

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI
KABUPATEN TANA TORAJA KECAMATAN MALIMBONG BALEPE'
DESA BALEPE'



JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Tana Toraja Kecamatan Malimbong Balepe’ Desa Balepe” oleh Agung Tandi Paillin NIM 44222203, Dony Paladan NIM 44222232 dan Arthur Pratama Aritonang NIM 44222234 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

Makassar, September 2023

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Andi Muh. Subhan, M.T.

NIP: 19670530 199703 1 001



Yivin Klistafani, S.T., M.T.

NIP: 19900517 201504 2 001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi



Ir. Chandra Buana, M.T.





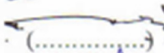

NIP: 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Jumat 22 September 2023, tim penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima hasil Ujian Sidang Skripsi oleh Agung Tandi Paillin NIM 44222203, Dony Paladan NIM 44222232 dan Arthur Pratama Aritonang NIM 44222234 ini dengan judul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Tana Toraja Kecamatan Malimbong Balepe' Desa Balepe".

Makassar, September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- | | | |
|---------------------------------------|-----------------|---|
| 1. Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. | (Ketua) |  |
| 2. Prof. Dr. Ir. Firman, M.T. | (Sekretaris) |  |
| 3. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. | (Anggota I) |  |
| 4. Ir. Andreas Pangkung, M.T. | (Anggota II) |  |
| 5. Dr. Ir. Andi Muhammad Subhan, M.T. | (Pembimbing I) |  |
| 6. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | (Pembimbing II) |  |

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya, penulisan Skripsi ini yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Tana Toraja Kecamatan Malimbong Balepe’ Desa Balepe’ ” dapat diselesaikan dengan baik. Kegiatan penelitian dilaksanakan di Kabupaten Tana Toraja Kecamatan Malimbong Balepe’ Desa Balepe’.

Penulis menyadari bahwa dalam Skripsi ini banyak pihak yang ikut serta dalam proses penyelesaian Skripsi ini. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah ikut serta bersama penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini, diantaranya :

1. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang, bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T.
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T.
3. Koordinator Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang, bapak Chandra Buana, M.T.
4. Pembimbing 1, bapak Dr. Ir. Andi Muh. Subhan, M.T. dan Pembimbing 2 ibu Yiyin Klistafani, S.T, M.T. yang telah memberikan ide, waktu dan

kesempatannya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.

5. Rekan-rekan seperjuangan dari Program Studi Teknik Pembangkit Energi kelas B yang telah bersedia ikut terlibat dan bekerja sama dalam membantu penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, September 2023

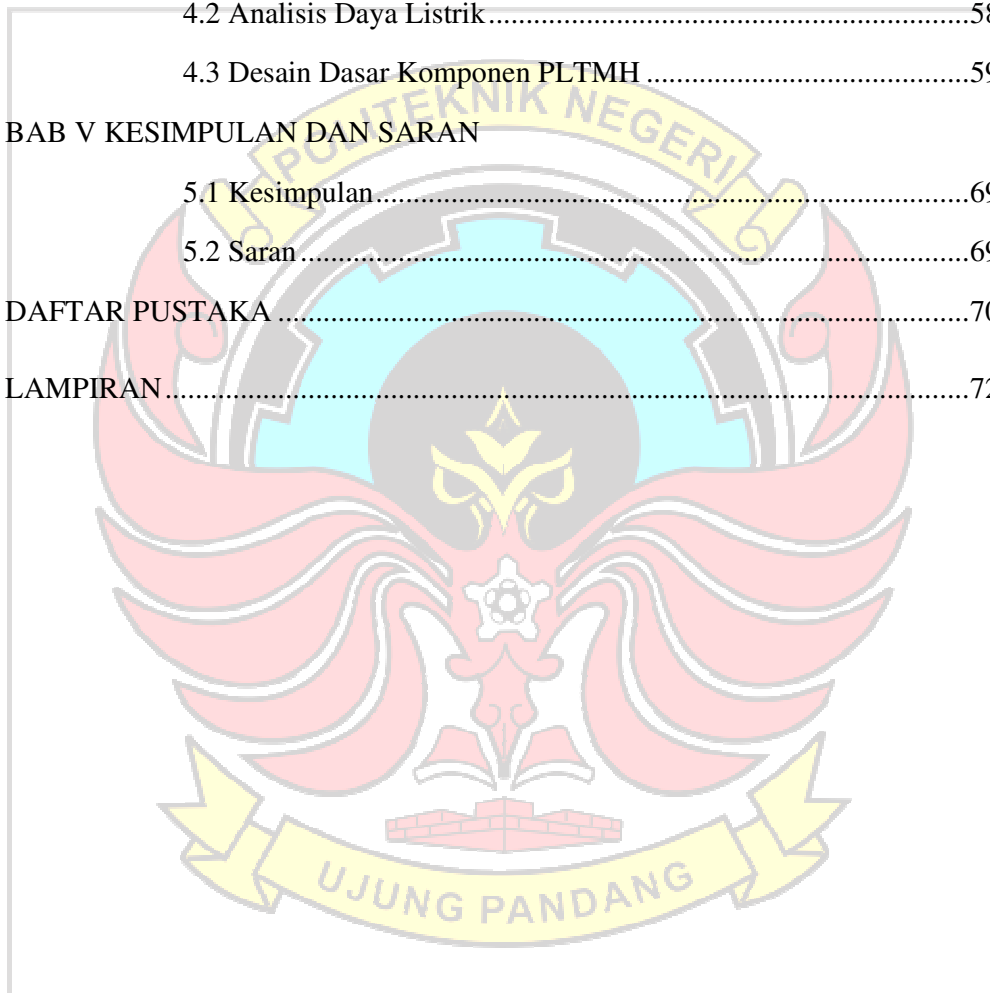
Penulis



DAFTAR ISI

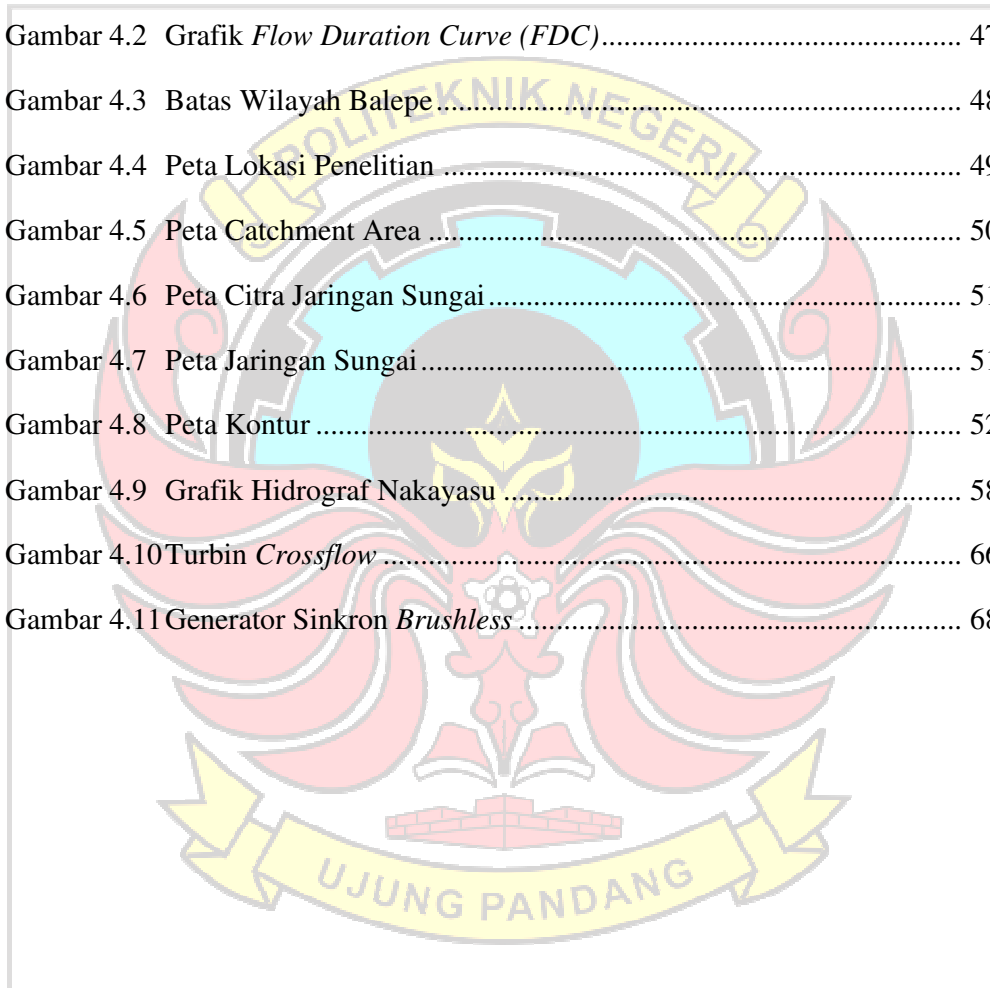
SAMPUL	1
HALAMAN PENGESAHAN.....	2
HALAMAN PENERIMAAN	3
KATA PENGANTAR	4
DAFTAR ISI	6
DAFTAR GAMBAR	8
DAFTAR TABEL	9
DAFTAR LAMPIRAN.....	10
DAFTAR SIMBOL & SATUAN	11
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	16
1.4 Tujuan Penelitian	16
1.5 Manfaat Penelitian	16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).....	18
2.2 Analisis Hidrologi	22
2.3 Turbin	27
2.3 Generator	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32

3.2 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3 Prosedur / Langkah Kerja Penelitian.....	33
3.4 Diagram Alur Penelitian.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Debit Andalan	44
4.2 Analisis Daya Listrik.....	58
4.3 Desain Dasar Komponen PLTMH	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	72



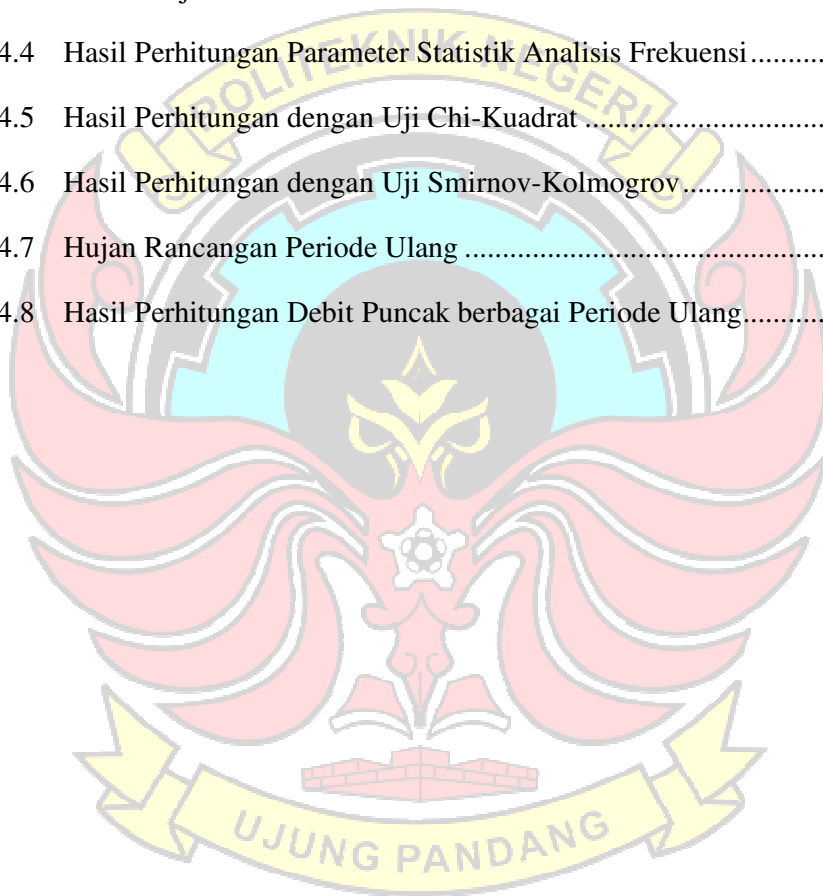
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PLTMH	19
Gambar 2.2 Turbin Air	28
Gambar 2.3 Generator	30
Gambar 4.1 Dimensi Penampang Mercu Bendung	44
Gambar 4.2 Grafik <i>Flow Duration Curve (FDC)</i>	47
Gambar 4.3 Batas Wilayah Balepe.....	48
Gambar 4.4 Peta Lokasi Penelitian	49
Gambar 4.5 Peta Catchment Area	50
Gambar 4.6 Peta Citra Jaringan Sungai.....	51
Gambar 4.7 Peta Jaringan Sungai.....	51
Gambar 4.8 Peta Kontur	52
Gambar 4.9 Grafik Hidrograf Nakayasu	58
Gambar 4.10 Turbin <i>Crossflow</i>	66
Gambar 4.11 Generator Sinkron <i>Brushless</i>	68



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Kekasaran Pipa	21
Tabel 4.1	Perbandingan tinggi muka air dan debit.....	45
Tabel 4.2	Perbandingan probabilitas dan debit	46
Tabel 4.3	Curah Hujan Rata-rata.....	53
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Parameter Statistik Analisis Frekuensi.....	54
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan dengan Uji Chi-Kuadrat	54
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan dengan Uji Smirnov-Kolmogrov.....	55
Tabel 4.7	Hujan Rancangan Periode Ulang	56
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Debit Puncak berbagai Periode Ulang.....	57



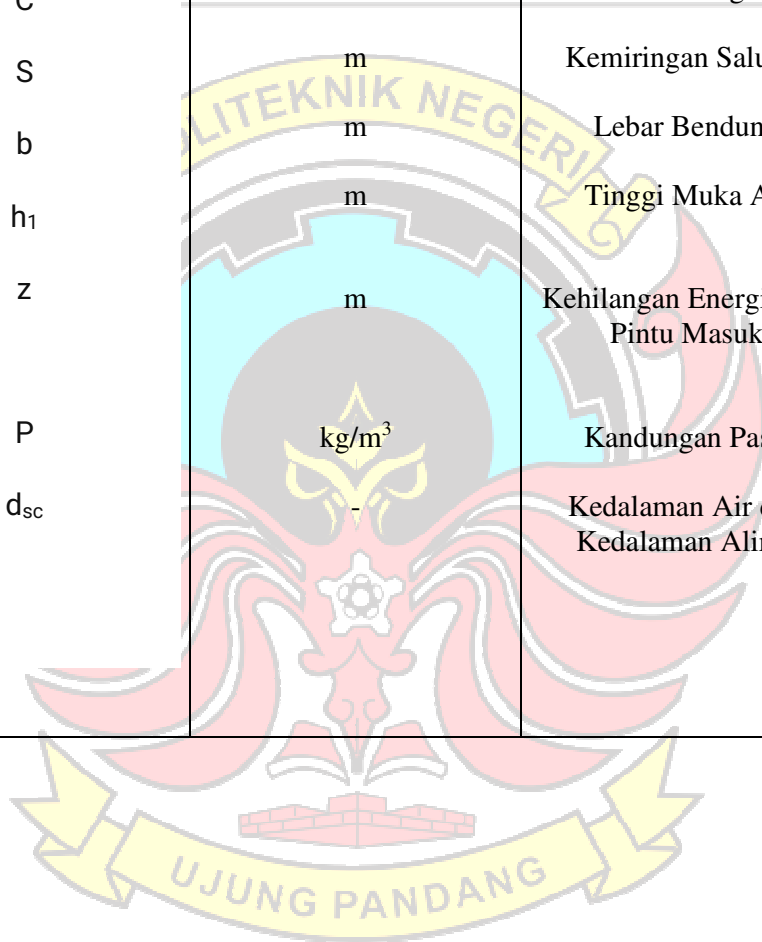
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	<i>NPV pada suku bunga 7%</i>	73
Lampiran 2.	<i>NPV pada suku bunga 10%</i>	74
Lampiran 3.	<i>NPV pada suku bunga 8,44%</i>	75
Lampiran 4.	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	76
Lampiran 5.	<i>Existing Sketch</i>	77
Lampiran 6.	<i>Existing Headrace</i>	78
Lampiran 7.	<i>Plan View</i>	79
Lampiran 8.	<i>Settling Basin</i>	80
Lampiran 9.	<i>Headrace dan Forebay</i>	81
Lampiran 10.	<i>Tailrace dan Power House 3D</i>	82
Lampiran 11.	<i>Power House</i>	83
Lampiran 12.	Skema PLTMH.....	84
Lampiran 13.	Skema PLTMH 3D.....	85
Lampiran 14.	<i>Intake 3D</i>	86
Lampiran 15.	<i>Bendung 3D</i>	87
Lampiran 16.	<i>Settling Basin 3D</i>	88
Lampiran 17.	<i>Headrace, Forebay, Power House 3D</i>	89
Lampiran 18.	<i>Trash Rack</i>	90

DAFTAR SIMBOL & SATUAN

Simbol	Satuan	Keterangan
P	Watt	Daya
g	m/s^2	Percepatan Gravitasi
H_{netto}	meter	Tinggi Efektif
η	%	Efisiensi
Q	m^3/s	Debit
R	mm	Curah Hujan rata-rata
A	km^2	Luas DAS
R_t	mm/jam	Rata-rata Hujan pada jam ke – n
R_{24}	mm/jam	Curah Hujan Maksimum Harian dalam 24 jam
T	jam	Waktu Mulai Hujan
Q_P	m^3/det	Debit Puncak Banjir
R_e	mm	Curah Hujan Efektif
T_P	jam	Waktu dari Permulaan Banjir sampai Puncak Hidrograf
$T_{0,3}$	jam	Waktu dari Puncak Banjir sampai 0,3 kali Debit Puncak
T_g	jam	Waktu Konsentrasi
T_r	jam	Satuan Waktu dari Curah Hujan

L	km	Panjang Sungai Utama
Q_t	m^3/det	Unsur Aliran sebelum mencapai Debit Puncak
V	m^2/det	Kecepatan Aliran
C	-	Koefisien Pengaliran
S	m	Kemiringan Saluran
b	m	Lebar Bendung
h_1	m	Tinggi Muka Air
z	m	Kehilangan Energi pada Pintu Masuk
P	kg/m^3	Kandungan Pasir
d_{sc}	-	Kedalaman Air dari Kedalaman Aliran



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi dari waktu ke waktu semakin meningkat karena perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk. Salah satu bentuk energi yang paling besar digunakan oleh masyarakat yaitu listrik. Listrik yang dikonsumsi oleh masyarakat sebagian besar diproduksi dari PLTU berbahan bakar batubara dan minyak bumi yang tergolong tidak terbarukan dan menghasilkan emisi yang cukup tinggi. Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memprioritaskan penggunaan energi terbarukan dengan target paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050 (Widyaningsih, 2017).

Kondisi topografi yang bergunung dan berbukit serta adanya danau/waduk yang menjadi hulu aliran sungai membuat Indonesia memiliki potensi energi air sebagai energi primer yang besar. Indonesia memiliki potensi energi air hingga 75.091 MW yang tersebar di seluruh Indonesia namun pemanfaatannya baru sekitar 7,2%. Sebagian besar pemanfaatan energi air yaitu sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) ini sudah terbukti handal dan menyumbang persentase 66% dari total 7GW pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (*Institute for Essential Services Reform (IESR)*, 2019).

Selain pembangkit listrik tenaga air (PLTA), energi air juga dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yaitu dengan memanfaatkan aliran sungai atau irigasi yang dibedakan berdasarkan daya yang dapat dihasilkan.

Kabupaten Tana Toraja yang beribukota di Makale secara geografis terletak bagian Utara Provinsi Sulawesi Selatan yaitu antara 2° - 3° Lintang Selatan dan 119° - 120° Bujur Timur, dengan luas wilayah tercatat 2.054,30 km² persegi. Kabupaten Tana Toraja terdiri dari pegunungan, dataran tinggi, dataran rendah dan sungai dengan ketinggian yang berkisar antara < 300 m – > 2.500 m di atas permukaan laut. Sebagai daerah dataran tinggi, Tana Toraja memiliki cukup banyak potensi tenaga air yang dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Potensi sumber energi air ini berupa sumber air dari sungai-sungai yang memiliki kelangsungan debit sepanjang tahun. Untuk melakukan pengembangan sumber energi air menjadi sebuah PLTMH perlu dilakukan survei untuk mencari lokasi-lokasi strategis yang memiliki tinggi jatuh memadai.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah salah satu konsep pembangkit tenaga listrik yang dihasilkan melalui tenaga air dengan skala kecil. Penerapan konsep tenaga listrik mikrohidro ini, dapat berguna bagi masyarakat yang hidup di daerah perkampungan dan memiliki potensi air cukup baik, sehingga memberikan solusi bagi penyediaan tenaga listrik di wilayah tersebut.

