKA : JIS 10K RF		16 bar : JIS 16K RF; DIN PN-16	
		100x65 FSKA : JIS 16K RF		DIN PN-16	
		Suction = φ 150 mm, except below models : JIS 10K RF		16 bar : JIS 16K RF; DIN PN-16	
		150x100 FSKA; 150x100 FSNA : JIS 16K RF		DIN PN-16	
		Suction = φ 200 mm, except below models : JIS 10K RF		16 bar : JIS 16K RF; DIN PN-16	
		200x150 FSJA; 200x150 FSNA : JIS 16K RF		DIN PN-16	
Material	Casing	Cast Iron		Ductile Cast Iron (FCI)	
	Impeller	Bronze Casting (CAC406/BC8)		Cast iron; Ductile Cast Iron (FCI)	
	Shaft	403 Stainless steel		304; 316 Stainless steel	
	Seal	Mechanical Seal: Ceramic/Carbon/NBR		Gland Packing: Teflon (PTFE) impregnated Mechanical Seal: SiC/SiC	
Accessories	Bare shaft			Priming funnel; valve; Companion Flange	
	With motor	Common base, Coupling, Coupling guard		Priming funnel; valve; Companion Flange	

■ Paint

Part Name	Material (JIS Code)	Standard		Optional Inner Surface
		Inner Surface	Outer Surface	
Casing	Cast Iron (FC)	1 coat of Zinc chromate primer	Under coat - 1 coat of Zinc chromate primer Finish coat	1 coat of Tar epoxy resin
Bearing Housing Bearing Cover	Cast Iron (FC)		- 1 coat of Phthalic resin enamel	
Common Base	Cast Iron (FC)	Under coat - 1 coat of Zinc chromate primer Finish coat		
	Steel	- 1 coat of Phthalic resin enamel		



lukesindonesia.com TD5FS03104R0

Instruksi Kerja Pengoperasian Pumped Stroge Hydropower (Pompa Elmot)

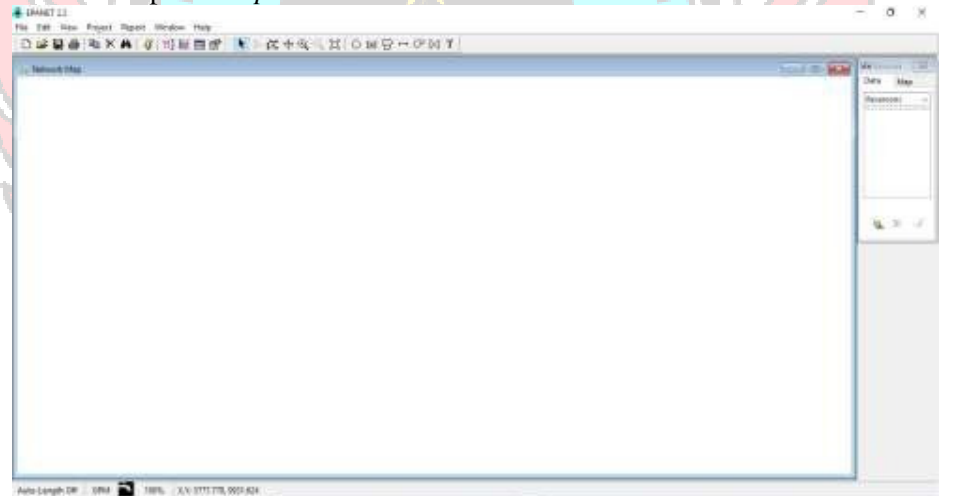
- Menghidupkan pompa :
 1. Mengecek dan memeriksa terlebih dahulu semua sambungan panel yang ada di rumah pompa, *grounding cable*, kemudian cek sambungan pipa dengan flanges.

2. Membuka *valve* yang ada di jalur pipa *suction* dan *discharge* (*headpond*).
3. Yakinkan bahwa itu semua dalam keadaan baik dan aman, kemudian hidupkan panel pompa yang akan dipakai.
4. Selama pompa dioperasikan setiap saat diadakan pengawasan.

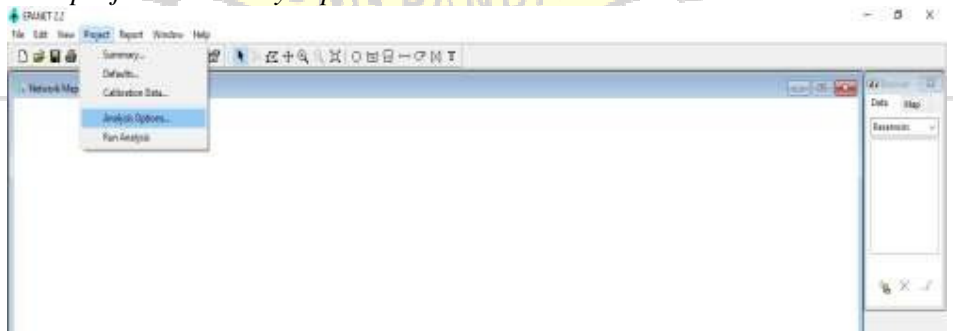
- Mematikan pompa :
 1. Matikan pompa dengan menekan tombol *off* di panel pompa
 2. Pastikan pompa sudah benar benar tidak beroperasi
 3. Tutup *valve* pada jalur *discharge* dan *suction*

Langkah - langkah penentuan *head* menggunakan *software epanet 2.2*

1. Membuka aplikasi *Epanet 2.2*



2. Pilih *project* → *analysis options*.



3. Kemudian pilih *flow units* menjadi LPS dan *headloss formula* menjadi D-W



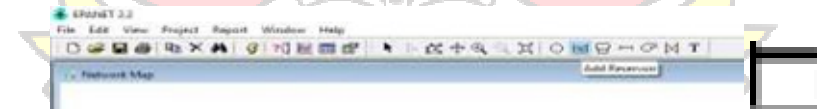
4. Kemudian Buka Lagi *project* → *Defaults*



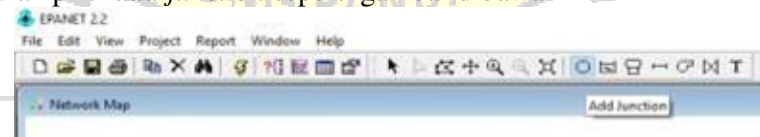
5. Kemudian ubah *Pipe Diameter* menjadi 202 dan *Pipe Roughness* menjadi 0.15 dan klik *OK*



6. Kemudian pilih *add reservoir* untuk membuat *reservoir* atau sumber air seperti gambar dibawah



7. Kemudian pilih *add junction* seperti gambar dibawah



- Kemudian untuk menyambung *reservoir* dan *junction* klik *add pipe* seperti gambar dibawah



- Kemudian isi parameter *reservoir*, dengan cara klik kiri 2 kali untuk tag-nya diisi sungai tangka dan total *head* diasumsikan 0

Property	Value
Reservoir ID	2
X-Coordinate	-4236.410
Y-Coordinate	6769.231
Description	
Tag	SungaiTangka
Total Head	0
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

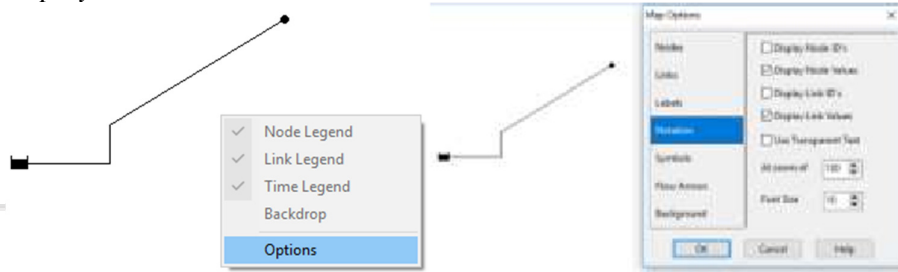
- Kemudian isi parameter pipa, dengan cara klik kiri 2 kali untuk tagnya diisi total pipa, *length* 227.25 meter, diameter 202 mm, dan *roughness* 0.15 karena pipa berjenis galvanis.

Property	Value
Pipe ID	1
Start Node	2
End Node	1
Description	
Tag	TotalPipa
Length	227.25
Diameter	202
Roughness	0.15
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A

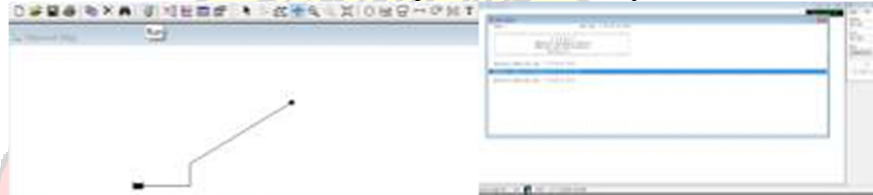
- Kemudian isi parameter *junction*, dengan cara klik kiri 2 kali untuk Tagnya diisi *headpond*, *elevation* 64.26 meter, dan *base demand* 26 Lps .

Property	Value
Junction ID	1
X-Coordinate	-411.369
Y-Coordinate	6712.137
Description	
Tag	Headpond
Elevation	64.26
Base Demand	26
Demand Pattern	
Demand Category	
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A

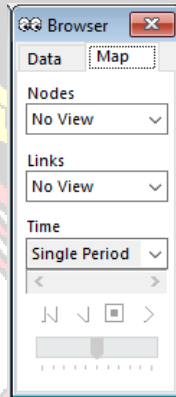
12. Kemudian klik kanan lembar kerja lalu pilih *option* → *notation* lalu ceklis *display node values* dan *Link values* dan klik *ok*



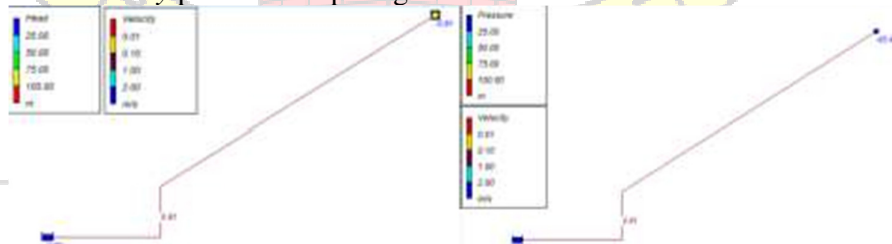
13. Kemudian klik *run* dan saat *status report* muncul cukup di *close*

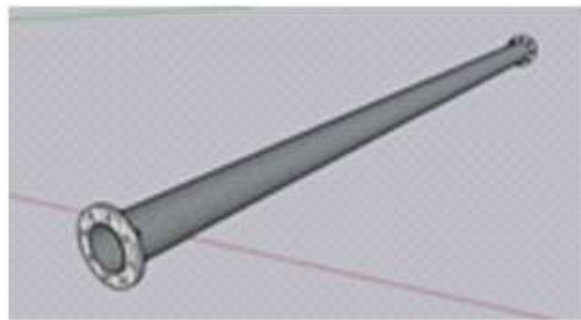
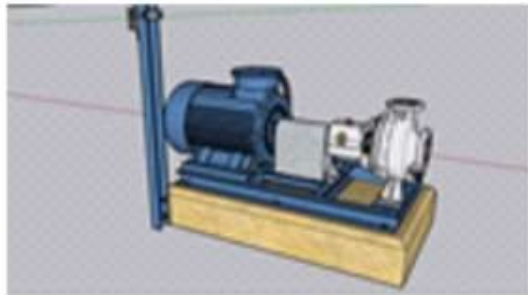
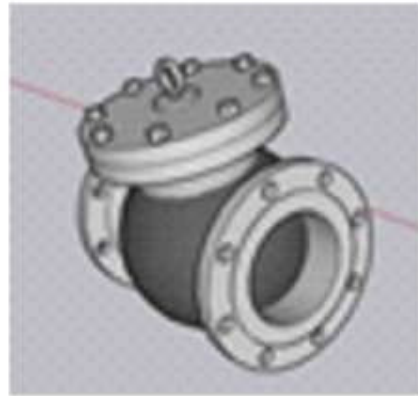


14. Kemudian buka *menu map* dibagian sisi paling kanan pilihan *node* menunjukkan parameter *junction* sebagai *headpond* dan *links* menunjukkan parameter pipa

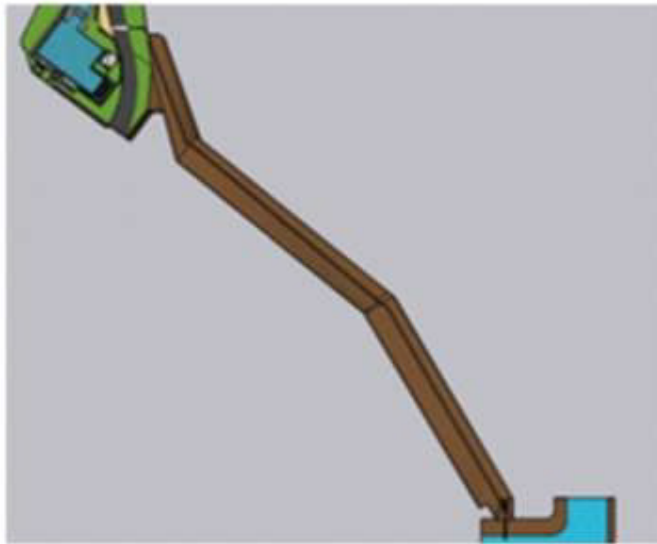


15. Jika kita ingin mengetahui berapa *head* pada *headpond* kita bisa memilih *head* pada *nodes* dan dapat mengetahui berapa kecepatan aliran pada pipa dengan memilih *velocity* pada *links* seperti gambar dibawah

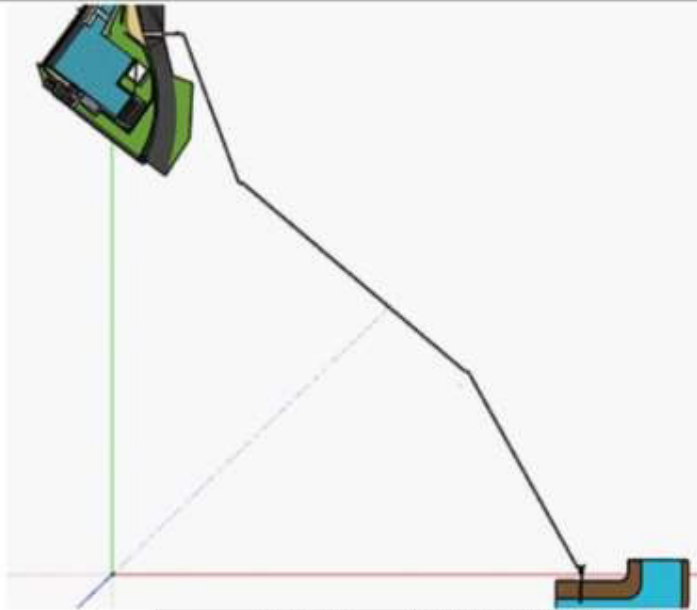




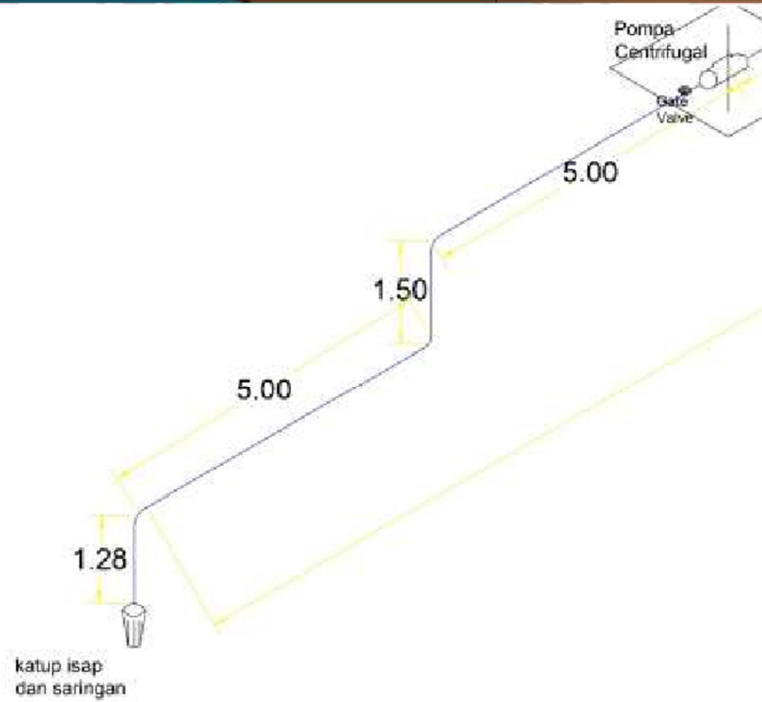
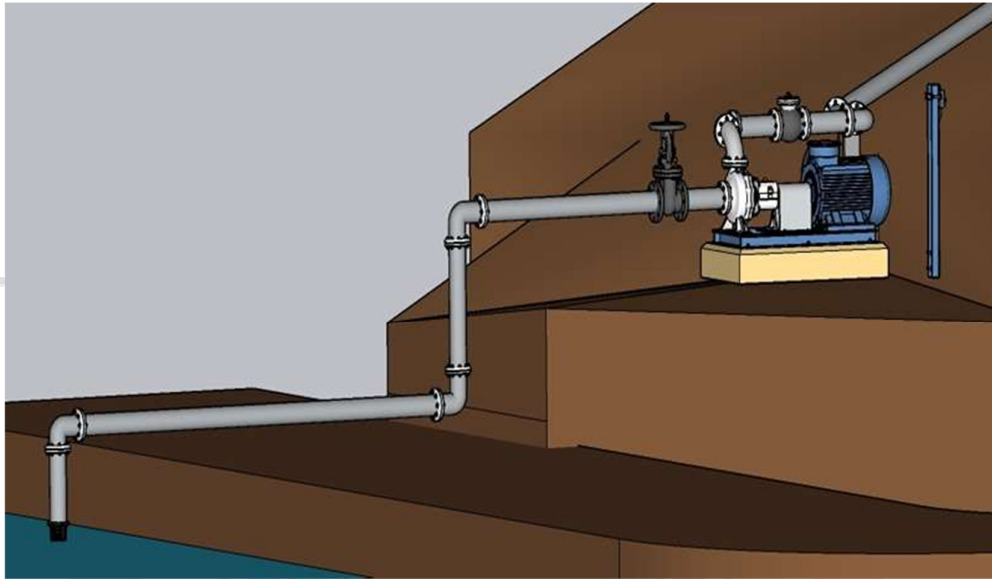
	Skala : 0	Digambar : Capstone Project Team	No. Gambar Komponen – komponen Pipa
	Sheet : 1 Of 1	Diperiksa : Coach	
	Tanggal : 7/8/2023	Disetujui : Coach	
Client : PT. Tombolo Energi	ETIKET 2	Revisi : 0	A3



	Skala : 1 : 1	Digambar : Capstone Project Team	Nama Gambar	
	Sheet : 1 of 1	Diperiksa : Coach	Tampak Atas Jalur Pipa	
	Tanggal : 14/12/2015	Direvisi : Coach		
Klien : PT. Tambora Energi	Politeknik Negeri Ujung Pandang	Revisi : 0	A3	



	Skala : 1 : 1	Digambar : Capstone Project Team	Nama Gambar	
	Sheet : 1 of 1	Diperiksa : Coach	Tampak Atas Jalur Pipa	
	Tanggal : 14/12/2015	Direvisi : Coach		
Klien : PT. Tambora Energi	Politeknik Negeri Ujung Pandang	Revisi : 0	A3	



Gambar 5.15 Desain Jalur Pipa Sisi Suction Dan Pompa

LAMPIRAN VI JADWAL PENELITIAN & DOKUMENTASI KEGIATAN



Tabel 5.16 Jadwal Penelitian

Project Leader : Nur Pratiwi Septiriani	Bulan	Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September			
	Pekan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Kontrak Proyek																													
Deskripsi dan Perjanjian																													
Studi Kelayakan																													
Investigasi Lokasi																													
Konsep Desain																													
Estimasi Bahan dan Peralatan																													
Analisis Perencanaan																													
Perencanaan Instalasi Pompa																													
Perencanaan Instalasi Pipa																													
Analisis Ekonomi dan Keuangan																													
Presentasi Tinjauan Studi Kelayakan (Seminar Proposal)																													
Presentasi Hasil Perencanaan (Seminar Hasil)																													





Gambar 5.16 Dokumentasi PLTMH PT.Tombolo Energi



Gambar 5.17 Dokumentasi Survey Lapangan Dan Diskusi Dengan Pihak PT.Tombolo Energi



Gambar 5.18 *Reservoir* Alami, Saluran *Waterway*, Saluran Pelimpah Dan Saluran *Tailrace* PLTMH PT.Tombolo Energi



Gambar 5.19 Pengukuran Saluran *Waterway*, Saluran Masuk *Headpond*, *Tailrace* Menggunakan *Current Meter* & Rambu Ukur



Gambar 5.20 Pengukuran *Tailrace* Turbin 2,5 MW Dan 0.5 MW Menggunakan *Current Meter* & Rambu Ukur



Gambar 5.21 Pengukuran Panjang, Lebar, Dan Kedalam *Reservoir* Alami Menggunakan Roll Meter & Rambu Ukur



Gambar 5.22 Pengukuran Kecepatan aliran Menggunakan Alat Ukur *Current Meter* Dan Bola Kasti (Metode Apung)



Gambar 5.23 Pengukuran Volume *Reservoir* Alami



Gambar 5.24 Penentuan Titik Acuan Bada tinggi MDPL Menggunakan Apps *My Elevation* & Pengukuran Bada Tinggi Menggunakan Alat Ukur *Theodolite*



Gambar 5.25 Diskusi Tim Dalam Mengerjakan Proyek



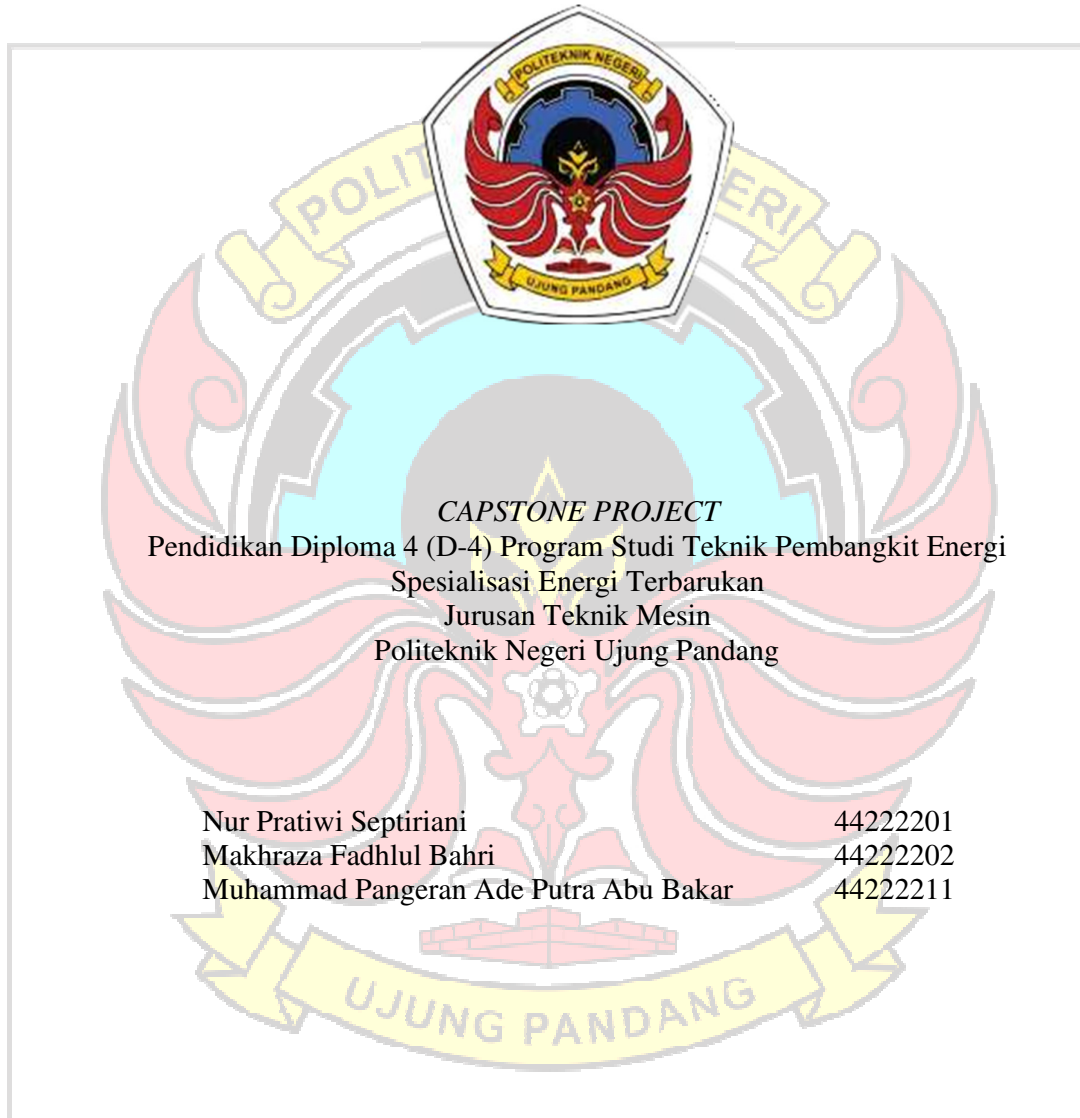
Gambar 5.26 Dokumentasi Tim Proyek



Gambar 5.27 Dokumentasi Evaluasi *Capstone Project* Dengan Pihak RESD Dan Dosen - Dosen D4 Teknik Pembangkit Eneгри Spesialisasi Energi Terbarukan



OPTIMALISASI PENGOPERASIAN PLTMH PT. TOMBOLO ENERGI PADA
SAAT MUSIM KEMARAU DENGAN *PUMPED STORAGE HYDROPOWER*



CAPSTONE PROJECT
Pendidikan Diploma 4 (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Spesialisasi Energi Terbarukan
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Nur Pratiwi Septiriani	44222201
Makhraza Fadhlul Bahri	44222202
Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar	44222211

PENDIDIKAN DIPLOMA 4 (D-4) PROGRAM STUDI TEKNIK
PEMBANGKIT REKAYASA TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2022/2023

HALAMAN PENGESAHAN

Capsone Project dengan judul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT.Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*” oleh Nur Pratiwi Septiriani NIM 44222201, Makhraza Fadhlul Bahri NIM 44222202, dan Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar NIM 44222211 dinyatakan telah diterima dan disahkan.

Makassar, 04 September 2023

Ketua Team



Nur Pratiwi Septiriani
NIM 44222201

Anggota Team



Makhraza Fadhlul Bahri
NIM 44222202

Anggota Team,



Muhammad Pangeran Ade
Putra Abu Bakar
NIM 44222211

Menyetujui,

Coach I,



Dr. Ir. Firman, M.T.

NIP. 19641231 199103 1 028

Coach II,



Indra Mutiara, S.T., M.T.

NIP 19810311 201404 1 002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
D4 Teknik Perawatan dan
Pemeliharaan Perangkat Energi



Ir. Chandra Buana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 003

Project Client,
Manager PT.Tombolo Energi



Ir. Andi Nadiwan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. Atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga *capstone project* yang berjudul,

“Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan Pumped Stroke Hydropower”. Dapat penulis selesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta inspirasi kepada penulis untuk menyelesaikan *capstone project* ini.
2. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudari penulis yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada penulis dalam menyelesaikan *capstone project* 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 Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. selaku wali kelas.
7. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Indra Mutiara, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan *capstone project* ini.

8. PT.Tombolo Energi selaku perusahaan yang telah mengizinkan untuk dilakukannya *capstone project* ini.
9. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas dan sarana dalam mengerjakan *capstone project*.
10. Seluruh rekan-rekan mahasiswa teknik Mesin angkatan 2022 terkhusus kepada sodara dan sodari Fahrudin, Nur Rahmah Firman, Musdolifah Habibuddin yang telah menjadi banyak memberikan motivasi, batuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
11. Buat semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam menyelesaikan *capstone project* ini.

Penulis menyadari bahwa seminar hasil ini masih kurang sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang, akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Makassar, 04 September 2023

Penulis

RANGKUMAN EKSEKUTIF (*EXECUTIVE SUMMARY*)

Pengoptimalan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) PT.Tombolo Energi selama musim kemarau merupakan tantangan dalam memastikan pasokan energi yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, sistem penyimpanan energi berupa Pumped Storage Hydropower (PSH) dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi fluktuasi pasokan air yang terjadi selama musim kemarau.

Proyek penelitian bertujuan merancang sistem PSH untuk mengoptimalkan produksi energi selama periode musim kemarau pada PLTMH PT.Tombolo Energi. Kondisi hidrologis yang bervariasi selama musim kemarau dipertimbangkan dalam desain perancangan untuk mengakomodasi fluktuasi pasokan air dengan memperoleh solusi optimal berdasarkan parameter seperti kapasitas suplai dan biaya investasi. Desain sistem dihitung dan dianalisis untuk mendapatkan spesifikasi pompa dan rancangan instalasi pipa.