Pada kabupaten Tana Toraja kecamatan Malimbong Balepe' desa Balepe' masih ada daerah yang belum teraliri listrik khususnya pada kawasan wisata air terjun Talondo Tallu dimana telah tersedia bangunan penginapan namun belum dialiri listrik.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka kami memutuskan untuk melakukan penelitian “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Tana Toraja Kecamatan Malimbong Balepe' Desa Balepe'” dengan pertimbangan memanfaatkan sumber energi terbarukan khususnya hidro untuk digunakan sebagai pembangkit listrik.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang diatas, masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung potensi debit andalan pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu ?
2. Bagaimana cara mengetahui daya listrik PLTMH pada bendungan sungai wisata Talondo Tallu ?
3. Bagaimana rancangan PLTMH pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu ?

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Penelitian ini dibatasi pada :

1. Potensi debit andalan dihitung berdasarkan analisis hidrologi pada sub DAS sungai Talondo Tallu.
2. Energi listrik yang dihasilkan berdasarkan analisis debit andalan sungai Talondo Tallu.
3. Kebutuhan listrik pada kawasan wisata Talondo Tallu.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai pada kegiatan ini adalah :

1. Menghitung debit andalan pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu.
2. Mengetahui daya listrik PLTMH pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu.
3. Merancang PLTMH pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis, sekurang-kurangnya dapat berguna sebagai sumbangsih pemikiran bagi dunia Pendidikan.
2. Memberi solusi terhadap masalah penyediaan energi yang ramah lingkungan.

3. Sebagai bahan penelitian kampus, industri masyarakat dan pemerintah khususnya perencanaan PLTMH di bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah salah satu alternatif sumber pembangkit energi. Umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis "*run-of-river*" dimana head diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai melalui pipa atau saluran untuk turbin ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama. Jumlah aliran air yang dialihkan disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan. PLTMH merupakan tipe terkecil dari pembangkit listrik tenaga air dan merupakan suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas rendah, dimana daya listrik yang dihasilkan antara 5 sampai 100 kW. Dalam memanfaatkan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sebagai sumber energi listrik maka perlu dilakukan identifikasi dengan tepat mengenai potensi dari suatu wilayah atau tempat dan merancang sistem pembangkit listrik yang sesuai dengan kondisi lingkungan tersebut. Dengan identifikasi dan rancangan yang baik maka pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) tidak akan menyebabkan gangguan pada aliran sungai ataupun dampak yang diakibatkan oleh pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat diminimalkan sehingga dapat hidup berdampingan dengan ekologi pada lokasi PLTMH (Nasir, Bilal, 2014).

Keuntungan penggunaan turbin air (PLTMH) sebagai pembangkit listrik, (Nasir, Bilal 2014) antara lain:

- a. Biaya operasional relatif murah karena berasal dari energi terbarukan sehingga penggunaan turbin sangat menguntungkan untuk penggunaan dalam waktu yang lama.
- b. Turbin-turbin pada PLTMH dapat dioperasikan atau dihentikan pengoperasiannya setiap saat.
- c. Dengan perawatan yang baik, turbin dapat beroperasi dalam waktu yang cukup lama.
- d. Sumber energi yang digunakan adalah energi air sehingga tidak mengakibatkan pencemaran udara dan air.



Gambar 2.1 PLTMH

Sumber : Widharma, 2021

Menurut Abdul *et al.* (2014) konstruksi bangunan sipil untuk PLTMH adalah:

1. Bendung

Berfungsi untuk menaikkan tinggi muka air di sungai, agar bisa masuk ke pintu pengambilan (*intake*).

2. *Intake*

Konstruksi bendung dilengkapi dengan bangunan pengambilan (*intake*) yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam bak pengendap.

3. Bak Pengendap

Bangunan pengendap digunakan untuk menangkap sedimen yang melalui saluran. Bangunan pengendap sedimen dapat direncanakan bentuknya, bahan pembuatnya, serta penempatan posisinya berdasarkan keadaan saluran pembawanya.

4. Saluran Pembawa

Bangunan saluran pembawa air (*headrace channel*) adalah untuk mengalirkan air dari *intake/settling basin* ke bak penenang (*forebay*) dan untuk mempertahankan kestabilan debit air. Jenis saluran ini adalah saluran terbuka.

5. Bak Penenang

Merupakan tempat permulaan pipa pesat (*penstock*) yang mengendalikan aliran minimum, sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin, serta tempat pengendapan akhir.

6. Pipa Pesat

Pipa pesat (*penstock pipe*) adalah saluran tertutup (pipa) pembawa air yang menuju turbin yang ditempatkan di rumah pembangkit. Saluran ini yang akan berhubungan dengan peralatan mekanik seperti turbin. Kondisi topografi dan pemilihan sistem PLTMH mempengaruhi tipe pipa pesat (*penstock pipe*).

Tabel 2.1 Koefisien kekasaran pipa

Material Pipa	C
Pipa Asbes	140
Kuningan	130 – 140
Cast Iron	95 – 130
Pipa Berlapis Semen	120 – 140
Tembaga	130 – 140
Pipa Besi Digalvanis	120
Timah	130 – 140
Plastik (PVC)	140 – 150
Baja (Steel)	140 – 150

Sumber : Birdi, 1979

7. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Bangunan rumah pembangkit (*power house*) adalah bangunan yang berfungsi untuk melindungi peralatan elektrikal mekanikal seperti

turbin, generator, panel kontrol dan lainnya dari segala gangguan.

8. Saluran Pembuang (*Tailrace*)

Saluran pembuang (*tailrace*) bertujuan sebagai saluran pembuang air dari rumah pembangkit dan menggerakkan turbin.

Pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga, dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator (Abdul *et al.* 2014). Suatu pembangkit listrik tenaga mikrohidro tergantung dengan debit air, ketinggian (jatuh ketinggian) dan efisiensi (Septiani 2013). Persamaan (1) merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya daya yang dihasilkan oleh suatu turbin.

$$P = \eta \times Q \times g \times H_{netto} \quad (2.1)$$

dimana :

P = daya (kW)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H_{netto} = tinggi efektif (m)

η = efisiensi turbin

Q = debit air ($m^3/detik$)

2.2 ANALISA HIDROLOGI

Secara Umum analisa hidrologi merupakan satu bagian analisis awal dalam perancangan bangunan – bangunan pengairan yang dilakukan guna mendapatkan data karakteristik hidrologi dan meteorologi Daerah Aliran

Sungai (DAS). Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui karakteristik hujan, debit atau potensi air yang akan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan debit andalan untuk keperluan perancangan PLTMH pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu.

2.2.1 Analisa Curah Hujan Rata-rata

Dalam perencanaan debit banjir data yang diperlukan adalah hasil dari rata – rata curah hujan diseluruh daerah aliran sungai. Metode yang digunakan yaitu Metode Thiessen Polygon :

$$R = \frac{R1 \times A1 + R2 \times A2 + \dots + Rn \times An}{A} \quad (2.2)$$

dimana :

R = curah hujan daerah rata – rata (mm)

A = luas daerah aliran sungai (DAS) (km²)

R1, R2 n = tinggi curah hujan tiap stasiun hujan (mm)

A1, A2 n = luas DAS stasiun

2.2.2 Pemilihan Tipe Distribusi

Kriteria pemilihan awal tipe distribusi berdasarkan parameter statistic.

Parameter - parameter yang digunakan sebagai langkah awal penentuana tipe

distribusi adalah Cs dan Ck. Kriteria pemilihan untuk tiap tipe distribusi

berdasarkan parameter statistic adalah sebagai berikut :

a. Tipe Distribusi Normal Cs ≈ 0 ; Ck ≈ 3

b. Tipe Distribusi Gumbel Cs ≈ 1,139 ; Ck ≈ 5,4

c. Log Pearson Type III. Cs dan Ck = Bebas

2.2.3 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi curah hujan adalah berulangnya curah hujan baik jumlah frekuensi persatuan waktu maupun periode ulangnya. Analisa frekuensi dapat dilakukan dengan 3 metode distribusi yaitu Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Gumbel dan Metode Log Pearson Type III.

2.2.4 Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Untuk mengetahui pemilihan distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rancangan, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi frekuensi yang diharapkan atau yang peroleh secara teoritis. Dalam studi ini menggunakan 2 metode sebagai berikut :

1. Metode Smirnov – Kolmogorof
2. Metode Kai – Kuadrat (Chi – Square)

2.2.5 Distribusi Curah Hujan Efektif

Untuk menghitung aliran – aliran yang diakibatkan oleh suatu hujan tertentu dalam perhitungan perlu diketahui terlebih dahulu distribusi intensitas hujan dalam selang waktu tertentu. Hasil dari pengamatan di Indonesia curah hujan berkisaran antara 4-7 jam, maka dalam perhitungan ini curah hujan diasumsikan 6 jam sehari, rumus yang digunakan jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian adalah rumus Mononobe

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} + \left(\frac{24}{T}\right)^{2/3} \quad (2.3)$$

dimana :

R_t = Rata – rata hujan pada jam ke - n (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm/jam)

T = Waktu mulai hujan (jam)

2.2.6 Koefisien Pengaliran

Koefisien aliran adalah suatu angka yang memberikan pengertian berapa persen air yang mengalir dari bermacam – macam permukaan akibat terjadinya hujan pada suatu wilayah.

2.2.7 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Parameter yang diperlukan dalam analisa menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu antara lain:

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*Time to Peak Magitude*)
2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*Time Lag*)
3. Tenggang waktu hidrograf (*Time Base of Hydrograph*)
4. Luas daerah pengaliran (*Catchment Area*)
5. Panjang alur sungai utama terpanjang (*Length of The Longest Channel*)
6. Koefisien pengaliran (*Run off Coefficient*)

Debit Puncak Banjir :

$$Q_p = \frac{1}{36} \left(\frac{A \cdot R e}{0,3 T_p + T 0,3} \right) \quad (2.4)$$

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

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L \text{ 15 km}$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L \text{ 15 km}$$

$$T_{0,3} = t_g$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g$$

Dengan :

Q_p = debit puncak banjir (m^3/det)

A = luas DAS (km^2)

Re = curah hujan efektif (mm)

T_p = waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

$T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

T_g = waktu konsentrasi (jam)

T_r = satuan waktu dari curah hujan (jam)

L = panjang sungai utama (km)

Persamaan Hidrograf Satuan :

1. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2.5)$$

Dengan :

Q_t = Unsur aliran sebelum mencapai debit puncak (m^3/det)

t = Waktu (jam)

2. Pada kurva turun

a. ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t - T_p) / T_{0,3}}$$

b. ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})] / (1,5 T_{0,3})}$$

c. ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t - T_p) + (1,5 T_{0,3})] / (2 T_{0,3})}$$

2.3 TURBIN

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit tenaga listrik (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator.



Gambar 2.2 Turbin Air

Sumber : Komarudin, 2022

2.3.1 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang khususnya bisa mempengaruhi sistem operasi turbin, bisa dilihat sebagai berikut:

- a) Faktor tinggi jatuh aliran air efektif (*net head*) dan debit air yang dimanfaatkan untuk operasi turbin harus yang melalui pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : *Turbin Pelton* efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sedangkan *Turbin Propoller* sangat efektif beroperasi pada *head* rendah.
- b) Faktor daya (*Power*) yang diinginkan dengan *head* dan debit yang tersedia.

- c) Kecepatan (putaran) turbin yang akan dikopelkan pada generator. Sebagai salah satu contoh: Turbin Reaksi (*Propoller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara Turbin *Pelton* dan *Crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan mengakibatkan sistem beroperasi tidak maksimal.

Ketiga faktor diatas sering kali diekspresikan sebagai “kecepatan spesifik”, yang didefinisikan dengan formula:

$$N_s = N \times P \times H \quad (2.6)$$

dimana:

N = kecepatan putaran turbin, rpm

P = maksimum turbin output, Kw

H = head efektif, m

Output turbin dihitung dengan formula:

$$P = 9.81 \times Q \times H \quad (2.7)$$

dimana:

Q = debit air, m³ detik

H = efektif *head*, m

Dengan mengetahui kecepatan dan besaran spesifik turbin maka perencanaan pemilihan jenis turbin akan lebih mudah dan dapat diperkirakan.

Ada beberapa jenis turbin yang digunakan dalam pemanfaatan PLTMH yang disesuaikan dengan besarnya debit air dan tinggi jatuh. Turbin yang paling banyak digunakan untuk PLTMH di Indonesia adalah :

- 1) Turbin *Crossflow* : cocok untuk aplikasi tinggi jatuh medium 10-100 meter, daya 1 kW – 250 Kw
- 2) Turbin *Propeller (Open Flume)*: cocok untuk tinggi jatuh yang rendah 2 – 10 meter dengan debit air yang besar.
- 3) Turbin *Pelton*: cocok untuk tinggi jatuh yang tinggi lebih dari 80 meter.

2.4 GENERATOR

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan suatu usaha atau perubahan, energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, akan tetapi energi dapat diubah bentuknya. Generator listrik adalah alat yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi mekanik, dengan menggunakan induksi elektromagnetik proses ini dikenal dengan pembangkitan energi listrik.



Gambar 2.3 Generator

Sumber : Komarudin, 2022

Generator mengkonversi pergerakan turbin menjadi energi listrik. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik dinyatakan dalam *Volt Ampere* (VA) atau dalam kilo Volt Ampere (kVA).

Untuk menghubungkan turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik, dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.

1. 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.
2. Roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli.
3. Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah sama dengan putaran rotor pada generator.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di bendungan sungai kawasan wisata Talondo Talu Kab. Tana Toraja Kec. Malimbong Balepe' Desa Balepe', Provinsi Sulawesi Selatan. Kegiatan penelitian ini dikerjakan mulai pada bulan Juli 2023 sampai dengan September 2023.

3.2 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

3.2.1 Alat yang digunakan :

1. Peta Topografi
2. Pita atau Tali Ukur
3. GPS
4. Kamera
5. Waterpass / Total Station
6. Total Station
7. Tripod
8. Rambu Ukur
9. Jalon (*Pole Stick*)
10. Laptop
11. Current Meter

3.2.2 Bahan yang digunakan :

1. *Bench Mark* (BM)
2. *Control Point* (CP)
3. Data Sekunder
4. Data Primer

3.3 PROSEDUR / LANGKAH KERJA PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini diawali dengan munculnya gagasan atau ide penelitian, perumusan masalah. Melakukan pemilihan alat dan bahan penelitian yang akan digunakan, setelah itu pengumpulan alat dan bahan yang digunakan dan melakukan proses pemasangan alat.

Setelah itu, pengambilan data primer di Kab. Tana Toraja Kec. Malimbong Balepe' Desa Balepe', Provinsi Sulawesi Selatan dan dilanjutkan dengan perhitungan debit andalan, perhitungan kebutuhan daya listrik di kawasan wisata, dan perancangan desain PLTMH.

3.3.1 Perhitungan Debit Andalan

Pada perhitungan debit andalan dengan secara langsung dilakukan pendekatan pada tinggi muka air terhadap debit yang dihasilkan. Pada perhitungan debit andalan ini dibutuhkan tinggi muka air maksimum dan minimum yang diukur langsung di lapangan. Pengukuran tinggi muka air maksimum dan minimum ini diperkuat dengan didapatkannya informasi dari warga sekitar sungai yang akan dibangun lokasi PLTMH tersebut. Kemudian

untuk pengukuran tinggi muka air maksimum saat musim hujan dapat dilakukan juga dengan mengamati adanya sampah yang terbawa air saat debit maksimum. Adanya sampah tersebut di sisi sungai merupakan tinggi muka air maksimum di lokasi tersebut.

Pada perhitungan debit andalan secara langsung ini membutuhkan debit air yang diukur langsung di lapangan. Pengukuran debit langsung di lapangan dilakukan dengan menggunakan *current meter* dan *stopwatch* untuk menentukan kecepatan air dan dimasukkan pada Persamaan (3.1) dan (3.2).

$$N = \frac{n}{t} \quad (3.1)$$

$$A = b \times y \quad (3.2)$$

Keterangan:

N = faktor konversi

B = lebar saluran (m)

Y = kedalaman saluran (m)

A = luas penampang sungai (m²)

n = banyak putaran

t = waktu (detik)

Setelah luas penampang aliran diperoleh, kecepatan aliran pada *current meter*, dapat dihitung dengan Persamaan (3.3). Selanjutnya, debit aliran dapat dihitung dengan Persamaan (3.4).

$$V = (0.127 \times N) + 0.006 \quad (3.3)$$

$$Q = V \times A \quad (3.4)$$

Keterangan:

N = faktor konversi

V = kecepatan aliran (m³/det)

Q = debit aliran (m³/det)

A = luas penampang aliran (m²)

Pengukuran debit ini dilakukan pada titik yang sama sebanyak enam kali di waktu yang berbeda. Hal ini dilakukan agar dapat dibuat kurva berdasarkan hubungan antara tinggi muka air maksimum dan minimum serta debit maksimum dan minimumnya sehingga didapatkan persamaan garisnya. Setelah didapatkan persamaan garisnya, *head* maksimum dan minimum yang diukur langsung tersebut dimasukkan pada persamaan terhadap fungsi debit. Hal ini dilakukan agar didapatkan nilai debit andalan dan debit maksimum berdasarkan persamaan pada kurva yang telah dibuat sebelumnya.

3.3.2 Debit Puncak


Dalam merencanakan bangunan air, analisis yang perlu ditinjau adalah analisis hidrologi. Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan besarnya debit puncak yang akan berpengaruh terhadap besarnya debit maksimum maupun kestabilan konstruksi yang akan dibangun. Analisis

diawali dengan pengolahan data curah hujan sesuai dengan Persamaan pada BAB 2.

3.3.3 Desain Dasar Bangunan Mikrohidro

Data-data yang digunakan dalam penyusunan desain dasar bangunan-bangunan utama PLTMH antara lain yaitu data sungai di sekitar bendung seperti lebar normal sungai, lebar rata-rata dasar sungai, kemiringan talud, kemiringan rata-rata dasar sungai sekitar lokasi bendung, elevasi dasar sungai di sekitar rencana bendung, elevasi di sekitar bak penenang/pengendap, elevasi di sekitar rumah turbin (*power house*), debit rencana (Q_{desain}), dan tinggi muka air pada saat banjir. Berikut adalah komponen penting desain dasar bangunan mikrohidro :

1. Bangunan Pengalih Aliran

 Pada fase pembangunan diperlukan lapangan pekerjaan yang kering, sehingga diperlukan suatu bangunan pengalih aliran untuk mengalihkan aliran air sungai (Kadir, 2010). Data yang dibutuhkan untuk penentuan bangunan pengalih aliran adalah elevasi dasar sungai, tinggi air pada banjir tahunan dan jagaan/*freeboard*.

2. Bendung

Komponen yang harus diketahui untuk pembangunan bendung adalah lokasi bendung, elevasi mercu bendung, tinggi muka air maksimum di sungai, lebar bendung, mercu bendung, dan kolam olak

(peredam energi). Persamaan yang digunakan untuk perancangan pembangunan bendung yaitu Persamaan (3.5).

$$V = C \sqrt{RS} \quad (3.5)$$

Keterangan :

V = kecepatan aliran (m²/detik)

R = jari-jari hidraulik (m)

C = koefisien pengaliran

S = kemiringan saluran (m)

Persamaan tinggi energi dan debit yang digunakan untuk bendung dipilih berdasarkan bentuk ambang dan pengontrolnya. Perhitungan tinggi muka air di atas bendung berdasarkan Dirjen Pengairan (1986). Persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (3.6).