Dari hasil tersebut didapat spesifikasi pompa dengan kapasitas suplai 500 US PGM atau sama dengan $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ dan head max 80 m serta desain pipa dan komponen lainnya yang berdiameter 8 in. Biaya untuk rancangan sistem PSH tersebut berkisar Rp 348.119.111,00 tidak termasuk biaya sumber energi dengan investasi umur proyek 30 tahun, suku bunga 8,44 % dan net cash flow sama per tahun sebesar Rp 106.464.786,80. Sehingga untuk paramter kelayakannya rancangan sistem PSH dengan NPV bernilai positif, BCR 3,305 lebih besar dari 1, payback periode selama 3,270 tahun dan nilai IRR 16,19%.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR	i
RANGKUMAN EKSEKUTIF (<i>EXECUTIVE SUMMARY</i>)	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan <i>Capstone Project</i>	4
1.4 Tujuan Klien.....	5
1.5 Ruang Lingkup.....	5
1.6 Manfaat.....	5
1.7 Penugasan Kerja.....	6
BAB II DESKRIPSI SITUASI AWAL	7
BAB III METODOLOGI.....	9
3.1 Deskripsi Pelaksanaan Proyek.....	9
3.2 Desain Teknis.....	10
3.2.1 Analisis Penentuan Desain Pompa dan Perencanaan Desain Pipa.....	13
3.2.2 Analisis Estimasi Biaya Proyek Dan Kelayakan Ekonomi.....	13
BAB IV HASIL DAN DISKUSI.....	14
4.1 Analisis Perhitungan Debit.....	14

4.1.1	Perhitungan Debit Pada Saluran Masuk <i>Headpond</i> PLTMH Menggunakan <i>Current Meter</i> ($Q_{Headpond}$)	14
4.1.2	Perhitungan Debit Sesaat Aliran Sungai Menggunakan Benda Apung ($Q_{sesaat\ Sungai}$)	16
4.1.3	Perhitungan Debit Yang Akan Ke Suplai <i>Headpond</i> (Q_{suplai})	17
4.2	Perhitungan <i>Head</i> Menggunakan <i>Theodolite</i> (H_{statis})	18
4.3	Perhitungan Sistem Pipa	20
4.3.1	Menghitung Diameter Dalam Dan Kecepatan Air Dalam Pipa	20
4.3.2	Menghitung Bilangan <i>Reynold</i> (N_{Re})	21
4.3.3	Menghitung <i>Head</i> Total (H_{Tot})	22
4.3.4	Penentuan Spesifikasi Pompa	26
4.3.5	Perhitungan Kavitasi	30
4.4	Perhitungan Daya	32
4.4.1	Perhitungan Daya Hidrolik Pompa	32
4.4.2	Perhitungan Daya Poros Pompa	32
4.5	Diagram Hasil Debit Dan <i>Head</i>	33
4.5.1	Diagram Hasil Debit	33
4.5.2	Diagram Hasil <i>Head</i>	34
4.6	Analisis Aspek Biaya Proyek PSH	35
4.6.1	Biaya Investasi	35
4.6.2	Biaya O&M	37
4.6.3	Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>)	37
4.6.4	Biaya Energi (<i>Cost Of Energy</i>)	38
4.7	Analisis Kelayakan Investasi Proyek PSH	38
4.7.1	<i>Net Present Value</i> (NPV)	41
4.7.2	<i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	42

4.7.3 <i>Payback Period (PP)</i>	43
4.7.4 <i>Internal Rate Of Return (IRR)</i>	43
4.8 <i>Biaya Tahunan (Annual Cost)</i>	45
4.9 <i>Manajemen Stakeholder</i>	52
4.10 <i>Manajemen Risiko</i>	56
BAB V REKOMENDASI	59
DAFTAR PUSTAKA	60



DAFTAR GAMBAR

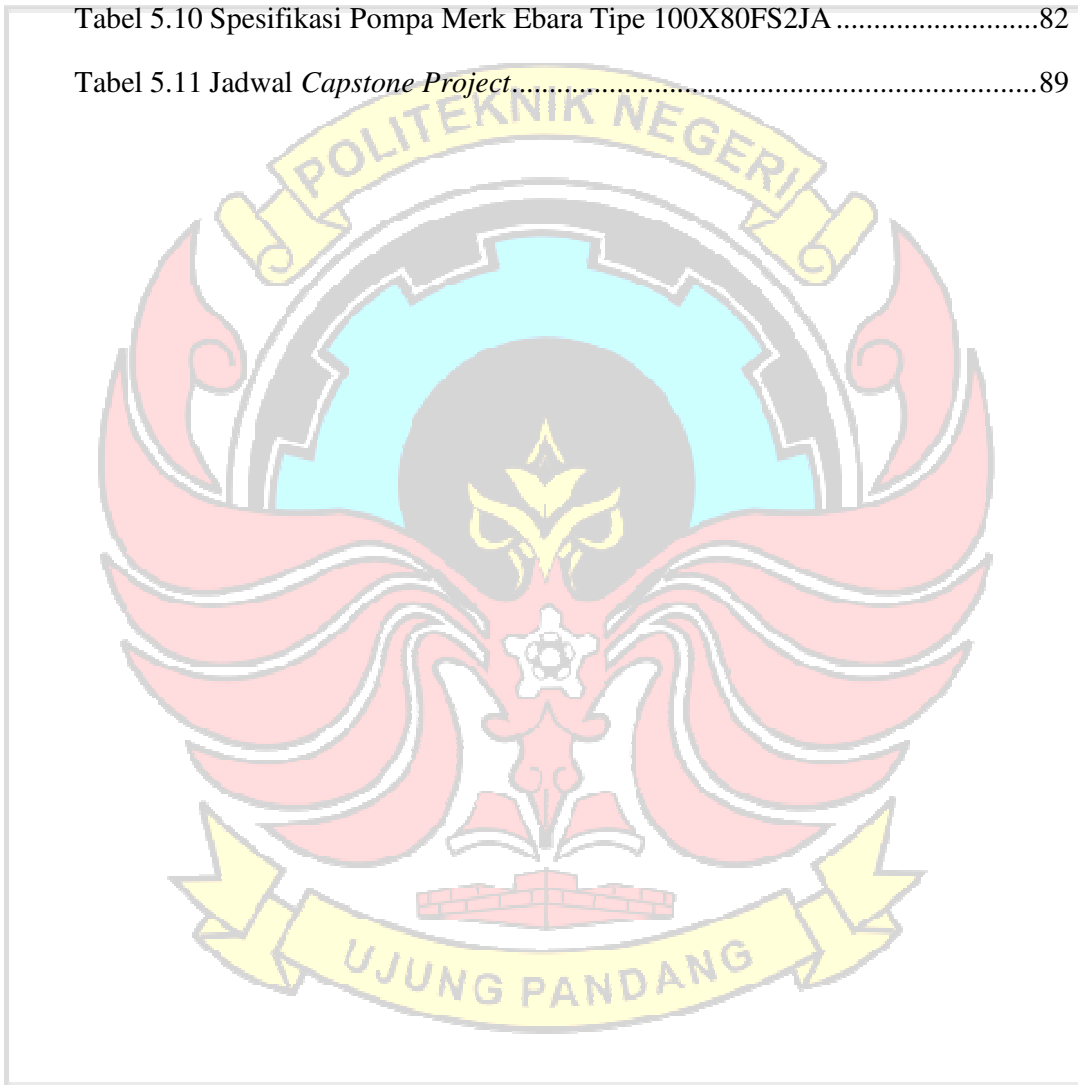
Gambar 3.1 Skema Diagram Perencanaan	10
Gambar 3.2 Ilustrasi Proyek.....	12
Gambar 4.1 Saluran Masuk <i>Headpond</i>	15
Gambar 4.2 Luas Penampang Sungai	16
Gambar 4.3 Grafik Diagram Perbandingan Debit Berdasarkan Kebutuhan	33
Gambar 4.4 Diagram Perbandingan Head.....	34
Gambar 4.5 <i>Capacity Factor</i> (CF)	46
Gambar 4.7 <i>Matrix</i> Manajemen <i>Stakeholder Capstone Project PLTMH Pumped Storage Hydropower</i>	53
Gambar 4.8 <i>Matrix Curva Risk Capstone Project PLTMH Pumped Storage Hydropower</i>	58
Gambar 5.1 Aliran Air Pada PLTMH Tombolo Pao	75
Gambar 5.2 Luas Penampang Saluran <i>Waterways</i>	76
Gambar 5.3 Luas Penampang Saluran Masuk <i>Headpond</i>	76
Gambar 5.4 Luas Penampang Saluran <i>Tailrace</i> Turbin Kapasitas 0,5 MW	77
Gambar 5.5 Luas Penampang Saluran <i>Tailrace</i> Turbin Kapasitas 2,5 MW	77
Gambar 5.6 Luas Penampang Saluran <i>Tailrace</i> Gabungan	78
Gambar 5.7 Luas Penampang <i>Reservoir</i> Sumber (Aliran Sungai Tangka).....	78
Gambar 5.8 Volume <i>Headpond Minimum</i>	79
Gambar 5.9 Grafik Pemilihan Pompa Merk Ebara Tipe 2 Kutub 50 Hz	81
Gambar 5.10 Grafik Efisiensi Performa Pompa Ebara Tipe 100X80FS2JA	81
Gambar 5.11 Desain Jalur Pipa Sisi <i>Suction</i> Dan Pompa	87
Gambar 5.12 Dokumentasi PLTMHPT.Tombolo Energi	90
Gambar 5.13 Dokumentasi Survey Lapangan Dan Diskusi Dengan Pihak PT.Tombolo Energi	90

Gambar 5.14 Reservoir Alami, Saluran <i>Waterway</i> , Saluran Pelimpah, Dan Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH PT.Tombolo Energi	90
Gambar 5.15 Pengukuran Saluran <i>Waterway</i> , Saluran Masuk <i>Headpond</i> , <i>Tailrace</i> Menggunakan <i>Current Meter</i> & Rambu Ukur	91
Gambar 5.16 Pengukuran <i>Tailrace</i> Turbin 2,5 MW Dan 0.5 MW Menggunakan <i>Current Meter</i> & Rambu Ukur	91
Gambar 5.17 Pengukuran Panjang, Lebar, Dan Kedalam <i>Reservoir</i> Alami Menggunakan <i>Roll Meter</i> & Rambu Ukur	91
Gambar 5.18 Pengukuran Kecepatan aliran Menggunakan Alat Ukur <i>Current Meter</i> Dan Bola Kasti (Metode Apung)	91
Gambar 5.19 Pengukuran Volume <i>Reservoir</i> Alami	92
Gambar 5.20 Penentuan Titik Acuan Beda tinggi MDPL Menggunakan <i>Apps My Elevation</i> & Pengukuran Beda Tinggi Menggunakan Alat Ukur <i>Theodolite</i>	92
Gambar 5.21 Diskusi Tim Dalam Mengerjakan Proyek	92
Gambar 5.22 Dokumentasi Tim Proyek.....	92
Gambar 5.23 Dokumentasi Evaluasi <i>Capstone Project</i> Dengan Pihak RESD Dan Dosen - Dosen D4 Teknik Pembangkit Eneгри Spesialisasi Energi Terbarukan.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kumpulan Solusi Yang Serupa Dengan Proyek Tugas Akhir	7
Tabel 4.1 Data Debit PLTMH PT.Tombolo Pao.....	17
Tabel 4.2 A.5-1 <i>Dimensions Of Standard Steel Pipe</i>	20
Tabel 4.3 Sifat Fisik Air.....	21
Tabel 4.4 Koefisien Kerugian <i>Valve Dan Fittings</i>	24
Tabel 4.5 Rincian Biaya Investasi.....	35
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan NPV, BCR Dan PP	40
Tabel 4.7 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun	43
Tabel 4.8 Perhitungan NPV Suku Bunga 10% Selama 30 Tahun.....	44
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan NPV Menggunakan <i>Annual Cost</i>	48
Tabel 4.10 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan <i>Annual Cost</i>	49
Tabel 4.11 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan <i>Annual Cost</i>	50
Tabel 4.12 Manajemen <i>Stakeholder Capstone Project PLTMH Pumped Storage Hydropower</i>	54
Tabel 4.13 Manajemen Risiko Proyek PSH.....	57
Tabel 5.1 Pengukuran Debit Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH Turbin 0,5 M Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	65
Tabel 5.2 Tabel Pengukuran Debit Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH Turbin 2,5 M Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	65
Tabel 5.3 Pengukuran Debit Saluran <i>Tailrace</i> PLTMH Turbin 2,5 M Dan 0,5 Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	66
Tabel 5.4 Pengukuran Debit Saluran <i>Water Way</i> PLTMH Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	66
Tabel 5.5 Pengukuran Debit Saluran Masuk <i>Headpond</i> PLTMH Metode <i>Mid Section</i> Menggunakan <i>Current Meter</i>	67

Tabel 5.6 Pengukuran Debit Sesaat Aliran Sungai Tangka Menggunakan Benda Apung	68
Tabel 5.8 Pengukuran <i>Theodolite</i>	70
Tabel 5.9 Hasil Pengolahan <i>Head</i>	73
Tabel 5.10 Spesifikasi Pompa Merk Ebara Tipe 100X80FS2JA	82
Tabel 5.11 Jadwal <i>Capstone Project</i>	89



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Pengukuran Debit Dan Data Debit Perusahaan 2007.....	64
Lampiran II	Pengukuran Beda Tinggi <i>Reservoir</i> Sumber Air Dengan <i>Headpond</i> & Hasil Analisis Data <i>Head</i>	69
Lampiran III	Gambar Sketsa Luas Penampang Saluran Pada Pltmh Dan <i>Reservoir</i> Sumber (Aliran Sungai Tangka).....	74
Lampiran IV	Spesifikasi Pompa & Desain Instalasi Pipa.....	80
Lampiran V	Jadwal <i>Capstone Project</i> & Dokumentasi Kegiatan.....	88
Lampiran VI	Surat Perizinan	94
Lampiran VII	<i>Site Visit Report</i>	96
Lampiran VIII	Proyek Deskripsi	99
Lampiran IX	<i>Project Agreement</i>	105



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup berlimpah, salah satunya banyak aliran sungai yang terletak di desa-desa dan daerah terpencil. Aliran sungai yang memiliki debit tertentu dapat dimanfaatkan untuk membuat pembangkit listrik salah satunya, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan dayanya 500 W-100 kW (Poapa, 2017). PLTMH adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Dimana keunggulan dari PLTMH sendiri adalah dapat beroperasi sehari penuh karena air tidak tergantung siang dan malam serta pengoperasian PLTMH tidak memerlukan biaya yang mahal (Ointu *et al.*, 2020).

Salah satu PLTMH yang terdapat di Sulawesi Selatan adalah PLTMH Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa yang telah beroperasi sejak tahun 2015 milik PT Tombolo Energi anak perusahaan dari PT Bumi Karsa (Kalla Group) dengan kapasitas 3 MW. PLTMH ini memiliki dua unit pembangkit dengan masing-masing kapasitasnya 2,5 MW dan 0,5 MW.

PLTMH Tombolo Pao memberikan kontribusi kepada masyarakat setempat, juga memberikan kontribusi terhadap dunia pendidikan karena

PLTMH tersebut sering dijadikan tempat kunjungan industri bagi mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang dan beberapa perguruan tinggi lainnya. Keberadaan PLTMH dapat meningkatkan kesejahteraan dan ekonomi

masyarakat, sebagaimana harapan Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan.

Pada musim hujan PLTMH Tombolo Pao dapat membangkitkan daya sebesar 3 MW dengan mengoperasikan kedua turbinnya, sedangkan pada musim kemarau hanya dapat mengoperasikan 1 turbin dengan kapasitas daya 0,5 MW. Pada saat musim kemarau panjang volume air dari sungai mengalami penurunan, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air dilakukan sistem penampung terlebih dahulu pada bendung. Kemudian disalurkan ke *headpond* selama ± 5 jam hingga volume air pada *headpond* terpenuhi dan turbin dapat beroperasi. Namun berdasarkan dari informasi operator bahwa pada saat turbin beroperasi, volume air pada *headpond* lebih cepat berkurang dibandingkan saat waktu pengisian. Sehingga pada saat volume minimum, operator akan menonaktifkan turbin dan akan mengoperasikan kembali ketika volume air pada terpenuhi, begitu seterusnya. Akan tetapi ketika waktu pengisian ke *headpond* memakan waktu yang cukup lama (hingga berhari-hari) maka turbin tidak akan dioperasikan, melainkan akan dilakukan perawatan. Dari permasalahan tersebut peneliti ingin berinovasi dengan memanfaatkan teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH).

Teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH) merupakan salah satu sistem penyimpanan energi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia sejak tahun 1890-an yang mencapai perkiraan kapasitas terpasang sebesar 130 GW (Pérez-Díaz *et al.*, 2015). Di Indonesia sendiri pusat listrik tenaga air teknologi *pumped storage* berada di Jawa Barat yang merupakan proyek PLTA

didalam RUPTL 2019- 2028 yaitu 2 lokasi yang menjadi usulan PLTA *Pumped Storage* Matenggeng (943 MW) dan PLTA *Pumped Storage* Grindulu (1000 MW) (Rahmanta, 2022). Di sisi lain PSH dapat digunakan untuk menstabilkan sistem kelistrikan sehingga dapat dimanfaatkan dalam skala besar dan biayanya yang ekonomis dibandingkan dengan penggunaan baterai (Florian *et al*, 2015). Adapun penelitian yang mendukung tentang teknologi *pumped-storage hydropower* yaitu teknologi ini dapat meningkatkan kembali energi sekitar 70% – 80% dari input energi (Yang & Jackson, 2011). Dan beberapa hasil kajian yang menunjukkan bahwa sistem *pumped-storage hydropower* bisa memberikan *payback period* lebih cepat sekitar 2,5 - 5,5 tahun (Pramono & Lasman, 2020).

Berdasarkan permasalahan dan kajian yang telah dilakukan penulis, penulis berkeinginan untuk melakukan *capstone project* di perusahaan PT. Tombolo Energi yang berfokus pada turbin kapasitas 0,5 MW dengan judul **“Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*”**. Dimana *ouput* dari penelitian ini berupa saran desain perancangan *pumped storage hydropower*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana menentukan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau ?
2. Bagaimana desain instalasi pipa dari sumber air sampai ke *reservoir* untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau ?
3. Berapa biaya pompa dan instalasi pipa optimalisasi pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower*?

1.3 Tujuan Capstone Project

Adapun pencapaian yang ingin dicapai oleh *coach* dan tim mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang program studi D4 Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan dalam *capstone project* ini yaitu :

1. Menentukan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
2. Mendesain instalasi pipa dari sumber mata air sampai ke *reservoir* untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
3. Menentukan biaya instalasi dan kelayakan investasi.

1.4 Tujuan Klien

Adapun harapan pencapaian yang diinginkan oleh PT.Tombolo Energi dalam *capstone project* ini yaitu :

1. Mengefektifkan Kerja turbin 0,5 MW dengan menjaga debit pada *headpond*.
2. Menerapkan prosedur operasi dan pemeliharaan sesuai standar yang ada.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari *capstone project* ini adalah sebagai berikut :

1. Menjaga *level* air *headpond* PLTMH Tombolo Energi pada batas ambang amdal.
2. Menentukan spesifikasi pompa dan mendesain instalasi pipa pada optimalisasi pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower*.
3. Menentukan analisis biaya untuk pompa dan instalasi pipa pada analisis optimalisasi pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi pada saat musim kemarau dengan *pumped storage hydropower*.

1.6 Manfaat

a. Bagi Mahasiswa

Mendapatkan data untuk penyusunan *capstone project* yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma IV pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Spesialisasi Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

b. Bagi Perusahaan

Sebagai bahan rekomendasi dalam optimalisasi pengoperasian PLTMH Tombolo Pao pada saat musim kemarau baik dari segi energi yang dibangkitkan maupun peningkatan nilai profit perusahaan.

c. Bagi Masyarakat

Membantu menarik perhatian masyarakat setempat dalam pemanfaatan energi dan mengambil peran lebih dalam inovasi PLTMH serta bermanfaat dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.

1.7 Penugasan Kerja

Dalam *capstone project* ini terdiri dari, yaitu :

Coach :

- Dr. Ir. Friman, M.T.
- Indra Mutiara, S.T., M.T.

Tim Mahasiswa :

- Nur Pratiwi Septiriani (Ketua Tim) : Penyusunan laporan & Analisis ekonomi
- Makhrza Fadhlul Bahri : Penentuan spesifikasi pompa
- Muhammad Pangeran Ade Putra Abu Bakar : Desain instalasi pipa

BAB II DESKRIPSI SITUASI AWAL

Dalam tahap awal *capstone project* ini dilakukan proses observasi oleh tim mahasiswa untuk memastikan bahwa rancangan sistem yang diusulkan telah mengakomodasi kebutuhan dengan batasan realistis yang ditentukan berdasarkan tujuan *capstone project* ini. Untuk mencapai hal tersebut, tahapan observasi ini diawali dengan mengumpulkan informasi-informasi dasar tentang kebutuhan sistem yang akan digunakan, dalam hal ini adalah pihak PT.Tombolo Energi atau operator lapangan PLTMH PT.Tombolo Energi. Terdapat dua hal utama sebagai luaran dari proses observasi ini yaitu kumpulan informasi solusi yang memungkinkan dan spesifikasi sistem yang ada di PLTMH PT.Tombolo Energi. Proses observasi diawali dengan pengumpulan berbagai macam informasi berkaitan dengan solusi yang akan dirancang untuk menanggulangi permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya. Tabel 2.1 merupakan kumpulan beberapa sumber informasi yang akan membantu menjawab permasalahan dalam penelitian ini.

Tabel 2.1 Kumpulan Solusi Yang Serupa Dengan Proyek Tugas Akhir

Penulis	Usulan Solusi	Hasil/Evaluasi
(Rahmanta, 2022)	Analisis PASTEL & SWOT Pemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower Untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan Di Indonesia	Teknologi PSH merupakan teknologi energi terbarukan dan berkelanjutan yang memiliki fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan yang memungkinkan peningkatan stabilitas jaringan serta mendukung pengembangan sumber energi terbarukan yang terputus – putus, sehingga meminimalisir risiko pemadaman listrik

(Lampung, 2021)	Tinjauan Pemodelan Sistem Dan Formulasi Ekonomi Dispatch Untuk Sistem Tenaga Listrik Hibrida Berbasis Variable Renewable Energy Dengan PLTA Pumped Storage	Kelebihan teknologi pumped storage guna mendukung kegiatan ekonomi lokal dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan lokal.
-----------------	--	---

Berdasarkan hasil penelusuran tersebut, dapat dilihat bahwa hasil dan evaluasi yang terdapat pada jurnal-jurnal yang telah tim baca diatas secara umum menyatakan bahwa teknologi *pumped storage* merupakan teknologi yang fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan yang memungkinkan peningkatan stabilitas jaringan sistem serta mendukung ekonomi lokal dalam memanfaatkan potensi energi terbarukan lokal. Berdasarkan informasi yang didapatkan dari penelusuran beberapa literatur/ teknologi yang telah dikembangkan, serta informasi yang didapatkan dari pihak PLTMH PT.Tombolo Energi, maka tim menentukan hal – hal pokok yang menjadi acuan dalam perencanaan sistem *pumped storage*, yaitu :

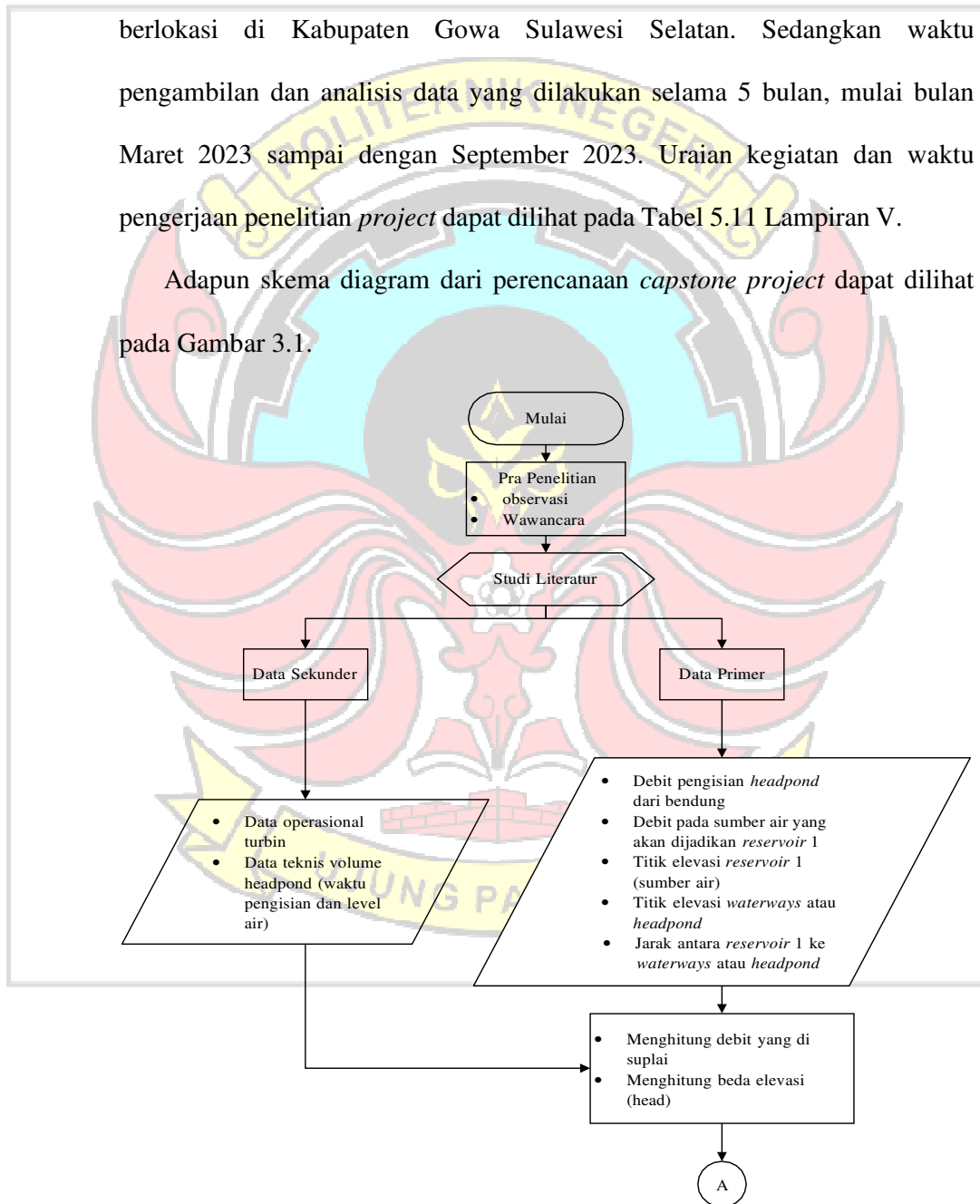
- Debit sungai atau sumber air yang akan dijadikan sebagai *reservoir* alami nilainya harus lebih besar dari nilai debit yang akan di suplai (tambahan debit air yang dibutuhkan) nantinya.
- Beda ketinggian antara *headpond* atau *waterway* dengan sungai atau sumber air

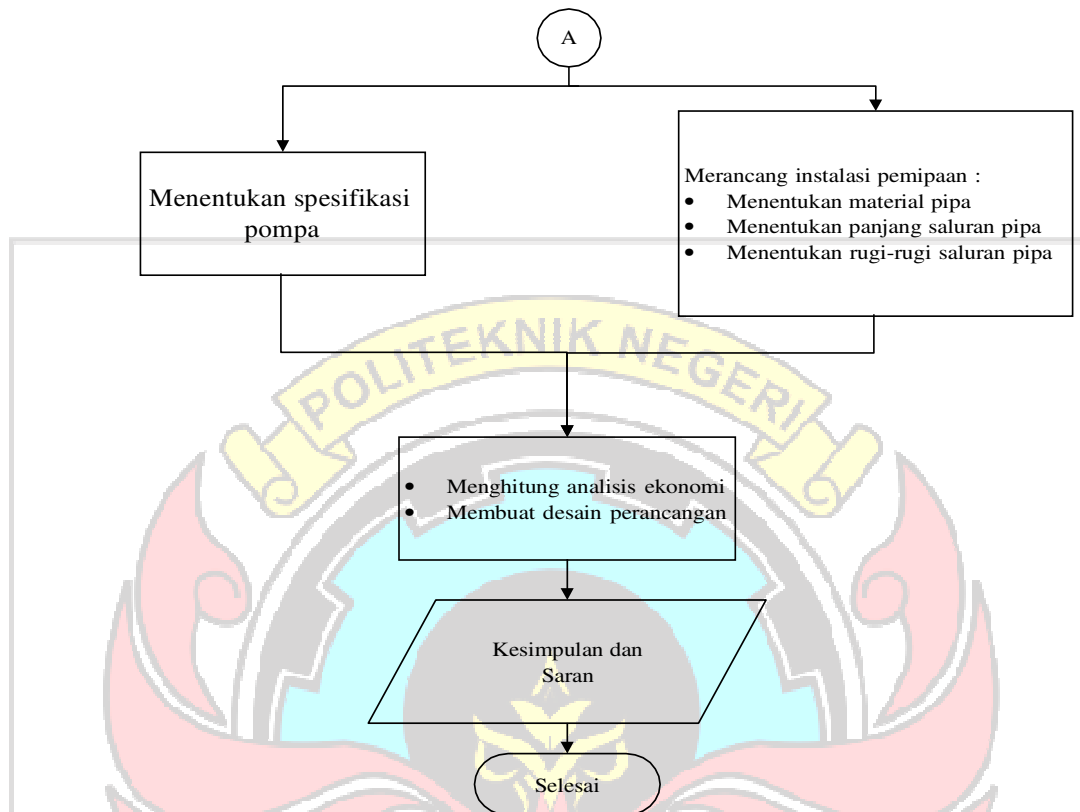
BAB III METODOLOGI

3.1 Deskripsi Pelaksanaan Proyek

Pengambilan Data dilaksanakan pada PLTMH PT.Tombolo Energi yang berlokasi di Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. Sedangkan waktu pengambilan dan analisis data yang dilakukan selama 5 bulan, mulai bulan Maret 2023 sampai dengan September 2023. Uraian kegiatan dan waktu pengerjaan penelitian *project* dapat dilihat pada Tabel 5.11 Lampiran V.

Adapun skema diagram dari perencanaan *capstone project* dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Skema Diagram Perencanaan

3.2 Desain Teknis

Ilustrasi awal perencanaan penelitian proyek dapat dilihat pada Gambar 3.2. Dimana penelitian ini berfokus pada pengoptimalisasian waktu kerja turbin kapasitas 0,5 MW saat musim kemarau. Dengan langkah – langkah perencanaan sebagai berikut :

1. Melakukan survey awal ke lokasi untuk melihat kondisi dan situasinya.
2. Menghitung kekurangan debit (Q_{suplai}) untuk operasi turbin 0,5 MW dengan menggunakan analisis numerik.
3. Mengukur debit sumber air yang akan dijadikan sebagai reservoir dengan menggunakan peralatan ukur seperti GPS geodetik *trimble R10*, *current meter*, *roll meter* dan rambu ukur.

4. Penentuan tipe sistem PSH yang digunakan.

Dalam penelitian ini menggunakan tipe *open loop* dikarenakan *reservoir* yang digunakan terhubung ke aliran air yang mengalir secara sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *lower reservoir* dan untuk *upper reservoir* digunakan bangunan *headpond* yang sudah ada pada PLTMH Tombolo pao.