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2/3g} b h_1^{3/2} \quad (3.6)$$

Keterangan :

Q = debit air sungai (m³/detik)

C_d = koefisien pengaliran

g = gravitasi (m/detik²)

b = lebar bendung (m)

h₁ = tinggi muka air normal (m)

3. Bangunan Pengambilan (*intake*)

Bangunan *intake* harus mensuplai debit air dengan stabil ke saluran pembawa, yang kemudian diteruskan ke bangunan kolam penenang (*forebay*). Persamaan yang digunakan untuk perhitungan bangunan pengambil yaitu Persamaan (3.7).

$$1.2 \times Q_{design} = C_d \times b \times h_1 \sqrt{2 \times g \times z} \quad (3.7)$$

Keterangan :

h_1 = tinggi muka air normal dari ambang pintu pengambilan (m)

z = kehilangan energi pada pintu masuk (m)

b = lebar bangunan intake (m)

1.2 = 120%

Kemiringan rencana saluran sampai diujung masuk bangunan kantong sedimen dapat diketahui dengan Persamaan (3.8).

$$\frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} = \frac{Q}{A} \quad (3.8)$$

Keterangan :

R = jari-jari hidraulik (m)

S = kemiringan saluran

4. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa adalah salah satu bangunan yang sangat vital di dalam perancangan dan desain PLTMH (Kadir, 2010). Penentuan

besarnya lebar dan kedalaman saluran dapat diketahui dengan Persamaan (3.8).

5. Bangunan pengendap sedimen (*Sedimen Trap*)

Butiran sedimen yang masuk dalam bangunan pengendap sedimen, dengan kecepatan endap sedimen “w” dan kecepatan air “v” harus mencapai titik C, sehingga butiran sedimen tersebut akan berjalan selama waktu H/v , yang diperlukan untuk mencapai dasar, untuk selanjutnya bergerak atau bergulir sepanjang L dalam waktu L/v (Kadir 2010). Persamaan dapat disusun seperti pada Persamaan (3.9). Perhitungan kapasitas bak pengendapan pasir dilakukan dengan Persamaan (3.10) dan (3.11).

$$\frac{H}{v} = \frac{L}{v} \text{ dengan } v = \frac{Q}{HB} \quad (3.9)$$

$$\text{Jumlah endapan pasir (kg/detik)} = P \times Q \quad (3.10)$$

$$\text{Kedalaman bak endapan (m)} = \frac{V}{A} \quad (3.11)$$

Keterangan :

H = kedalaman aliran (m)

L = panjang bangunan pengendap sedimen (m)

v = kecepatan aliran air (m/det)

Q = debit air di saluran (m³/det)

B = lebar kantong lumpur (m)

P = kandungan pasir (kg/m³)

V = volume endapan (m^3)

A = luas bak pengendap (m^2)

6. Bak Penenang (*Forebay*)

Bangunan penenang harus dibuat dari konstruksi kedap air dan tahan bocor serta didesain menghubungkan saluran pembawa dan penstock. Bangunan ini juga dilengkapi dengan *spillway* yang memiliki kapasitas 120% dari debit rancangan (Kurniawan et al. 2009).

Persamaan yang digunakan pada perhitungan bak penenang dapat dilihat pada Persamaan (3.12).

$$V_{sc} = A_{sc} \times d_{sc} = B \times L \times d_{sc} \quad (3.12)$$

Keterangan :

A_s = luas area bak penenang (m^2)

B = lebar bak penenang (m)

L = panjang bak penenang (m)

d_{sc} = kedalaman air dari kedalaman aliran yang sama dari sebuah saluran ketika menggunakan debit maksimum (h_0) menuju kedalaman kritis dari ujung tanggul untuk menjebak pasir dalam sebuah bak penenang (h_c) (m)

7. Pipa pesat (*Penstock*)

Pipa pesat adalah suatu pipa tekan yang berfungsi untuk mengalirkan air dari embung atau dari bak penenang ataupun langsung dari *head race tunnel* ke turbin (Indarto et al. 2012). Parameter yang penting dalam desain pipa *penstock* terdiri dari material yang digunakan, diameter dan ketebalan pipa serta jenis sambungan yang digunakan. Persamaan-persamaan yang digunakan untuk penentuan dimensi pipa pesat yaitu Persamaan (3.13) dan (3.14).

$$V = \sqrt{2gh} \quad (3.13)$$

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (3.14)$$

Keterangan :

V = kecepatan aliran (m/detik)

h = tinggi energi total (statis) (m)

h_f = kehilangan tenaga akibat gesekan (m)

f = koefisien gesekan

D = diameter pipa (m)

8. Kehilangan tenaga (*head loss*)

Kehilangan tenaga pada pipa pesat adalah jumlah dari kehilangan tenaga pada *intake* pipa pesat ditambah kehilangan tenaga akibat

gesekan dan akibat penyempitan pipa pada ujung pipa pesat (Kadir 2010). Persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (3.15).

$$\Delta H = \xi_{\text{masuk}} \frac{(V_a - V_1)^2}{2g} \quad (3.15)$$

Keterangan :

ξ_{masuk} = koefisien kehilangan energi pada pintu masuk (0.1)

V_a = kecepatan dalam saluran pembawa (m/detik)

V_1 = kecepatan aliran dalam *penstock* (m/detik)

9. Rumah pembangkit

Perancangan bentuk, ukuran serta bahan-bahan yang akan digunakan untuk rumah pembangkit disesuaikan dengan keadaan geografis di lokasi.

10. Saluran pembuang akhir (*Tail race*)

Persamaan yang digunakan untuk perancangan dimensi saluran pembuang akhir sama dengan persamaan untuk perancangan dimensi saluran pembawa.

3.4 DIAGRAM ALUR PENELITIAN

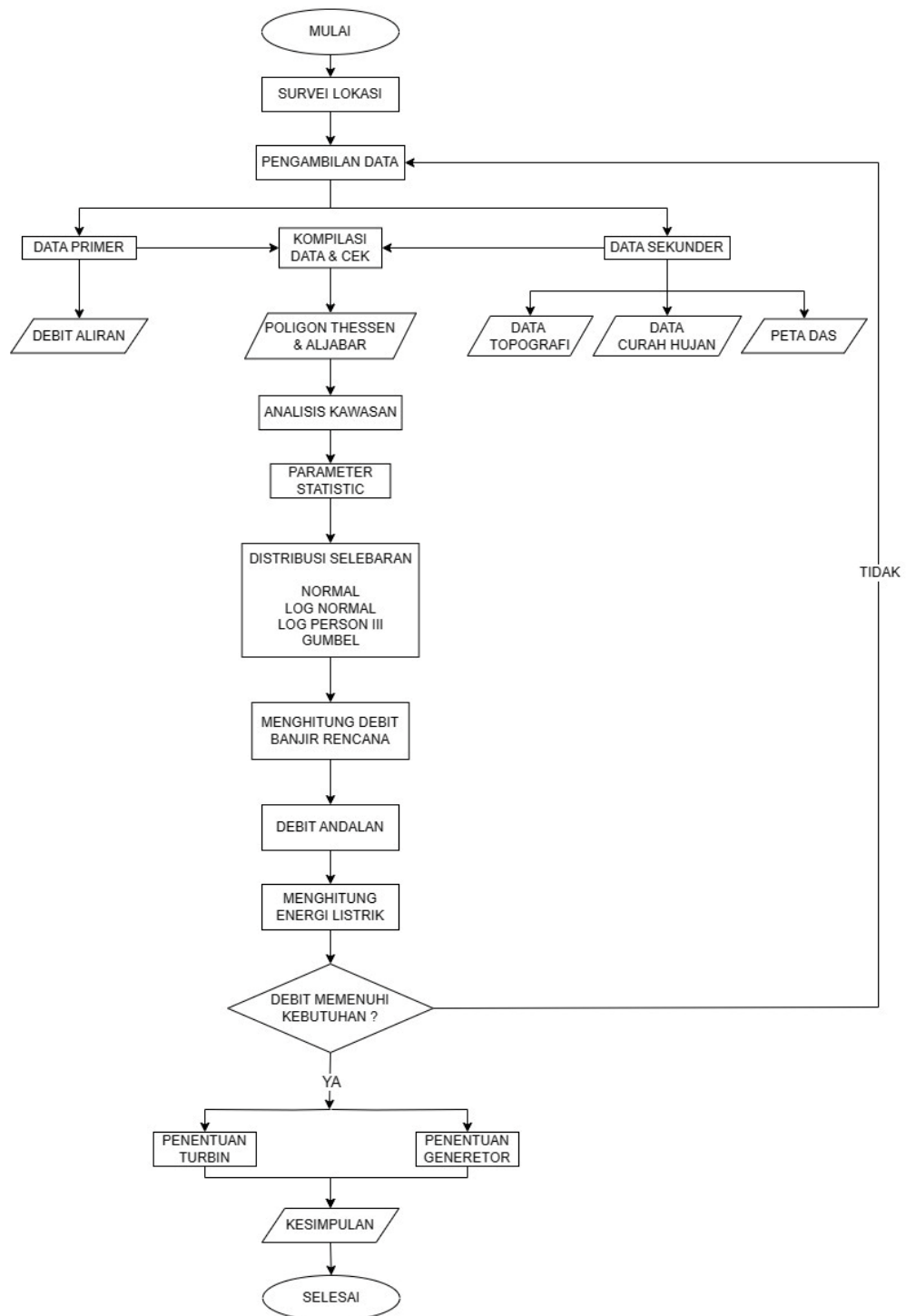


Diagram alur Perencanaan PLTMH

BAB IV

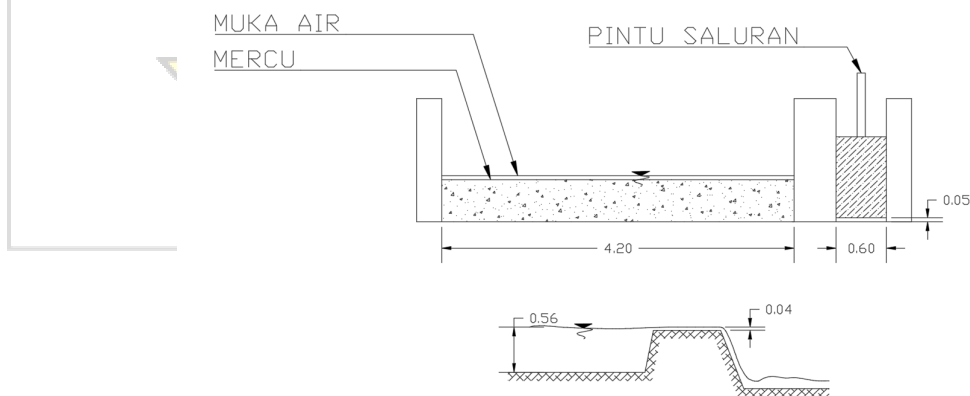
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 ANALISIS DEBIT ANDALAN

Ketersediaan debit aliran sangat mendukung dalam penyusunan perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Analisis ketersediaan air dilakukan dengan memadukan data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data yang diambil langsung dari lokasi penelitian dan data sekunder adalah data digital penunjang yang digunakan untuk menganalisis ketersediaan air pada lokasi penelitian.

4.1.1 Analisis Data Primer

Debit diketahui dengan mengukur kecepatan air dan mengambil data penampang pada lokasi pengambilan data. Data yang dihimpun meliputi data aliran saluran dan aliran pada mercu bendung dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Dimensi Penampang Mercu Bendung

Hasil dari perhitungan perbandingan tinggi muka air dan debit dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan tinggi muka air dan debit

h (m)	Q (m ³ /det)	h (m)	Q (m ³ /det)	H (m)	Q (m ³ /det)
0,05	0,060	0,60	2,496	1,15	6,623
0,10	0,170	0,65	2,814	1,20	7,060
0,15	0,312	0,70	3,145	1,25	7,505
0,20	0,480	0,75	3,488	1,30	7,960
0,25	0,671	0,80	3,843	1,35	8,424
0,30	0,882	0,85	4,209	1,40	8,896
0,35	1,112	0,90	4,585	1,45	9,377
0,40	1,359	0,95	4,973	1,50	9,866
0,45	1,621	1,00	5,370	1,55	10,363
0,50	1,899	1,05	5,778	1,60	10,869
0,55	2,191	1,10	6,196	1,65	11,382

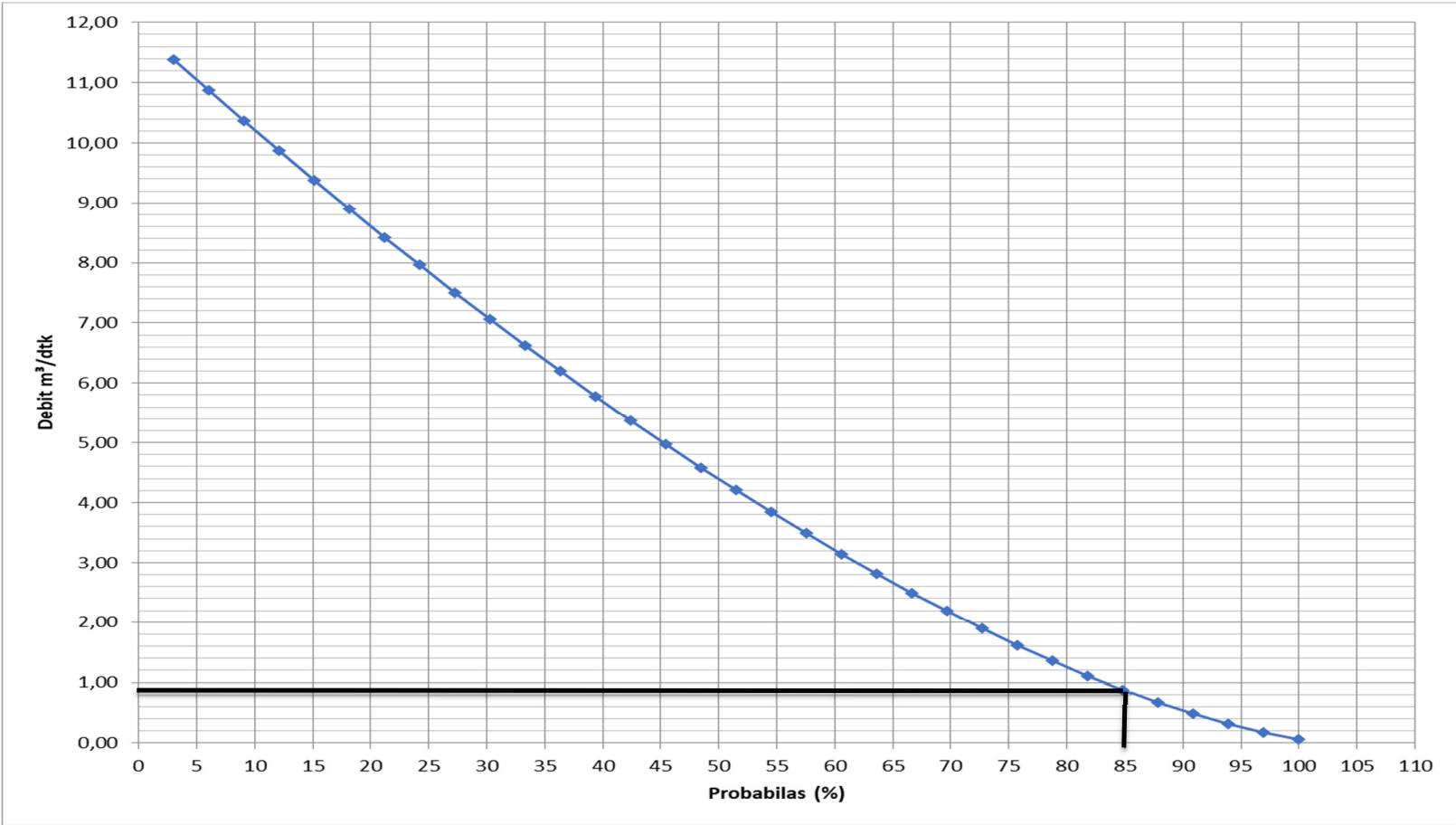
Berdasarkan analisis debit andalan, untuk mendapatkan probabilitas, terlebih dahulu debit diurutkan berdasarkan ranking (m) dari yang terbesar hingga terkecil. Kemudian hitung probabilitasnya dalam persen (%). Hasil dari perhitungan probabilitas dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan probabilitas dan debit

Probabilitas (%)	Debit (m3/det)	Probabilitas (%)	Debit (m3/det)
3	11,38	55	3,84
6	10,87	58	3,49
9	10,36	61	3,15
12	9,87	64	2,81
15	9,38	67	2,50
18	8,90	70	2,19
21	8,42	73	1,90
24	7,96	76	1,62
27	7,51	79	1,36
30	7,06	82	1,11
33	6,62	85	0,88
36	6,20	88	0,67
39	5,78	91	0,48
42	5,37	94	0,31
45	4,97	97	0,17
48	4,59	100	0,06
52	4,21		

Dari perhitungan probabilitas yang didapatkan, maka dalam menganalisis debit andalan untuk pembangkit listrik tenaga air digunakan keandalan 80 – 90 (%). Maka dipilih keandalan 85% ($Q_{\text{probabilitas 85\%}}$) merupakan debit pada probabilitas 85%. Kemudian dibuatkan *flow duration curve* (FDC) yang menggambarkan hubungan antara debit dan probabilitas. Debit andalan di dapatkan dari *flow duration curve* untuk presentase keandalan 85% dapat dilihat pada gambar 4.2

Gambar 4.2 Grafik *Flow Duration Curve* (FDC)

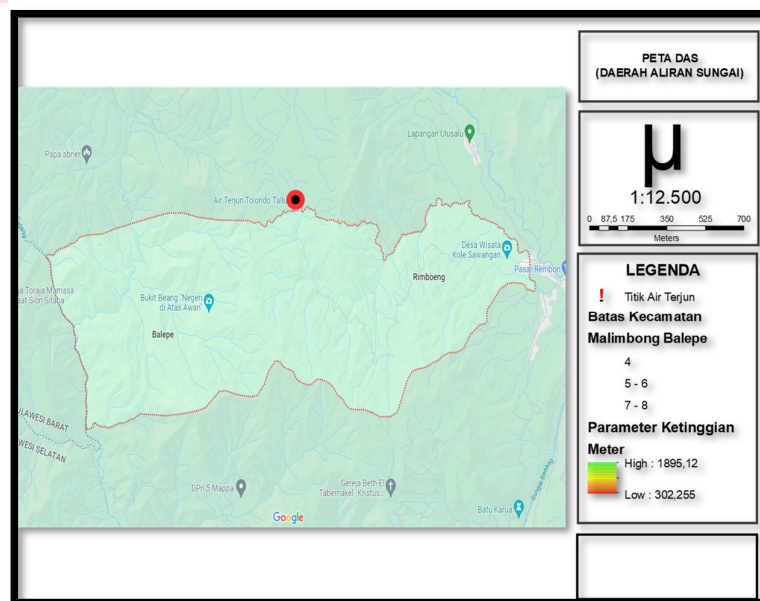


4.1.2 Analisis Data Sekunder

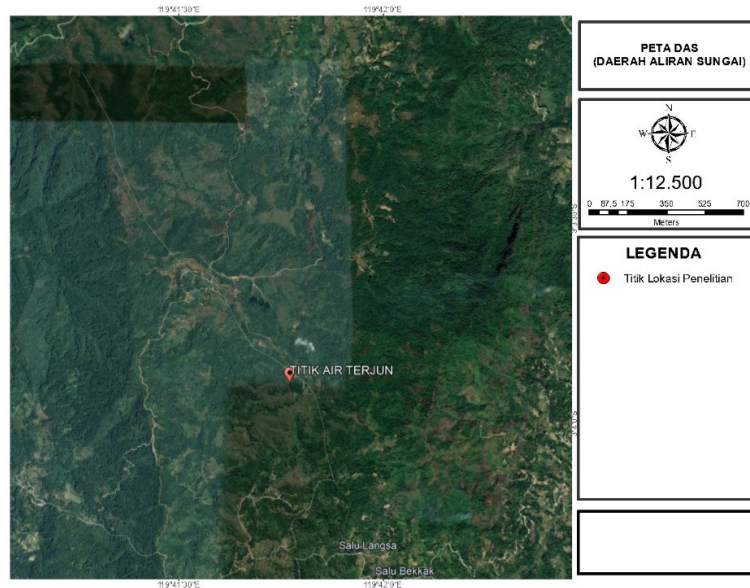
Sebelum masuk pada pembahasan Analisis Hidrologi, yang pertama dilakukan adalah Digitasi Peta. Peta ini adalah bentuk digital yang telah diolah dalam aplikasi pengolah peta seperti, Arch Map, Archgis, QGIS, Global Mapper dan aplikasi lainnya. Peta sendiri adalah data yang berfungsi untuk mengetahui luas area dan juga memunculkan banyak aspek yang akan dikaji yang berhubungan dalam perhitungan curah hujan. Berikut adalah Peta yang digunakan dalam perhitungan Analisis Hidrologi.

1. Peta Lokasi Penelitian.

Peta ini adalah gambaran citra satelit pada lokasi penelitian.



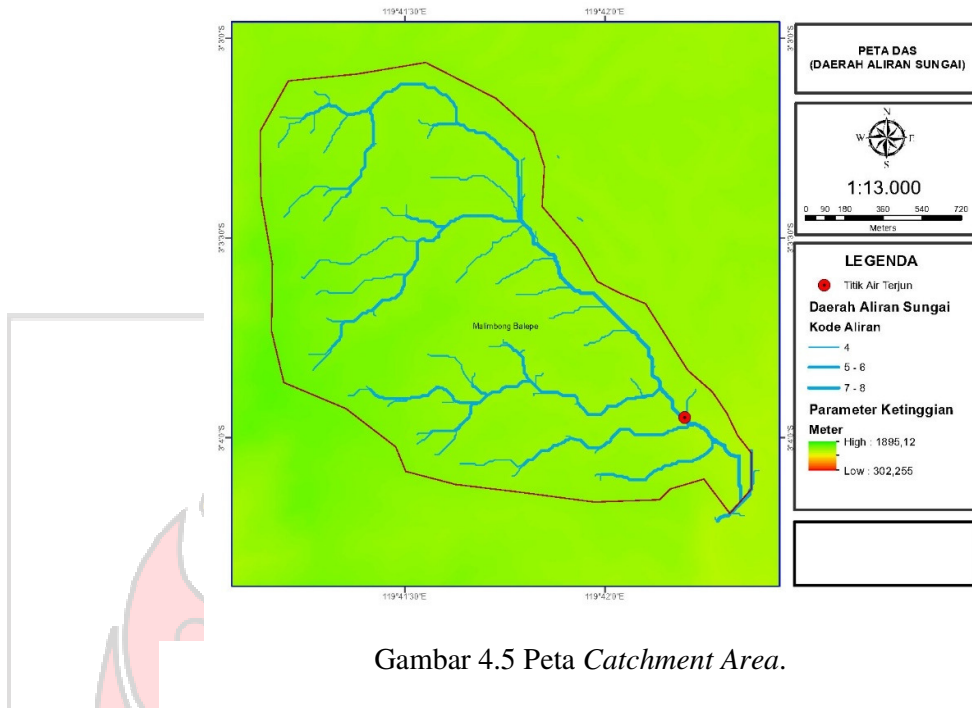
Gambar 4.3 Batas Wilayah Balepe



Gambar 4.4 Peta Lokasi Penelitian

2. Peta Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*)

Peta Catchment area (daerah tangkapan air) Suatu wilayah daratan yang secara topografis dibatasi oleh punggung-punggung gunung, menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui jaringan sungai. Peta ini dapat menampilkan luas area yang digunakan untuk menghitung curah hujan area. Peta lokasi penelitian menggunakan Global Mapper maka didapatkan luas DAS sebesar 2,82 km² di sajikan pada gambar 4.5.

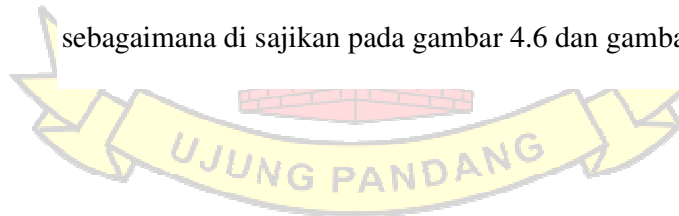


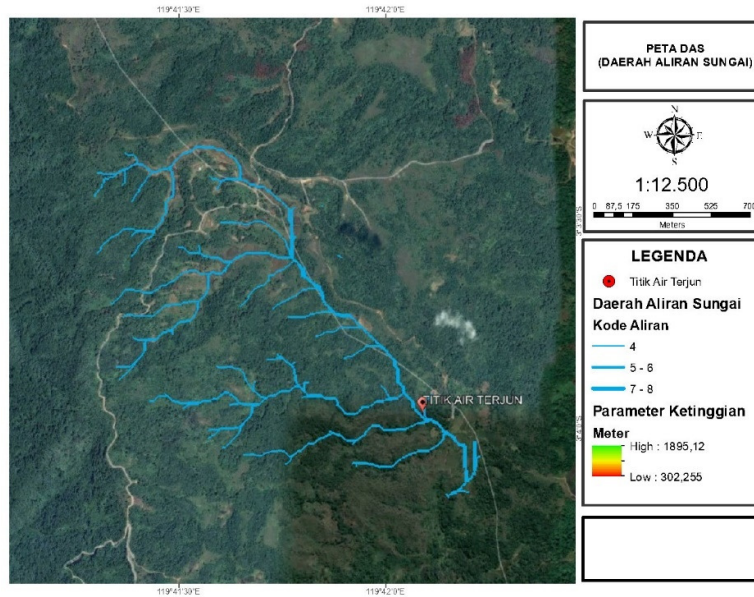
Gambar 4.5 Peta *Catchment Area*.

3. Peta Jaringan Sungai

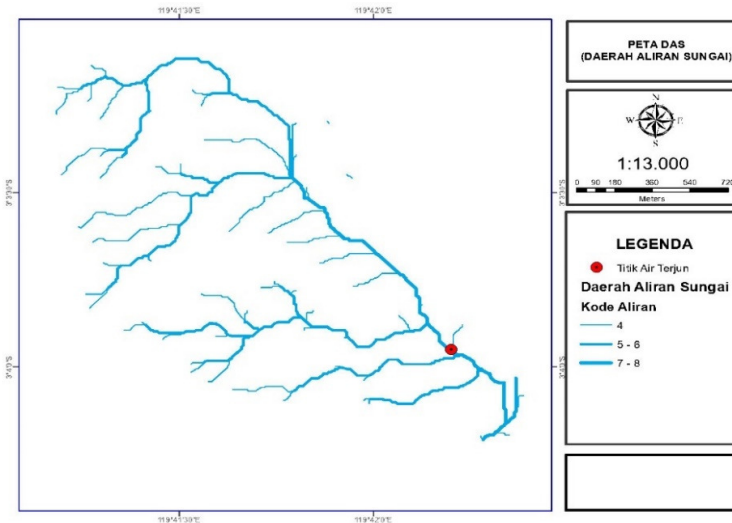
Peta ini menampilkan model sungai pada area DAS yang ditinjau.

Peta ini dapat menampilkan panjang sungai, dan beda elevasi sungai yang ditinjau. Titik pengamatan debit pada sungai ordo 4, sebagaimana di sajikan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.





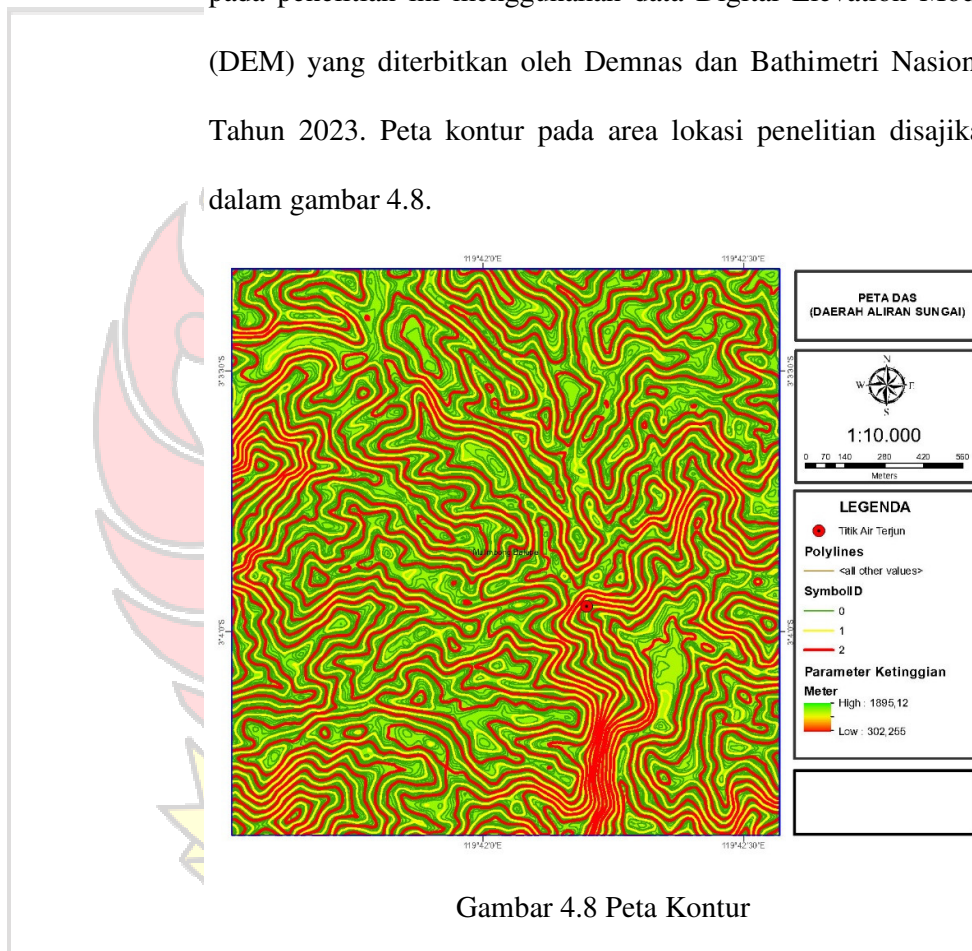
Gambar 4.6 Peta Citra Jaringan Sungai



Gambar 4.7 Peta Jaringan Sungai

4. Peta Kontur

Peta kontur adalah peta yang menggambarkan ketinggian permukaan bumi. Peta kontur dibuat dengan mengambil citra permukaan bumi dari pesawat udara atau satelit. Data kontur DAS pada penelitian ini menggunakan data Digital Elevation Model (DEM) yang diterbitkan oleh Demnas dan Bathimetri Nasional Tahun 2023. Peta kontur pada area lokasi penelitian disajikan dalam gambar 4.8.



Gambar 4.8 Peta Kontur

Aspek hidrologi yang pertama dikaji adalah curah hujan daerah rata-rata harian maksimum. Data curah hujan rata-rata pada Stasiun Meteorologi Tana Toraja dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Curah Hujan Rata-rata

No	Tahun	Hujan Wilayah (mm)
1	2013	69,30
2	2014	56,40
3	2015	63,80
4	2016	67,20
5	2017	91,00
6	2018	118,80
7	2019	70,70
8	2020	156,80
9	2021	102,70
10	2022	66,50

Sumber : BMKG, 2023

Data curah hujan pada Tabel 4.3 digunakan untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai dengan syarat yang ada. Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi yaitu distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan *Log Person Type III*. Selanjutnya dilakukan perhitungan distribusi probabilitas untuk menentukan kesesuaian metode dengan menyamakan syarat parameter yang ada. Kesesuaian data curah hujan terhadap jenis sebaran dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan parameter statistik analisis frekuensi

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan	keterangan
1	Normal	$C_s = 0$	1,44	tidak diterima
		$C_k = 3$	5,42	
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$	1,15	tidak diterima
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	5,43	
3	Gumbel	$C_s = 1,14$	1,44	tidak diterima
		$C_k = 5,4$	5,42	
4	log pearson III	Selain dari nilai diatas/flexibel		Diterima

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi penentuan nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien variasi, koefisien ketajaman (*curtois*), dan koefisien kemencengan (*skewness*). Pada Tabel 4.5 dapat dilihat hasil perhitungan parameter statistik yaitu C_s dan C_k . Sesuai ketentuan sifat-sifat parameter maka metode yang akan digunakan adalah metode *Log Pearson Type III*. Untuk uji kesesuaian distribusi akan digunakan *Uji Chi-Kuadrat*. Perhitungan nilai *Uji Chi-Kuadrat* terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan dengan Uji Chi-Kuadrat

No.	Nilai Batas Sub Kelas	Jumlah Data		$(OF - EF)^2$	$(OF - EF)^2 / EF$
		OF	EF		
1	$X < 59,658$	1,000	2,000	1,000	0,500
2	$59,658 < X < 71,343$	5,000	2,000	9,000	4,500
3	$71,343 < X < 87,384$	0,000	2,000	4,000	2,000
4	$87,384 < X < 109,626$	2,000	2,000	0,000	0,000
5	$X > 109,626$	2,000	2,000	0,000	0,000
Jumlah :		10,000	10,000	14,000	7,000

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa dengan uji Chi-Square diperoleh nilai X_{cr} kritis dan X_{cr} hitung. Pada jenis distribusi yang nilai X_{cr} hitung $>$ X_{cr} kritis maka tidak dapat digunakan. Maka dilakukan Uji Smirnov-Kolmogrov. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan dengan Uji Smirnov-Kolmogrov

Nomor	X	Log X	G	m	$S_n(X)$	Pr	Px (X)	D	
								$IP_X(X) - S_n(X)$	
1	56,400	1,751	-1,148	1,000	0,091	0,885	0,115		0,024
2	63,800	1,805	-0,769	2,000	0,182	0,783	0,217		0,035
3	66,500	1,823	-0,642	3,000	0,273	0,679	0,321		0,049
4	67,200	1,827	-0,610	4,000	0,364	0,667	0,333		0,031
5	69,300	1,841	-0,516	5,000	0,455	0,605	0,395		0,059
6	70,700	1,849	-0,454	6,000	0,545	0,587	0,413		0,132
7	91,000	1,959	0,320	7,000	0,636	0,364	0,636		0,001
8	102,700	2,012	0,691	8,000	0,727	0,258	0,742		0,015
9	118,800	2,075	1,138	9,000	0,818	0,160	0,840		0,022
10	156,800	2,195	1,990	10,000	0,909	0,057	0,943		0,034
								D Maks.	0,1323

Rerata Log X = 1,9137
 Standar Deviasi (S) = 0,1415
 D Maks. = 0,1323
 N (jumlah data) = 10
 a (derajat kepercayaan) = 5%
 D Kritis = 0,4090

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa dengan uji Smirnov-Kolmogrov diperoleh nilai D kritis dan D maks. Pada jenis distribusi yang nilai D maks $<$ D kritis maka dapat digunakan hujan rancangan dengan metode *Log Pearson Type III* dengan berbagai periode ulang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hujan Rancangan Periode Ulang

No.	Kala Ulang	Distribusi Log Person III
	(tahun)	(mm)
1	2	78,018
2	5	109,626
3	10	133,819
4	20	160,641
5	25	166,618
6	50	192,441
7	100	220,032

Hujan rancangan pada Tabel 4.7 dapat digunakan untuk menentukan besarnya debit puncak. Penentuan debit puncak membutuhkan nilai intensitas hujan sehingga dibutuhkan waktu konsentrasi yang digunakan untuk menentukan lamanya air hujan mengalir dari hulu sungai hingga ke tempat keluaran DAS. Waktu konsentrasi (t_c) dihitung dengan menggunakan rumus Kirpich pada Persamaan (2.3). Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan waktu konsentrasi sebesar 0,89 jam. Dalam perhitungan debit puncak menggunakan metode rasional dibutuhkan data koefisien limpasan (*run off coefficient*). Koefisien limpasan ini diperoleh dengan menghitung data luasan dari masing-masing tata guna lahan yang ada (Girsang 2008).

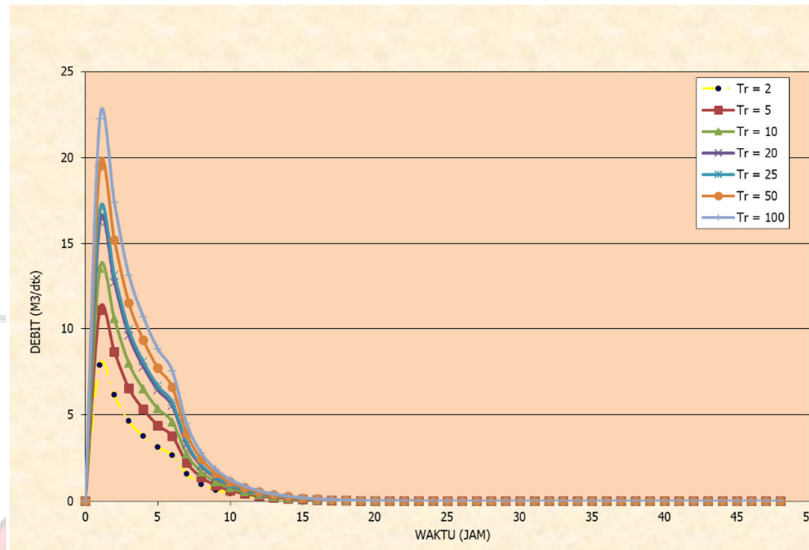
Berdasarkan perhitungan nilai koefisien limpasan sebesar 0.7. Nilai koefisien limpasan tersebut juga dapat merepresentasikan kondisi suatu DAS.

Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka debit puncak dapat dihitung dengan menggunakan metode Nakayasu sesuai Persamaan (2.4). Hasil perhitungan debit puncak dengan berbagai periode ulang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan debit puncak berbagai periode ulang

Tr (tahun)	Debit Puncak Nakayasu (m ³ /det)
2	7,90
5	11,10
10	13,55
20	16,27
25	16,87
50	19,49
100	22,28

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat besarnya debit puncak pada periode ulang tertentu. Dari hasil perhitungan Debit Puncak Nakayasu maka dibuatkan grafik lengkung Hidrograf Nakayasu sebagaimana disajikan dalam gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Hidrograf Nakayasu

Debit puncak yang diperoleh dapat dijadikan sebagai bahan dasar untuk perencanaan pembangunan PLTMH, dimana dapat dibangun suatu bangunan pengendali banjir berupa tembok banjir yang terbuat dari pasangan batu.

4.2 ANALISIS DAYA LISTRIK

Tinggi jatuh yang direncanakan disesuaikan dengan keadaan di lapangan yaitu 3,0 m. Berdasarkan pada Bab sebelumnya dapat dilihat bahwa dengan H sebesar 3.0 m, jenis turbin yang dapat digunakan pada perencanaan ini adalah tipe *crossflow*. Nilai faktor kehilangan air ditentukan berdasarkan panjang jarak lintasan yang dihitung dari titik awal air disadap (intake) sampai ke rumah pembangkit. Sehingga tinggi jatuh air efektif

adalah sebesar 2.6 m. Nilai ini akan dimasukkan kedalam persamaan daya listrik bersama dengan debit yang telah dihitung sebelumnya yaitu 0.88 m³/detik dan konstanta gravitasi sebesar 9.78 m/det². Dengan menggunakan Persamaan 2.1, hasil akhir daya yang akan didapatkan dari perencanaan ini adalah 15.67 kW.

PLTMH yang direncanakan akan digunakan sebagai pembangkit listrik di kawasan wisata Air Terjun Talondo Tallu. Perencanaan perhitungan penggunaan listrik pada daerah kawasan wisata yaitu ± 9 kW, sehingga perencanaan daya listrik sesuai dengan yang diharapkan. Berdasarkan hasil perhitungan, jika listrik tersebut digunakan untuk penginapan dan bangunan area penjualan sederhana dengan kapasitas 450 watt/rumah maka listrik tersebut dapat memenuhi kebutuhan listrik sebanyak ±20 stan penjualan. Pada perencanaan ini penggunaan listrik hanya dikhususkan untuk kawasan wisata, dan jika terdapat kelebihan listrik maka dapat digunakan sebagai penerang jalan dan fasilitas lain disekitar kawasan wisata Air Terjun Talondo Tallu.

4.3 DESAIN DASAR KOMPONEN PLTMH

Dalam perencanaan suatu lokasi pembangkit energi mikrohidro terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil seperti bendung (*weir*), bangunan pengambil (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), bak pengendap (*settling basin*), bak penenang (*forebay*), bangunan dan saluran pelimpah (*spillway*),

pipa pesat (*penstock pipe*), rumah pembangkit (*power house*) dan saluran pembuang (*tail race*).

4.3.1 Bendung

Bendung di Air Terjun Talondo Tallu telah ada. Sebagai bendung sederhana dengan jenis bendung gravitasi dari pasangan batu kali dilapisi beton bertulang dengan mutu K225 setebal 10 cm.

Panjang bendung eksisting yang ada yaitu 4,20 m. Lokasi bendung dibangun pada bagian hulu sungai dan terdapat bangunan pengambil pada sebelah kanan aliran sungai. Tinggi mercu bendung sebesar 0,52 m, lebar mercu 0.80 m. Tetapi untuk menambah kehandalan ketersediaan air, maka perlu meninggikan tinggi Mercu menjadi 1m, agar potensi kekurangan debit pada musim kemarau dapat diatasi.