5. Melakukan pengukuran beda ketinggian antara *lower reservoir* (sumber air) dan *upper reservoir (headpond)* menggunakan alat ukur *Theodolite*

6. Setelah mengetahui nilai dari langkah 2,3 dan 5, selanjut menentukan spesifikasi pompa.

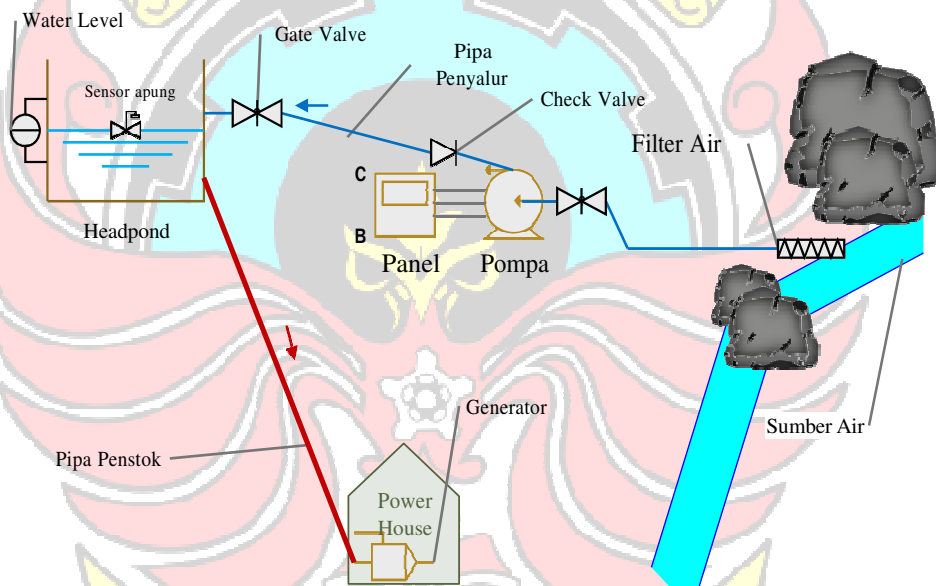
Penentuan spesifikasi pompa dilakukan berdasarkan nilai debit yang akan disuplai dan beda ketinggian antara *lower reservoir* (sumber air) dan *upper reservoir (headpond)*. Dalam perancangan ini digunakan pompa jenis sentrifugal, dimana *head* yang dihasilkan relatif rendah dengan debit yang lebih tinggi (Utomo, 2018). Hal tersebut sesuai dengan penelitian ini yang berfokus pada debit yang akan ditambahkan untuk memenuhi kekurangan debit yang ada. Sedangkan untuk pompa jenis *positive displacement* menghasilkan *head* yang tinggi tetapi kapasitas yang dihasilkan rendah (Lubis *et al.*, 2020).

7. Memilih material pipa dan komponen yang digunakan.

Pemilihan material pipa dan komponen pada penelitian ini menggunakan material *galvanis*. Material jenis ini mampu melindungi dari korosi maupun karat sehingga cocok untuk lingkungan *outdoor*, selain itu

material *galvanis* mudah didapatkan dipasar indonesia. Di sisi lain ketahanan terhadap gangguan fisik seperti hewan, ranting pohon yang jatuh, dan lain- lain material pipa *galvanis* lebih bagus dibandingkan dengan pipa PVC.

8. Mendesain instalasi pipa dari *lower reservoir* (sumber air) sampe dengan *upper reservoir (headpond)* menggunakan *software AutoCAD* untuk gambar 2 dimensi dan *software SketcUp* untuk gambar 3 dimensi.



Gambar 3.2 Ilustrasi Proyek

Data yang diperoleh akan dievaluasi dan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian ini, yaitu dengan melakukan perhitungan agar mendapatkan desain yang sesuai dengan apa yang diharapkan. Adapun perhitungan yang akan dilakukan yaitu analisis data untuk menentukan spesifikasi pompa, analisis data untuk perencanaan instalasi pipa dan analisis perhitungan untuk mengetahui kelayakan dari segi ekonomi pada sistem perencanaan ini.

3.2.1 Analisis Penentuan Desain Pompa dan Perencanaan Desain Pipa

Sebelum mengetahui spesifikasi pompa dan merancang desain pipa terlebih dahulu dilakukan perhitungan *head* total dan debit air yang akan disuplai dari sumber air ke *waterway/headpond*. Dimana sebelum itu dilakukan pengukuran *head* aktual dan debit dari *reservoir* yang akan dijadikan sebagai sumber air serta pengukuran debit yang ada pada *headpond* untuk mengetahui debit suplai yang akan digunakan untuk mencari spesifikasi pompa dan merancang desain pipa.

3.2.2 Analisis Estimasi Biaya Proyek Dan Kelayakan Ekonomi

Perhitungan estimasi biaya proyek penelitian ini merujuk pada anggaran awal dengan jumlah komponen yang dibutuhkan berdasarkan dari desain yang dibuat.

kelayakan investasi dari proyek ini dapat ditentukan dari parameter perhitungan diantaranya, *net present value* (NPV), *benefit cost ration* (BCR), *payback period* (PP) dan *internal rate of return* (IRR).

IRR merupakan perhitungan penting dalam keuangan terutama yang berhubungan dengan investasi. Lebih jelasnya, IRR adalah salah satu acuan penghitungan efisiensi dari sebuah investasi. Secara umum, semakin tinggi tingkat pengembalian internal, semakin diinginkan investasi untuk dilakukan (Mardatila, 2022).

BAB IV HASIL DAN DISKUSI

4.1 Analisis Perhitungan Debit

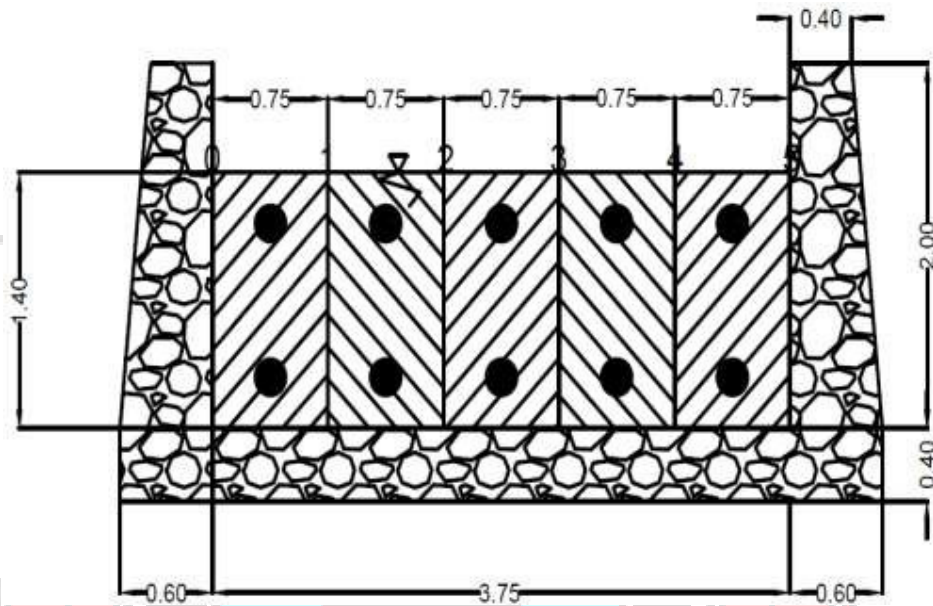
Pengukuran dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 14 dan 31

Mei 2023. Pada tanggal 14 Mei 2023 dilakukan pengukuran dan pengambilan data menggunakan alat ukur current meter pada saluran masuk headpond, saluran water way, saluran tailrace turbin kapasitas 0,5 MW dan saluran tailrace turbin kapasitas 2,5 MW, serta saluran tailrace gabungan. Adapun sketsa dengan keterangan debitnya dapat dilihat pada Gambar 5.1 Lampiran III. Dan pada tanggal 31 Mei 2023 dilakukan pengukuran dan pengambilan data aliran sungai (sungai tangka) yang akan dijadikan sebagai reservoir alami menggunakan metode apung (bola kasti dihayutkan pada aliran sungai dengan mengukur waktu tempuh pada jarak p).

Pengukuran dan pengambilan data yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kapasitas debit pada headpond, mengetahui debit reservoir alami yang dijadikan sebagai sumber air dan menentukan debit yang akan disuplai ke *headpond* untuk mengisi kekurangan air pada *headpond* selama musim kemarau.

4.1.1 Perhitungan Debit Pada Saluran Masuk *Headpond* PLTMH Menggunakan *Current Meter* (Q_{Headpond})

Dilakukan pengukuran dan analisis guna mengetahui kecepatan dan debit yang masuk ke *headpond* melalui saluran utama yang berasal dari bendungan (*waterway*).



Gambar 4.1 Saluran Masuk Headpond

Diketahui :

Jarak langsung = 3,75 m

Jarak interval masing – masing = 0,75 m

Tinggi muka air = 1,40 m

$$v_{0-1} = 0,8 \text{ m/s dan } 0,4 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{0-1} = \frac{0,8+0,4}{2} = 0,600 \text{ m/s}$$

$$v_{1-2} = 0,7 \text{ m/s dan } 0,3 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{1-2} = \frac{0,7+0,3}{2} = 0,500 \text{ m/s}$$

$$v_{2-3} = 0,7 \text{ m/s dan } 0,2 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{2-3} = \frac{0,7+0,2}{2} = 0,450 \text{ m/s}$$

$$v_{3-4} = 0,6 \text{ m/s dan } 0,4 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{3-4} = \frac{0,6+0,4}{2} = 0,500 \text{ m/s}$$

$$v_{4-5} = 0,6 \text{ m/s dan } 0,5 \text{ m/s, sehingga } \bar{v}_{4-5} = \frac{0,6+0,5}{2} = 0,550 \text{ m/s}$$

Penyelesaian :

$$A_{0-1} = \frac{0,75 \text{ m} + 0 \text{ m}}{2} \times 1,40 \text{ m} = 1,05 \text{ m}^2$$

$$Q_{0-1} = A_{0-1} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,600 \text{ m/s} = 0,630 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-2} = A_{1-2} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,500 \text{ m/s} = 0,525 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = A_{2-3} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,450 \text{ m/s} = 0,473 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = A_{3-4} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,500 \text{ m/s} = 0,525 \text{ m}^3/\text{s}$$

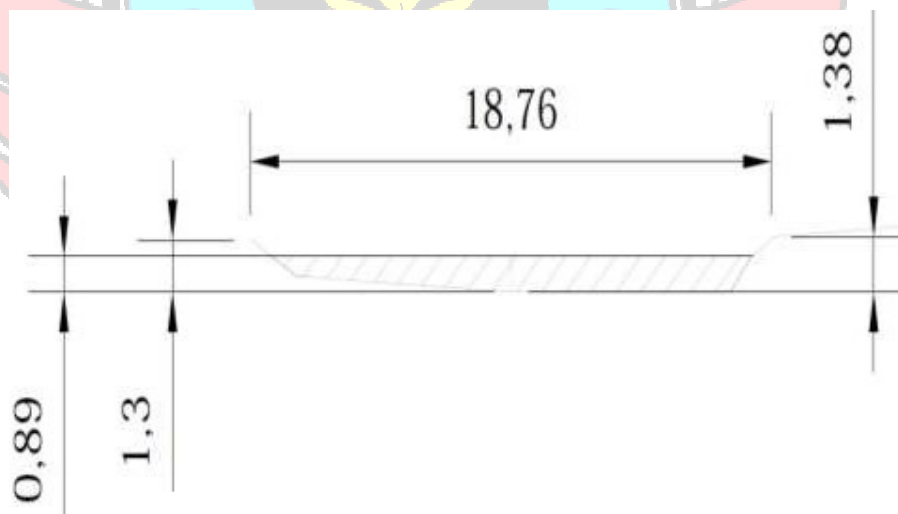
$$Q_{4-5} = A_{4-5} \times \bar{v} = 1,05 \text{ m}^2 \times 0,550 \text{ m/s} = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} Q_{Headpond} &= Q_{0-1} + Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-5} \\ &= (0,630 + 0,525 + 0,473 + 0,525 + 0,578) \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 2,730 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Debit Sesaat Aliran Sungai Menggunakan Benda Apung

($Q_{\text{sesaat Sungai}}$)

Pengukuran dan analisis pada aliran sungai bertujuan untuk mengetahui debit yang tersedia pada sungai yang akan dijadikan sebagai *reservoir* sumber.



Gambar 4.2 Luas Penampang Sungai

Diketahui :

Panjang aliran yang dilalui bola apung = 9,4 m

Luas penampang sungai = 13,052 m² (diketahui dari output hasil pengukuran alat geodetik yang di konversi menjadi gambar pada *software autocad*)

$t_{\text{rata-rata}} = 71,429 \text{ s}$

$$V_{\text{rata-rata}} = 0,132 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha \text{ (Faktor Koreksi)} = 0,70 - 0,90$$

Ditanya : $Q_{\text{Sesaat rata-rata}} \dots ?$

Penyelesaian :

$$Q_{\text{Sesaat rata-rata}} = \alpha \times v_{\text{rata-rata}} \times A_{\text{penampang sungai tangka}}$$

$$Q_{\text{Sesaat rata-rata}} = 0,80 \times 0,132 \text{ m/s} \times 13,052 \text{ m}^2 = 1,357 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.1.3 Perhitungan Debit Yang Akan Ke Suplai *Headpond* (Q_{suplai})

Nilai debit air yang akan di suplai ke *headpond* di dapat dari hasil analisis dan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

$$H_{\text{PLTMH PT.Tombolo Pao}} = 105 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{\text{sept}} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (berdasarkan Tabel 4.1)}$$

Tabel 4.1 Data Debit PLTMH PT.Tombolo Pao

Tahun	Bulan											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Jun.	Jul.	Agt.	Sep	Okt.	Nop.	Des.
2007	12,07269	15,76613	6,719648	10,51769	4,340073	5,335197	1,707224	0,795118	0,360178	2,003702	3,809447	10,94003

Sumber : (PT.Tombolo Energi, 2015)

Diasumsikan pada bulan september tahun 2007 (Data PLTMH PT.Tombolo Pao) sebagai puncak musim kemarau. Adapun daya yang terbangkit pada bulan september 2007 yaitu :

$$P = \rho \times Q \times g \times H_{\text{PLTMH PT.Tombolo Pao}}$$

$$P = 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,36 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 105 \text{ m}$$

$$P = 370,150 \text{ Watt} = 0,370 \text{ MW}$$

Dari nilai daya terbangkit sebesar 0,037 MW dianggap sebagai daya
minum yang dapat dibangkitkan PLTMH PT.Tombolo Poa.

$$Q_{0,5 \text{ MW}} : \text{Min} = 0,386 \text{ m}^3/\text{s}, \text{Max} = 0,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2,5 \text{ MW}} : \text{Min} = 0,61 \text{ m}^3/\text{s}, \text{Max} = 2,98 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{0,5 + 2,5 \text{ MW}} : \text{Min} = 2,98 \text{ m}^3/\text{s}, \text{Max} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Penyelesaian :

Untuk operasi turbin 0,5 MW tambahan debit yang dibutuhkan yaitu :

$$Q_{s \text{ 0,5 MW}} = Q_{\text{min 0,5 MW}} - Q_{\text{sept 2007}}$$

$$Q_{s \text{ 0,5 MW}} = 0,386 \text{ m}^3/\text{s} - 0,36 \text{ m}^3/\text{s} = 0,026 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Perhitungan *Head* Menggunakan *Theodolite* (H_{statis})

Data pengukuran *head* menggunakan alat *Theodolite* dapat dilihat pada

Tabel 5.7 Lampiran II. Adapun data yang digunakan yaitu :

DT3 : BM Dusun (BS) – J2 (FS)

DT4 : J2 (BS) – JS2 (FS)

DT5 : JS2 (BS) – JS3 (FS)

DT6 : JS3 (BS) – JS5 (FS)

DT7 : JS5 (BS) – Pinggir Sungai (FS)

Sebagai contoh analisis data *head* digunakan data DT3 : BM Dusun (BS)
dan J2 (FS) sebagai beriku :

Diketahui :

$$t_a = 1,332 \text{ m}$$

	BM Dusun (BS)	J2 (FS)
ba	= 1,312 m	= 1,671 m
bt	= 1,125 m	= 1,465 m
bb	= 0,942 m	= 1,253 m
h	= 0°0'0"	= 159°27'15"
ver	= 85°0'35" = 85,010	= 94°53'25" = 94.890

Ditanya : D_{AB} dan ΔH DM Dusun (BS) ... ?

D_{AB} dan ΔH J2 (FS) ... ?

ΔH DM Dusun (BS) - J2 (FS) ... ?

Penyelesaian :

- DT3 BM Dusun (BS)

$$\alpha = 90^\circ - \text{ver} = 90^\circ - 85,010^\circ = 4,990^\circ$$

$$D_{AB} = (ba - bb) \times 100 \times (\cos \alpha)^2$$

$$= (1,312 \text{ m} - 0,942 \text{ m}) \times 100 \times (\cos 4,990^\circ)^2 = 36,720 \text{ m}$$

$$\Delta H = ta - bt + (D_{AB} \times \tan a)$$

$$= 1,332 \text{ m} - 1,125 \text{ m} + (36,720 \times \tan 4,990^\circ) = 3,413 \text{ m}$$

- DT3 J2 (FS)

$$\alpha = 90^\circ - \text{ver} = 90^\circ - 94,890 = -4,890^\circ$$

$$D_{AB} = (ba - bb) \times 100 \times (\cos \alpha)^2$$

$$= (1,671 \text{ m} - 1,253 \text{ m}) \times 100 \times (\cos -4,890^\circ)^2 = 41,496 \text{ m}$$

$$\Delta H = ta - bt + (D_{AB} \times \tan a)$$

$$= 1,332 \text{ m} - 1,465 \text{ m} + (41,496 \text{ m} \times \tan -4,890^\circ) = -5,015 \text{ m}$$

- DT3 BM Dusun (BS) - J2 (FS)

$$\Delta H = \Delta H \text{ BM Dusun (BS)} - \Delta H \text{ J2 (FS)}$$

$$= 3,413 \text{ m} - (-5,015 \text{ m}) = 8,429 \text{ m}$$

Dari hasil analisis yang dilakukan di dapat nilai H_{statis} adalah 62,55 m. Adapun hasil analisis selisih *head* dan nilai D_{AB} dari keseluruhan data dapat dilihat pada Tabel 5.8 Lampiran II.

4.3 Perhitungan Sistem Pipa

4.3.1 Menghitung Diameter Dalam Dan Kecepatan Air Dalam Pipa

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_{s, 0.5 \text{ MW}}}{\pi \times v}}$$

Diasumsikan kecepatan dalam pipa sebesar 1 m/s untuk dapat diameter pipa yang akan digunakan.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times 1}} = 0,179 \text{ m} = 7 \text{ in}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat diameter pipa sebesar 7 in (0,179 m), namun kebanyakan yang terjual di pasar adalah pipa *galvanis* dengan diameter 8 in. Sehingga pada penelitian proyek ini menggunakan pipa *galvanis* diameter 8 in. Adapun dimensi – dimensi standar pipa dapat diketahui dari Tabel 4.2.

Tabel 4.2 A.5-1 *Dimensions Of Standard Steel Pipe*

Nominal Pipe Size (in.)	Outside Diameter		Schedule Number	Wall Thickness		Inside Diameter		Inside Cross-Sectional Area	
	in.	mm		in.	mm	in.	mm	ft ²	m ² × 10 ²
8	8.625	219.1	40	0.322	8.18	7.981	202.7	0.3474	322.7
			80	0.500	12.70	7.625	193.7	0.3171	294.7

Setelah mengetahui diameter dalam pipa 8 in sebesar 7,981 in (0,202 m), maka dapat diketahui kecepatan dalam pipa yang sebenarnya dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{Dalam pipa}} = \frac{4 \times Q}{3,14 \times D_{\text{inside}}^2} = \frac{4 \times 0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times (0,202 \text{ m})^2} = 0,812 \text{ m/s}$$

Sehingga kecepatan air dalam pipa adalah , $V_{\text{Dalam pipa}} = 0,812 \text{ m/s}$

4.3.2 Menghitung Bilangan Reynold (N_{Re})

Asumsi suhu air pada *reservoir* sumber (aliran sungai tangka) pada tanggal 31 Mei adalah $\pm 20^\circ\text{C}$. Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui parameter untuk mencari nilai bilangan *reynold*.

Tabel 4.3 Sifat Fisik Air

Physical properties of water (SI units)

Temperature T (°C)	Specific Weight γ (kN/m ³)	Density ^a ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity ^b μ (× 10 ⁻³ kg/m·s)	Kinematic Viscosity ν (× 10 ⁻⁶ m ² /s)	Surface Tension ^c σ (N/m)	Modulus of Elasticity ^d E (× 10 ⁹ N/m ²)	Vapor Pressure P _v (kN/m ²)
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.0765	1.98	0.61
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.0749	2.05	0.87
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.0742	2.10	1.23
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.0735	2.15	1.70
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.0728	2.17	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.0720	2.22	3.17
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.0712	2.25	4.24
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.0696	2.28	7.38
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.0679	2.29	12.33
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.0662	2.28	19.92
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.0644	2.25	31.16
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.0626	2.20	47.34
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.0608	2.14	70.10
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.0589	2.07	101.33

Sumber: Kerry J.Howe ,dkk, John Wiley & Sons, Inc. (2012). *Principles of Water*

Treatment

Diketahui :

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,002 \times 10^{-3} \text{ kg/ms} = 0,001002 \text{ kg/ms}$$

Penyelesaian :

$$R = \frac{\rho \cdot v \cdot D_{\text{inside}}}{\mu}$$

$$Re = \frac{998,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,812 \text{ m/s} \times 0,202 \text{ m}}{0,001002 \text{ kg/ms}} = 163401,953$$

Berdasarkan ketentuan $Re > 4000$ merupakan aliran turbulen maka, nilai $Re = 163401,953$ adalah aliran jenis turbulen. Setelah mendapatkan jenis

alirannya maka dapat ditentukan koefisien gesek (f) pada pipa lurus sebagai berikut dengan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach* sebagai berikut :

$$f = 0,02 + \frac{0,0005}{D_{inside}}$$

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{0,202} = 0,023$$

4.3.3 Menghitung *Head Total* (H_{Tot})

- **Menghitung *Head Statis* (H_s)**

$$H_s = H_{Dis} \text{ (m)} + H_{Suc} \text{ (m)}$$

$$H_s = 60,55 \text{ m} + 2 \text{ m} = 62,55 \text{ m}$$

- **Menghitung *Head Tekanan* (H_p)**

ΔH_p adalah selisih atau beda tekanan yang terjadi pada permukaan air yang ada pada sungai dan permukaan pada headpond. Tekanan pada permukaan air yang ada pada sungai dan *headpond* adalah sama 1 atm (tekanan lingkungan sekitar) karena termasuk saluran terbuka. Sehingga $\Delta H_p = 0$.

- **Menghitung *Head Losses* (H_l)**

Head losses yang terjadi adalah jumlah total *major losses* dan *minor losses* yang terjadi pada pipa suction dan pipa discharge.

1. Menghitung *Head Losses Sisi Suction* ($H_{l\text{ suc}}$)

- a. Gesekan sepanjang pipa isap sampai pompa

Diketahui :

$l_{\text{suc}} = 13 \text{ m}$ (berdasarkan desain perencanaan)

$$H_{l\text{ mayor}} = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}} = \frac{0,023 \times 13 \text{ m} \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}}$$

$$H_{l\text{ mayor}} = 0,061 \text{ m}$$

- b. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_{l\text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 3 \times \frac{0,75 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l\text{ minor}} = 0,093 \text{ m}$$

- c. Gesekan pada *gate valve*

$$H_{l\text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l\text{ minor}} = 0,008 \text{ m}$$

- d. Gesekan pada katup isap dan saringan

$$H_{l\text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{1,91 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,049 \text{ m}$$

Koefisien *radius elbow*, *gate valve* dan katup gesek beserta saringan berdasarkan pada Tabel 4.4 yang mengacu pada diameter pipa *suction*.

Tabel 4.4 Koefisien Kerugian *Valve Dan Fittings*

TABLE 2.10-1. *Friction Loss for Turbulent Flow Through Valves and Fittings*

Type of Fitting or Valve	Frictional Loss, Number of Velocity Heads, K_f	Frictional Loss, Equivalent Length of Straight Pipe in Pipe Diameters, L_e/D
Elbow, 45°	0.35	17
Elbow, 90°	0.75	35
Tee	1	50
Return bend	1.5	75
Coupling	0.04	2
Union	0.04	2
Gate valve		
Wide open	0.17	9
Half open	4.5	225
Globe valve		
Wide open	6.0	300
Half open	9.5	475
Angle valve, wide open	2.0	100
Check valve		
Ball	70.0	3500
Swing	2.0	100
Water meter, disk	7.0	350

Source : R. H. Perry and C. H. Chilton, *Chemical Engineers' Handbook*, 5th ed. New York : McGraw-Hill Book Company, 1973. With permission.

Maka, *Head losses* total pada sisi *suction* :

$$H_{l \text{ suc}} = 0,061 \text{ m} + 0,093 \text{ m} + 0,008 \text{ m} + 0,049 \text{ m} = 0,211 \text{ m}$$

2. Menghitung *Head Losses Sisi Discharge* ($H_{l \text{ dis}}$)

a. Gesekan sepanjang pipa dari pompa ke *headpond*

$$l_{\text{Dis}} = 226,39 \text{ m (berdasarkan desain perencanaan)}$$

$$H_{l \text{ mayor}} = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}}$$

$$H_{l \text{ mayor}} = \frac{0,023 \times 226,39 \text{ m} \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}} = 0,866 \text{ m}$$

b. Gesekan pada belokan pipa (patahan 26°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{26^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{26^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,053$$

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,053 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l \text{ minor}} = 0,002 \text{ m}$$

c. Gesekan pada belokan pipa (patahan 13°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{13^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{13^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,013$$

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,013 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l \text{ minor}} = 0,0004 \text{ m}$$

d. Gesekan pada belokan pipa (patahan 7°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{7^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{7^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,004$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,004 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0001 \text{ m}$$

e. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_{l \text{ minor}} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 7 \times \frac{0,75 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l \text{ minor}} = 0,217 \text{ m}$$

f. Gesekan pada *check valve*

$$H_{l\ minor} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{2 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,083 \text{ m}$$

g. Gesekan pada *gate valve*

$$H_{l\ minor} = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{l\ minor} = 0,008 \text{ m}$$

Maka, *head losses* total pada sisi *discharge* :

$$H_{l\ dis} = (0,866 + 0,002 + 0,0004 + 0,0001 + 0,217 + 0,083 + 0,008) \text{ m}$$

$$H_{l\ dis} = 1,177 \text{ m}$$

Menghitung *head losses total*

$$H_l = H_{l\ suc} + H_{l\ dis} = 0,211 \text{ m} + 1,177 \text{ m} = 1,388 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } H_{Tot} = H_s + \Delta H_p + H_l + \frac{v^2}{2g}$$

$$H_{Tot} = 62,55 \text{ m} + 0 + 1,388 \text{ m} + \frac{(0,812 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 63,922 \text{ m}$$

4.3.4 Penentuan Spesifikasi Pompa

Setelah mengetahui nilai *head* total sebesar 63,922 m dan debit yang akan disuplai untuk turbin 0,5 MW dan turbin 2,5 Mw sebesar 0,026 m³/s dan 0,25 m³/s. Dari nilai *head* dan debit tersebut dapat ditentukan spesifikasi pompa yang akan digunakan. Dimana jenis pompa yang digunakan adalah pompa

sentrifugal dengan spesifikasi pompa sebagai berikut :

ELECTRIC HYDRANT PUMP :

Merk	: EBARA
Type	: 100X80 FSJA
Cap.	: 500 US GPM
Head Max.	: 80 M
Sealling	: Gland Paking
Power	: 45 KW/ 60 HP/ 380 V/ 50 HZ/ 2 Pole/ 2950
RPM	

Dari data spesifikasi pompa tersebut dapat diketahui kecepatan aliran dalam pipa dengan debit 500 US GPM = 0,032 m³/s.

Diketahui :

$D_{\text{inside}} = 0,202 \text{ m}$ (diameter pipa yang digunakan)

$$v = \frac{4 \times Q}{3,14 \times D^2} = \frac{4 \times 0,032 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times 0,202^2 \text{ m}} = 0,999 \text{ m/s}$$

4.3.4.1 Menghitung Bilang Reynold (Re) Berdasarkan Spesifikasi Pompa

Asumsi suhu air pada *reservoir* sumber (aliran sungai tangka) $\pm 20^\circ\text{C}$, sehingga untuk mencari bilangan reynold sebagai berikut :

Diketahui :

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,002 \times 10^{-3} \text{ kg/ms} = 0,001002 \text{ kg/ms}$$

Penyelesaian :

$$Re = \frac{998,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,999 \text{ m/s} \times 0,202 \text{ m}}{0,001002 \text{ kg/ms}} = 201032,698$$

Berdasarkan ketentuan $Re > 4000$ merupakan aliran turbulen maka, nilai $Re = 201032,698$ adalah aliran jenis turbulen. Setelah mendapatkan jenis alirannya maka dapat ditentukan koefisien gesek (f) pada pipa lurus.

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{0,202} = 0,023$$

4.3.4.2 Menghitung Head Total (H_{Tot}) Berdasarkan Spesifikasi Pompa

- Menghitung *Head Statis* (H_s)

$$H_s = H_{\text{dis}} (\text{m}) + H_{\text{suc}} (\text{m})$$

$$H_s = 60,55 \text{ m} + 2 \text{ m} = 62,55 \text{ m}$$

- Menghitung *Head Tekanan* (H_P)

$$\Delta H_P = 0.$$

- Menghitung *Head Losses* (H_I)

Head losses yang terjadi adalah jumlah total *major losses* dan *minor losses* yang terjadi pada pipa suction dan pipa discharge.

1. Menghitung *Head Losses Sisi Suction* ($H_{I \text{ suc}}$)

- a. Gesekan sepanjang pipa isap sampai pompa

Diketahui :

$$l_{\text{suc}} = 13 \text{ m (berdasarkan desain perencanaan)}$$

$$H_f = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}} = \frac{0,023 \times 13 \text{ m} \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}}$$

$$H_f = 0,075 \text{ m}$$

- b. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 3 \times \frac{0,75 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,115 \text{ m}$$

- c. Gesekan pada *gate valve*

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,010 \text{ m}$$

- d. Gesekan pada katup isap dan saringan

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{1,91 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,097 \text{ m}$$

Maka, *Head losses* total pada sisi *suction* :

$$H_{I \text{ suc}} = 0,075 \text{ m} + 0,115 \text{ m} + 0,010 \text{ m} + 0,097 \text{ m} = 0,297 \text{ m}$$

2. Menghitung *Head Losses Sisi Discharge* ($H_{l \text{ dis}}$)

a. Gesekan sepanjang pipa dari pompa ke *headpond*

$l_{\text{Dis}} = 226,39 \text{ m}$ (berdasarkan desain perencanaan)

$$H_f = \frac{f \times l \times v^2}{2 \times g \times D_{\text{inside}}}$$

$$H_f = \frac{0,023 \times 226,39 \text{ m} \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,202 \text{ m}} = 1,311 \text{ m}$$

b. Gesekan pada belokan pipa (patahan 26°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{26^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{26^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{26^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,053$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,053 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,003 \text{ m}$$

c. Gesekan pada belokan pipa (patahan 13°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{13^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{13^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{13^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,013$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,013 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,001 \text{ m}$$

d. Gesekan pada belokan pipa (patahan 7°)

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{7^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{7^\circ}{2}$$

$$f = 0,946 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^2 + 2,047 \left(\sin \left(\frac{7^\circ}{2} \right) \right)^4 = 0,004$$

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,004 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0002 \text{ m}$$

e. Gesekan pada belokan pipa (*radius elbow* 90°)

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 7 \times \frac{0,75 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,267 \text{ m}$$

f. Gesekan pada *check valve*

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{2 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,102 \text{ m}$$

g. Gesekan pada *gate valve*

$$H_f = \sum n \times \frac{f \times v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0,19 \times (0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,010 \text{ m}$$

Maka, *head losses* total pada sisi *discharge* :

$$H_{l \text{ dis}} = (1,311 + 0,003 + 0,001 + 0,0002 + 0,267 + 0,102 + 0,010) \text{ m}$$

$$H_{l \text{ dis}} = 1,694 \text{ m}$$

Menghitung *head losses total*

$$H_l = H_{l \text{ suc}} + H_{l \text{ dis}} = 0,297 \text{ m} + 1,694 \text{ m} = 1,991 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } H_{\text{Tot}} = H_s + \Delta H_p + H_l + \frac{v^2}{2g}$$

$$H_{\text{Tot}} = 62,55 \text{ m} + 0 + 1,991 \text{ m} + \frac{(0,999 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 64,592 \text{ m}$$

4.3.5 Perhitungan Kavitasi

Syarat kerja pompa yang tidak mengalami kavitasi adalah $NPSH_A$ ($NPSH$ yang tersedia pada instalasi) $>$ $NPSH_R$ ($NPSH$ yang dibutuhkan).

4.3.5.1 Menghitung NPSH_A (H_{sv})

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - H_{suc} - \sum H_{l\text{ suc}}$$

Diketahui :

$$P_v (T_{\text{permukaan air}} 20^\circ\text{C}) = 2,34 \text{ kN/m}^2 = 238,613 \text{ Kgf/m}^2 \text{ (Berdasarkan Tabel 4.3)}$$

$$P_a = 1 \text{ atm} = 1,03323 \text{ kgf/cm}^2 = 10.332 \text{ kgf/m}^2$$

$$H_{suc} = 2 \text{ m}$$

$$H_{l\text{ suc}} = 0,297 \text{ m (berdasarkan spesifikasi pompa head losses sisi suction)}$$

Penyelesaian :

$$H_{sv} = \frac{10332,3 \text{ kgf/m}^2}{998,2 \text{ kgf/m}^3} - \frac{238,613 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{998,2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}} - 2 \text{ m} - 0,297 \text{ m} = 7,815 \text{ m}$$

4.3.5.2 Menghitung NPSH_R (H_{svN})

$$H_{svN} = \left(\frac{n_p}{S}\right)^{4/3} \times Q_N^{2/3} - \sigma H_N$$

Diketahui :

$$n_p = 2950 \text{ rpm}$$

$$S = 1200$$

$$Q_N = 500 \text{ US GPM} = 1,893 \text{ m}^3/\text{min}$$

Penyelesaian :

$$H_{svN} = \left(\frac{2950 \text{ rpm}}{1200}\right)^{4/3} \times (1,893 \text{ m}^3/\text{min})^{2/3} = 5,074 \text{ m}$$

Nilai NPSH_A = 7,815 m lebih besar dari pada nilai NPSH_R = 5,074 m, sehingga kerja pompa yang tidak mengalami kavitasi.

4.4 Perhitungan Daya

4.4.1 Perhitungan Daya Hidrolik Pompa

Nilai debit yang akan disuplai untuk turbin operasi 0,5 MW sebesar 0,026 m³/s dengan debit spesifikasi pompa yang digunakan sebesar 500 US GPM atau setara dengan 0,032 m³/s dan *head* 80 m dapat dihitung daya hidrolik pompa.

$$Q_s = 0,026 - 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_N = 80 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Penyelesaian :

$$P_{\text{h pompa}} = 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,032 \text{ m}^2/\text{s} \times 80 \text{ m}$$

$$P_{\text{h pompa}} = 25068,396 \text{ watt} = 25,068 \text{ kW}$$

4.4.2 Perhitungan Daya Poros Pompa

Diketahui :

$$P_{\text{h pompa}} = 25068,396 \text{ watt}$$

$$\eta_p = 73\% \text{ (berdasarkan spesifikasi pompa Gambar 5.10 Lampiran IV)}$$

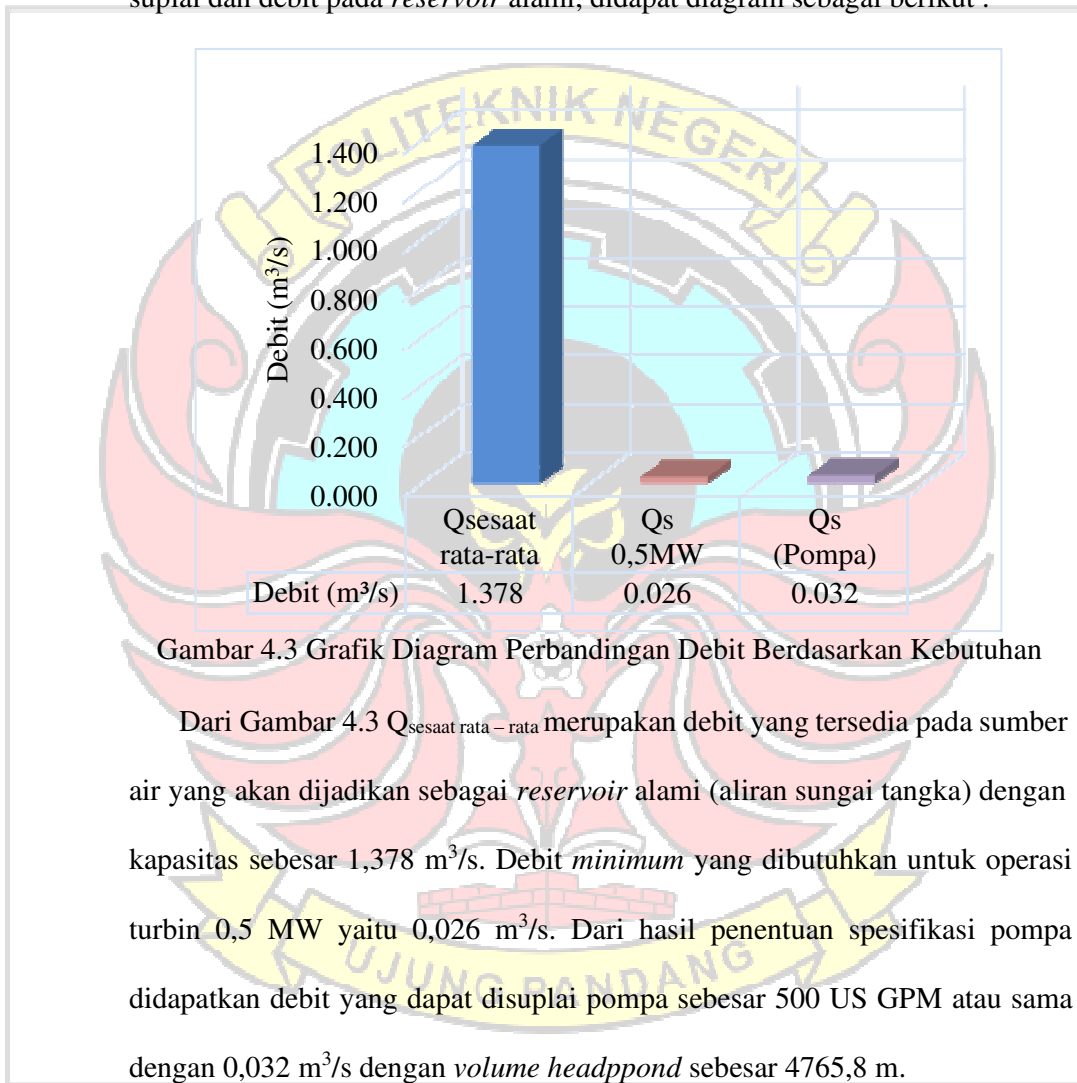
Penyelesaian :

$$P_{\text{pompa}} = \frac{25068,396 \text{ watt}}{0,73} = 34340,269 \text{ watt} = 34,340 \text{ kW}$$

4.5 Diagram Hasil Debit Dan Head

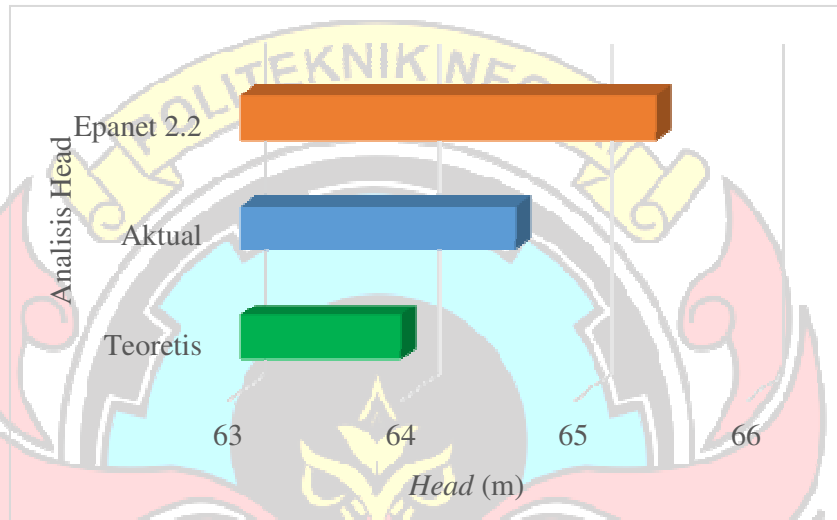
4.5.1 Diagram Hasil Debit

Dari hasil pengukuran yang dilakukan untuk mencari nilai debit yang akan suplai dan debit pada *reservoir* alami, didapat diagram sebagai berikut :



4.5.2 Diagram Hasil Head

Dari hasil analisis untuk mencari nilai *head* dari *headpond* sampai ke *reservoir* alami berdasarkan teori dan spesifikasi pompa dapat dilihat perbandingannya yaitu :



Gambar 4.4 Diagram Perbandingan Head

Dari Gambar 4.4 terlihat perbandingan antara *head* teoritis sebesar 63,922 m, *head* aktual sebesar 64,592 m dan hasil dari simulasi *software epanet 2.2* sebesar 65,40 m. nilai head teori Sehingga dari hasil analisis nilai *head* tersebut didapatkan selisih yaitu : selisih antara nilai *head* teoritis dan aktual sebesar 0,67 m. Sedangkan selisih anantara head aktual dan hasil simulasi *software epanet 2.2* sebesar 0,81 m dengan kecepatan aliran dalam pipa 0.81 m/s.

4.6 Analisis Aspek Biaya Proyek PSH

4.6.1 Biaya Investasi

Tabel 4.5 Rincian Biaya Investasi

Standar	No. Urut	Keterangan			Harga Satuan		Jumlah Harga	
			Type	Satuan	Bahan	Harga	Bahan	Harga
	I	Pekerjaan Persiapan						
Template Standar ASH Fungsi <i>Reliability & Project Development</i> Tahun 2020 Revisi - 0	1	Mobilisasi peralatan (sewa <i>dump truck</i>)	5 Ton/jam	bh	1	Rp 205.611,00	1	Rp 205.611,00
	II	Pekerjaan Instalasi <i>Pumped Storage Hydropower</i>						
	a	Material-Material						
SKU : 202011324	1	Pipa 8 in Asia Jaya <i>Steel</i> Toko Besi	Galvanis	bh	1	Rp 3.757.000,00	40	Rp 150.280.000,00
ISO 9001 : 2015	2	Pompa sentrifugal Ebara	100X80FS2JA	bh	1	Rp 27.530.000,00	1	Rp 27.530.000,00
SGP 10K	3	<i>Elbow</i> las 90° 8 in	Besi Galvanis	bh	1	Rp 1.000.000,00	10	Rp 10.000.000,00
JIS 10K	4	<i>Foot valve</i> mizu 8 in <i>cast iron - foot klep</i> DN 200 Besi	Besi Galvanis	bh	1	Rp 4.650.000,00	1	Rp 4.650.000,00

4.6.2 Biaya O&M

Biaya operasional dan pemeliharaan ditetapkan sebesar 3% sebagai ketentuan umum dari biaya investasi awal untuk setiap tahunnya. Perhitungan biaya O&M dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Biaya O\&M (M)} = n_{\text{O\&M}} \times C$$

$$\text{Biaya O\&M (M)} = 0,03 \times \text{Rp } 348.119.111,00 = \text{Rp } 10.443.573.33$$

4.6.3 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Dalam perencanaan proyek *pumped stroge hydropower* ini diasumsikan beroperasi 6 bulan dalam setahun dengan masa proyek selama 30 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada umur rata-rata dipertimbangkan untuk tujuan investasi proyek yang berkaitan dengan PLTMH (USAID *et al.*, 2016). Suku bunga yang digunakan dalam proyek ini adalah 8,44% (*Badan Pusat Statistik*, 2023).

Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (M_{PW}) proyek PSH selama umur proyek 30 tahun dengan suku bunga 8,44% dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_{PW} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] = \text{Rp } 10.443.573.33 \left[\frac{(1+8,44\%)^{30} - 1}{8,44\%(1+8,44\%)^{30}} \right]$$

$$M_{PW} = \text{Rp } 10.443.573.33 \left[\frac{(1+0,0844)^{30} - 1}{0,0844(1+0,0844)^{30}} \right]$$

$$M_{PW} = \text{Rp } 10.443.573.33 \times 10,81 = \text{Rp } 112.895.027,70$$

Dari biaya investasi awal dan biaya O&M selama 30 tahun tersebut dapat ditentukan biaya siklus hidup (LCC), sebagai berikut :

$$LCC = C + M_{PW}$$

$$LCC = \text{Rp } 348.119.111,00 + \text{Rp } 112.895.027,70 = \text{Rp } 461.014.138,70$$

4.6.4 Biaya Energi (*Cost Of Energy*)

Perhitungan biaya energi (COE) suatu proyek PSH ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan energi tahunan yang digunakan. Biaya energi (*cost of energy*) proyek PSH. Dimana Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, sebagai berikut :

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,0844(1+0,0844)^{30}}{(1+0,0844)^{30} - 1} = 0,093$$

Sedangkan untuk energi yang digunakan PSH diperhitungkan berdasarkan daya motor pompa yang beroperasi selama 24 jam, yaitu :

$$E_{\text{motor}} = P_{\text{motor}} \times 24 \text{ jam} = 34,340 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 824,16 \text{ kWh}$$

Sehingga untuk energi konsumsi pompa selama 6 bulan beroperasi dalam setahun adalah

$$A_{\text{kWh}} = 824,16 \text{ kWh} \times 168 \text{ hari} = 138458,88 \text{ kWh}$$

Berdasarkan hasil LCC, CRF dan energi tahunan yang digunakan maka besar biaya (COE) untuk proyek PSH adalah sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A_{\text{kWh}}} = \frac{\text{Rp } 461.014.138,70 \times 0,093}{138458,88 \text{ kWh}} = \text{Rp } 309,65/\text{kWh}$$

4.7 Analisis Kelayakan Investasi Proyek PSH

Kelayakan investasi proyek PSH ditentukan berdasarkan perhitungan *net present value* (NPV), *benefit cost ratio* (BCR), *payback period* (PP) dan *internal rate of return* (IRR). Perhitungan NPV, BCR, PP dan IRR ditentukan oleh besar arus kas bersih (*net cash flow*), faktor diskonto (*discount factor*) dan

nilai sekarang arus kas bersih (*present value net cash flow*). Arus kas bersih (NCF) dihasilkan dengan mengurangi arus kas masuk dengan arus kas keluar. Sedangkan untuk nilai sekarang arus kas bersih (PVNCF) dihasilkan dengan mengalikan arus kas bersih dengan tingkat diskonto, dimana :

- Arus kas masuk

arus kas masuk = energi terbangkit \times harga jual listrik (COE)

Sedangkan untuk energi yang bangkitkan oleh sistem PSH diperhitungkan berdasarkan daya terbangkitkan, yaitu :

$$Q_{\text{suplai}} = 0.026 - 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{\text{air}} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_{\text{PLTMH PT.Tombolo Pao}} = 105 \text{ m}$$

Berdasarkan dari (Komarudin, 2022) nilai efisiensi untuk PLTMH yaitu :

- Head Losses pipa (5-10%) : 95%
- Effisiensi turbin (70-85%) : 75%
- Effisiensi generator (85-92%) : 90%
- Effisiensi *belt/coupling* : 95% (0.85-1)

Maka didapat nilai total efisiensi = 61% = 0,61

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} P_{\text{terbangkit}} &= 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,032 \text{ m}^2/\text{s} \times 105 \text{ m} \times 0,61 \\ &= 20070,384 \text{ watt} = 20,070 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka, untuk energi terbangkitkan selama 24 jam untuk 6 bulan beroperasi dalam setahun, yaitu :

$$E_{\text{terbangkit}} = P_{\text{terbangkit}} \times 24 \text{ jam} \times 168 \text{ hari}$$

$$= 20,070 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \times 168 \text{ hari} = 80922,24 \text{ kWh/tahun}$$

Sehingga untuk arus kas masuk per tahun dengan harga jual listrik sebesar Rp 1.444,70 berdasarkan (*Tariff Adjustment Juli - September 2023, 2023*) adalah sebagai berikut :

$$\text{ arus kas masuk} = 80922,24 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp } 1.444,70 \text{ kWh}$$

$$\text{ arus kas masuk} = \text{Rp } 116.908.360,13/\text{tahun}$$

- Arus kas keluar

$$\text{ arus kas keluar} = \text{biaya O\&M tahunan (M)}$$

$$\text{ arus keluar} = \text{Rp } 10.443.573,33$$

Sehingga dapat dihitung arus kas bersih (NCF), yaitu :

$$\text{NCF} = \text{ arus kas masuk} - \text{ arus kas keluar}$$

$$\text{NCF} = \text{Rp } 116.908.360,13 - \text{Rp } 10.443.573,33 = \text{Rp } 106.464.786,80$$

Berdasarkan hasil perhitungan NCF dan faktor diskonto, maka PVNCF, NPV, BCR, PP dan IRR dapat diperhitungkan. Adapun untuk total nilai PVNCF dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan NPV, BCR Dan PP

NVP Pada Suku Bunga 8,44% Selama 30 Tahun				
Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Bersih (NCF)	Faktor Diskonto	PVNCF
0	Rp 348.119.111,00		1	Rp 348'119'111.00
1		Rp 106'464'786.80	0,922	Rp 98'178'519.73
2		Rp 106'464'786.80	0,850	Rp 90'537'181.61
3		Rp 106'464'786.80	0,784	Rp 83'490'576.91
4		Rp 106'464'786.80	0,723	Rp 76'992'416.93
5		Rp 106'464'786.80	0,667	Rp 71'000'015.61
6		Rp 106'464'786.80	0,615	Rp 65'474'009.23
7		Rp 106'464'786.80	0,567	Rp 60'378'097.78

8		Rp 106'464'786.80	0,523	Rp 55'678'806.51
9		Rp 106'464'786.80	0,482	Rp 51'345'266.05
10		Rp 106'464'786.80	0,445	Rp 47'349'009.64
11		Rp 106'464'786.80	0,410	Rp 43'663'786.09
12		Rp 106'464'786.80	0,378	Rp 40'265'387.40
13		Rp 106'464'786.80	0,349	Rp 37'131'489.67
14		Rp 106'464'786.80	0,322	Rp 34'241'506.52
15		Rp 106'464'786.80	0,297	Rp 31'576'453.82
16		Rp 106'464'786.80	0,274	Rp 29'118'824.99
17		Rp 106'464'786.80	0,252	Rp 26'852'476.01
18		Rp 106'464'786.80	0,233	Rp 24'762'519.38
19		Rp 106'464'786.80	0,214	Rp 22'835'226.28
20		Rp 106'464'786.80	0,198	Rp 21'057'936.44
21		Rp 106'464'786.80	0,182	Rp 19'418'974.96
22		Rp 106'464'786.80	0,168	Rp 17'907'575.58
23		Rp 106'464'786.80	0,155	Rp 16'513'810.01
24		Rp 106'464'786.80	0,143	Rp 15'228'522.70
25		Rp 106'464'786.80	0,132	Rp 14'043'270.65
26		Rp 106'464'786.80	0,122	Rp 12'950'268.03
27		Rp 106'464'786.80	0,112	Rp 11'942'334.96
28		Rp 106'464'786.80	0,103	Rp 11'012'850.39
29		Rp 106'464'786.80	0,095	Rp 10'155'708.58
30		Rp 106'464'786.80	0,088	Rp 9'365'279.03
TOTAL PVNCF				Rp 1'150'468'101.47
Diskonto Annuities				10.806

4.7.1 Net Present Value (NPV)

Perhitungan *net present value* pada proyek PSH dengan suku bunga 8,44%.

Diketahui :

$$\sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^n} = \text{Rp } 1.150.468.101,47$$

$$C = \text{Rp } 348.119.111,00$$

Penyelesaian :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^n} - C = \text{Rp } 1.150.468.101,47 - \text{Rp } 348.119.111,00$$

$$NPV = \text{Rp } 802.348.990,47$$

Berdasarkan dari kriteria NPV, apabila $NPV > 0$ artinya investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan atau yang menjalankan proyek tersebut. Dari hasil perhitungan didapat biaya NPV adalah (positif) $\text{Rp } 802.348.990,47 > 0$, sehingga memenuhi kriteria hasil tersebut maka proyek bisa dijalankan. Namun pada biaya tersebut tidak termasuk sumber energi untuk PSH.

4.7.2 *Benefit Cost Ratio (BCR)*

Perhitungan *benefit cost ratio* pada proyek PSH sebagai berikut :

Diketahui :

$$\text{Nilai sekarang arus kas bersih} = \text{Rp } 1.150.468.101,47$$

$$\text{Nilai investasi awal} = \text{Rp } 348.119.111,00$$

Penyelesaian :

$$BCR = \frac{\text{nilai sekarang arus kas bersih}}{\text{nilai investasi}} = \frac{\text{Rp } 1.150.468.101,47}{\text{Rp } 348.119.111,00} = 3,305$$

Berdasarkan faktor penentu BCR yaitu bila $BCR \geq 1$, maka proyek dikatakan layak, karena keuntungan melebihi modal investasi. Dari hasil perhitungan BCR didapatkan nilai sebesar $3,305 \geq 1$, sehingga proyek PSH ini dikatakan layak.

4.7.3 Payback Period (PP)

Perhitungan payback period pada proyek PSH dapat dihitung dengan rumus berikut jika jumlah arus kas per tahun sama.

$$PP = \frac{\text{Investasi awal}}{\text{ arus kas}} \times 1 \text{ tahun}$$

$$PP = \frac{\text{Rp } 348.119.111,00}{\text{Rp } 106.464.786,80} \times 1 \text{ tahun} = 3,270 \text{ tahun} = 3 \text{ tahun}$$

4.7.4 Internal Rate Of Return (IRR)

Perhitungan *internal rate of retur* pada proyek PSH dengan nilai suku bunga rendah sebesar 7% dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan suku bunga tinggi sebesar 10% dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun

Tahun	Biaya Investasi	NCF	DF	PVNCF
0	Rp 348.119.111,00		1	Rp348'119'111.00
1		Rp106'464'786.80	0,935	Rp99'499'800.75
2		Rp106'464'786.80	0,873	Rp92'990'467.99
3		Rp106'464'786.80	0,816	Rp86'906'979.43
4		Rp106'464'786.80	0,763	Rp81'221'476.10
5		Rp106'464'786.80	0,713	Rp75'907'921.59
6		Rp106'464'786.80	0,666	Rp70'941'982.79
7		Rp106'464'786.80	0,623	Rp66'300'918.50
8		Rp106'464'786.80	0,582	Rp61'963'475.23
9		Rp106'464'786.80	0,544	Rp57'909'789.94
10		Rp106'464'786.80	0,508	Rp54'121'299.01
11		Rp106'464'786.80	0,475	Rp50'580'653.28
12		Rp106'464'786.80	0,444	Rp47'271'638.58
13		Rp106'464'786.80	0,415	Rp44'179'101.47
14		Rp106'464'786.80	0,388	Rp41'288'879.88
15		Rp106'464'786.80	0,362	Rp38'587'738.21
16		Rp106'464'786.80	0,339	Rp36'063'306.74
17		Rp106'464'786.80	0,317	Rp33'704'024.99
18		Rp106'464'786.80	0,296	Rp31'499'088.77
19		Rp106'464'786.80	0,277	Rp29'438'400.72

20		Rp106'464'786.80	0,258	Rp27'512'524.04
21		Rp106'464'786.80	0,242	Rp25'712'639.29
22		Rp106'464'786.80	0,226	Rp24'030'504.01
23		Rp106'464'786.80	0,211	Rp22'458'414.96
24		Rp106'464'786.80	0,197	Rp20'989'172.86
25		Rp106'464'786.80	0,184	Rp19'616'049.40
26		Rp106'464'786.80	0,172	Rp18'332'756.45
27		Rp106'464'786.80	0,161	Rp17'133'417.24
28		Rp106'464'786.80	0,150	Rp16'012'539.48
29		Rp106'464'786.80	0,141	Rp14'964'990.17
30		Rp106'464'786.80	0,131	Rp13'985'972.12
TOTAL				Rp1'321'125'923.97
NPV				Rp973'006'812.97
Diskonto Annuities				12,409

Tabel 4.8 Perhitungan NPV Suku Bunga 10% Selama 30 Tahun

Tahun	Biaya Investasi	NCF	DF	PVNCF
0	Rp 348.119.111,00		1	Rp 348.119.111,00
1		Rp106'464'786.80	0,909	Rp96'786'169.82
2		Rp106'464'786.80	0,826	Rp87'987'427.11
3		Rp106'464'786.80	0,751	Rp79'988'570.10
4		Rp106'464'786.80	0,683	Rp72'716'881.91
5		Rp106'464'786.80	0,621	Rp66'106'256.28
6		Rp106'464'786.80	0,564	Rp60'096'596.62
7		Rp106'464'786.80	0,513	Rp54'633'269.65
8		Rp106'464'786.80	0,467	Rp49'666'608.77
9		Rp106'464'786.80	0,424	Rp45'151'462.52
10		Rp106'464'786.80	0,386	Rp41'046'784.11
11		Rp106'464'786.80	0,350	Rp37'315'258.28
12		Rp106'464'786.80	0,319	Rp33'922'962.07
13		Rp106'464'786.80	0,290	Rp30'839'056.43
14		Rp106'464'786.80	0,263	Rp28'035'505.85
15		Rp106'464'786.80	0,239	Rp25'486'823.50
16		Rp106'464'786.80	0,218	Rp23'169'839.54
17		Rp106'464'786.80	0,198	Rp21'063'490.49
18		Rp106'464'786.80	0,180	Rp19'148'627.72
19		Rp106'464'786.80	0,164	Rp17'407'843.38
20		Rp106'464'786.80	0,149	Rp15'825'312.17
21		Rp106'464'786.80	0,135	Rp14'386'647.42
22		Rp106'464'786.80	0,123	Rp13'078'770.39

23		Rp106'464'786.80	0,112	Rp11'889'791.26
24		Rp106'464'786.80	0,102	Rp10'808'901.15
25		Rp106'464'786.80	0,092	Rp9'826'273.77
26		Rp106'464'786.80	0,084	Rp8'932'976.15
27		Rp106'464'786.80	0,076	Rp8'120'887.41
28		Rp106'464'786.80	0,069	Rp7'382'624.92
29		Rp106'464'786.80	0,063	Rp6'711'477.20
30		Rp106'464'786.80	0,057	Rp6'101'342.91
TOTAL				Rp1'003'634'438.89
NPV				Rp 655'515'327.89
Diskonto Annuities				9,427

Diketahui :

$$i' = 7\%$$

$$i'' = 10\%$$

$$NPV' = \text{Rp } 1.321.125.923,97$$

$$NPV'' = \text{Rp } 1.003.634.438,89$$

Penyelesaian :

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 973.006.812,97}{\text{Rp } 973.006.812,97 + \text{Rp } 655.515.327,89} (0,10 - 0,07)$$

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 973.006.812,97}{\text{Rp } 1.628.522.140,86} \times 0,03 = 0,1619 = 16,19\%$$

Ukuran dari penilaian suatu kelayakan proyek bisa dilihat dengan mengacu dapat nilai $IRR \geq$ tingkat suku bunga pinjaman maka proyek atau investasi layak diusahakan atau dijalankan. Dari hasil perhitungan IRR didapat nilai sebesar $16,19\% \geq 8,44\%$ tingkat suku bunga pinjaman yang digunakan.