Bendung eksisting dilengkapi dengan pintu penguras untuk membuang kotoran/lumpur yang mengendap. Lebar pintu penguras yaitu 0.80 m. Denah perencanaan bendung dapat dilihat pada Lampiran.

4.3.2 Bangunan Pengambil (*Intake*)

Konstruksi bendung dilengkapi dengan bangunan pengambil (*intake*) yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa (*headrace channel*). Bangunan pengambil

dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka menjaga jika terjadi muka air banjir. Pada perencanaan bangunan pengambil digunakan acuan KP-02 pada bagian Bangunan Pengambil (Dirjen Pengairan 1986). Pada awal perencanaan, kapasitas pengambilan air harus sekurang-kurangnya 120% dari debit andalan (Kurniawan, et al.). Hal ini dilakukan karena 120% dari debit merepresentasikan debit secara nyata pada kondisi normal, sementara debit andalan merupakan debit yang akan dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Berdasarkan hasil perhitungan, pada perencanaan ini dimensi disesuaikan dengan lebar saluran yang direncanakan yaitu 0.8 m.

4.3.3 Bak Pengendap (*Settling Basin*)

Pada bangunan pengambilan direncanakan dapat mencegah masuknya sedimen ke dalam saluran, namun kenyatannya masih ada banyak partikel-partikel halus yang masuk ke saluran tersebut. Untuk mencegah agar sedimen ini tidak mengendap di seluruh saluran, bagian awal dari saluran yang berada di belakang pengambilan direncanakan untuk berfungsi sebagai bak pengendap. Maka direncanakan bak sedimentasi dengan panjang 3.0 m dengan lebar 1,5 m. Pada bagian bawah bak sedimentasi dibuat lubang sedimentasi untuk mengendapkan kotoran yang terbawa. Desain perencanaan bak pengendap dapat dilihat pada Lampiran.

Untuk menampung endapan sedimen ini, dasar bagian saluran tersebut diperdalam atau diperlebar. Tampungan ini dibersihkan tiap jangka waktu tertentu (kurang lebih sekali seminggu atau setengah bulan) dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran terkonsentrasi yang berkecepatan tinggi (Dirjen Pengairan, 1986).

4.3.4 Saluran Pembawa (*Headrace Channel*)

Bangunan saluran pembawa air digunakan untuk mengalirkan air dari intake ke bak penenang (*forebay*) dan untuk mempertahankan kestabilan debit air. Perancangan saluran pembawa mengacu pada KP-03 tentang Perencanaan Saluran Pasangan (Dirjen Pengairan, 1986). Elevasi dasar saluran pembawa dengan kemiringan dasar saluran 0.40m. Tipe saluran yang digunakan yaitu saluran dengan dinding pasangan batu. Tipe saluran ini memiliki konstruksi yang mudah dapat menggunakan bahan lokal, memiliki ketahanan tinggi terhadap gerusan, serta relatif mudah membersihkan sedimen. Saluran pasangan batu ini sesuai jika digunakan pada perencanaan karena dapat diterapkan pada jenis tanah yang mudah lulus air/lembek.

Dimensi saluran telah ditentukan pada sub bab sebelumnya, dengan panjang = (panjang total saluran eksisting – panjang bak pendendap – panjang bak penenang).

4.3.5 Bak Penenang (*Forebay*)

Tujuan bangunan bak penenang (*forebay*) adalah sebagai tempat penenangan air dan pengendapan akhir. Bangunan *forebay* harus dibuat dari konstruksi kedap air dan tanah bocor serta didesain menghubungkan saluran pembawa dan *penstock*. Bak penenang direncanakan terletak setelah saluran pembawa. Bak penenang juga penghubung antara saluran pembawa dan pipa *penstock*.

Forebay merupakan tempat permulaan pipa pesat yang mengendalikan aliran minimum, sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin, tanpa menurunkan elevasi muka air yang berlebihan dan menyebabkan arus balik pada saluran). Perencanaan bangunan *forebay* dilengkapi dengan bangunan *spillway*, saluran pembuang, dan saringan. Bahan yang digunakan untuk bangunan *forebay* adalah pasangan batu dengan campuran 1:2 (1 semen dan 2 pasir). Debit yang digunakan untuk perencanaan bak penenang 120% dari debit rencana. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan panjang bak penenang 3 m, lebar 1,5 m, dan tinggi 1 m. Desain perencanaan bak penenang dapat dilihat pada Lampiran.

4.3.6 Saluran Pelimpah (*Spillway*)

Saluran pelimpah direncanakan pada bak sedimentasi dan bak penenang. Bak penenang dilengkapi dengan *spillway* yang direncanakan memiliki panjang 3 m, lebar 0.8 m dan tinggi 0.7 m.

Sedangkan pada bak sedimentasi direncanakan *spillway* memiliki panjang 3 m, lebar 1 m dan tinggi 1 m.

4.3.7 Pipa Pesat (*Penstock Pipe*)

Pipa pesat adalah sebagai saluran tertutup (pipa) aliran air yang menuju turbin yang ditempatkan di rumah pembangkit. Saluran ini yang akan berhubungan dengan peralatan mekanik seperti turbin. Perencanaan lokasi penempatan pipa harus dilakukan sedemikian rupa agar tidak terlalu banyak menyebabkan kehilangan head (*headloss*) pada saat proses pengaliran air. Pada perencanaan ini digunakan pipa besi dengan diameter 16 inch dengan penempatan pipa di luar (tidak di dalam tanah) sehingga dibutuhkan 2 angker blok sebagai penahan pipa tersebut. Panjang pipa pesat yang digunakan 6 meter. Gambar potongan memanjang PLTMH dapat dilihat pada Lampiran.

4.3.8 Rumah Pembangkit (*Power House*)

Bangunan rumah pembangkit atau rumah turbin direncanakan berupa bangunan permanen dengan ukuran panjang x lebar x tinggi yaitu 3 m x 3 m x 3 m.

Bangunan ini akan berfungsi untuk melindungi peralatan mekanikal elektrikal seperti turbin, generator, panel kontrol dan

lainnya dari segala gangguan. Desain rumah turbin dapat dilihat pada Lampiran.

4.3.9 Saluran Pembuang

Saluran pembuang bertujuan sebagai saluran pembuang aliran air dari rumah pembangkit dan menggerakkan turbin. Saluran ini bersatu dengan rumah pembangkit dan aliran sungai. Perencanaan saluran pembuang berbentuk trapesium dengan bahan pasangan batu. Lebar saluran yang direncanakan yaitu 1 m, tinggi 0.75 m, panjang 3.7 m, tinggi jagaan 30 cm dan kemiringan dinding saluran sebesar 0.0003.

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan antara lain perkiraan tinggi genangan air pada rumah pembangkit ketika terjadi banjir besar, menghindari penggenangan bantaran sungai dan permukaan tanah di sekitar rumah pembangkit, fluktuasi dasar sungai pada daerah saluran pembuang dan saluran pembuang harus diarahkan sesuai arah aliran sungai. Pada bangunan PLTMH terjadi kehilangan energi pada pintu masuk 24% dan kehilangan energi akibat belokan pipa 1%, sehingga total energi yang hilang 25%.

4.3.10 Turbin Air

Berdasarkan hasil perhitungan debit, maka didapatkan daya air yang dihasilkan dari Air Terjun Talondo Tallu sebesar 15,67 KW

dengan *head* 3 meter. Maka dari itu Turbin yang digunakan adalah jenis *Kaplan* dengan Spesifikasi :

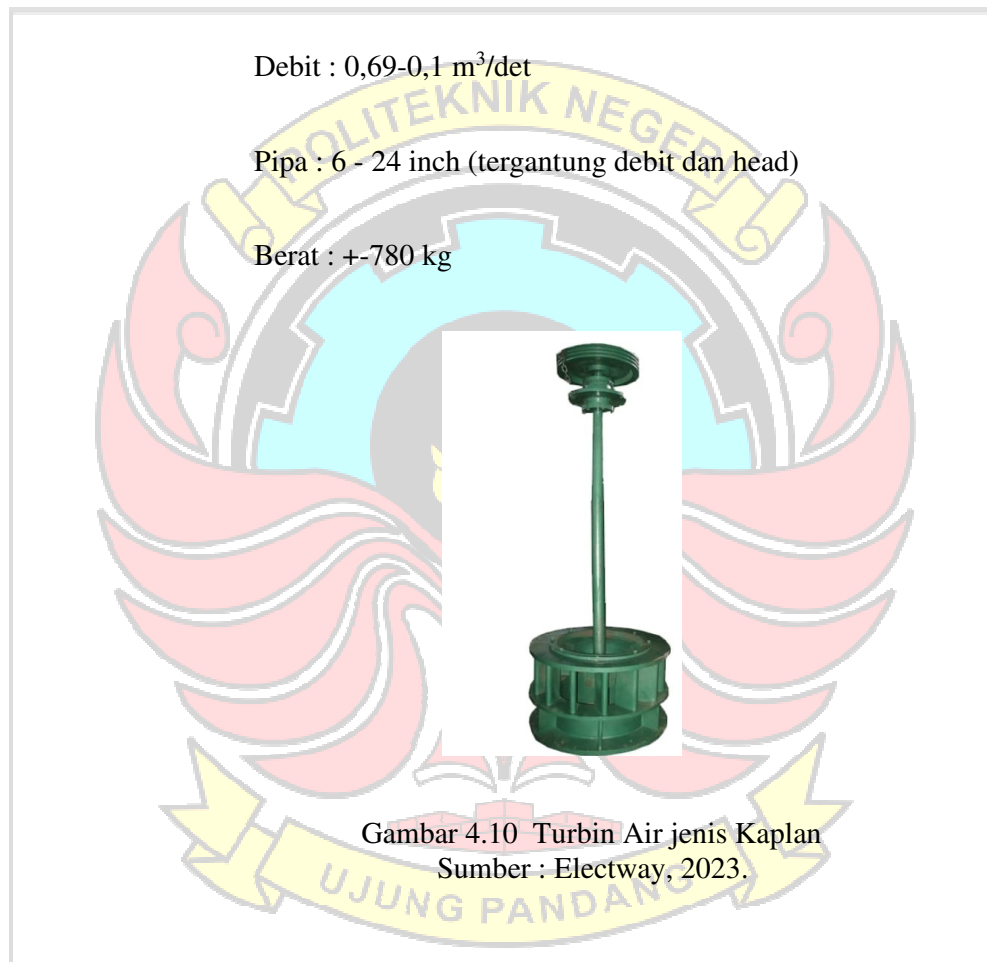
Tipe turbin : *Kaplan*

Head : 5-50 m

Debit : 0,69-0,1 m³/det

Pipa : 6 - 24 inch (tergantung debit dan head)

Berat : +-780 kg



4.3.11 Generator

Generator yang akan digunakan untuk perencanaan PLTMH adalah Generator dengan Daya 15 kW. Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat

arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*). Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*), antara lain adalah:

- a. Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh dari poros utama (*main shaft*), sehingga keandalannya tinggi.
- b. Biaya perawatan berkurang karena pada sistem eksitasi tanpa sikat tidak terdapat sikat, komutator dan slip ring.
- c. Pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada farnish akibat sikat arang.
- d. Mengurangi kerusakan akibat udara buruk sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup.
- e. Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi dapat berlangsung terus pada waktu yang lama.



Gambar 4.11 Generator 15 kW
Sumber : Electway Store, 2023.

4.3.12 Beban Listrik

Setelah dilakukan pendataan penggunaan beban listrik yang ada di Kawasan Wisata Talondo Tallu, maka didapatkan keterangan sebagai berikut :

- Lampu Jalan
- Lampu Ruangan
- Lampu Teras
- Lampu Toilet
- Lampu Gazebo
- Pompa Air
- Terminal Listrik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan dan pembahasan yang telah diuraikan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Potensi debit andalan pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu adalah $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Daya Listrik PLTMH pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu adalah 15.67 kW.
3. Rancangan PLTMH pada bendungan sungai kawasan wisata Talondo Tallu meliputi desain Bendung, Bak Pengendap, Saluran Pembawa, Bak Penenang, Saluran Pelimpah, *Penstock*, *Power House*, Saluran Pembuang, Turbin Air, Generator dan Beban Listrik.

5.2 SARAN

1. Diperlukan Survei awal untuk menentukan potensi lokasi PLTMH.
2. Untuk mendapatkan perhitungan debit andalan yang lebih akurat, sebaiknya mengambil 3 stasiun *catchment area* untuk data curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah Nasir, Bilal. 2014. Suitable Selection of Components for the Micro Hydro-Electric Power Plant. *Advances in Energi and Power* 2(1): 7-12, 2014 DOI: 10.13189/aep.2014.020102 <http://www.hrpub.org>
- Budi S, Kukuh Dwi P. 1994. “Perencanaan Embung Sungai Kreo”. Laporan Tugas Akhir. Kota Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dirjen ESDM Direktorat Jenderal Energi dan Sumber Daya Mineral. 2009. *Pedoman Studi dan Elektrikal, Buku 2D*. Jakarta: Dirjen ESDM.
- Dirjen Pengairan Direktorat Jenderal Pengairan. 1986. *Standar Perencanaan Saluran KP-03*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Fatmawati Nurkhaerani, 2016. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Sungai Cikaniki, Desa Malangsari, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor*. Skripsi. Kota Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Girsang F, 2008. *Analisis Curah Hujan untuk Pendugaan Debit Puncak dengan Metode Rasional pada DAS Belawan Kabupaten Deli Serdang*. Skripsi. Kota Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Institute for Essential Services Reform (IESR). 2019. “Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, Dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019.”
- Kadir R. 2010. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani*. Skripsi. Palu: Universitas Tadulako.
- Munir, Ahmad. 2012. *Ilmu Ukur Wilayah dan Sistem Informasi Geografis*. Kencana Prenada Group, Jakarta.
- Nasution. 2016. *Pemetaan Sifat Kimia Tanah Pada Daerah Rawan Bencana Gunung Sinabung Kabupaten Sumatera Utara*. Skripsi. Kota Padang: Universitas Andalas.
- Putra, Muhammad Bagus Setiawan. 2017. “Analisa Debit Banjir pada Daerah Aliran Sungai Banyumileng”. Dalam *Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Infrastruktur – I* :145-148. Jember.

Veri Dwiyanto, Dyah Indriana K., Subuh Tugiono. 2016. Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai). Hal 407-422.

Widyaningsih, Grita Anindarini. 2017. "Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional." Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia 4(1): 139

....., 2019. Kabupaten Tana Toraja (Online), ([http:// https://sulselprov.go.id/](http://sulselprov.go.id/)), diakses 09 Januari 2023.

....., 2021. Survey Topografi (Online), (<https://eprints.binadarma.ac.id/>), diakses 10 Januari 2023.

....., 2016. Pemanfaatan Debit Air (Online), (<https://e-journal.uajy.ac.id/>), diakses 12 Agustus 2023.

LAMPIRAN

ANALISIS EKONOMI

MENGHITUNG NPV Pada Suku Bunga 7%			
Tahun ke-	NCF	Faktor Diskonto	PV NCF
	Rp 258,000,000.00		
0	Rp 58,488,722.89	1.000	Rp 58,488,722.89
1	Rp 58,488,722.89	0.935	Rp 54,662,357.84
2	Rp 58,488,722.89	0.873	Rp 51,086,315.74
3	Rp 58,488,722.89	0.816	Rp 47,744,220.32
4	Rp 58,488,722.89	0.763	Rp 44,620,766.65
5	Rp 58,488,722.89	0.713	Rp 41,701,651.08
6	Rp 58,488,722.89	0.666	Rp 38,973,505.68
7	Rp 58,488,722.89	0.623	Rp 36,423,837.08
8	Rp 58,488,722.89	0.582	Rp 34,040,969.24
9	Rp 58,488,722.89	0.544	Rp 31,813,989.94
10	Rp 58,488,722.89	0.508	Rp 29,732,700.88
11	Rp 58,488,722.89	0.475	Rp 27,787,570.91
12	Rp 58,488,722.89	0.444	Rp 25,969,692.44
13	Rp 58,488,722.89	0.415	Rp 24,270,740.60
14	Rp 58,488,722.89	0.388	Rp 22,682,935.14
15	Rp 58,488,722.89	0.362	Rp 21,199,004.81
Total			Rp 532,710,258.35
NPV 7%			Rp 274,710,258.35
DISKONTO ANNUITIES			9.108

MENGHITUNG NPV Pada Suku Bunga 10%					
Tahun ke-	NCF		Faktor Diskonto	PVNCF	
	Rp	258,000,000.00			
0	Rp	58,488,722.89	1.000	Rp	58,488,722.89
1	Rp	58,488,722.89	0.909	Rp	53,171,566.26
2	Rp	58,488,722.89	0.826	Rp	48,337,787.51
3	Rp	58,488,722.89	0.751	Rp	43,943,443.19
4	Rp	58,488,722.89	0.683	Rp	39,948,584.72
5	Rp	58,488,722.89	0.621	Rp	36,316,895.20
6	Rp	58,488,722.89	0.564	Rp	33,015,359.27
7	Rp	58,488,722.89	0.513	Rp	30,013,962.98
8	Rp	58,488,722.89	0.467	Rp	27,285,420.89
9	Rp	58,488,722.89	0.424	Rp	24,804,928.08
10	Rp	58,488,722.89	0.386	Rp	22,549,934.62
11	Rp	58,488,722.89	0.350	Rp	20,499,940.56
12	Rp	58,488,722.89	0.319	Rp	18,636,309.60
13	Rp	58,488,722.89	0.290	Rp	16,942,099.64
14	Rp	58,488,722.89	0.263	Rp	15,401,908.76
15	Rp	58,488,722.89	0.239	Rp	14,001,735.24
Total				Rp	444,869,876.52
NPV 10%				Rp	186,869,876.52
DISKONTO ANNUITIES					7.606

MENGHITUNG NPV Pada Suku Bunga 8.44%				
Tahun ke-	Arus Kas	Faktor Diskonto	Nilai Sekarang	
	Rp 258,000,000.00			
0	Rp 58,488,722.89	1.000	Rp	58,488,722.89
1	Rp 58,488,722.89	0.922	Rp	53,936,483.67
2	Rp 58,488,722.89	0.850	Rp	49,738,550.04
3	Rp 58,488,722.89	0.784	Rp	45,867,346.04
4	Rp 58,488,722.89	0.723	Rp	42,297,441.94
5	Rp 58,488,722.89	0.667	Rp	39,005,387.25
6	Rp 58,488,722.89	0.615	Rp	35,969,556.67
7	Rp 58,488,722.89	0.567	Rp	33,170,008.00
8	Rp 58,488,722.89	0.523	Rp	30,588,351.16
9	Rp 58,488,722.89	0.482	Rp	28,207,627.41
10	Rp 58,488,722.89	0.445	Rp	26,012,197.90
11	Rp 58,488,722.89	0.410	Rp	23,987,641.00
12	Rp 58,488,722.89	0.378	Rp	22,120,657.51
13	Rp 58,488,722.89	0.349	Rp	20,398,983.32
14	Rp 58,488,722.89	0.322	Rp	18,811,308.85
15	Rp 58,488,722.89	0.297	Rp	17,347,204.77
Total			Rp	487,458,745.53
NPV 8.44%			Rp	229,458,745.53
DISKONTO ANNUITIES			8.334	

ITEM	JUMLAH	SATUAN	
Kapasitas Pembangkit	15	KW	
Capacity Factor	60%		
Annual Interest (Suku Bunga)	8.44%		
Periode Pengembalian Modal + Bunga	10	tahun	

Net cash flow per tahun sama

Maka dapat diasumsikan biaya-biaya sebagai berikut :