4.8 Biaya Tahunan (*Annual Cost*)

Sebagai perbandingan nilai alternatif lain dalam menganalisis aspek biaya dan kelayakan investasi proyek PSH dengan menghitung biaya tahunan atau yang disebut juga dengan *annual cost* yaitu biaya yang harus dikeluarkan

selama umur rencana proyek 30 tahun dengan suku bunga 8,44% menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{annual cost} = \frac{\text{annual interest rate} \times \text{total cost of the plant}}{1 - \frac{1}{(1 + \text{annual interest rate})^n}}$$

Diketahui :

Annual interest rate/suku bunga = 8.44% = 0.0844

Total cost of the plant/ biaya investasi = Rp 348.119.111,00

n = 30 tahun

Penyelesaian :

$$\text{annual cost} = \frac{0.0844 \times \text{Rp } 348.119.111,00}{1 - \frac{1}{(1 + 0.0844)^{30}}} = \text{Rp } 32.215.084,35$$

Setelah menghitung biaya tahunan (*annual cost*), maka dapat diketahui *cost per kWh* untuk membayar *annual cost* dengan menghitung jumlah jam kerja efektif per tahun dan energi yang dihasilkan per tahun terlebih dahulu sebagai berikut :

Diketahui :

CAPACITY FACTOR (CF)	
Typical capacity factors for power generating plants (%)	
Technologies	Capacity factor (%)
• Gas turbine combined cycle	80-90
• Internal Combustion engine	85
• Nuclear	90
• Average Coal Plant (Steam)	68-75
• Biomass Steam Plant	68
• Geothermal	90
• Hydropower	44-90
• Wind turbine	30
• Solar/PLTS	20.8

Gambar 4.5 Capacity Factor (CF)

Capacity factor untuk PLTMH = 85 % = 0.85

Waktu operasi PSH dalam setahun = 24 jam 168 hari

$P_{\text{terbangkit}}$ = 20070,384 watt = 20,070 kW

Penyelesaian :

- Untuk energi yang dihasilkan per tahun, yaitu :

$E_{\text{terbangkit}}$ = kapasitas pembangkit \times *capacity factor* \times waktu operasi PSH
dalam setahun

$$E_{\text{terbangkit}} = 20,070 \text{ kW} \times 0.85 \times 24 \text{ jam} \times 168 \text{ hari} = 68783.904 \text{ kWh}$$

- Nilai *cost* per kWh untuk membayar *annual cost* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{cost per kWh} = \frac{\text{annual cost}}{\text{Energi yang dihasilkan/tahun}}$$

$$\text{cost per kWh} = \frac{\text{Rp}32.215.084,35}{68783.904 \text{ kWh}}$$

- Total *cost* per kWh dapat dihitung sebagai berikut :

Total *cost* per kWh = *cost* per kWh untuk *annual cost* + biaya O&M (M)

$$\text{Total cost per kWh} = \text{Rp } 10.444.042,68$$

Sehingga untuk keuntungan dari proyek PSH dengan harga jual listrik sebesar Rp 1.444,70 berdasarkan (*Tariff Adjustment Juli - September 2023, 2023*) adalah sebagai berikut :

$$\text{Keuntungan} = (\text{Total Cost per kWh} - \text{Harga Jual/kWh}) \times E_{\text{terbangkit}}$$

$$\text{Keuntungan} = (\text{Rp } 10.444.042,68 - \text{Rp } 1.444,70) \times 68783.904 \text{ kWh}$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Rp } 718.282.144.752,59$$

Sehingga dapat dihitung arus kas netto/ arus kas bersih (NCF) yang dimana nilai per tahunnya sama, yaitu :

$$\text{NCF} = \text{Keuntungan} - \text{biaya O\&M (M)}$$

$$\text{NCF} = \text{Rp } 718.282.588.325,92 - \text{Rp } 10.443.573,33 = \text{Rp } 718.282.144.752,59$$

Berdasarkan hasil perhitungan NCF dan faktor diskonto, maka PVNCF, NPV, dan IRR dapat diperhitungkan. Adapun untuk total nilai PVNCF dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan NPV Menggunakan *Annual Cost*

NVP Pada Suku Bunga 8,44% Selama 30 Tahun			
Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PVNCF
Investasi awal	Rp 348'119'111.00		
0	Rp 718'272'144'752.59	1.000	Rp 718'272'144'752.59
1	Rp 718'272'144'752.59	0.922	Rp 662'368'263'327.73
2	Rp 718'272'144'752.59	0.850	Rp 610'815'440'176.81
3	Rp 718'272'144'752.59	0.784	Rp 563'275'027'828.12
4	Rp 718'272'144'752.59	0.723	Rp 519'434'736'101.18
5	Rp 718'272'144'752.59	0.667	Rp 479'006'580'690.87
6	Rp 718'272'144'752.59	0.615	Rp 441'724'991'415.41
7	Rp 718'272'144'752.59	0.567	Rp 407'345'067'701.41
8	Rp 718'272'144'752.59	0.523	Rp 375'640'969'846.38
9	Rp 718'272'144'752.59	0.482	Rp 346'404'435'490.94
10	Rp 718'272'144'752.59	0.445	Rp 319'443'411'555.64
11	Rp 718'272'144'752.59	0.410	Rp 294'580'792'655.52
12	Rp 718'272'144'752.59	0.378	Rp 271'653'257'705.20
13	Rp 718'272'144'752.59	0.349	Rp 250'510'197'072.30
14	Rp 718'272'144'752.59	0.322	Rp 231'012'723'231.55
15	Rp 718'272'144'752.59	0.297	Rp 213'032'758'420.84
16	Rp 718'272'144'752.59	0.274	Rp 196'452'193'305.82
17	Rp 718'272'144'752.59	0.252	Rp 181'162'111'126.73
18	Rp 718'272'144'752.59	0.233	Rp 167'062'072'230.48
19	Rp 718'272'144'752.59	0.214	Rp 154'059'454'288.52
20	Rp 718'272'144'752.59	0.198	Rp 142'068'843'866.22
21	Rp 718'272'144'752.59	0.182	Rp 131'011'475'346.93
22	Rp 718'272'144'752.59	0.168	Rp 120'814'713'525.39
23	Rp 718'272'144'752.59	0.155	Rp 111'411'576'471.22
24	Rp 718'272'144'752.59	0.143	Rp 102'740'295'528.61

25	Rp 718'272'144'752.59	0.132	Rp 94'743'909'561.61
26	Rp 718'272'144'752.59	0.122	Rp 87'369'890'779.79
27	Rp 718'272'144'752.59	0.112	Rp 80'569'799'686.27
28	Rp 718'272'144'752.59	0.103	Rp 74'298'966'881.47
29	Rp 718'272'144'752.59	0.095	Rp 68'516'199'632.49
30	Rp 718'272'144'752.59	0.088	Rp 63'183'511'280.42
Total			Rp 7'761'713'666'731.86
DISKONTO ANNUITIES			10.806

Perhitungan *net present value* pada proyek PSH dengan suku bunga 8,44% menggunakan persamaan (2 - 38) :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+i)^n} - C = Rp 7.761.713.666.731,86 - Rp 348.119.111,00$$

$$NPV = Rp 7.761.365.547.620,86$$

Perhitungan *internal rate of retur* pada proyek PSH dengan nilai suku bunga rendah sebesar 7% dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan suku bunga tinggi sebesar 10% dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan *Annual Cost*

Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PV NCF
Investasi awal	Rp 348'119'111.00		
0	Rp 718'272'144'752.59	1.000	Rp 718'272'144'752.59
1	Rp 718'272'144'752.59	0.935	Rp 671'282'378'273.45
2	Rp 718'272'144'752.59	0.873	Rp 627'366'708'666.78
3	Rp 718'272'144'752.59	0.816	Rp 586'324'026'791.38
4	Rp 718'272'144'752.59	0.763	Rp 547'966'380'178.86
5	Rp 718'272'144'752.59	0.713	Rp 512'118'112'316.69
6	Rp 718'272'144'752.59	0.666	Rp 478'615'058'239.90
7	Rp 718'272'144'752.59	0.623	Rp 447'303'792'747.57
8	Rp 718'272'144'752.59	0.582	Rp 418'040'927'801.47
9	Rp 718'272'144'752.59	0.544	Rp 390'692'455'889.22
10	Rp 718'272'144'752.59	0.508	Rp 365'133'136'345.07
11	Rp 718'272'144'752.59	0.475	Rp 341'245'921'817.82
12	Rp 718'272'144'752.59	0.444	Rp 318'921'422'259.64
13	Rp 718'272'144'752.59	0.415	Rp 298'057'403'980.98

14	Rp 718'272'144'752.59	0.388	Rp 278'558'321'477.55
15	Rp 718'272'144'752.59	0.362	Rp 260'334'879'885.56
16	Rp 718'272'144'752.59	0.339	Rp 243'303'626'061.27
17	Rp 718'272'144'752.59	0.317	Rp 227'386'566'412.40
18	Rp 718'272'144'752.59	0.296	Rp 212'510'809'731.22
19	Rp 718'272'144'752.59	0.277	Rp 198'608'233'393.66
20	Rp 718'272'144'752.59	0.258	Rp 185'615'171'395.94
21	Rp 718'272'144'752.59	0.242	Rp 173'472'122'799.95
22	Rp 718'272'144'752.59	0.226	Rp 162'123'479'252.29
23	Rp 718'272'144'752.59	0.211	Rp 151'517'270'329.24
24	Rp 718'272'144'752.59	0.197	Rp 141'604'925'541.35
25	Rp 718'272'144'752.59	0.184	Rp 132'341'051'907.80
26	Rp 718'272'144'752.59	0.172	Rp 123'683'226'082.06
27	Rp 718'272'144'752.59	0.161	Rp 115'591'800'076.69
28	Rp 718'272'144'752.59	0.150	Rp 108'029'719'697.84
29	Rp 718'272'144'752.59	0.141	Rp 100'962'354'857.79
30	Rp 718'272'144'752.59	0.131	Rp 94'357'340'988.59
Total			Rp 8'913'068'625'200.01
NPV 7%			Rp 8'912'720'506'089.01
DISKONTO ANNUITIES			12.409

Tabel 4. 11 Perhitungan NPV Suku Bunga 7% Selama 30 Tahun Menggunakan *Annual Cost*

Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PV NCF
Investasi awal	Rp 348'119'111.00		
0	Rp 718'272'144'752.59	1.000	Rp 718'272'144'752.59
1	Rp 718'272'144'752.59	0.909	Rp 652'974'677'047.81
2	Rp 718'272'144'752.59	0.826	Rp 593'613'342'770.74
3	Rp 718'272'144'752.59	0.751	Rp 539'648'493'427.94
4	Rp 718'272'144'752.59	0.683	Rp 490'589'539'479.95
5	Rp 718'272'144'752.59	0.621	Rp 445'990'490'436.32
6	Rp 718'272'144'752.59	0.564	Rp 405'445'900'396.65
7	Rp 718'272'144'752.59	0.513	Rp 368'587'182'178.77
8	Rp 718'272'144'752.59	0.467	Rp 335'079'256'526.16
9	Rp 718'272'144'752.59	0.424	Rp 304'617'505'932.87
10	Rp 718'272'144'752.59	0.386	Rp 276'925'005'393.52
11	Rp 718'272'144'752.59	0.350	Rp 251'750'004'903.20
12	Rp 718'272'144'752.59	0.319	Rp 228'863'640'821.09
13	Rp 718'272'144'752.59	0.290	Rp 208'057'855'291.90
14	Rp 718'272'144'752.59	0.263	Rp 189'143'504'810.82
15	Rp 718'272'144'752.59	0.239	Rp 171'948'640'737.11
16	Rp 718'272'144'752.59	0.218	Rp 156'316'946'124.64
17	Rp 718'272'144'752.59	0.198	Rp 142'106'314'658.77

18	Rp 718'272'144'752.59	0.180	Rp 129'187'558'780.70
19	Rp 718'272'144'752.59	0.164	Rp 117'443'235'255.18
20	Rp 718'272'144'752.59	0.149	Rp 106'766'577'504.71
21	Rp 718'272'144'752.59	0.135	Rp 97'060'525'004.28
22	Rp 718'272'144'752.59	0.123	Rp 88'236'840'912.98
23	Rp 718'272'144'752.59	0.112	Rp 80'215'309'920.89
24	Rp 718'272'144'752.59	0.102	Rp 72'923'009'018.99
25	Rp 718'272'144'752.59	0.092	Rp 66'293'644'562.72
26	Rp 718'272'144'752.59	0.084	Rp 60'266'949'602.47
27	Rp 718'272'144'752.59	0.076	Rp 54'788'136'002.25
28	Rp 718'272'144'752.59	0.069	Rp 49'807'396'365.68
29	Rp 718'272'144'752.59	0.063	Rp 45'279'451'241.53
30	Rp 718'272'144'752.59	0.057	Rp 41'163'137'492.30
Total			Rp 6'771'090'072'602.94
NPV 10%			Rp 6'770'741'953'491.94
DISKONTO ANNUITIES			9.427

Pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 didapat nilai biaya NPV rendah dan tinggi adalah Rp 8.912.720.506.089,01 dan Rp 6.770.741.953.491,94 dari biaya tersebut dapat dihitung nilai IRR menggunakan persamaan sebagai berikut :

Diketahui :

$$i' = 7\%$$

$$i'' = 10\%$$

$$NPV' = \text{Rp } 8.912.720.506.089,01$$

$$NPV'' = \text{Rp } 6.770.741.953.491,94$$

Penyelesaian :

$$IRR = i' + \frac{NPV'}{NPV' + NPV''} \times (i'' - i')$$

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 8.912.720.506.089,01}{\text{Rp } 8.912.720.506.089,01 + \text{Rp } 6.770.741.953.491,94} (0,10 - 0,07)$$

$$IRR = 0,07 + \frac{\text{Rp } 8.912.720.506.089,01}{\text{Rp } 15.683.462.459.581,00} \times 0,03 = 0,1948 = 19,48 \%$$

4.9 Manajemen Stakeholder

Tujuan manajemen *stakeholder*/manajemen pemangku kepentingan adalah untuk mengidentifikasi semua orang atau organisasi yang terkena dampak proyek, untuk menganalisis ekspektasi pemangku kepentingan, dan untuk secara efektif melibatkan pemangku kepentingan dalam keputusan proyek sepanjang umur proyek. Manajer proyek dan timnya harus melakukan dialog yang baik dengan para pemangku kepentingan dan mengatasi masalah yang terjadi untuk memastikan kepuasan pemangku kepentingan (Kuster *et al.*, 1997). Dalam manajemen pemangku kepentingan proyek, terdapat empat proses dalam menentukan pemangku kepentingan yang meliputi :

1. Mengidentifikasi pemangku kepentingan melibatkan identifikasi setiap orang yang terlibat dalam proyek atau terpengaruh olehnya dan menentukan cara terbaik untuk mengelola hubungan dengan mereka. Keluaran utama dari proses ini adalah daftar pemangku kepentingan.
2. Perencanaan manajemen pemangku kepentingan melibatkan penentuan strategi secara efektif melibatkan pemangku kepentingan dalam keputusan dan kegiatan proyek berdasarkan kebutuhan mereka, rencana manajemen dan pemutakhiran dokumen proyek.
3. Mengelola keterlibatan pemangku kepentingan melibatkan komunikasi dan kerja sama pemangku kepentingan proyek untuk memenuhi kebutuhan dan harapan mereka, menyelesaikan masalah, dan mendorong keterlibatan dalam keputusan proyek dan kegiatan. Keluaran dari iniproses adalah log masalah, permintaan perubahan,

pembaruan rencana manajemen proyek, proyek pembaruan dokumen, dan pembaruan aset proses organisasi.

4. Mengontrol keterlibatan pemangku kepentingan melibatkan pemantauan pemangku kepentingan hubungan dan menyesuaikan rencana dan strategi untuk melibatkan pemangku kepentingan sebagai diperlukan. Keluaran dari proses ini adalah informasi prestasi kerja, perubahan permintaan, pembaruan dokumen proyek, dan pembaruan aset proses organisasi.

Adapun manajemen *stakeholder* dalam proyek ini dapat dilihat pada Tabel 4.12.

INTEREST	3		Masyarakat Sekitar (+)	Pemerintah daerah (+) PT.Tombolo Energi (+) KLHK (+) Dinas Energi Sumber daya mineral (+)
	2	Wartawan/jurnalis (+)	LSM (+)	Civitas Akademik (+)
	1			
	1	2	3	

INFLUENCES

Gambar 4.6 Matrix Manajemen Stakeholder Capstone Project PLTMH Pumped Storge Hydropower

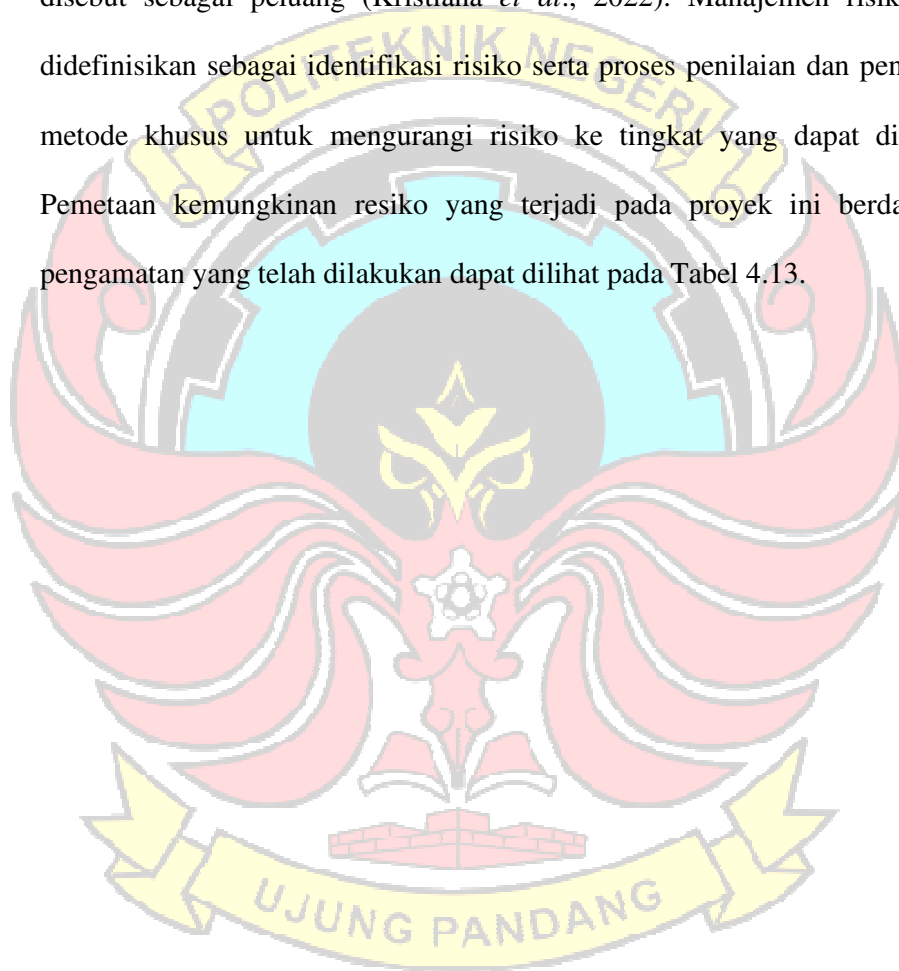
Tabel 4.12 Manajemen Stakeholder Capstone Project PLTMH Pumped Storge Hydropower

No.	Pemaku kepentingan	Pengaruh kepentingan	Level	Kekuasaan, pengaruh dan wewenang	Level	Evaluasi	Tindak lanjut
1	Pemerintah daerah	Perijinan lokasi PLTMH	3	Memberikan ijin pembangunan PLTMH	3	+	Sosialisasi terkait pengaruh dan pentingnya kegunaan PLTMH
2	PT.Tombolo Energi	Pemilik dan pengelolah dari PLTMH tombolo energi	3	Implementasi proyek hingga berhasil beroperasi	3	+	Melakukan operasi dan pemeliharaan sistem PLTMH Membantu menyediakan sumber daya yang dibutuhkan
3	Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan (KLHK)	Perijinan dan pengawasan lingkungan operasi PLTMH	3	Melakukan pengawasan terkait kondisi lingkungan PLTMH	3	+	Menjaga kebersihan, keamanan serta kelayakan lingkungan sekitar PLTMH
4	Dinas Energi Sumber Daya Mineral	Perijinan dan pengawasan operasional PLTMH	3	Memastikan operasional pltmh berjalan lancar dan menghasilkan daya yang diperlukan masyarakat.	3	+	Melakukan operasional PLTMH sesuai sop dan peraturan perundang-undangan terkait energi
5	Masyarakat sekitar/pelanggan	Penerima dampak serta konsumen PLTMH	3	Menjamin keberlangsungan kondisi kelistrikan masyarakat sekitar	2	+	Ikut serta menjaga keamanan dan keselamatan sekitar PLTMH
6	Wartawan/jurnalis	Penyampai dan penerima informasi	2	Membeerikan informasi positif terkait PLTMH	1	+	Membagikan informasi terbaru dan terbaik terkait PLTMH

7	Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM)	Lembaga nonperintahan yang membantu masyarakat	2	Memfasilitasi masyarakat untuk menyalurkan aspirasi dan kebutuhan kepada pemerintah	2	+	Mengamati, merekam, serta menyalurkan aspirasi dan kebutuhan masyarakat agar dijadikan acuan dalam proses perumusan kebijakan dan perencanaan program pembangunan serta
							Mengawasi proses pelaksanaan kebijakan maupun program pembangunan masyarakat
							memberikan penjelasan kepada masyarakat tentang program pembangunan dengan bahasa yang mudah dipahami masyarakat
8	Civitas akademik	Agen perubahan dalam pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT)	2	Penyebarluasan informasi penerapan dan pemanfaatan energi terbarukan	3	+	Menjadikan PLTMH sebagai tempat penerapan ilmu dan praktek kerja lapangan

4.10 Manajemen Risiko

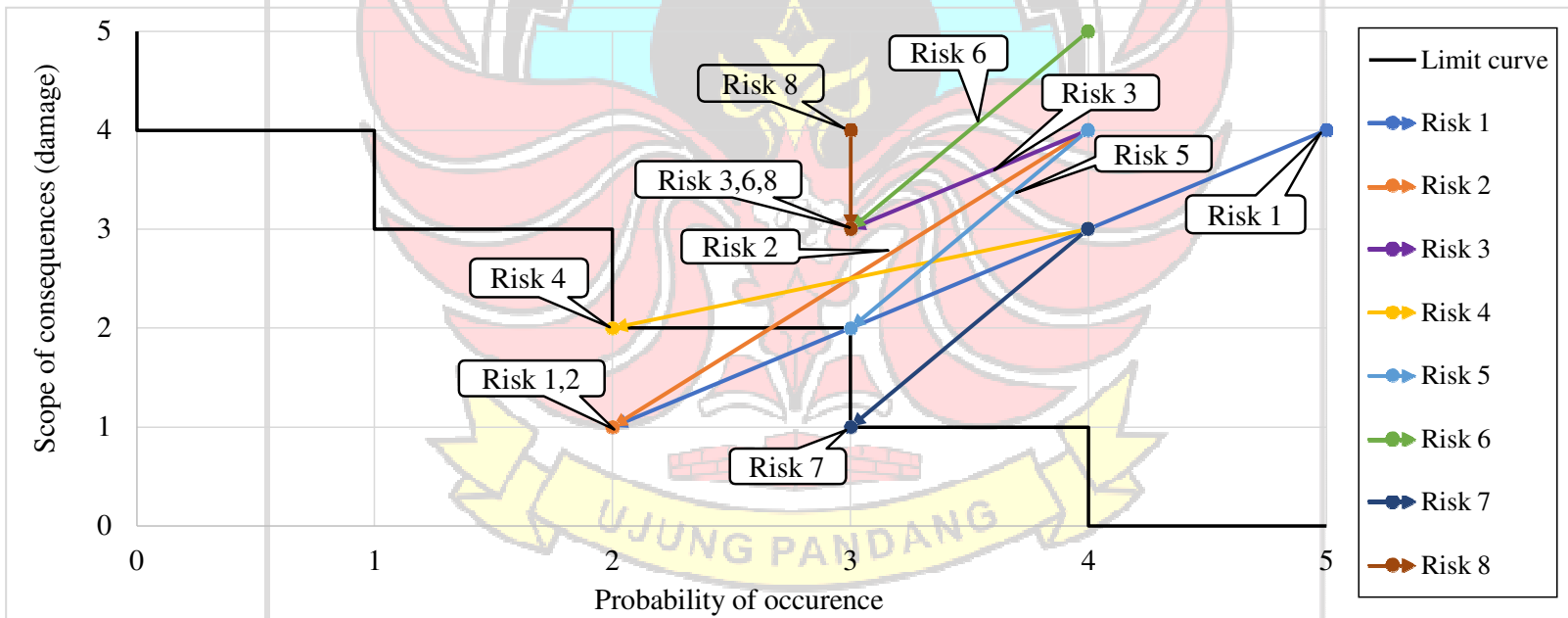
Manajemen risiko adalah proses sistematis dalam melakukan identifikasi awal, analisis, perencanaan, dan pengendalian risiko dalam suatu proyek dengan tujuan meminimalkan efek dan peristiwa yang merugikan serta memaksimalkan kemungkinan dan dampak peristiwa positif, di mana hal ini disebut sebagai peluang (Kristiana *et al.*, 2022). Manajemen risiko juga didefinisikan sebagai identifikasi risiko serta proses penilaian dan penerapan metode khusus untuk mengurangi risiko ke tingkat yang dapat diterima. Pemetaan kemungkinan risiko yang terjadi pada proyek ini berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.13.



Tabel 4.13 Manajemen Risiko Proyek PSH

	<i>Risk Description</i>	<i>Assessment Before Measure</i>			<i>Actions (Multiple Possible)</i>	<i>Assessment After Measures</i>		
		<i>P</i>	<i>S</i>			<i>P</i>	<i>S</i>	
1	Lokasi pembangunan pipa dan pemasangan pompa yang jauh dari pemukiman serta harus melewati jalan terjal dan curam	5	4	20	Perlunya pembenahan dan perbaikan akses jalan guna mempermudah proses pemindahan pipa dan komponen-komponen lainnya	2	1	2
2	Pembebasan lahan diperlukan karena terdapat bangunan yang berada dalam area proyek yang akan dikerjakan	4	4	16	Perlunya pemberian kompensasi berupa ganti rugi material dari pihak yang bersangkutan	2	1	2
3	Bahaya hewan yang tidak terduga (ular, dll)	4	4	16	Selalu menggunakan alat pelindung diri dan mematuhi aturan k3 yang telah ditetapkan pada area kerja	3	3	9
4	Kurangnya teknisi dan operator berpengalaman pada area sekitar lokasi PLTMH	4	3	12	Mempekerjakan teknisi dan operator berpengalaman yang sudah ada di perusahaan yang kemudian dipasangkan dengan sdm dari area sekitar PLTMH demi mendukung penggunaan masyarakat lokal sebagai bagian dari perusahaan	2	2	4
5	Bencana alam (longsor,banjir,dll)	4	4	16	Perlu melakukan kegiatan simulasi mitigasi bencana sebagai bentuk kesiapsiagaan terhadap respon bencana.	3	2	9
6	Resiko jatuh dari ketinggian saat memasang pipa dan komponen lainnya	4	5	20	Perlunya memerhatikan aspek k3 yang berkaitan dengan ketinggian seperti body harness	3	3	9
7	Gangguan keamanan	4	3	12	Diperlukan kamera pengintai atau cctv pada rumah pompa	3	1	3
8	Resiko tertimpa bahan bahan yang berat yang dapat memberi trauma fisik	3	4	12	Perlunya memerhatikan aspek k3 seperti sepatu safety dan sebisa mungkin memerhatikan sekeliling yang memungkinkan terjadi insiden	3	3	9

Assessment scale	Probability of occurrence	Scope of consequences (damage)	Kemungkinan terjadi	Lingkup kerusakan
1	Not probable at all	Declinable	Tidak mungkin sama sekali	Dapat dihindari
2	Not probable	Low	Tidak mungkin	Rendah
3	Possible	Medium	Mungkin	Medium
4	Probable	High	Mungkin	Tinggi
5	Certain	Very high	Yakin	Sangat tinggi



Gambar 4.7 Matrix Curva Risk Capstone Project PLTMH Pumped Storge Hydropower

BAB V REKOMENDASI

Dari hasil survey, pengukuran dan analisis yang telah dilakukan untuk merancang pengotimalisasian operasi PLTMH PT.Tombolo Energi saat musim kemarau dengan *pumped stroge hydropower* direkomendasikan pompa sentrifugal merk ebara *type* 100X80 FSJA dengan kapasitas debit 500 US GPM atau sama dengan 0,032 m³/s dan *head max* 80 m dan desain instalasi pipa dari *reservoir alami* sampai ke *headpond* dengan menggunakan pipa jenis galvanis 8 in kode produksi SKU : 202011324 dengan komponen – komponen lain yaitu : *elbow las* 90° diameter 8 in (standar SGP 10K), *foot klep valve* DN 200 8 in (standar JIS 10K), *gate valve* 8 in (standar JIS 10K), *swing check valve* 8 in (JIS 10K), *rubber gasket flange* 8 in tebal 3 mm (JIS 10K), *flange pipe* 8 in DN 200 (JIS 10K), baut & mur M22×100 mm (JIS 10K) untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau. Adapun gambar desain instalasi pipa dapat dilihat pada Lampiran IV. Dengan rancangan biaya proyek tersebut berkisar Rp 348.119.111,00 tidak termasuk biaya sumber energi. Dimana hasil dari kelayakan investasi dengan umur proyek 30 tahun dan suku bunga 8,44% berdasarkan paramater kelayakan investasi yaitu :

- Nilai NPV (positif) Rp 802'348'990.47 > 0, sehingga memenuhi kriteria maka proyek bisa dijalankan.
- Nilai BCR 3,305 ≥ 1, sehingga proyek PSH ini dikatakan layak.
- Nilai PP selama 3,270 tahun.
- Nilai IRR 16,19% ≥ 8,44% tingkat suku bunga pinjaman yang digunakan, sehingga proyek atau investasi layak dijalankan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, P., Bani, A. K., & Raharjo, J. (2022). Simulasi Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Nusa Penida Menggunakan Aplikasi Homer. *E-Proceeding of Engineering*, 9(5), 2429–2435.
- Amalia, Y., Juwono, P. T., & Wicaksono, P. H. (2015). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Juju Desa Muwun Kabupaten Murung Raya Provinsi Kalimantan Tengah*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/143434>
- ANDRITZ. (2023). *Pumped Storage*. ANDRITZ. <https://www.andritz.com/hydro-en/about-andritz-hydro/locations/jakarta-indonesia/jakarta-indonesia-id/pumped-storage-indonesia-id>
- Antal, B. A. (2014). Pumped Storage Hydropower: A Technical Review. *Department of Civil Engineering -Univ.of Colorado Denver, May*, 84.
- Badan Pusat Statistik. (2023). [Www.Bps.Go.Id. https://www.bps.go.id/indicator/13/383/1/suku-bunga-kredit-rupiah-menurut-kelompok-bank.html](https://www.bps.go.id/indicator/13/383/1/suku-bunga-kredit-rupiah-menurut-kelompok-bank.html)
- Bahari, N. A. S., Musrizal, Kiki, C., Mufadhhal, Lianda, D., T, N. R., Fitria, T., Yusuf, T., Wardah, U., & Muriza, Z. (2015). *Laporan Pengukuran Theodolit*.
- Current Meter Flowatch FL-03*. (2023). Tokopedia. <https://www.tokopedia.com/upstoreshop/current-meter-flowatch-fl-03-garansi-1-tahun?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch>
- Danu, A. R. (2020). Analisa Keekonomian Tarif Listrik Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya FTI UII 5 kWp dengan Metode Life Cycle Cost (LCC). In *Tesis*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Fachrudin, I. N. (2014). *Perhitungan ulang (Manual & Numerik) Crude Oil Booster Pump pada CPA Pertamina Petrochina Tuban*. <http://repository.its.ac.id/41148/>
- Hartini, E. (2017). *Modul Hidrologi Hidrolika Terapan*. Studocu.
- Herliyanso, D., & Abdul Rozak, O. (2023). Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Sebagai Suplai Daya Listrik Perpustakaan Universitas Pamulang. *ELECTRICES - Jurnal Otomasi Kelistrikan Dan Energi Terbarukan*, 5, 20–29.
- Hino, T., & Lejeune, A. (2012). Pumped Storage Hydropower Developments. *Comprehensive Renewable Energy*, 405–434. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00616-8>
- Komarudin. (2022). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pengenalannya, Operasi Dan Perawatan)*. PT.Protel Multi Enegrid - CV. Protel Multi Energy.