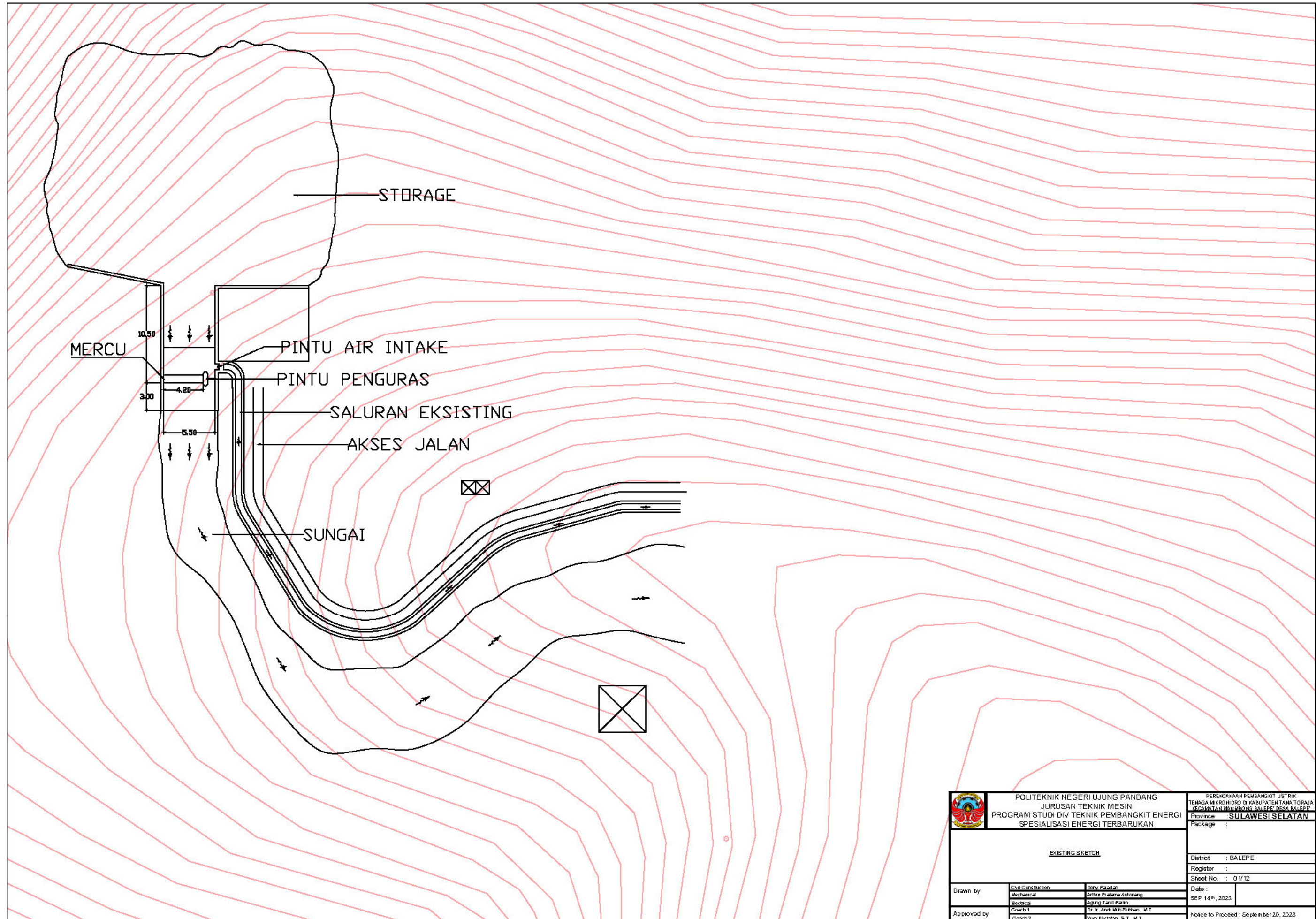
Cost per kWh Operasional & Maintenance	Rp	400.00	per kWh
Faktor Diskonto	7%	9.108	
Faktor Diskonto	8.44%	8.334	
Faktor Diskonto	10%	7.606	


CAPACITY FACTOR (CF)
Typical capacity factors for power generating plants (%)

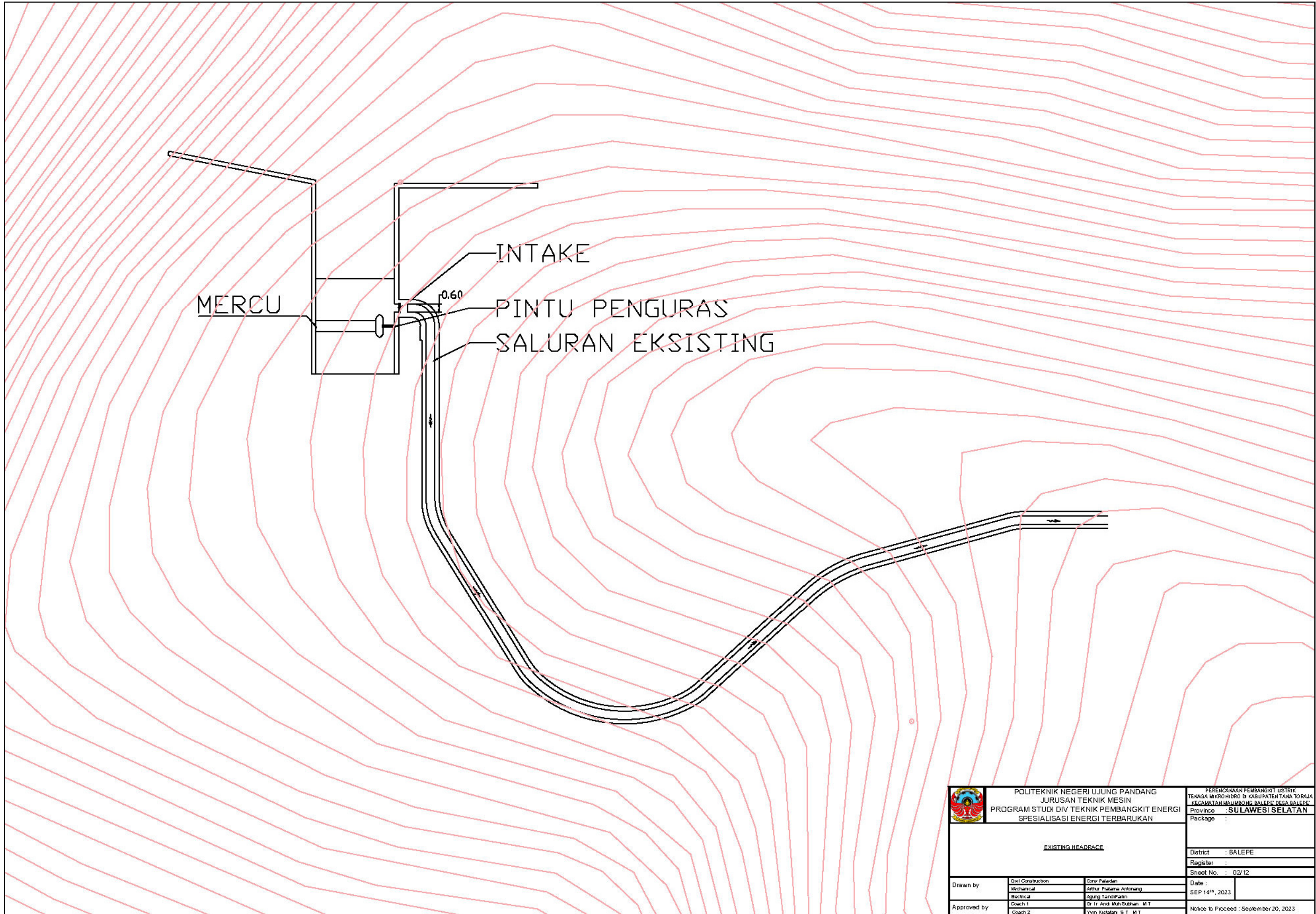
Technologies	Capacity factor (%)
Gas turbine combined cycle	80-90
Internal Combustion engine	85
Nuclear	90
Average Coal Plant (Steam)	68-75
Biomass Steam Plant	68
Geothermal	90
Hydropower	44-90
Wind turbine	30
Solar/PLTS	20.8


Investasi Awal (Capital Cost)	= Penang Power Capital Costs x Kapasitas Pembangkit	Rp	258,000,000.00
Annual Cost	$\frac{\text{Annual Interest Rate} \times \text{Total Cost of The Plant}}{1 - \frac{1}{(1 + \text{Annual Interest Rate})^n}}$	Rp	23,875,425.11
Jumlah Jam Kerja Efektif per Tahun	= Capacity Factor x Jumlah Jamhari x Jumlah Hari per Tahun		52,56.00 jumlah
Energi Yang dihasilkan per tahun	= Kapasitas Pembangkit x Jumlah Jam Kerja Efektif per Tahun		78840 kWh
Cost per kWh untuk membayar Annual Cost	$\frac{\text{Annual Cost}}{\text{Energi Yang Dihasilkan per Tahun}}$	Rp	303 per kWh
Total Cost per kWh	= Cost per kWh Untuk Annual Cost + Cost per kWh O & M	Rp	702.83 per kWh
Harga Jual	Diasumsikan Harga Jual	Rp	1,444.70 per kWh
Keuntungan	= (Total Cost per kWh - Harga Jual kWh)	Rp	741.87 per kWh
XAns Kas Netto	= (Keuntungan kWh x Jumlah energi yang dihasilkan/tahun	Rp	58,488,722.89 per kWh
NPV (8.44%)		Rp	229,445,016.60
NPVr (faktor diskonto 7%)	= (Ans kas Netto x Faktor Diskonto) - investasi Awal	Rp	274,715,288.12 Nilai Plus
NPVr (faktor diskonto 10%)		Rp	186,865,226.33 Nilai Plus
Internal Rate of Return (IRR)	= Ir + ((NPVr / (NPVr - NPV)))(Ir - Ir)		16.38%

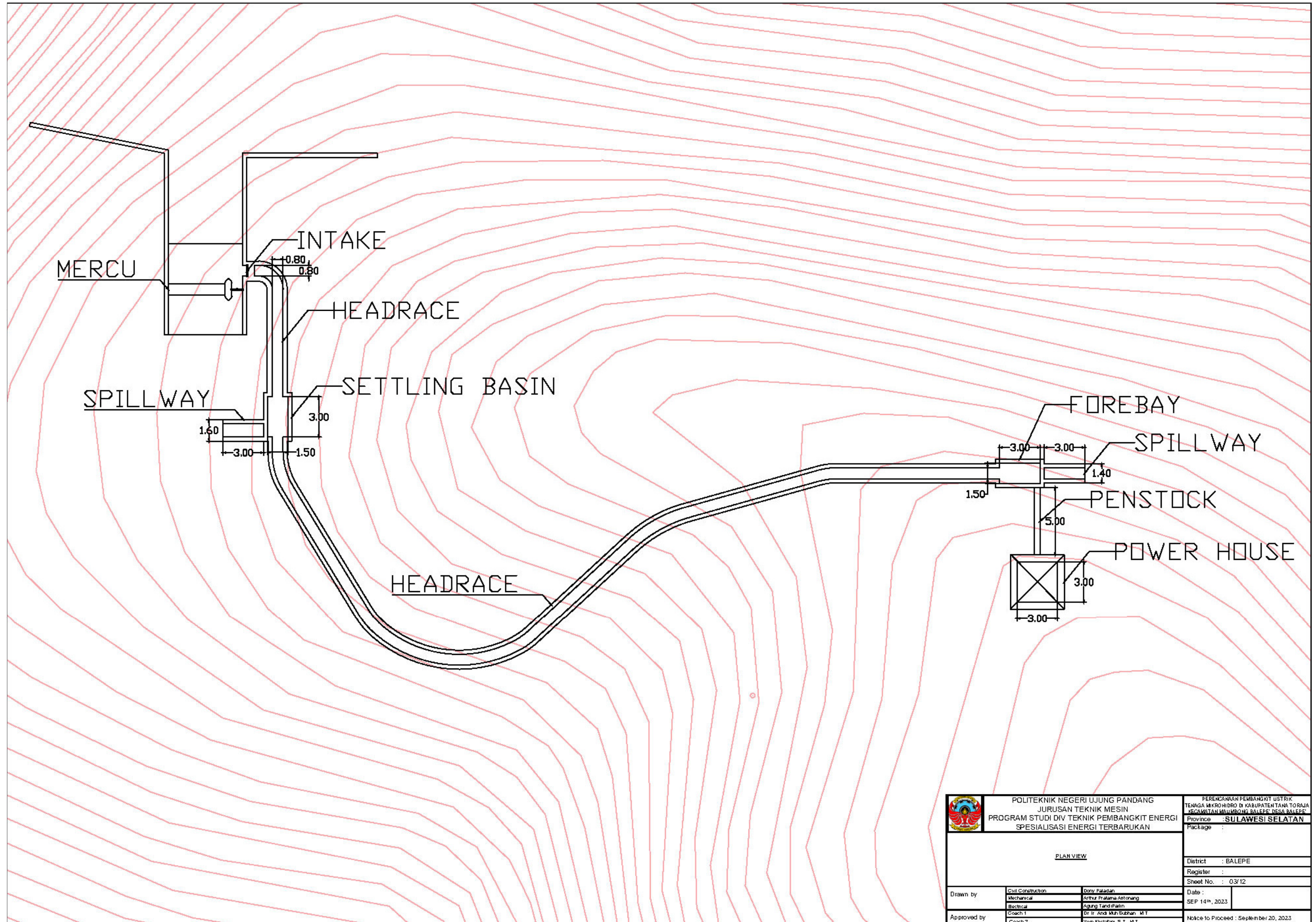
Proyek layak diterima. Karena nilai IRR > MARR (suku bunga)




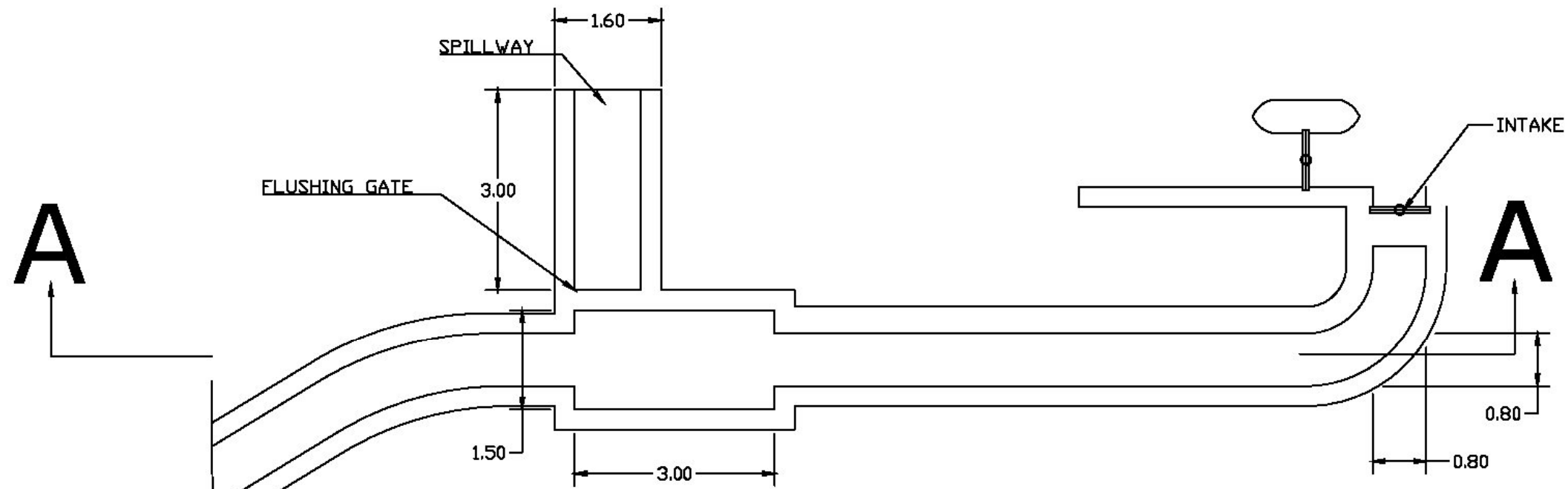
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TEMAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANJA TORAJA KECAMATAN MAMUKONG BALEPE DESA BALEPE
			Province : SULAWESI SELATAN Package :
EXISTING SKETCH			District : BALEPE Register : Sheet No. : 01/12
Drawn by :	Civil Construction : Dory Paladan Mechanical : Arthur Prakana Antonang Electrical : Agung Tandipatin	Date : SEP 14th, 2023	Notice to Proceed : September 20, 2023
Approved by :	Coach 1 : Dr Ir Andi Mubsubhan M.T Coach 2 : Yrin Kristiana S.T M.T		



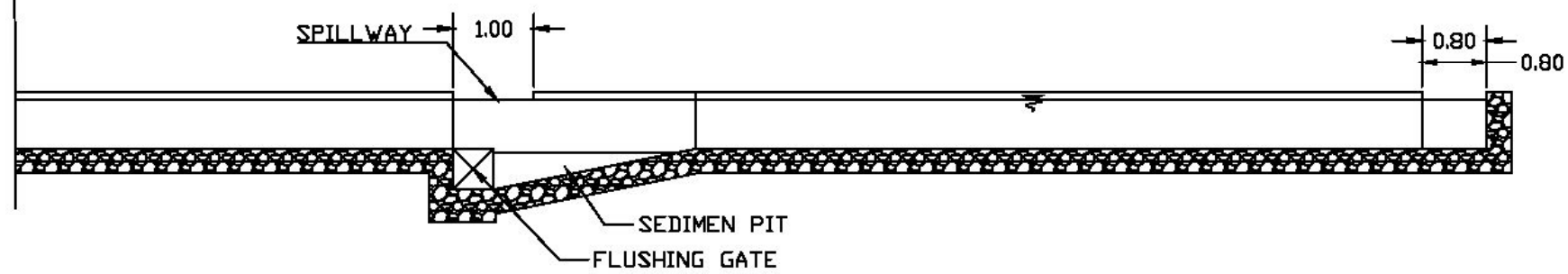
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANAJA KECAMATAN MAMURUNG BALEPE DESA BALEPE Province : SULAWESI SELATAN Package :	
	EXISTING HEADRACE		District : BALEPE Register : Sheet No. : 02/12	
Drawn by :	Civil Construction : Emy Faladan Mechanical : Aery Pratama Antonang Electrical : Agung Tandipalim Coach 1 : Dr. H. Andi M. Subhan, MT Coach 2 : Yim Kuslani, ST, MT	Date : SEP 14 th , 2023	Notice to Proceed : September 20, 2023	




	POLITEKNIK NEGERI LJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKRO HIDRO DI KABUPATEN TANAJA Kecamatan MUMUKONGI BALEPE DESA BALEPE	
			Province : SULAWESI SELATAN Package :	
PLAN VIEW				District : BALEPE
				Register :
				Sheet No. : 03/12
Drawn by	Civil Construction	Dony Paladin	Date	
	Mechanical	Arma Pratama Astaning		
	Electrical	Azang Tandipalim	SEP 14 th , 2023	
Coach 1		Dr. H. Andi Muh. Sidiq, M.T.		
Coach 2		Iryn Kuslatah, S.T., M.T.		
				Notice to Proceed : September 20, 2023