- Lampung, A. T. (2021). Tinjauan Pemodelan Sistem Dan Formulasi Economic Dispatch Untuk Sistem Tenaga Listrik Hibrida Berbasis Variable Renewable Energy Dengan PLTA Pumped Storage. *Jurnal Ilmiah SUTET*, 10(1), 15–28. <https://doi.org/10.33322/sutet.v10i1.1167>
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 85–92. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5270>
- Marcell, M. R. R., Supomo, H., & Arif, M. S. (2021). Analisis Teknis dan Ekonomis Perbandingan Laju Korosi Material Galvanis dan Aluminium untuk Memprediksi Umur dan Biaya Reparasi Lambung Kapal. *JURNAL TEKNIK ITS*, 10(2), G108–G115.
- Mardatila, A. (2022). *IRR adalah Internal Rate of Return, Ketahui Fungsinya dalam investasi* | *merdeka.com*. Merdeka.Com. <https://www.merdeka.com/sumut/irr-adalah-internal-rate-of-return-ketahui-fungsinya-dalam-investasi-klm.html>
- Modul Pengukuran Sudut*. (2023). [https://prodi4.stpn.ac.id/wp-content/uploads/2020/2020/Modul/Semester I/Modul IUT D4 DI/Modul_IUT_3baru.pdf](https://prodi4.stpn.ac.id/wp-content/uploads/2020/2020/Modul/Semester%20I/Modul_IUT_D4_DI/Modul_IUT_3baru.pdf)
- Nashar, M. (2015). Analisa Kelayakan Bisnis Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltb) Di Indonesia Dengan Menggunakan Software Retscreen. *Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Bisnis*, 1(1), 1–8.
- Ointu, S., Surusa, F. E. P., & Zainuddin, M. (2020). Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berdasarkan Potensi Air yang Ada di Desa Pinogu. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2(2), 30–38. <https://doi.org/10.37905/jjee.v2i2.4618>
- Pengertian Daerah Aliran Sungai (DAS) atau Watershed*. (2023, January 10). Tukangbata.Blogspot.Com. <http://tukangbata.blogspot.com/2013/01/pengertian-daerah-aliran-sungai-das.html>
- Pérez-Díaz, J. I., Chazarra a, M., García-González, J., Cavazzini, G., & Stoppato, A. (2015). Trends and challenges in the operation of pumped-storage hydropower plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 767–784. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.029>
- Permana, D. S. (2017). Analisa Jenis Dan Spesifikasi Pompa Air Bersih Gedung Pabrik Perakitan PT.Adm. *Sinergi*, 21(2), 91. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2017.2.003>
- Poapa, I. A. P. (2017). Perencanaan PLTMH Dengan Menggunakan Saluran Irigasi. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer*,

Elektronika Dan Kendali, 2(4), 1–7. <https://doi.org/10.33772/jfe.v2i4.7897>

Pramono, I., & Lasman, A. N. (2020). Optimasi Desain Pembangkit Listrik Kapasitas 200 kW Menggunakan Tenaga Matahari dengan Sistem Pumped Storage. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah ...*, 10(3), 32–39. <http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/teknobiz/article/view/1761%0Ah>
<http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/teknobiz/article/download/1761/1055>

PT.Tombolo Energi. (2015). *Company Profile*. PT.Tombolo Energi.

Pumped Storage Hydropower. (2023). [Www.Energy.Gov. https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower](http://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower)

Putra, I. D., & Inggrid, D. (2019). *Analisis Pengukuran Penampang Memanjang Jalan Poros Sungguminasa-Malino Dengan GNSS Metode RTK-Radio*. .

Rahmanta, M. A. (2022). Analisis PASTEL & SWOT Pemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower Untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.30588/jo.v6i1.1012>

Rohman, A. (2019). *GPS untuk Pemetaan?* <https://geodesigeodinamik.ft.ugm.ac.id/2019/09/23/595/>

Roring, H. S. D., Sompie, B. F., & Mandagi, R. J. M. (2014). Model Estimasi Biaya Tahap Konseptual Konstruksi Bangunan Gedung dengan Metode Parametrik. In *Jurnal Ilmiah Media Engineering, Universitas Sam Ratulangi* (Vol. 4, Issue 2).

Saiby, A. M. S., & Klistafani, Y. (2023). *Hidrometeri*.

Salim, S. (2017). Listrik Mikro Hidro Berdasarkan Potensi Debit Andalan Sungai. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*.

Siagian, A. J. (2018). *ANALISIS EKONOMI DAN FINANSIAL SHORTCUT TEGINENENG- TARAHAN*. UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR.

Siahaan, S. (2019). Kajian Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang. *Jurnal Teknik Nommensen*, III(1), 111–139.

Siaran Pers (SP-02/DJPb/2022) Kemenkeu Dukung Pembiayaan Proyek PLTA Pumped Storage Pertama dan Terbesar di Asia Tenggara. (2022). Direktur Sistem Manajemen Investasi Direktorat Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan. <https://djpb.kemenkeu.go.id/portal/id/berita/berita/siaran-pers/3863-kemenkeu-dukung-pembiayaan-proyek-plta-pumped-storage-pertama-dan-terbesar-di-asia-tenggara.html>

Siregar, M. A., Damanik, W. S., & Harahap, A. H. (2021). Karakteristik Unjuk Kerja Pump As Turbine (PAT) Menggunakan Satu Pompa Hisap. *Jurnal*

MESIL (Mesin Elektro Sipil), 2(1), 17–24.
<https://doi.org/10.53695/jm.v2i1.237>

Sitohang, M. P. (2019). PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERPUSAT OFF-GRID SYSTEM (Studi Kasus: Desa Tanjung Beringin, Kabupaten Kampar, Riau) [Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau]. In *175.45.187.195*. [ftp://175.45.187.195/Titipan-Files/BAHAN WISUDA PERIODE V 18 MEI 2013/FULLTEKS/PD/lovita meika savitri \(0710710019\).pdf](ftp://175.45.187.195/Titipan-Files/BAHAN WISUDA PERIODE V 18 MEI 2013/FULLTEKS/PD/lovita meika savitri (0710710019).pdf)

Suatan, R. A., Giriantari, I. A. D., & Sukerayasa, I. W. (2020). Kajian Ekonomi Rencana PLTMH di Desa Panji. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(2), 263. <https://doi.org/10.24843/mite.2020.v19i02.p20>

Suhendar. (2022). *Dasar - Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya* (D. Tesniyadi (Ed.); Issue 1). Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI).

Tariff Adjustment Juli - September 2023. (2023). PT PLN (Persero). <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/06/ttl-Juli-September-2023.jpg>

Trimble R10 GNSS GPS Receiver Kit. (2023). Frugalindustry. <https://frugalindustry.com/products/Trimble-R10-GNSS-GPS-Receiver-Kit.html>

Udjianto, T., & Yusuf, E. (2019). Analisis Penentuan Kapasitas PLTM Berdasarkan Tinggi Muka Air di Satu Sungai di Kalimantan Barat. *Jurnal.Polban.Ac.Id*, 9(1), 108–114. <https://jurnal.polban.ac.id/energi/article/view/1653>

USAID, OJK (Otoritas Jasa Keuangan), & UI, L. P. E. D. M. F. E. D. B. (2016). Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro. In *Modul Pelatihan Keuangan Berkelanjutan & Pembiayaan Energi Bersih Untuk Lembaga Jasa Keuangan*.

Utomo, W. G. S. (2018). *Perencanaan Ulang Impeller Pompa Sentrifugal Dengan Fluida Kerja Air Bersih Pada Unit Ipa Plosowahyu PDAM Lamongan* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. [https://repository.its.ac.id/58882/1/10211500000025-Wahyu Giant S.U.pdf](https://repository.its.ac.id/58882/1/10211500000025-Wahyu%20Gi%20ant%20S.U.pdf)

Yayasan Tunas Cendekia. (2023). *Pembangunan PLTMH Waruwue Sulawesi Selatan*. Wordpress. <http://tunascendekia.org/wordpress/archives/1051>

LAMPIRAN I
PENGUKURAN DEBIT
DAN DATA DEBIT
PERUSAHAAN 2007



Tanggal : 14 Mei 2023

Jam : 11.00 – 14.00 WITA

Cuaca : Cerah

Lokasi : PLTMH PT.Tombolo Poa Desa Poa, Kelurahan Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa, Prov. Sulawesi Selatan

Tabel 5.1 Pengukuran Debit Saluran *Tailrace* PLTMH Turbin 0,5 M Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	0.82	0.82	0.6	0.2	0.492	0.098
1			0.6			
2	0.81	1.63	0.6	0.1	0.486	0.049
	0.82	2.45	0.6	0.3	0.492	0.148
3			0.6			
Rata - rata				0.2	∑Q	0.295

Tabel 5.2 Tabel Pengukuran Debit Saluran *Tailrace* PLTMH Turbin 2,5 M Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1.65	1.65	1.1	0.8	1.815	1.452
1			1.1			
2	1.65	3.30	1.1	0.8	1.815	1.452
Rata - rata				0.8	∑Q	2.904

Tabel 5.3 Pengukuran Debit Saluran *Tailrace* PLTMH Turbin 2,5 M Dan 0,5 Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1.00	1.00	1.2	1.4	1.2	1.680
1			1.2			
2	1.00	2.00	1.2	1.2	1.2	1.440
Rata - rata				1.3	∑Q	3.120

Tabel 5.4 Pengukuran Debit Saluran *Water Way* PLTMH Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1.00	1.00	1.43	0.8	0.85	1.43	1.216
1				0.9			
2	1.00	2.00	1.43	1.1	1.1	1.43	1.573
Rata - rata				1.1	0.975	∑Q	2.789

Tabel 5.5 Pengukuran Debit Saluran Masuk *Headpond* PLTMH Metode *Mid Section* Menggunakan *Current Meter*

Titik Rai	Jarak Interval (m)	Jarak Langsung (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m/s)	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Q (m ³ /s)
0	0.75	0.75	1.4	0.8	0.600	1.05	0.63
1				0.4			
2	0.75	1.50	1.4	0.7	0.500	1.05	0.525
3	0.75	2.25	1.4	0.3			
4	0.75	3.00	1.4	0.7	0.450	1.05	0.473
5	0.75	3.75	1.4	0.2			
				0.6	0.500	1.05	0.525
				0.4			
				0.6	0.550	1.05	0.578
				0.5			
				Rata - rata	0.500	ΣQ	2.730

Tanggal : 31 Mei 2023
 Jam : 13.00 – 16.40 WITA
 Cuaca : Mendung
 Lokasi : Sungai Tangka Desa Poa, Kelurahan Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa, Prov. SULSEL

Tabel 5.6 Pengukuran Debit Sesaat Aliran Sungai Tangka Menggunakan Benda Apung

No	Jenis Pelampung	Luas Penampang (m ²)	p (m)	Waktu	T (s)	v (m/s)	Q ^{Sesaat} (m ³ /s)	
1	Bola kasti	13.052	9.4	01.11.02	71	0.132	1.382	
2	Bola kasti	13.052	9.4	01.13.23	73	0.129	1.345	
3	Bola kasti	13.052	9.4	01.14.71	74	0.127	1.326	
4	Bola kasti	13.052	9.4	01.17.74	77	0.122	1.275	
5	Bola kasti	13.052	9.4	01.02.26	62	0.152	1.583	
6	Bola kasti	13.052	9.4	01.15.08	75	0.125	1.309	
7	Bola kasti	13.052	9.4	01.08.28	68	0.138	1.443	
		Rata - rata				71.429	0.132	1.380

Keterangan :

α (Nilai Faktor Koreksi) = 0,8

LAMPIRAN II
PENGUKURAN BEDA
TINGGI *RESERVOIR*
SUMBER AIR DENGAN
***HEADPOND* & HASIL**
ANALISIS DATA *HEAD*



Nama : Pengukuran Jalur Pipa

Alat : DT-200 Topkom

Lokasi : Desa Poa, Kelurahan Tamaona, Kec. Tombolo Pao, Kab. Gowa, Prov. Sulawesi Selatan

Hari/Tanggal : Rabu – Kamis, 23 – 24 Mei 2023

Jam (Cuaca) : Rabu, 15.30 -17.30 WITA (Cerah) Pengukuran DT1 – DT2

Kamis, 09.30 – 13.00 WITA (Mendung) Pengukuran DT3 – DT

Surveyor : Raynaldi Tikungpadang

Tabel 5.7 Pengukuran *Theodolite*

Instrument		Sight Arah	Prisma		Horizontal				Vertikal				Distance		
Titik	Tinggi		Titik	*Tinggi	dd	mm	ss	Nilai Desimal	dd	mm	ss	Nilai Desimal	BA	BT	BB
DT1	1.515	BS	BM Dusun	870	0	0	0	0.000	90	0	0	90.000	0.545	0.501	0.460
		FS	BM Desa		272	33	35	272.560	90	0	0	90.000	0.942	0.909	0.875
		FS	SP1		14	5	5	14.085	95	24	25	95.407	0.883	0.730	0.680
		FS	SP2		14	28	15	14.471	93	56	35	93.943	0.543	0.305	0.065
		SS	SP3		11	10	25	11.174	96	25	10	96.419	0.865	0.745	0.623
			SP4		11	28	10	11.469	96	25	10	96.419	2.854	2.731	2.613
			SP5		9	39	45	9.663	93	44	55	93.749	3.156	2.975	2.791
			SP6		12	39	5	12.651	93	57	55	93.965	2.720	2.510	2.305
			SP7		11	19	45	11.329	93	57	55	93.965	2.435	2.208	1.980

DT2		BS2	SP2		0	0	0	0.000	93	58	30	93.975	0.455	0.411	0.367
		FS	SP1		354	47	20	354.789	90	0	0	90.000	1.135	0.969	0.805
		Detail			248	31	20	248.522	90	0	0	90.000	2.739	2.595	2.450
		FS	SP3		238	28	30	238.475	90	0	0	90.000	1.035	0.981	0.926
		Detail			237	43	10	237.719	90	0	0	90.000	2.762	2.708	2.655
			SP4		251	25	30	251.425	90	0	0	90.000	1.279	1.098	0.918
		Detail			251	32	20	251.539	90	0	0	90.000	2.832	2.650	2.471
		Detail			254	35	5	254.585	90	0	0	90.000	2.738	2.485	2.237
		Detail			255	30	10	255.503	90	0	0	90.000	2.779	2.448	2.120
DT3	1.332	BS3	BM Dusun		0	0	0	0.000	85	0	35	85.010	1.312	1.125	0.942
		FS	BM Desa		9	49	20	9.822	84	34	25	84.574	2.000	1.771	1.545
			Dinding Headpond		266	18	25	266.307	84	34	25	84.574	1.151	1.081	1.031
		FS	J1		159	53	0	159.883	94	53	20	94.889	1.708	1.491	1.280
		FS	J2		159	27	15	159.454	94	53	25	94.890	1.671	1.465	1.253

DT4	1.370	BS	J2	0	0	0	0.000	84	37	40	84.628	2.655	2.137	1.620
		FS	J1	0	32	20	0.539	84	37	40	84.628	2.775	2.255	1.739
			Elevasi Jebatan	359	50	20	359.839	84	37	45	84.629	1.955	1.711	1.468
		FS	JS1	18	38	5	18.635	98	48	0	98.800	1.779	1.580	1.368
		FS	JS2	16	45	10	16.753	98	41	25	98.690	1.855	1.650	1.440
DT5	1.285	BS	JS2	0	0	0	0.000	79	39	0	79.650	1.950	1.775	1.601
		FS	JS1	357	55	40	357.928	79	39	0	79.650	1.920	1.745	1.565
		FS	JS3	203	45	10	203.753	97	31	50	97.531	1.660	1.462	1.265
		FS	JS4	200	12	20	200.206	97	31	55	97.532	1.786	1.595	1.400
DT6	1.335	BS	JS3	0	0	0	0.000	76	1	45	76.029	1.175	0.971	0.775
		FS	JS4	3	48	55	3.815	76	1	45	76.029	1.260	1.060	0.861
		FS	JS6	192	24	15	192.404	104	36	0	104.600	1.360	1.288	1.218
		FS	JS5	194	19	45	194.329	104	35	55	104.599	1.361	1.268	1.175
DT7	1.270	BS	JS5	0	0	0	0.000	75	52	50	75.881	0.885	0.830	0.775
		FS	JS6	9	55	45	9.929	75	37	5	75.618	0.829	0.755	0.681
		SS	Pinggir Sungai	243	22	50	243.381	98	51	35	98.860	2.300	1.861	1.425
		FS	JS7	253	26	40	253.444	99	23	25	99.390	1.494	1.272	1.051
		FS	JS8	250	11	50	250.197	101	54	10	101.903	0.979	0.771	0.568

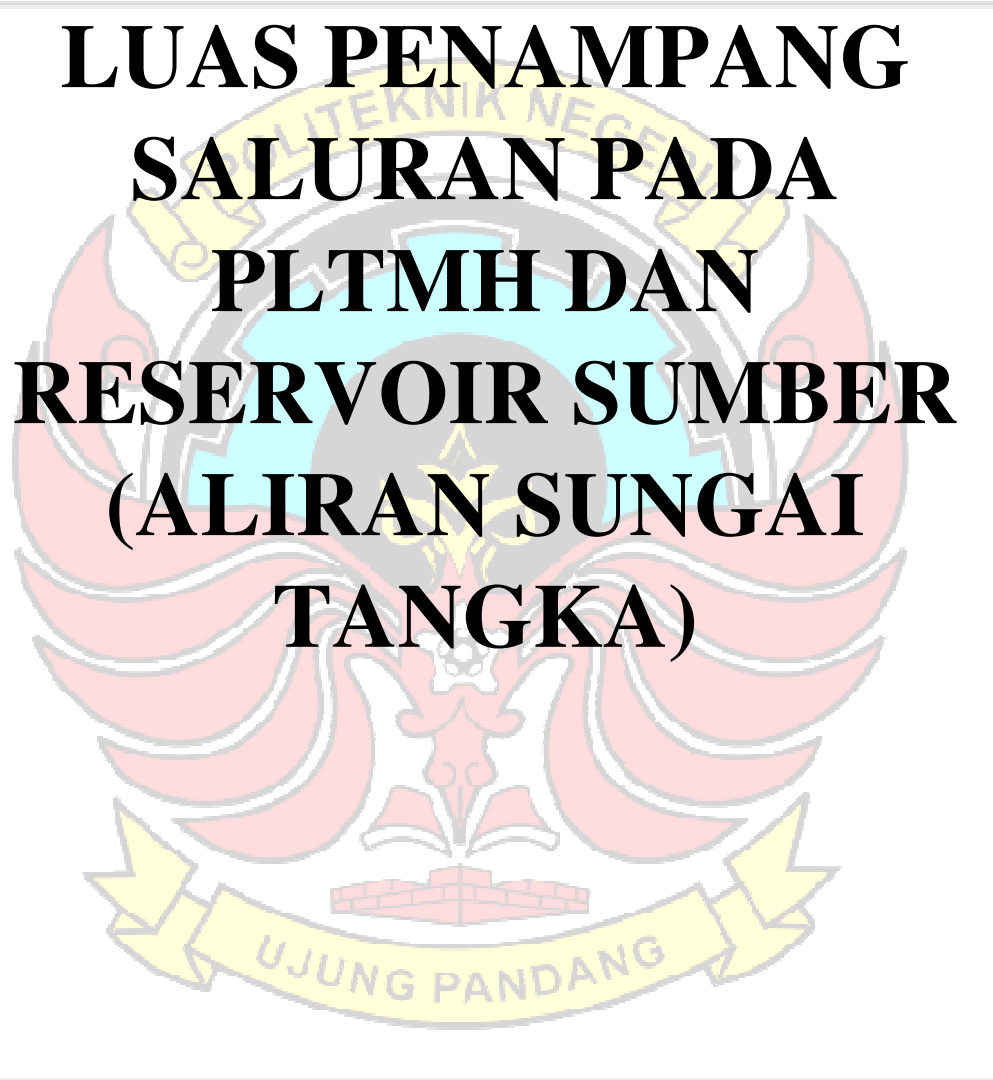
DT	BS	JS7	827	0	0	0	0.000	81	39	0	81.650	1.595	1.395	1.198
	FS	JS8		4	54	45	4.913	81	46	35	81.776	1.910	1.695	1.480
	SS	Pinggir Sungai		251	19	40	251.328	90	0	0	90.000	2.241	2.154	2.065
	SS	Pinggir Sungai		246	10	30	246.175	99	57	20	99.956	2.969	2.901	2.833

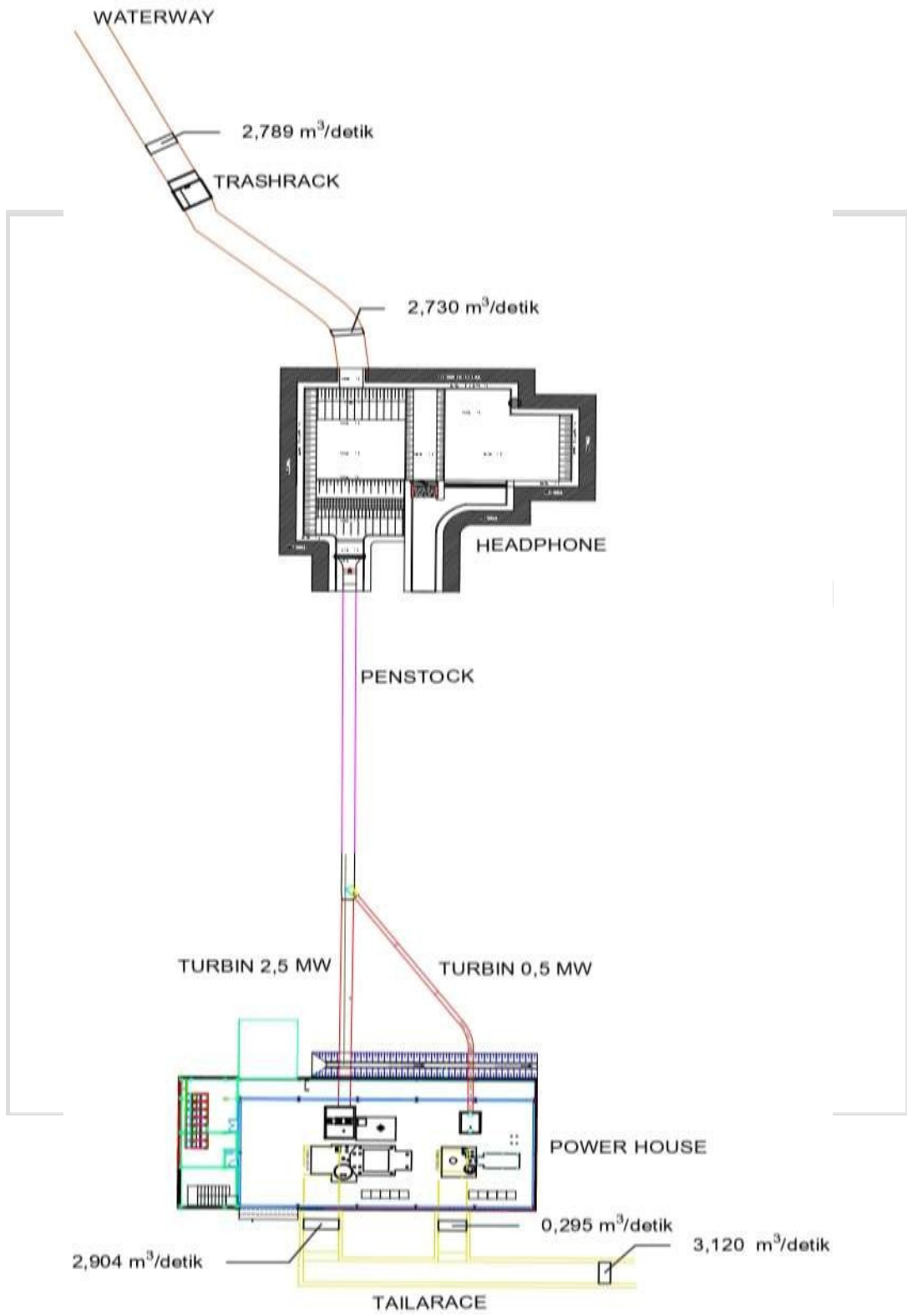
Keterangan : BS : Back Sight, FS : Front Sight, SS : Side Sight SP : Spill Way,
 J : Jalan Raya, JS : Jalan Setapak *(Data prisma tinggi diambil dari *App My Elevation*)

Tabel 5.8 Hasil Pengolahan *Head*

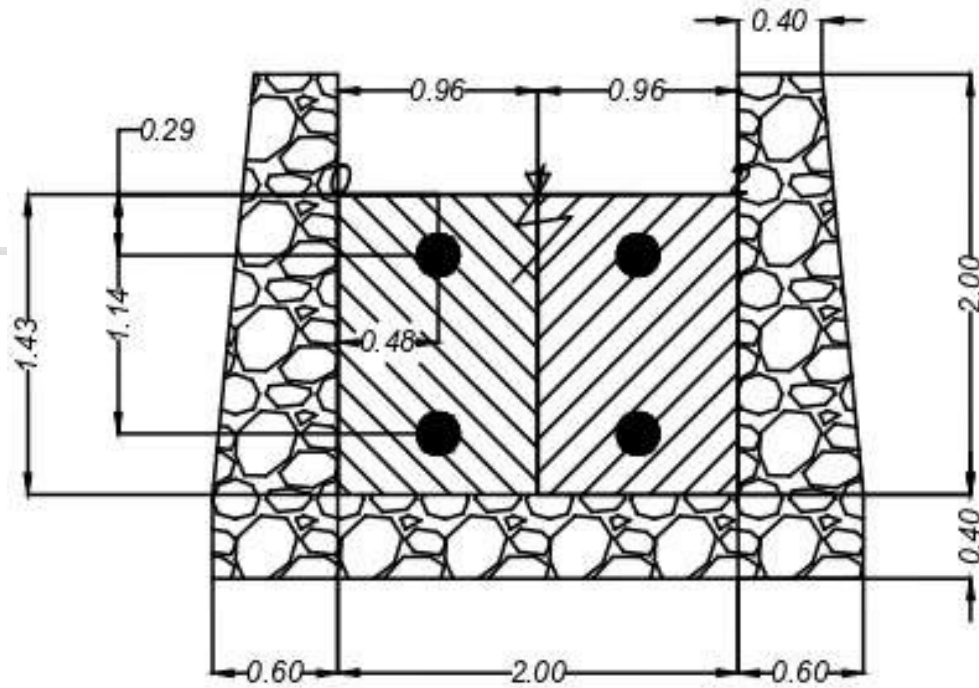
Posisi Alat	ta (m)	BS	FS	ba (M)	bt (m)	bb (m)	h			ver			α	D _{AB} (m)	ΔH (m)	ΔH (m)				
							dd	mm	ss	dd	mm	ss						dd.ddd	dd.ddd	
DT3	1.332	BM Dusun		1.312	1.125	0.942	0	0	0	85	0	35	85.010	4.990	36.720	3.413				
			J2	1.671	1.465	1.253	159	27	15	94	53	25	94.890	-4.890	41.496	-5.015	9.930	BM Dusun - J2		
DT4	1.370	J2		2.655	2.137	1.620	0	0	0	84	37	40	84.628	5.372	102.593	8.881				
			JS2	1.855	1.650	1.440	16	45	10	98	41	25	98.690	-8.690	40.553	-6.516	15.397	J2 - JS2		
DT5	1.285	JS2		1.950	1.775	1.601	0	0	0	79	39	0	79.650	10.350	33.773	5.678				
			JS3	1.660	1.462	1.265	203	45	10	97	31	50	97.531	-7.531	38.822	-5.309	10.987	JS2 - JS3		
DT6	1.335	JS3		1.175	0.971	0.775	0	0	0	76	1	45	76.029	13.971	37.669	9.735				
			JS5	1.361	1.268	1.175	194	19	45	104	35	55	104.599	-14.599	17.418	-4.470	14.205	JS3 - JS5		
DT7	1.270	JS5		0.885	0.830	0.775	0	0	0	75	52	50	75.881	14.119	10.345	3.042				
			Pinggir Sungai	2.300	1.861	1.425	243	22	50	98	51	35	98.860	-8.860	85.424	-13.907	16.949	JS5 - Pinggir Sungai		
																		65.967	BM Dusun - Pinggir Sungai	
																			62.554	DT3 - Pinggir Sungai

LAMPIRAN III
GAMBAR SKETSA
LUAS PENAMPANG
SALURAN PADA
PLTMH DAN
RESERVOIR SUMBER
(ALIRAN SUNGAI
TANGKA)

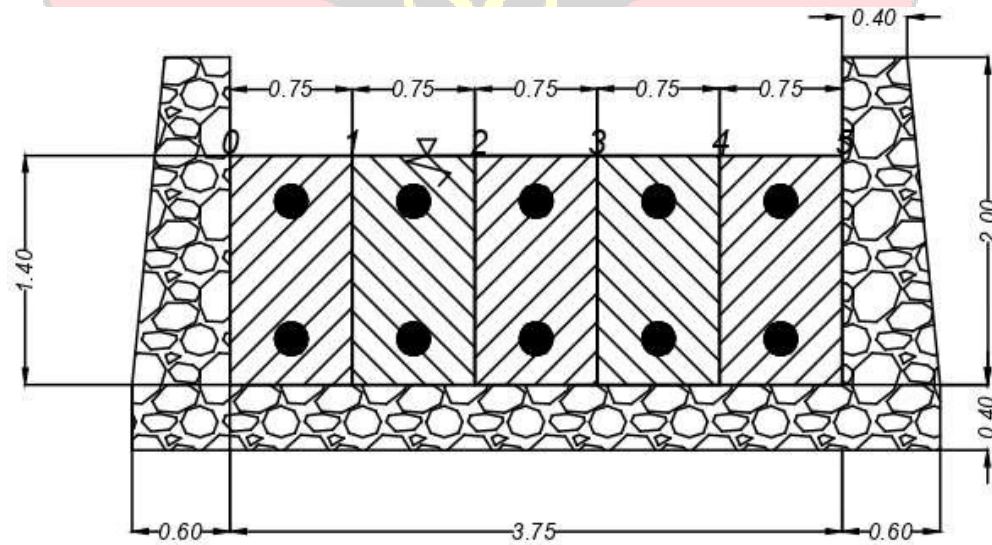




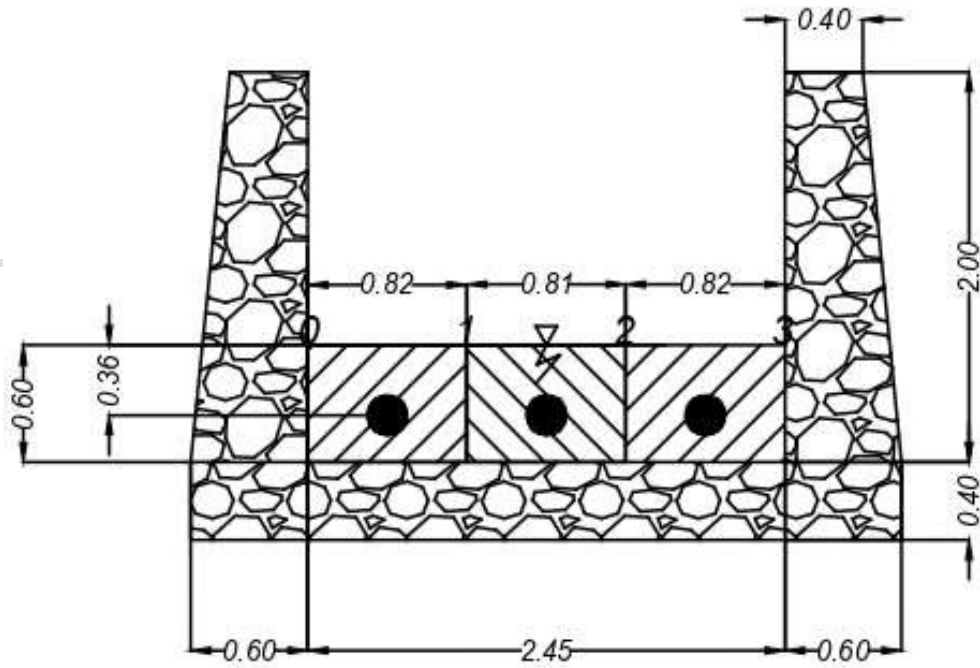
Gambar 5.1 Aliran Air Pada PLTMH Tombolo Pao



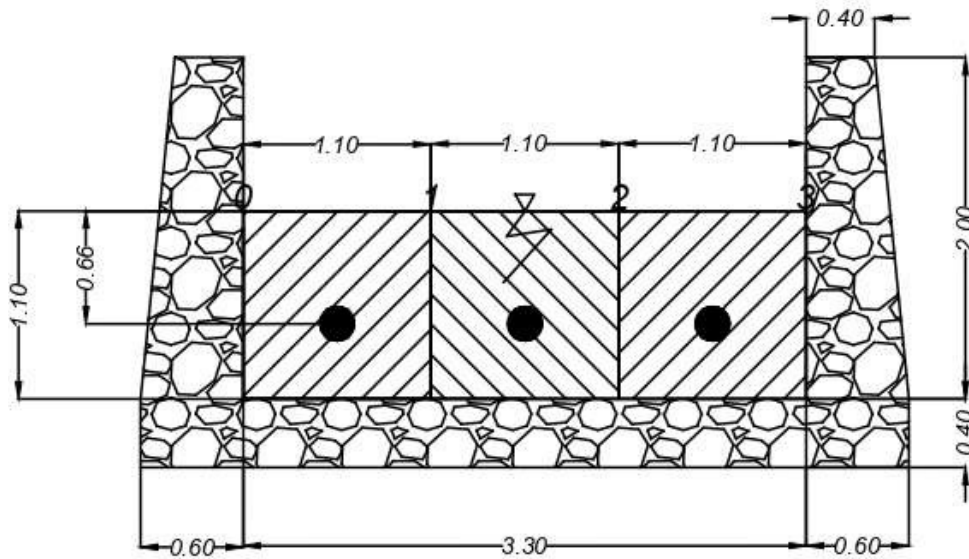
Gambar 5.2 Luas Penampang Saluran *Waterways*



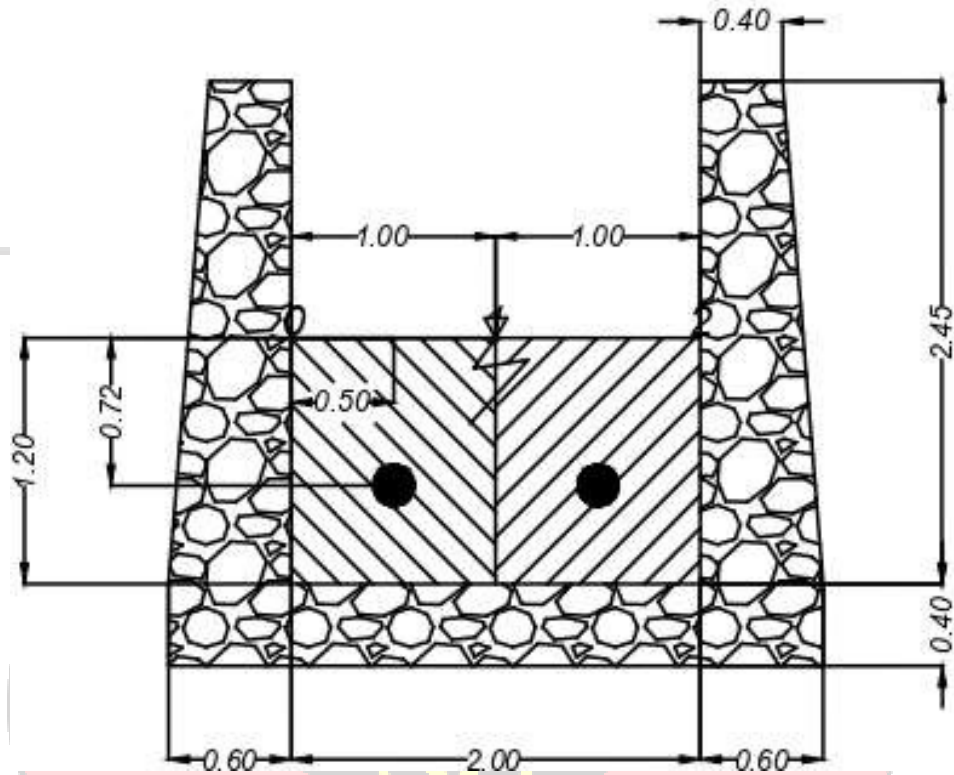
Gambar 5.3 Luas Penampang Saluran Masuk *Headpond*



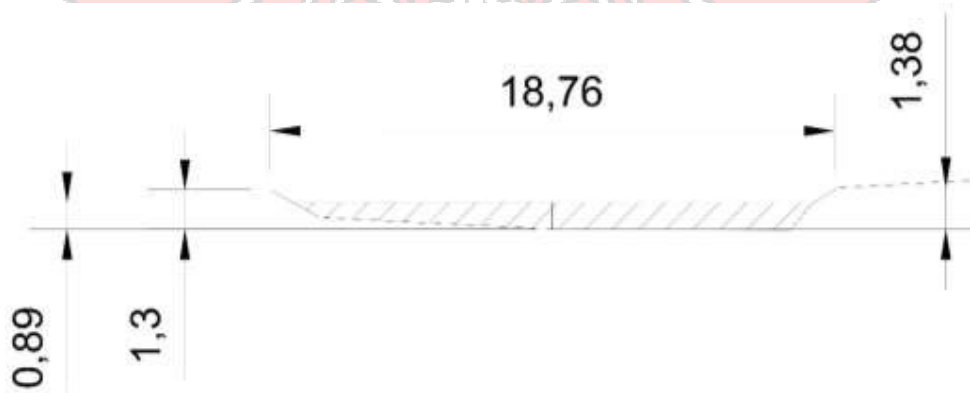
Gambar 5.4 Luas Penampang Saluran *Tailrace* Turbin Kapasitas 0,5 MW



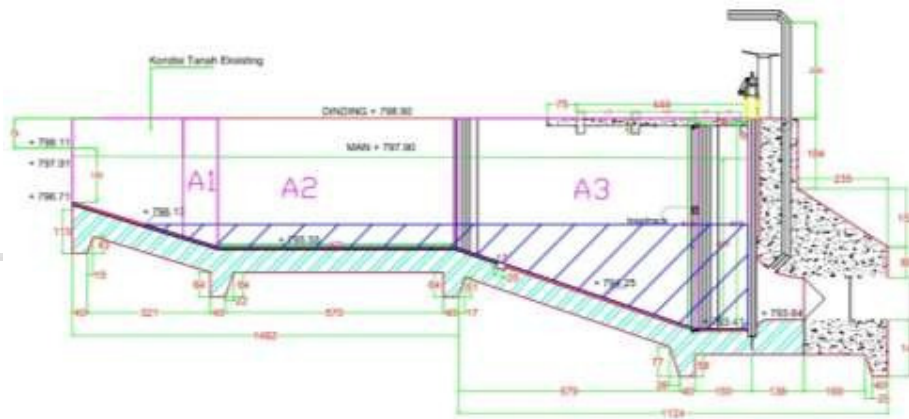
Gambar 5.5 Luas Penampang Saluran *Tailrace* Turbin Kapasitas 2,5 MW



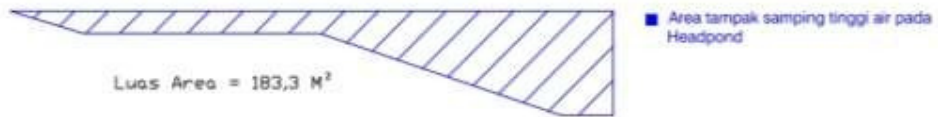
Gambar 5.6 Luas Penampang Saluran *Tailrace* Gabungan



Gambar 5.7 Luas Penampang *Reservoir* Sumber (Aliran Sungai Tangka)



POTONGAN A - A



Luas Area = $183,3 \text{ M}^2$

Volume = $183,3 \text{ M}^2 \times 26 \text{ M}$ *panjang Headpond = 26 Meter
 = $4765,8 \text{ M}^3$

Gambar 5.8 Volume *Headpond Minimum*



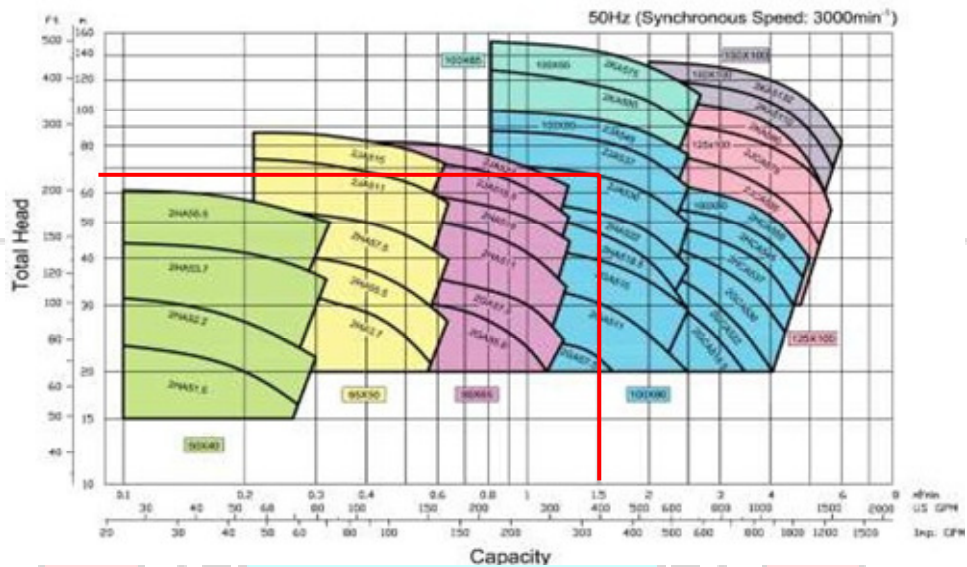
LAMPIRAN IV

SPEKIFIKASI POMPA

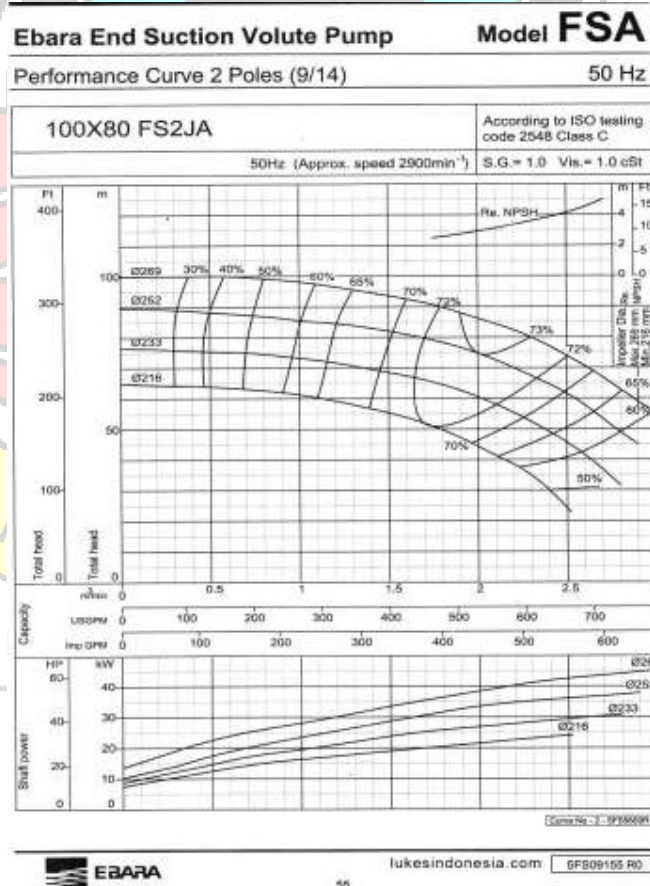
& DESAIN INSTALASI

PIPA





Gambar 5.9 Grafik Pemilihan Pompa Merk Ebara Tipe 2 Kutub 50 Hz



Gambar 5.10 Grafik Efisiensi Performa Pompa Ebara Tipe 100X80FS2JA

Tabel 5.9 Spesifikasi Pompa Merk Ebara Tipe 100X80FS2JA

Ebara End Suction Volute Pump

Model FSA

Specifications

50 Hz

■ Pump

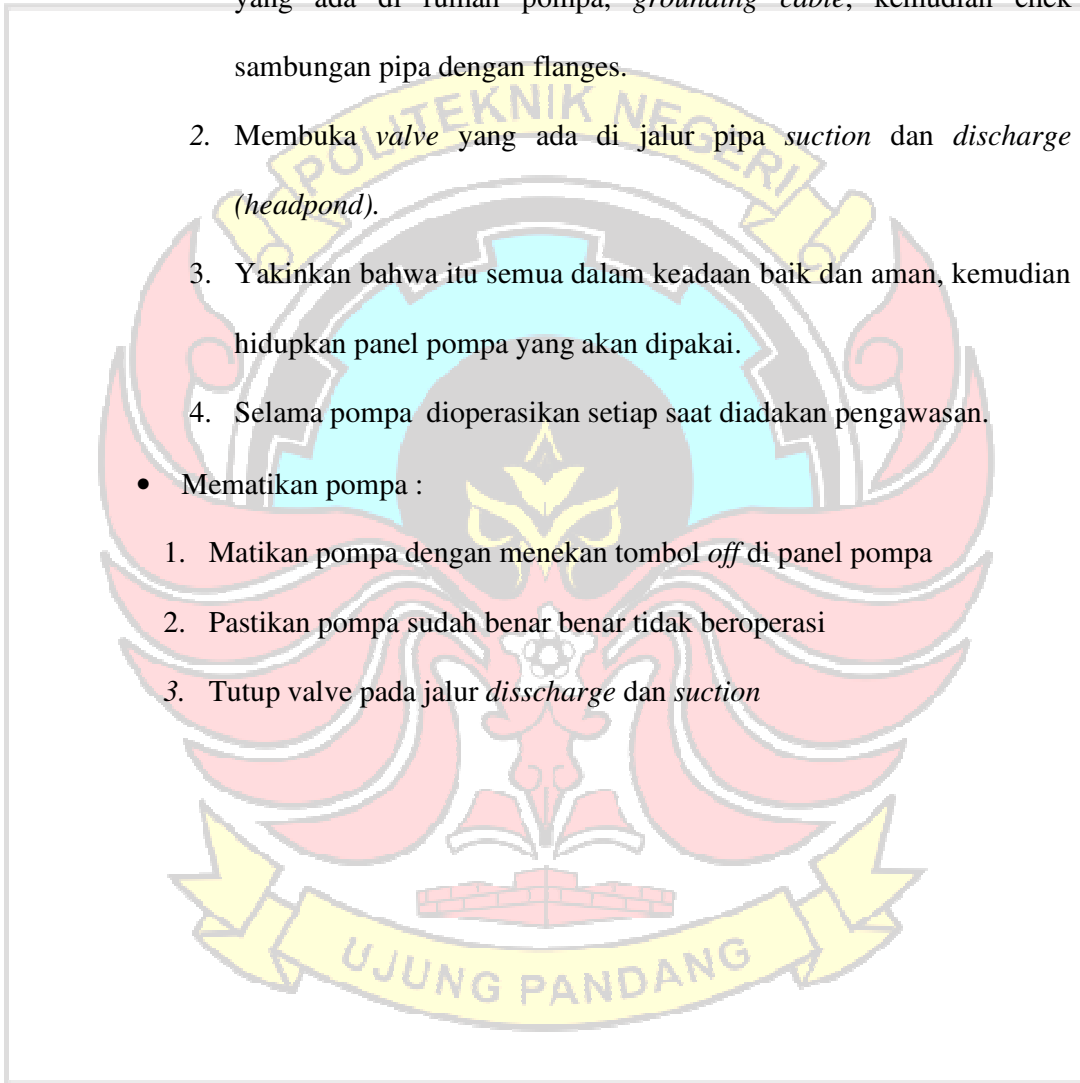
Description		Standard		Optional	
		2 poles model	4 poles model	2 poles model	4 poles model
Liquid	Name	Clean water			
	Temperature	0 to 80 °C (32 to 176 °F)			
Max. Working Pressure		10 bar (10.2 kgf/cm ²) for standard flange JIS 10K RF 16 bar (16.3 kgf/cm ²) for standard flange JIS 16K RF		16 bar (16.3 kgf/cm ²)	
Synchronous Speed		3000 min ⁻¹	1500 min ⁻¹		
Installation		Indoors		Outdoors	
Construction	Impeller	Enclosed			
	Shaft seal	Mechanical seal		Gland Packing	
	Sealing	Self flushing		External flushing	
	Bearing	Sealed ball bearing		Oil bath (some models only)	
Flange	Suction & Discharge	Suction < φ 150 mm, except 100x65 FSKA	: JIS 10K RF	16 bar : JIS 16K RF; DIN PN-16	
		100x65 FSKA	: JIS 16K RF	DIN PN-16	
		Suction = φ 150 mm, except below models	: JIS 10K RF	16 bar : JIS 16K RF; DIN PN-16	
		150x100 FSKA; 150x100 FSNA	: JIS 16K RF	DIN PN-16	
		Suction = φ 200 mm, except below models	: JIS 10K RF	16 bar : JIS 16K RF; DIN PN-16	
		200x150 FSLA; 200x150 FSNA	: JIS 16K RF	DIN PN-16	
Suction = φ 250	: JIS 16K RF	DIN PN-16			
Material	Casing	Cast Iron		Ductile Cast Iron (FCD)	
	Impeller	Bronze Casting (CAC406/BC6)		Cast Iron Ductile Cast Iron (FCD)	
	Shaft	403 Stainless steel		304; 316 Stainless steel	
	Seal	Mechanical Seal: Ceramic/Carbon/NBR		Gland Packing : Teflon (PTFE) impregnated Mechanical Seal : SiC/SiC	
Accessories	Bare shaft			Priming funnel ; valve; Companion Flange	
	With motor	Common base, Coupling, Coupling guard		Priming funnel ; valve; Companion Flange	

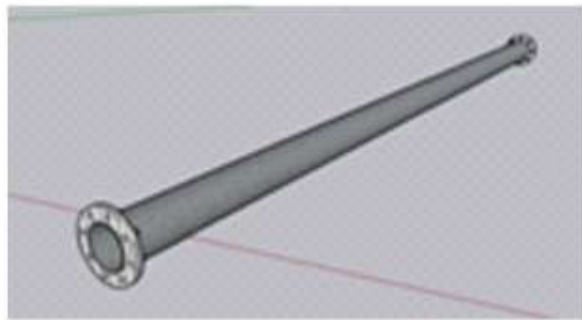
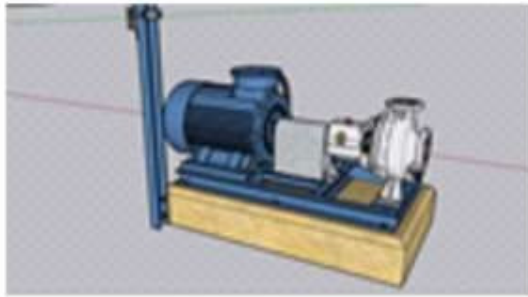
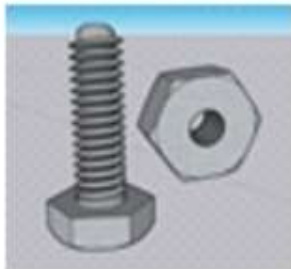
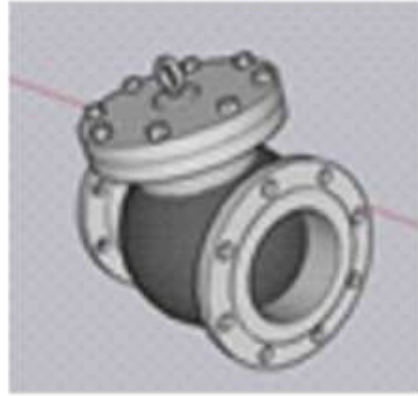
■ Paint

Part Name	Material (JIS Code)	Standard		Optional Inner Surface
		Inner Surface	Outer Surface	
Casing	Cast Iron (FC)	1 coat of Zinc chromate primer	Under coat - 1 coat of Zinc chromate primer Finish coat	1 coat of Tar epoxy resin
Bearing Housing	Cast Iron (FC)		- 1 coat of Phthalic resin enamel	
Bearing Cover				
Common Base	Cast Iron (FC)	Under coat - 1 coat of Zinc chromate primer Finish coat		
	Steel	- 1 coat of Phthalic resin enamel		

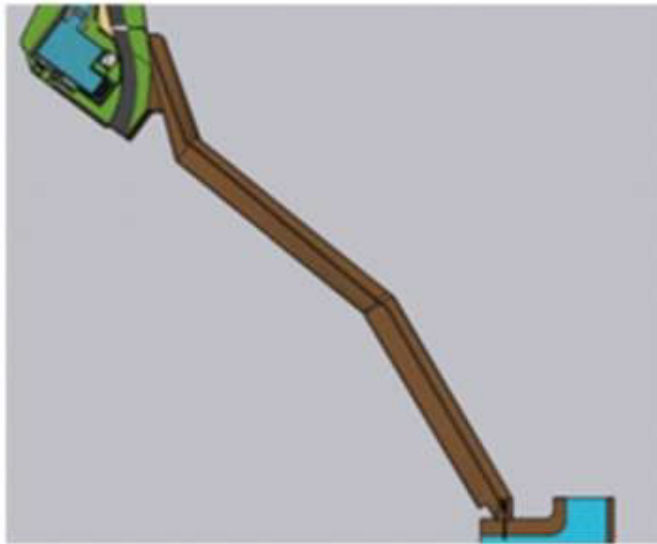
Instruksi Kerja Pengoperasian *Pumped Stroge Hydropower* (Pompa Elmot)

- Menghidupkan pompa :
 1. Mengecek dan memeriksa terlebih dahulu semua sambungan panel yang ada di rumah pompa, *grounding cable*, kemudian cek sambungan pipa dengan flanges.
 2. Membuka *valve* yang ada di jalur pipa *suction* dan *discharge (headpond)*.
 3. Yakinkan bahwa itu semua dalam keadaan baik dan aman, kemudian hidupkan panel pompa yang akan dipakai.
 4. Selama pompa dioperasikan setiap saat diadakan pengawasan.
- Mematikan pompa :
 1. Matikan pompa dengan menekan tombol *off* di panel pompa
 2. Pastikan pompa sudah benar benar tidak beroperasi
 3. Tutup *valve* pada jalur *disscharge* dan *suction*

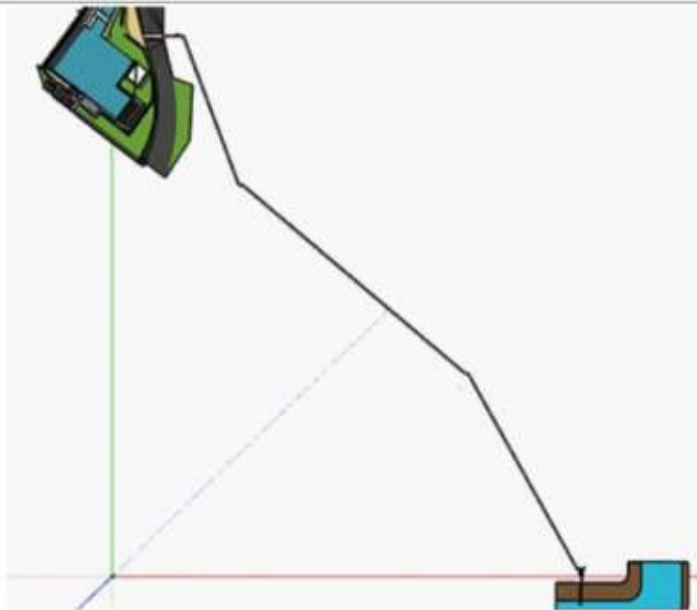





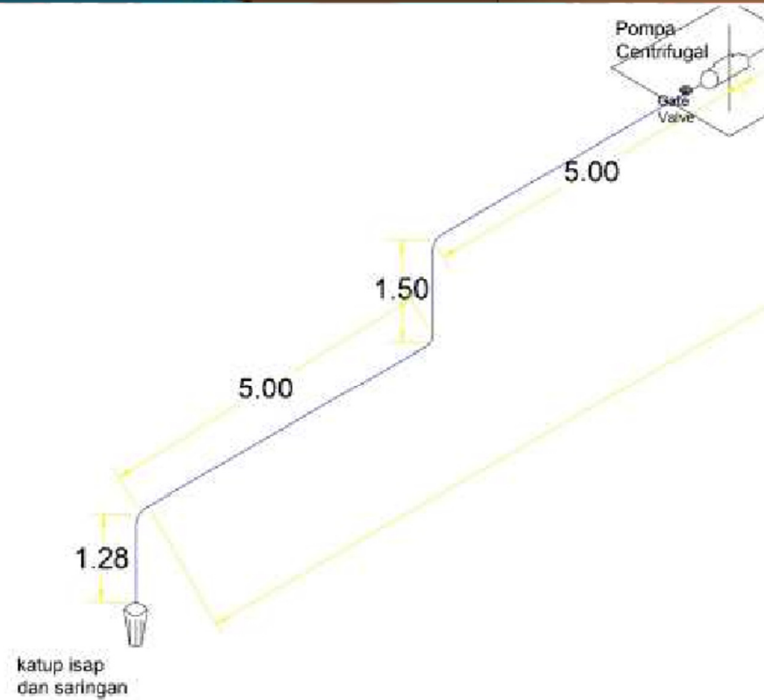
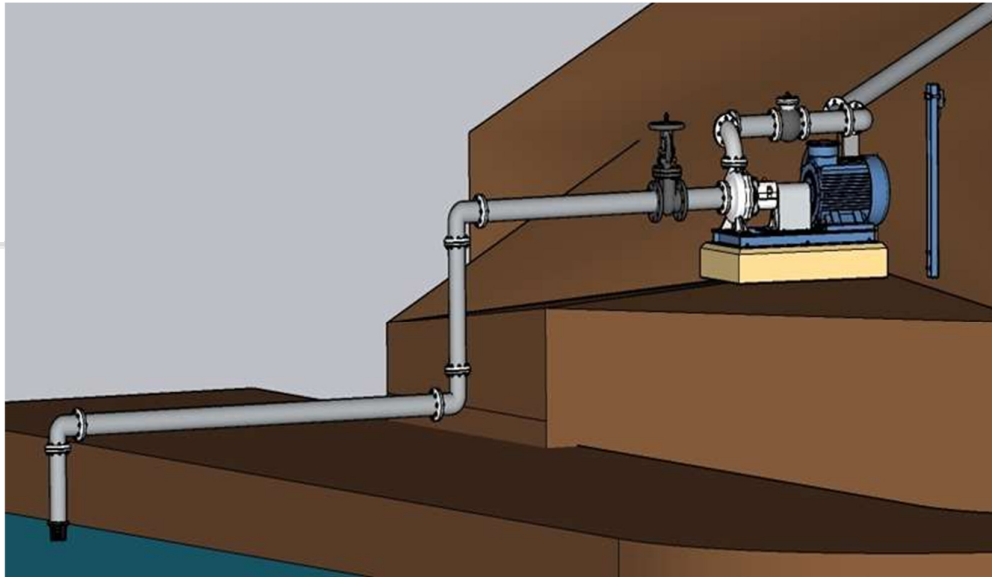
	Skala : 0	Digambar : Capstone Project Team	No. Gambar Komponen – komponen Pipa
	Sheet : 1 Of 1	Diperiksa : Coach	
	Tanggal : 7/8/2023	Disetujui : Coach	
Client : PT. Tombolo Energi	ETIKET 2	Revisi : 0	A3



	Skala : 1 : 5	Digambar : Capstone Project Team	Nama Gambar	
	Sheet : 1 Di 1	Diperiksa : Coach	Tampak Atas Jalur Pipa	
	Tanggal : 14/12/2015	Direvisi : Coach		
Klien : PT. Tambora Energi	Politeknik Negeri Ujung Pandang	Revisi : 0	A3	