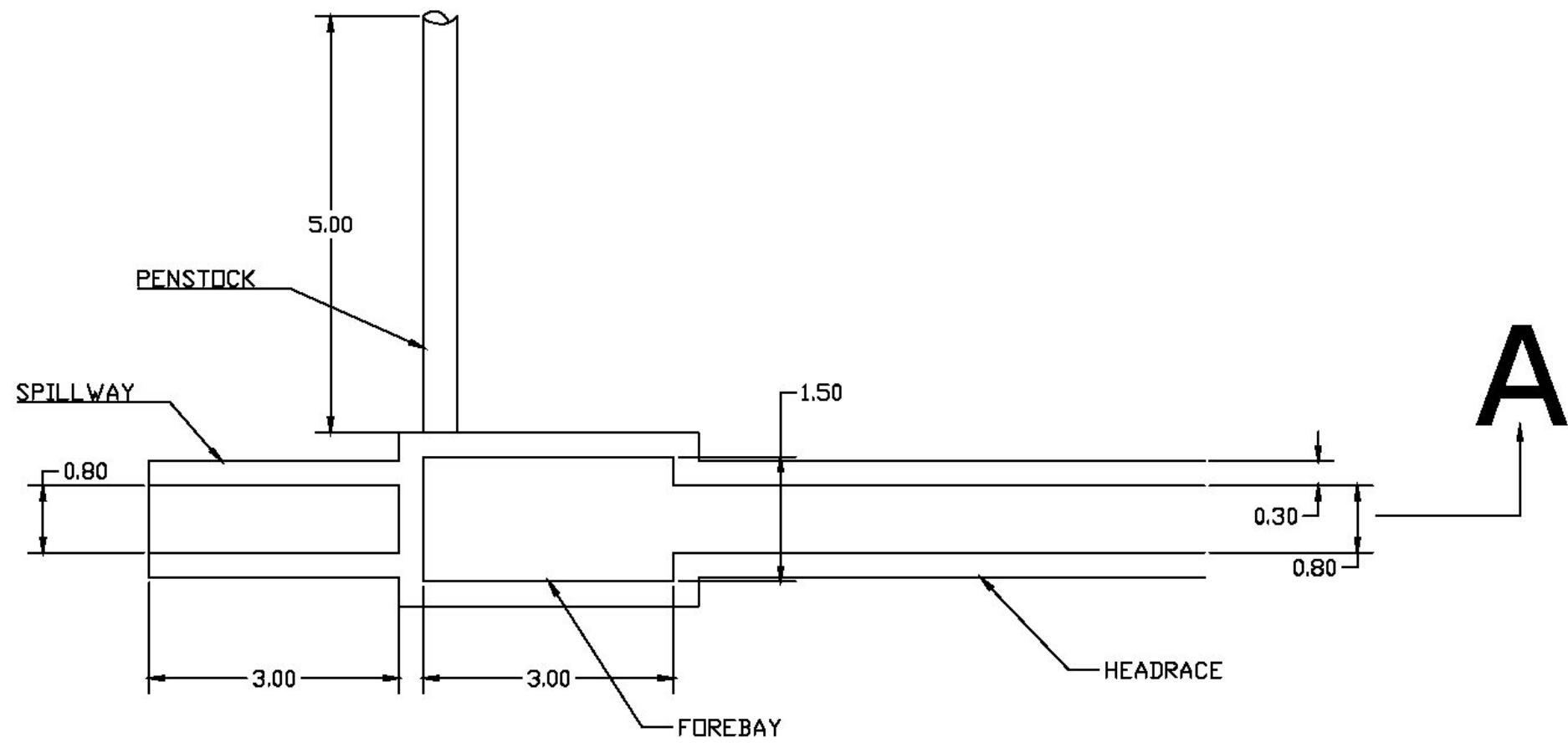


PLAN VIEW
Scale : nts

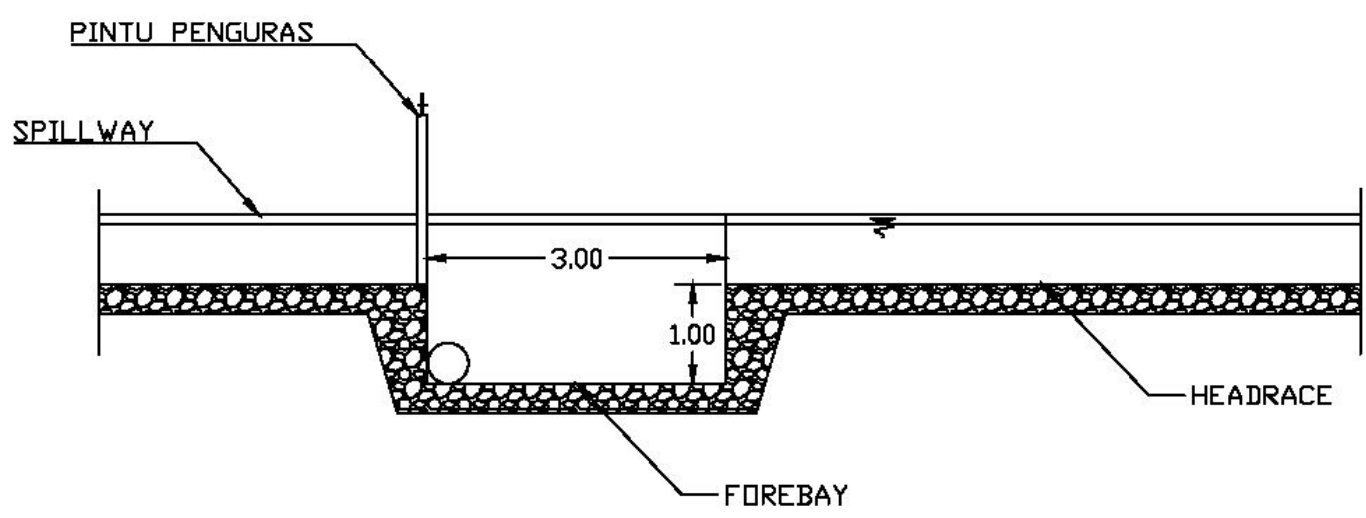


DETAIL VIEW A-A
Scale : nts


	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANA TORAJA WILAYAH KERJA MUMBONG BALEPE, DESA BALEPE	
	SETTling BASIN		Province : SULAWESI SELATAN District : BALEPE Register : Sheet No. : 04/12	
Drawn by :	Civil Construction : Dorry Paladan Mechanical : Arthur Prakana Astomang Electrical : Agung Tandipatin	Date : SEP 14th, 2023	Notice to Proceed : September 20, 2023	
Approved by :	Coach 1 : Dr Ir. Andi Muli Subhan, M.T. Coach 2 : Yiyn Kristiana, S.T., M.T.			

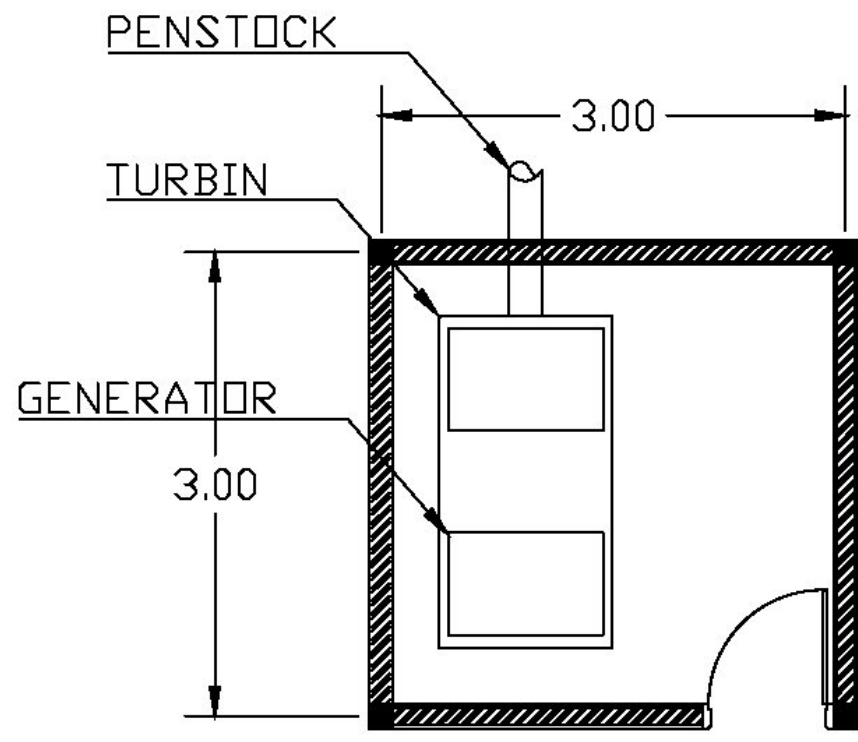


PLAN VIEW
Scale : nts

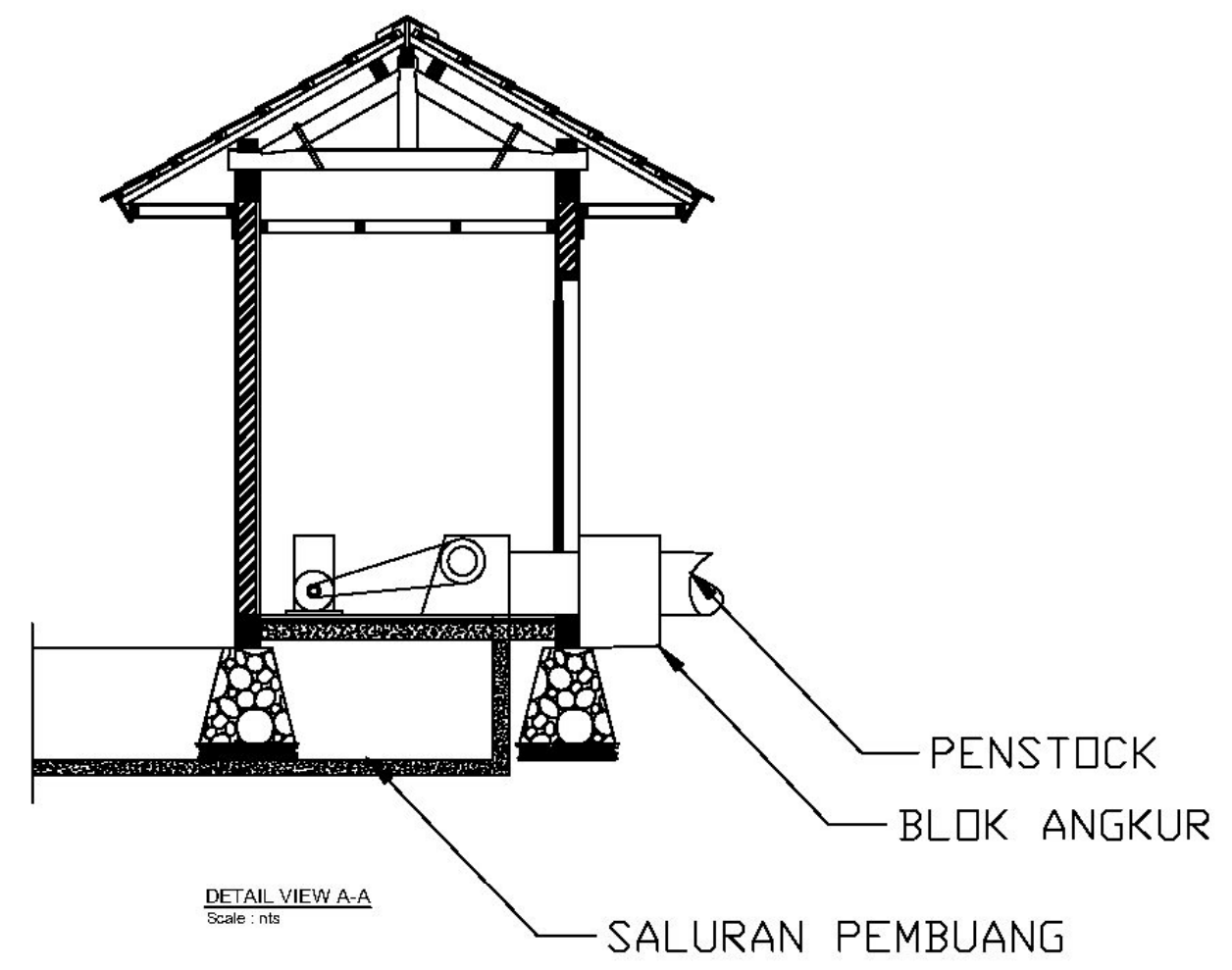


DETAIL VIEW A-A
Scale : nts


	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANAJA WILAYAH KABUPATEN BALEPE, DESA BALEPE
	HEADRACE DAN FOREBAY		Province : SULAWESI SELATAN District : BALEPE Register : Sheet No. : 05/12
Drawn by : Civil Construction : Dory Paladan Mechanical : Arthur Prakana Astanang Electrical : Agung Tandipatin	Date : SEP 14th, 2023		Notice to Proceed : September 20, 2023
Approved by : Coach 1 : Dr Ir. Andi Muli Subhan, M.T Coach 2 : Yiyn Kristiani, S.T, M.T			

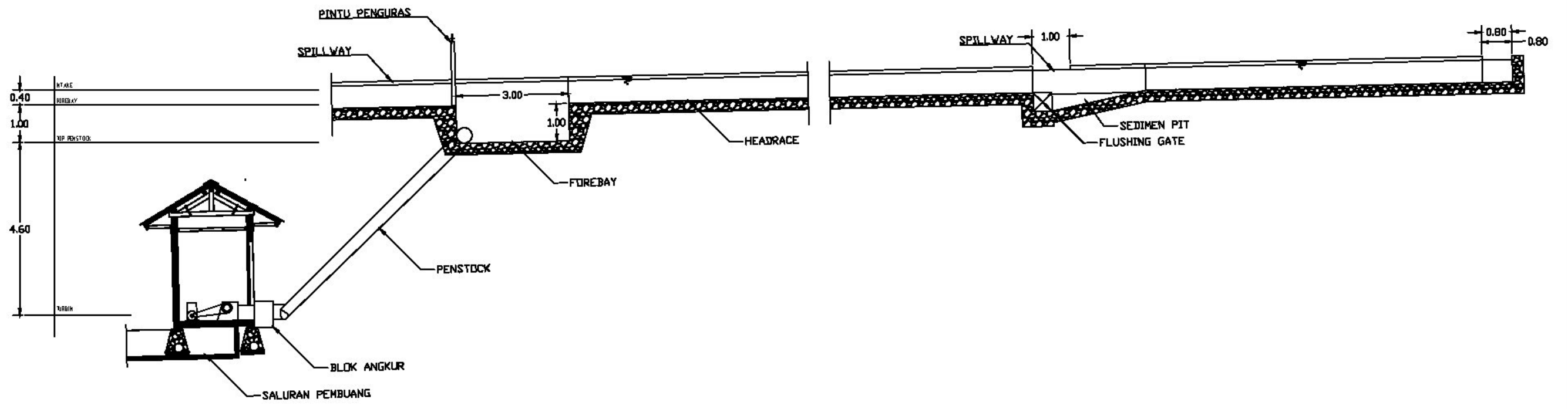


PLAN VIEW
Scale : nts

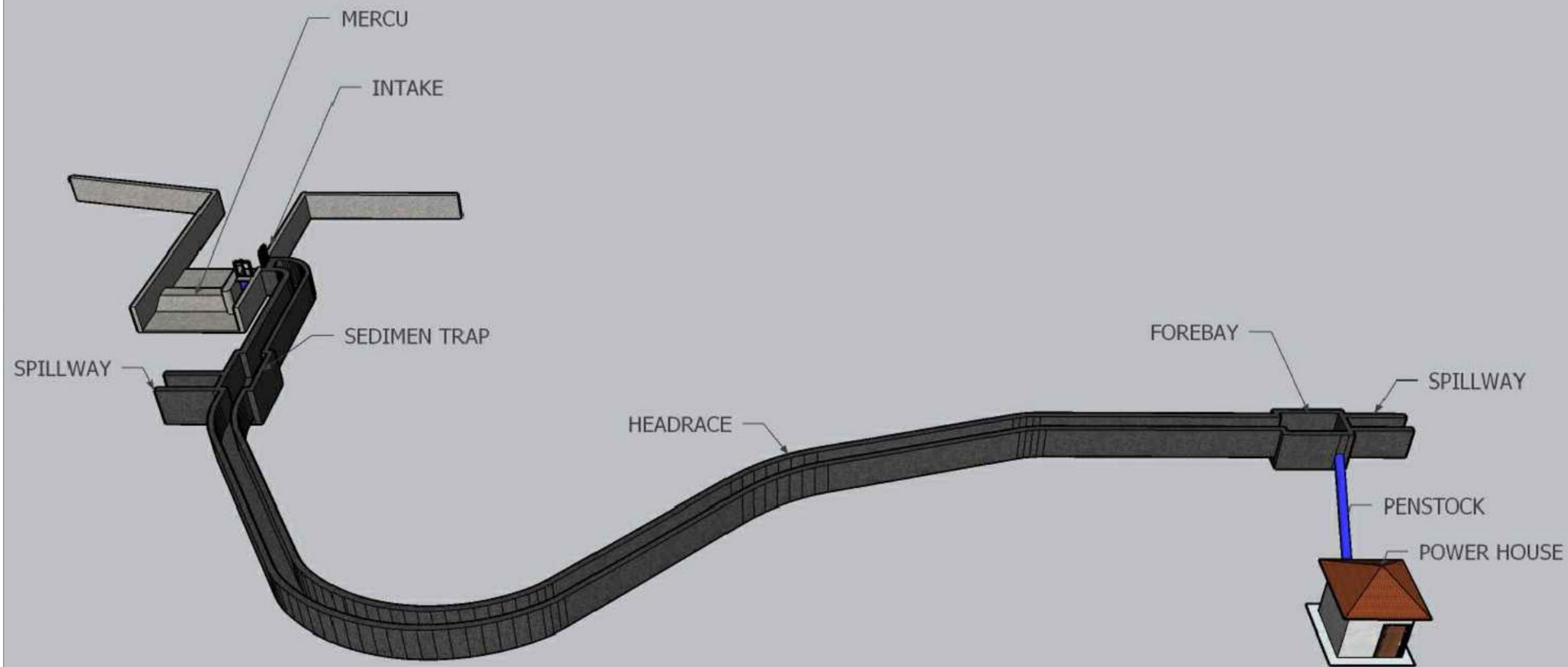



DETAIL VIEW A-A
Scale : nts

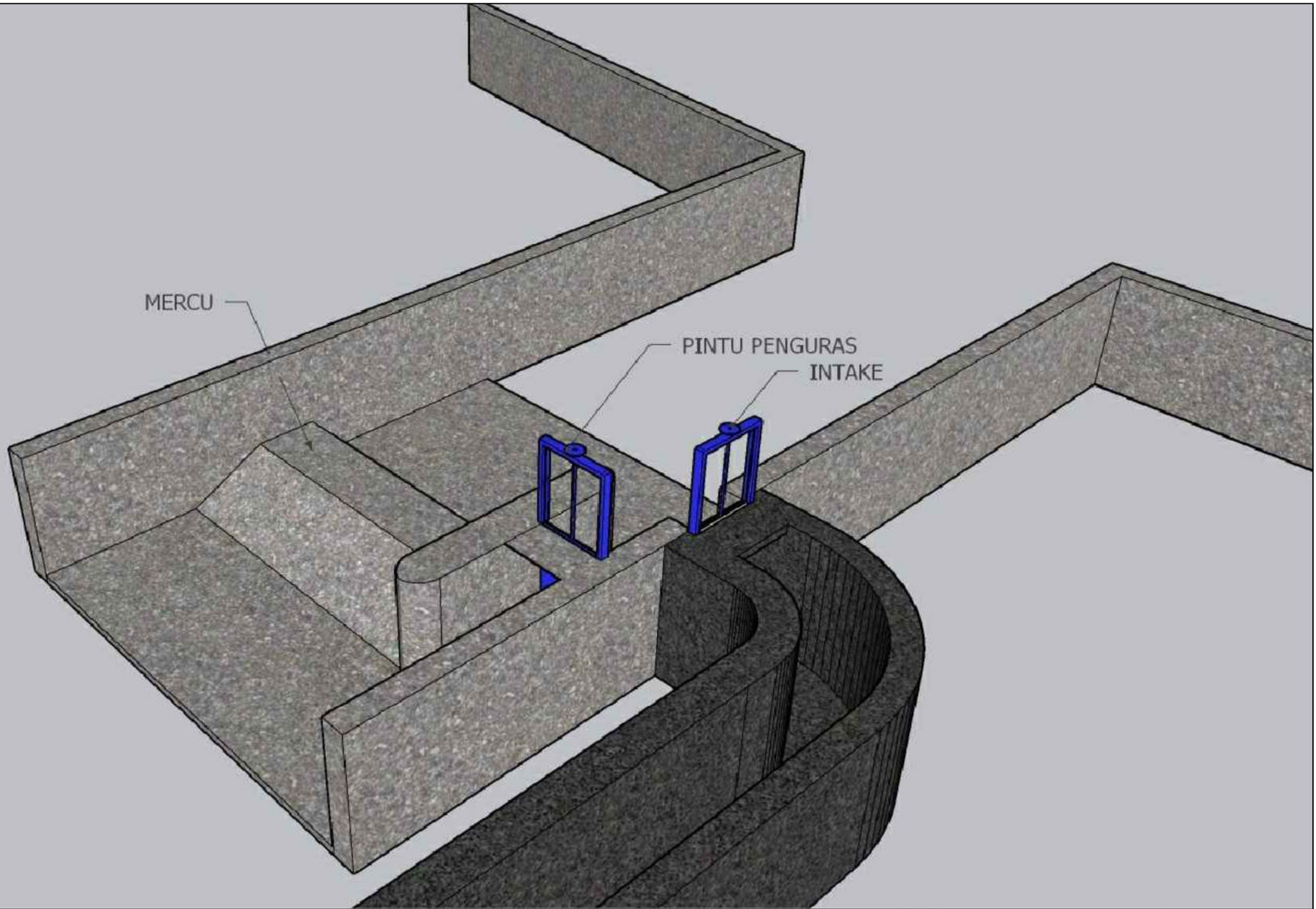
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANA TORAJA WILAYAH KABUPATEN BALEPE, DESA BALEPE
	POWER HOUSE		Province : SULAWESI SELATAN District : BALEPE Register : Sheet No. : 06/12
Drawn by : Civil Construction : Dory Paladan Mechanical : Arthur Prakana Antonang Electrical : Agung Tandipatin	Date : SEP 14th, 2023		Notice to Proceed : September 20, 2023
Approved by : Coach 1 : Dr Ir. Andi Muli Subhan, M.T. Coach 2 : Yiny Kristiana, S.T., M.T.			




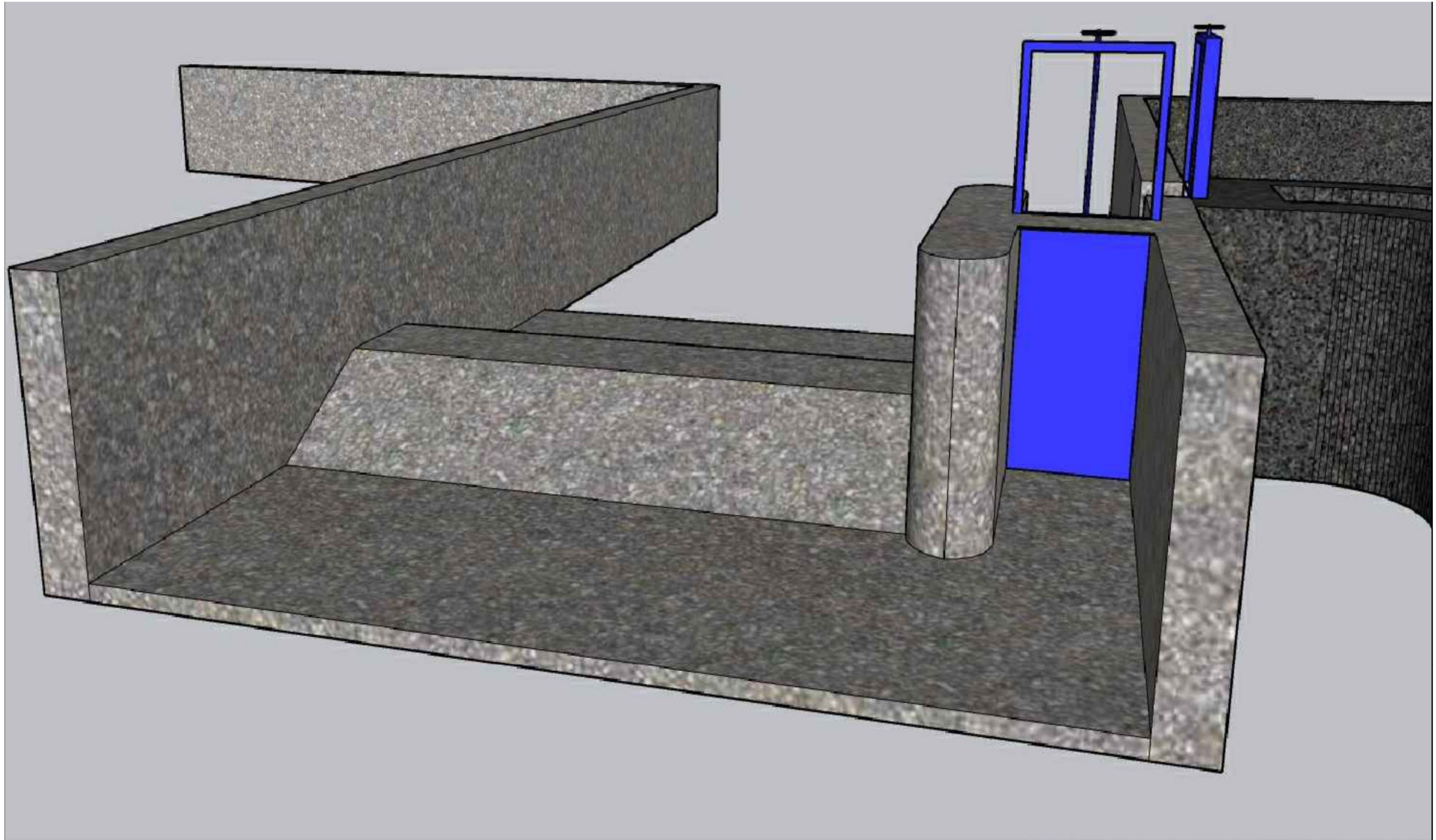
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANA TORAJA KECAMATAN MUMBONG BALEPE, DESA BALEPE	
	Province : SULAWESI SELATAN		Package :	
SKEMA PLTMH			District : BALEPE	
			Register :	
			Sheet No. : 07/12	
Drawn by	Civil Construction	Dony Palidan	Date :	
	Mechanical	Arthur Pratama Antonang	SEP 14 th , 2023	
	Electrical	Agung Tandipalim		
Approved by	Coach 1	Dr. H. Andi Muli Sulhan, M.T.	Notice to Proceed : September 20, 2023	
	Coach 2	Yim Kusafan, S.T., M.T.		




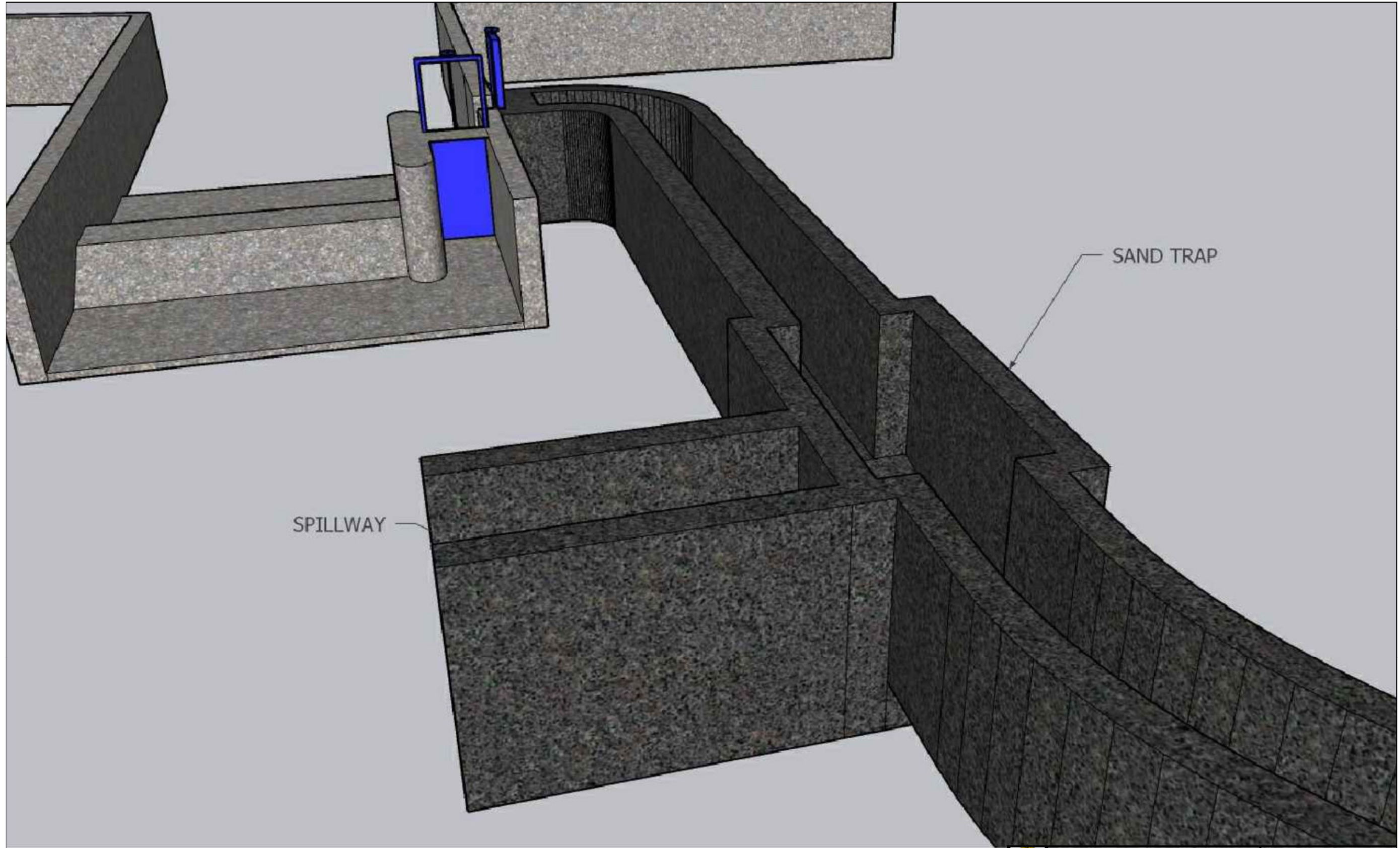
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKRO HIDRO DI KABUPATEN TANAH TORAJA Kecamatan Muluwongu BALEPE DESA BALEPE	
			Province : SULAWESI SELATAN Package :	
SKEMA PLTMH 3D			District : BALEPE	
			Register :	
			Sheet No. : 08/12	
Drawn by	Civil Construction : Mechanical : Electrical : Coach 1 : Coach 2 :	Doni Palalan Arthur Pratama Antonang Agung Tandipalim Dr. Ir. Andi Widi Sulhan, MT Iryni Kistafari, ST, MT	Date :	SEP 14 th , 2023
Approved by			Notice to Proceed : September 20, 2023	



	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANA TORAJA WILAYAH KABUPATEN BALEPPE, DESA BALEPE	
			Province :	SULAWESI SELATAN
INTAKE 3D		Package :		
		District : BALEPE		
		Register :		
		Sheet No. : 09/12		
		Date :		
		SEP 14 th , 2023		
Drawn by	Civil Construction	Dony Paladan		
	Mechanical	Arthur Prakana Antonang		
	Electrical	Agung Tandipatin		
Approved by	Coach 1	Dr Ir Andi MubSubhan, M.T		
	Coach 2	Yiyn Kristiana, S.T, M.T		
		Notice to Proceed : September 20, 2023		



	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANRI TO RAJA KECAMATAN MAMURONG BALEPE DESA BALEPE	
			Province :	SULAWESI SELATAN
BENDUNG 3D			District :	BALEPE
			Register :	
			Sheet No. :	10/12
Drawn by	Civil Construction	Dony Paladan	Date :	
	Mechanical	Arthur Pratama Antonang	SEP 14 th , 2023	
	Electrical	Agung Tandipalin		
Approved by	Coach 1	Dr Ir Andi Mun Subhan MT	Notice to Proceed : September 20, 2023	
	Coach 2	Yiyn Nisafari S.T MT		



SPILLWAY

SAND TRAP

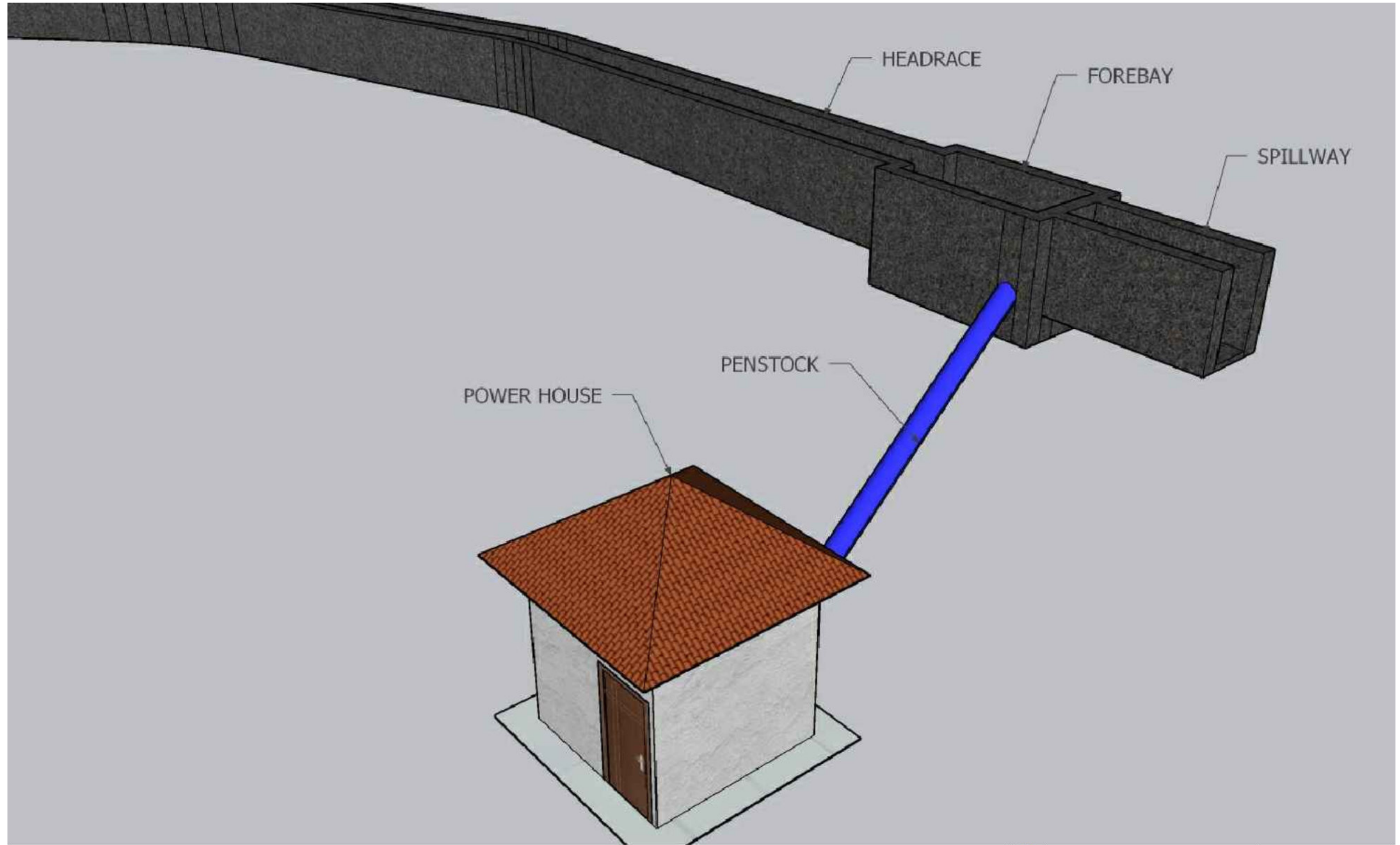



POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
 JURUSAN TEKNIK MESIN
 PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
 SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN

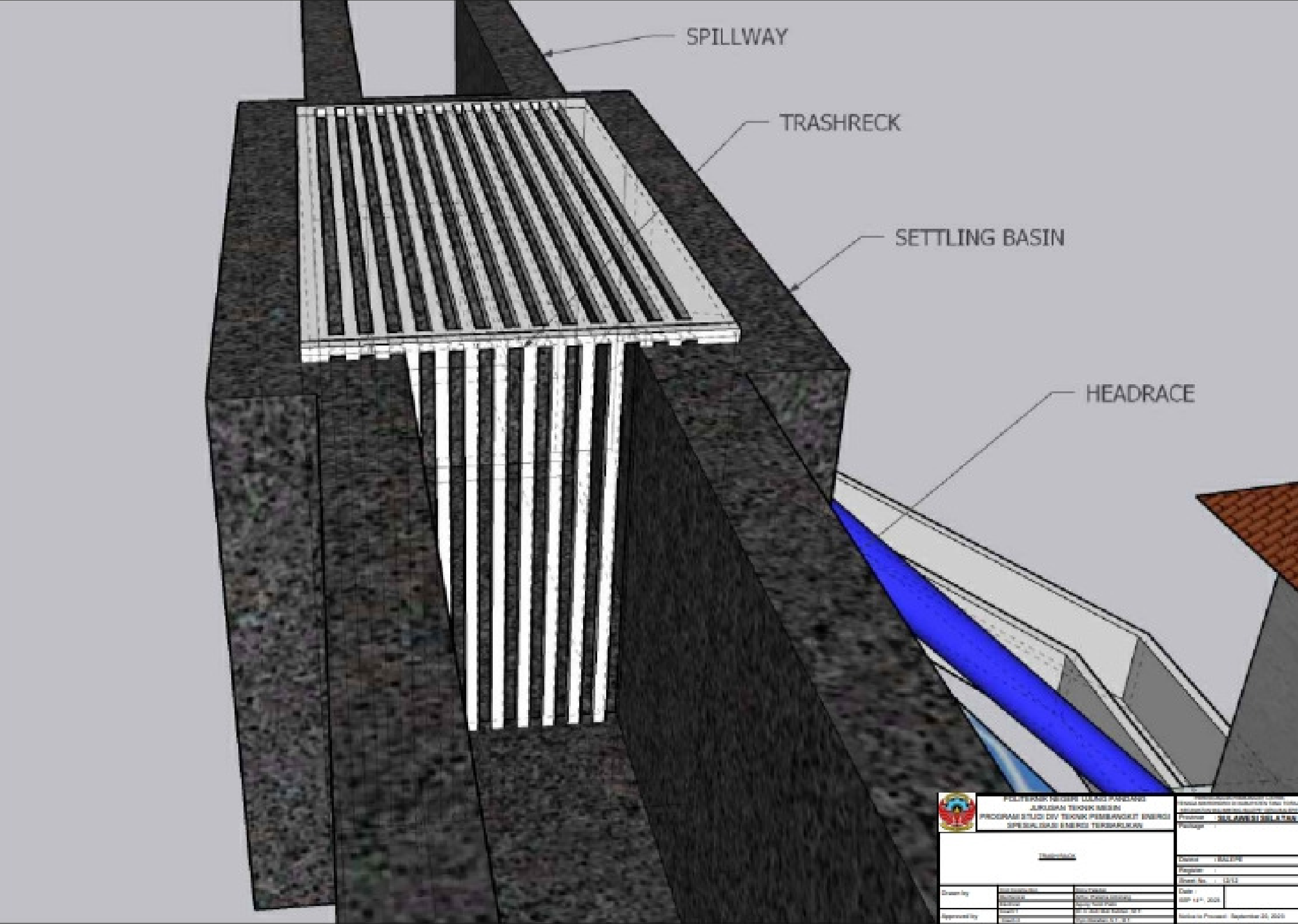
PEREMBAHAN PERANGKAT DISTRIBUSI
 TENAGA MIKROHIDRO DI KABUPATEN TANRI TORAJA
 SECUMANTAN MAMURONG BALEPE DESA BALEPE
 Province : **SULAWESI SELATAN**
 Package :

SETTLING BASIN 3D		
Drawn by	Civil Construction Mechanical Electrical Coach 1	Bony Palatan Arthur Pratama Antonang Agung Tandipalim Dr. Ir. Andi Widi Sulthan, M.T
Approved by	Coach 2	Iryni Kistafani, S.T, M.T

District	: BALEPE
Register	:
Sheet No.	: 11/12
Date	: SEP 14 th , 2023
Notice to Proceed	: September 20, 2023



	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		PERENCANAAN PEMBANGKIT USTRUK TENAGA MIKRO HIDRO DI KABUPATEN TANAH TORAJA DEWAKOTAN MAMUKONGI, BALEPE, DESA BALEPE	
			Province : SULAWESI SELATAN Package :	
<u>HEADRACE, FOREBAY, POWERHOUSE ED</u>				District : BALEPE Register : Sheet No. : 12/12
Drawn by	Civil Construction Mechanical Electrical	Dony Paladian Artha Pratama Astoning Agung Tandipalim	Date :	SEP 14 th , 2023
Approved by	Coach 1 Coach 2	Dr. H. Andi M. S. S. M. T. Iryn Kristian S.T. M.T.	Notice to Proceed : September 20, 2023	



		POLITEKNIK NEGERI UDONG PANDANONG JURUSAN TEKNIK MESIN PROGRAM STUDI DIV. TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI SPESIALISASI ENERGI TERBARUKAN		Nama : <u>AL-AMRI HILALAH</u> NPM : Kelas : No. Absen : <u>1414</u>
Identifikasi				
Drawn by : <u>AL-AMRI HILALAH</u>	Date : <u>14/10/2024</u>	Checked by : <u>Dr. H. H. H. H. H.</u>	Date : <u>14/10/2024</u>	Revisi / Perubahan : <u>September 20, 2024</u>
Approved by : <u>AL-AMRI HILALAH</u>	Date : <u>14/10/2024</u>	Checked by : <u>Dr. H. H. H. H.</u>	Date : <u>14/10/2024</u>	Revisi / Perubahan : <u>September 20, 2024</u>