	Skala : 1 : 1	Digambar : Capstone Project Team	Nama Gambar	
	Sheet : 1 Di 1	Diperiksa : Coach	Tampak Atas Jalur Pipa	
	Tanggal : 14/12/2015	Direvisi : Coach		
Klien : PT. Tambora Energi	Politeknik Negeri Ujung Pandang	Revisi : 0	A3	



Gambar 5.11 Desain Jalur Pipa Sisi *Suction* Dan Pompa

LAMPIRAN V

JADWAL CAPSTONE

PROJECT & DOKUMENTASI KEGIATAN



Tabel 5.10 Jadwal *Capstone Project*

Project Leader : Nur Pratiwi Septiriani	Bulan	Maret				April					Mei			Juni				Juli				Agustus				September			
	Pekan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Kontrak Proyek																													
Deskripsi dan Perjanjian																													
Studi Kelayakan																													
Investigasi Lokasi																													
Konsep Desain																													
Estimasi Bahan dan Peralatan																													
Analisis Perencanaan																													
Perencanaan Instalasi Pompa																													
Perencanaan Instalasi Pipa																													
Analisis Ekonomi dan Keuangan																													
Presentasi Tinjauan Studi Kelayakan (Seminar Proposal)																													
Presentasi Hasil Perencanaan (Seminar Hasil)																													





Gambar 5.12 Dokumentasi PLTMHPT.Tombolo Energi



Gambar 5.13 Dokumentasi Survey Lapangan Dan Diskusi Dengan Pihak PT.Tombolo Energi



Gambar 5.14 Reservoir Alami, Saluran *Waterway*, Saluran Pelimpah, Dan Saluran *Tailrace* PLTMH PT.Tombolo Energi



Gambar 5.15 Pengukuran Saluran *Waterway*, Saluran Masuk *Headpond*,
Tailrace Menggunakan *Current Meter* & Rambu Ukur



Gambar 5.16 Pengukuran *Tailrace* Turbin 2,5 MW Dan 0.5 MW
Menggunakan *Current Meter* & Rambu Ukur



Gambar 5.17 Pengukuran Panjang, Lebar, Dan Kedalam *Reservoir* Alami
Menggunakan *Roll Meter* & Rambu Ukur



Gambar 5.18 Pengukuran Kecepatan aliran Menggunakan Alat Ukur *Current Meter* Dan Bola Kasti (Metode Apung)



Gambar 5.19 Pengukuran Volume *Reservoir* Alami



Gambar 5.20 Penentuan Titik Acuan Bada tinggi MDPL Menggunakan *Apps My Elevation* & Pengukuran Bada Tinggi Menggunakan Alat Ukur *Theodolite*



Gambar 5.21 Diskusi Tim Dalam Mengerjakan Proyek



Gambar 5.22 Dokumentasi Tim Proyek



Gambar 5.23 Dokumentasi Evaluasi *Capstone Project* Dengan Pihak RESD Dan Dosen - Dosen D4 Teknik Pembangkit Eneгри Spesialisasi Energi Terbarukan



LAMPIRAN VI SURAT PERIZINAN



PT. Bumi Karsa
Wisma Kalla, Lt. 11
Jl. Dr. Sam Ratulangi No. 8-10
Makassar 90132, Indonesia
T: (02 411) 851 890
E: bk@bumikarsa.co.id
www.bumikarsa.co.id

Tanggal : 13 Maret 2023
Nomor : 062/BK-HC/III/2023
Perihal : **Tanggapan Izin Penelitian**

Kepada Yth.
Wakil Direktur I Politeknik Negeri Ujungpandang
Di tempat

Dengan Hormat,
Sehubungan dengan Surat Politeknik Negeri Ujungpandang nomor 0851/PL10/PK.03.08/2023, 0940/PL10/PK.03.08/2023 dan 0943/PL10/PK.03.08/2023 tentang Permohonan Izin Penelitian, maka dengan ini kami menerangkan bahwa mahasiswa di bawah ini telah disetujui untuk melakukan penelitian di PT. Tombol Energy dengan jadwal sebagai berikut:

No	Nama	Stambuk	Waktu Pelaksanaan
1	Elsa Safitri	44219008	13 Maret s.d 13 April 2023
2	Muh. Taslim	44219013	
3	Azizah Salsabila Amir	44219006	
4	Muh. Fahmi Alim	44219014	
5	Annisa	44219027	
6	Muh. Akbar Ishak	44219030	
7	Nur Rahmah Firman	44222225	14 April s.d 14 Mei 2023
8	Fahrudin	44222214	
9	Nur Pratiwi Septiriani	44222201	
10	Makhrza Fadhlul Bahri	44222202	
11	Muhammad Pangeran Ade Putra	44222211	

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan Kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Hormat Kami,
HBP Department

 
PT. BUMI KARSA
KONSTRUKSI INVESTASI
ALAT BERAT & PLANT

Jannah Lestari Ahmad
HCBP Manager

Tembusan Yth.:
- Nadiwan A. Ir. (Tombolo Energy Manager)
- Sutrisno Ir. (Kepala Unit PT. Tombolo Energy)
- Arsip



A PART OF KALLA DEVELOPMENT & CONSTRUCTION

Tanggal : 31 Mei 2023
Nomor : 135/BK-HC/V/2023
Perihal : **Perpanjangan Penelitian**

Kepada Yth.
Wakil Direktur I Politeknik Negeri Ujungpandang
Di tempat

Dengan Hormat,
Sehubungan dengan Surat Politeknik Negeri Ujungpandang nomor 1777/PL10.2/HM.02.02/2023, 1778/PL10.2/HM.02.02/2023 tentang Permohonan Izin Penelitian, maka dengan ini kami menerangkan bahwa :

No	Nama	Stambuk	Waktu Pelaksanaan
1	Nur Rahmah Firman	44222225	1 Juni – 30 Juni 2023
2	Fahrudin	44222214	
3	Nur Pratiwi Septiriani	44222201	
4	Makhraya Fadhlul Bahri	44222202	
5	Muhammad Pangeran Ade Putra	44222211	

Mahasiswa bersangkutan diizinkan untuk melanjutkan penelitian di PT. Tombolo Energy hingga batas waktu yang ditetapkan

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan Kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Hormat Kami,
HBP Department



PT. BUMI KARSA
KONSTRUKSI INVESTASI
PLAT BERAT & PLANT

Jannah Lestari Ahmad
HCBP Manager

Tembusan Yth. :
- Nadiwan A. Ir. (Tombolo Energy Manager)
- Sutrisno Ir. (Kepala Unit PT. Tombolo Energy)
- Arsip

LAMPIRAN VII SITE VISIT REPORT

Nama Klien : PT. Tombolo Energi
Tempat kunjungan : Jl . Dr. Ratulango No.8 Kelurahan Kunjung Mae,
Kec. Mariso, Kota Makassar, Prov. Sulawesi

Selatan, 90114

Tanggal Kunjungan : 11 April 2023

Orang Bertanggung jawab : Muyladi Mahmud (*Engineering Supervisor*)

Konsep :

Analisa Perencanaan efisiensi penambahan suplai air untuk PLTMH PT Tombolo Energi pada musim kemarau dengan *system semi pumped storage hydro power* demi pemenuhan kebutuhan energi diwilayah sekitar PLTMH tersebut.

Jenis Sistem Terbarukan : Pembangkit listrik tenaga mikro hidro mulai beroperasi dari tahun 2015

Informasi Detail Sistem PLTMH Tombolo Energi :

- ❖ PLTMH Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa yang telah beroperasi sejak tahun 2006 milik PT Tombolo Energi anak perusahaan dari PT Bumi Karsa (Kalla Group) dengan kapasitas 3 MW. PLTMH ini memiliki dua unit pembangkit dengan masing-masing kapasitasnya 2,5 MW dan 0,5 MW.

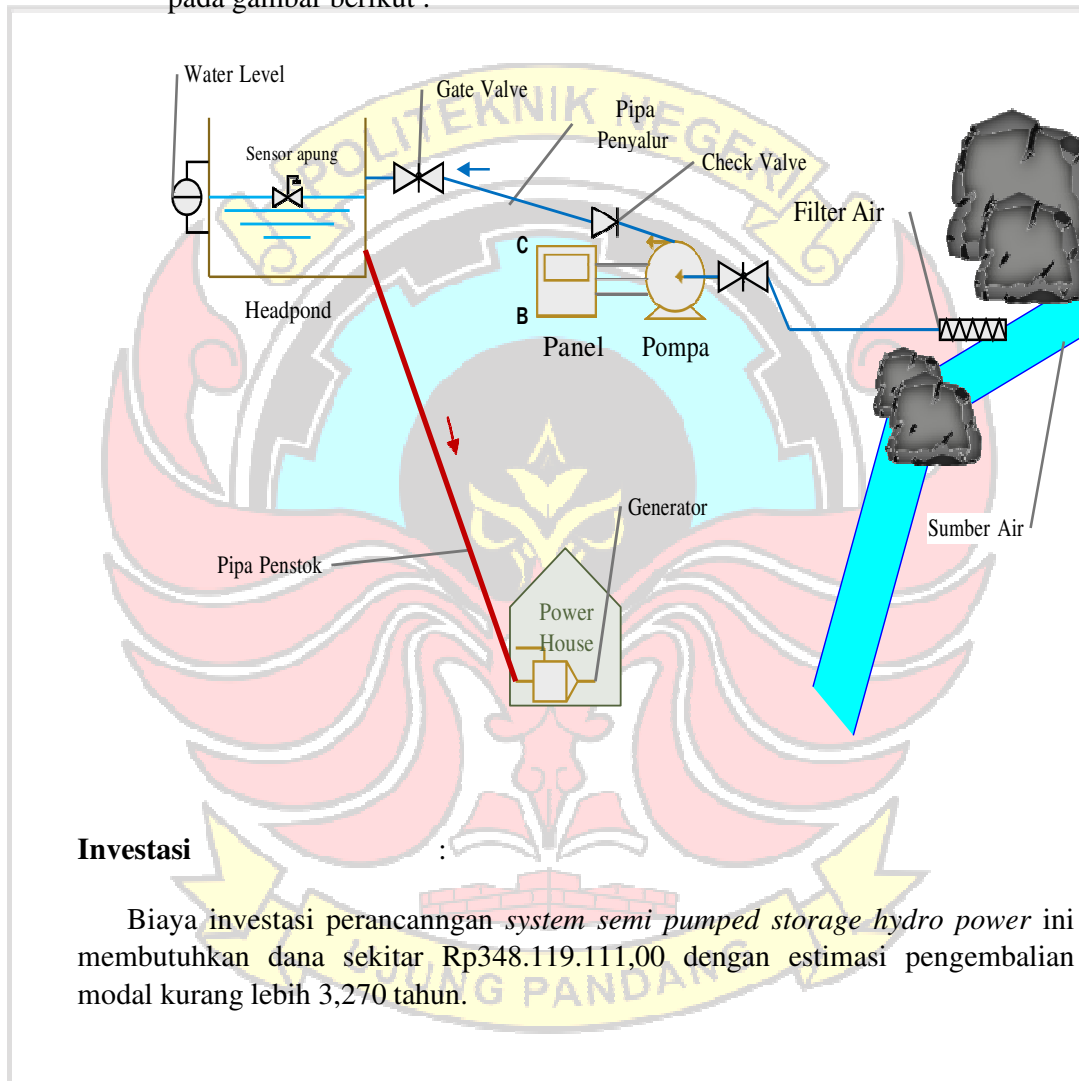
- ❖ Pada musim hujan yaitu bulan Januari sampai dengan Juli PLTMH Tombolo Pao dapat membangkitkan daya sebesar 3 MW dengan mengoperasikan kedua turbinnya, sedangkan pada musim kemarau di bulan Agustus sampai dengan Desember hanya dapat mengoperasikan 1 turbin dengan kapasitas daya 0,5 MW dimana hal tersebut dianggap kurang efisien.

- ❖ Spesifikasi lengkap Turbin dan Generator pada PLTMH PT Tombolo energi sebagai berikut :

Spesifikasi <i>Hydropower Generating Unit</i> 0,5 MW			
Generator		Turbin	
<i>Type</i>	SFW500-6/1100	<i>Type</i>	HLJF1058-WJ-62
<i>Rated voltage</i>	6300 V	<i>Rated output</i>	532 kW
<i>Rated current</i>	57.3 A	<i>Rated net head</i>	99 m
<i>Rated frequency</i>	50 Hz	<i>Rated discharge</i>	0.61 m ³ /s
<i>Number of phases</i>	3	<i>Rated speed</i>	1000 r/min
<i>Rated power factor (lagging)</i>	0.80	<i>Maximum runaway speed</i>	1632.9 r/min
<i>Rated excitation voltage</i>	50 V	<i>Maximum water thrust</i>	35 kN
<i>Rated excitation current</i>	175 A	<i>Direction of rotation (overlook)</i>	Clockwise
<i>Weight</i>	9.814 t	<i>Weight</i>	6.2 t

Spesifikasi <i>Hydropower Generating Unit</i> 2,5 MW			
Generator		Turbin	
<i>Type</i>	SFW2500-8/1730	<i>Type</i>	HLA550-WJ-87
<i>Rated voltage</i>	6300 V	<i>Rated output</i>	2636 kW
<i>Rated current</i>	286.4 A	<i>Rated net head</i>	99 m
<i>Rated frequency</i>	50 Hz	<i>Rated discharge</i>	2.98 m ³ /s
<i>Number of phases</i>	3	<i>Rated speed</i>	750 r/min
<i>Rated power factor (lagging)</i>	0.80	<i>Maximum runaway speed</i>	1326 r/min
<i>Rated excitation voltage</i>	95 V	<i>Maximum water thrust</i>	78.4 kN
<i>Rated excitation current</i>	300 A	<i>Direction of rotation (overlook)</i>	Clockwise
<i>Weight</i>	30 t	<i>Weight</i>	10.6 t

- ❖ Terdapat potensi aliran air yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan debit air pada PLTMH Tombolo Pao menggunakan teknologi *pump storage hydropower* (PSH) Adapun ilustrasi proyek ini dapat dilihat pada gambar berikut :



LAMPIRAN VIII PROYEK DESKRIPSI

PROGRAM STUDI PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PADANG

Title	Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan <i>Pumped Stroge Hydropower</i>
-------	--

Klien :

Company	PT. Tombolo Energi
Name	Ir. Andi Nadiwan
Function	Manager PT. Tombolo Energi
Street	Jl. Perintis Kemerdekaan
Adress	Jl. Perintis Kemerdekaan No. 25, Km. 15 Makassar
Telephone	0411-512347
E-Mail	energytombolo@gmail.com
Homepage	kallagroup.co.id

Department at PNUP, Project Coach :

Department	D4 Teknik Pembangkit Energi Spesialis Energi Terbarukan
Coach 1	
Name	Dr. Ir. Firman, M.T. (project coordinator)
Telephone	+62 813 4236 9085
E-Mail	firman@poliupg.ac.id
Coach 2	
Nama	Indra Mutiara, S.T., M.T. (project coordinator)
Telephone	+62 852 4470 3579
E-Mail	indramutiara@poliupg.ac.id

Special Requirements	3 Collega Student
----------------------	-------------------

Deskripsi Proyek

Situasi Awal

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup berlimpah, salah satunya banyak aliran sungai yang terletak di desa-desa dan daerah terpencil. Aliran sungai yang memiliki debit tertentu dapat dimanfaatkan untuk membuat pembangkit listrik salah satunya, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan dayanya 500 W-100 kW (Poapa, 2017). PLMTH adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Dimana keunggulan dari PLMTH sendiri adalah dapat beroperasi sehari penuh karena air tidak tergantung siang dan malam serta pengoperasian PLTMH tidak memerlukan biaya yang mahal (Ointu *et al.*, 2020).

Salah satu PLTMH yang terdapat di Sulawesi Selatan adalah PLTMH Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa yang telah beroperasi sejak tahun 2015 milik PT Tombolo Energi anak perusahaan dari PT Bumi Karsa (Kalla Group) dengan kapasitas 3 MW. PLTMH ini memiliki dua unit pembangkit dengan masing-masing kapasitasnya 2,5 MW dan 0,5 MW.

PLTMH Tombolo Pao memberikan kontribusi kepada masyarakat setempat, juga memberikan kontribusi terhadap dunia pendidikan karena PLTMH tersebut sering dijadikan tempat kunjungan industri bagi mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang dan beberapa perguruan tinggi lainnya. Keberadaan PLTMH dapat

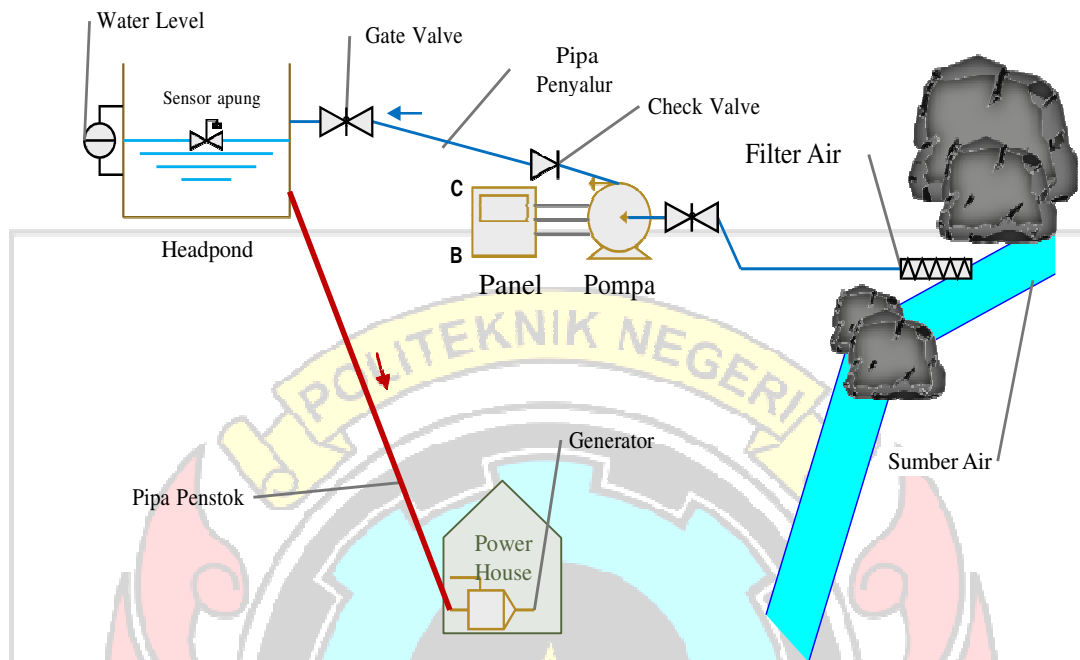
meningkatkan kesejahteraan dan ekonomi masyarakat, sebagaimana harapan Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan.

Pada musim hujan PLTMH Tombolo Pao dapat membangkitkan daya sebesar 3 MW dengan mengoperasikan kedua turbinnya, sedangkan pada musim kemarau hanya dapat mengoperasikan 1 turbin dengan kapasitas daya 0,5 MW. Pada saat musim kemarau panjang volume air dari sungai mengalami penurunan, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air dilakukan sistem penampung terlebih dahulu pada bendung. Kemudian disalurkan ke *headpond* selama ± 5 jam hingga volume air pada *headpond* terpenuhi dan turbin dapat beroperasi. Berdasarkan dari informasi operator bahwa pada saat turbin beroperasi, volume air pada *headpond* lebih cepat berkurang dibandingkan saat waktu pengisian. Pada saat volume minimum operator akan menonaktifkan turbin dan mengoperasikan turbin kembali ketika volume air telah terpenuhi dan begitu seterusnya, akan tetapi ketika waktu pengisian ke *headpond* memakan waktu yang cukup lama (hingga berhari-hari) maka turbin tidak akan dioperasikan, melainkan akan dilakukan perawatan. Dari permasalahan tersebut peneliti ingin berinovasi dengan memanfaatkan teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH).

Teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH) merupakan salah satu sistem penyimpanan energi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia sejak tahun 1890-an yang mencapai perkiraan kapasitas terpasang sebesar 130 GW (Pérez-Díaz *et al.*, 2015). Di Indonesia sendiri pusat listrik tenaga air teknologi *pumped storage* berada di Jawa Barat yang merupakan proyek PLTA didalam RUPTL 2019- 2028 yaitu 2 lokasi yang menjadi usulan PLTA *Pumped Storage* Matenggeng (943 MW)

dan PLTA *Pumped Storage* Grindulu (1000 MW) (Rahmanta, 2022). Di sisi lain PSH dapat digunakan untuk menstabilkan sistem kelistirikan sehingga dapat dimanfaatkan dalam skala besar dan biayanya yang ekonomis dibandingkan dengan penggunaan baterai (Florian *et al*, 2015). Adapun penelitian yang mendukung tentang teknologi *pumped-storage hydropower* yaitu teknologi ini dapat meningkatkan kembali energi sekitar 70% – 80% dari input energi (Yang & Jackson, 2011). Dan beberapa hasil kajian yang menunjukkan bahwa sistem *pumped-storage hydropower* bisa memberikan *payback period* lebih cepat sekitar 2,5 - 5,5 tahun (Pramono & Lasman, 2020).

Berdasarkan permasalahan dan kajian yang telah dilakukan penulis, penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian proyek capstone di perusahaan PT. Tombolo Energi yang berfokus pada turbin kapasitas 0,5 MW dengan judul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Stroge Hydropower*”. Dimana *ouput* dari penelitian ini berupa saran desain perancangan *pumped stroge hydropower* . Adapun untuk skema perancangan proyek dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Ilustrasi Proyek

Tujuan Proyek, hasil yang diharapkan dan hasil akhir

1. Menentukan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
2. Mendesain instalasi pipa dari sumber air sampai ke *headpond* untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
3. Menentukan biaya instalasi dan kelayakan investasi.

Jenis penugasan, paket kerja, hasil kerja

- Penentuan spesifikasi pompa dan desain instalasi pipa menggunakan perangkat lunak autocad dan perangkat lain yang mendukung.
- Desain dengan analisi numerik dan menggunakan perangkat lunak *epanet*, *google eart* dan perangkat lain yang mendukung.
- Menghitung biaya instalasi dan kelayakan investasi dengan analisi numerik.

- Pengukuran beda tinggi kontur tanah menggunakan alat ukur *theodolite* dan rambu ukur.
- Pengukuran debit air menggunakan *current meter*, rambu ukur dan *roll meter*.

Ide ini membantu mencapai transisi energi karena :

Keterangan khusus, kondisi batas, kerahasiaan

Tempat bekerja : Pusat Pembelajaran Konversi Energi Politeknik Negeri

Ujung Pandang


Organisasi : PT. Tombolo Energi

Klien setuju bahwa tim mahasiswa akan mengerjakan tugas yang dijelaskan. Klien setuju dengan kondisi tersebut yang telah terpaparkan diatas.

Makassar, 10 April 2023

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Firman, M.T.


Indra Mutiara, S.T., M.T.

NIP. 19641231 199103 1 028

NIP. 19810311 201404 1 002

UJUNG PANDANG

LAMPIRAN IX *PROJECT AGREEMENT*

Nama Proyek: Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi Pada
Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Stroge Hydropower*

Deskripsi Awal :

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup berlimpah, salah satunya banyak aliran sungai yang terletak di desa-desa dan daerah terpencil. Aliran sungai yang memiliki debit tertentu dapat dimanfaatkan untuk membuat pembangkit listrik salah satunya, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan dayanya 500 W-100 kW (Poapa, 2017). PLMTH adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Dimana keunggulan dari PLMTH sendiri adalah dapat beroperasi sehari penuh karena air tidak tergantung siang dan malam serta pengoperasian PLTMH tidak memerlukan biaya yang mahal (Ointu *et al.*, 2020).

Salah satu PLTMH yang terdapat di Sulawesi Selatan adalah PLTMH Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa yang telah beroperasi sejak tahun 2015 milik PT Tombolo Energi anak perusahaan dari PT Bumi Karsa (Kalla Group) dengan kapasitas 3 MW. PLTMH ini memiliki dua unit pembangkit dengan masing-masing kapasitasnya 2,5 MW dan 0,5 MW.

PLTMH Tombolo Pao memberikan kontribusi kepada masyarakat setempat, juga memberikan kontribusi terhadap dunia pendidikan karena PLTMH tersebut sering dijadikan tempat kunjungan industri bagi mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang dan beberapa perguruan tinggi lainnya. Keberadaan PLTMH dapat

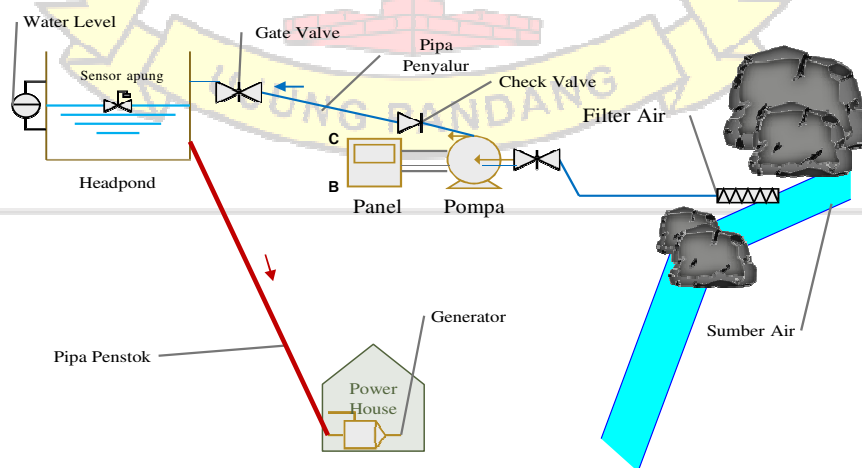
meningkatkan kesejahteraan dan ekonomi masyarakat, sebagaimana harapan Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan.

Pada musim hujan PLTMH Tombolo Pao dapat membangkitkan daya sebesar 3 MW dengan mengoperasikan kedua turbinnya, sedangkan pada musim kemarau hanya dapat mengoperasikan 1 turbin dengan kapasitas daya 0,5 MW. Pada saat musim kemarau panjang volume air dari sungai mengalami penurunan, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air dilakukan sistem penampung terlebih dahulu pada bendung. Kemudian disalurkan ke *headpond* selama ± 5 jam hingga volume air pada *headpond* terpenuhi dan turbin dapat beroperasi. Berdasarkan dari informasi operator bahwa pada saat turbin beroperasi, volume air pada *headpond* lebih cepat berkurang dibandingkan saat waktu pengisian. Pada saat volume minimum operator akan menonaktifkan turbin dan mengoperasikan turbin kembali ketika volume air telah terpenuhi dan begitu seterusnya, akan tetapi ketika waktu pengisian ke *headpond* memakan waktu yang cukup lama (hingga berhari-hari) maka turbin tidak akan dioperasikan, melainkan akan dilakukan perawatan. Dari permasalahan tersebut peneliti ingin berinovasi dengan memanfaatkan teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH).

Teknologi *pumped-storage hydropower* (PSH) merupakan salah satu sistem penyimpanan energi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia sejak tahun 1890-an yang mencapai perkiraan kapasitas terpasang sebesar 130 GW (Pérez-Díaz *et al.*, 2015). Di Indonesia sendiri pusat listrik tenaga air teknologi *pumped storage* berada di Jawa Barat yang merupakan proyek PLTA didalam RUPTL 2019- 2028 yaitu 2 lokasi yang menjadi usulan PLTA *Pumped Storage Matenggeng* (943 MW)

dan PLTA *Pumped Storage* Grindulu (1000 MW) (Rahmanta, 2022). Di sisi lain PSH dapat digunakan untuk menstabilkan sistem kelistirikan sehingga dapat dimanfaatkan dalam skala besar dan biayanya yang ekonomis dibandingkan dengan penggunaan baterai (Florian *et al*, 2015). Adapun penelitian yang mendukung tentang teknologi *pumped-storage hydropower* yaitu teknologi ini dapat meningkatkan kembali energi sekitar 70% – 80% dari input energi (Yang & Jackson, 2011). Dan beberapa hasil kajian yang menunjukkan bahwa sistem *pumped-storage hydropower* bisa memberikan *payback period* lebih cepat sekitar 2,5 - 5,5 tahun (Pramono & Lasman, 2020).

Berdasarkan permasalahan dan kajian yang telah dilakukan penulis, penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian proyek capstone di perusahaan PT. Tombolo Energi yang berfokus pada turbin kapasitas 0,5 MW dengan judul “Optimalisasi Pengoperasian PLTMH PT. Tombolo Energi Pada Saat Musim Kemarau Dengan *Pumped Storage Hydropower*”. Dimana *ouput* dari penelitian ini berupa saran desain perancangan *pumped stroge hydropower* . Adapun untuk skema perancangan proyek dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Ilustrasi Proyek

Tujuan Proyek :

1. Menentukan spesifikasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
2. Mendesain instalasi pemipaan dari sumber air sampai ke *headpond* untuk memenuhi kebutuhan debit yang kurang pada musim kemarau.
3. Menentukan biaya instalasi dan kelayakan investasi.

Persyaratan/Permintaan :

- Persyaratan atau kebutuhan klien
- Manajemen pembimbing

Deskripsi Sistem :

Komponen yang dianalisis :

- Kapasitas pompa dan nilai debit yang dibutuhkan
- Desain saluran penyalur (pipa)
- Analisa estimasi biaya dan kelayakan investasi
- Wilayah kerja PT Tombolo energy

Komponen yang tidak dianalisis :

- Konstruksi sistem

Milestone:

Periode : Maret – Juli 2023

Konsep Komunikasi (kepada klien):

- Komunikasi langsung (wawancara dan diskusi)
- Komunikasi tidak langsung menggunakan media komunikasi seperti telepon, surat atau peralatan lainnya yang mendukung.

- Fokus dalam menyelesaikan permasalahan yang sesuai dengan kebutuhan klien dan mempertimbangkan untung rugi dalam pelaksanaan proyek bersama dengan klien.

Manajemen Resiko (jika resiko relevan dengan klien) :

- Waktu penyelesaian proyek
- Biaya modal jika klien ingin menerapkan proyek

Biaya Proyek :

- Biaya konsumsi selama kunjungan PLTMH Tombolo Pao

Kontak :

Client

PT. Tombolo Energy

Telp. : 0411-512247

Fax : 0411-512824

E-mail : energytombolo@gmail.com

Makassar, 31 Mei 2023

Manager PT. Tombolo Energi


Ir. Andi Nadiwan