

**ANALISIS PENGARUH SUDUT BELOKAN TERHADAP
HEAD LOSSES PENSTOCK DI PLTA TIMO 3x4MW**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



**DISUSUN OLEH :
MUHAMAD DZAILANI**

NIM 30601601868

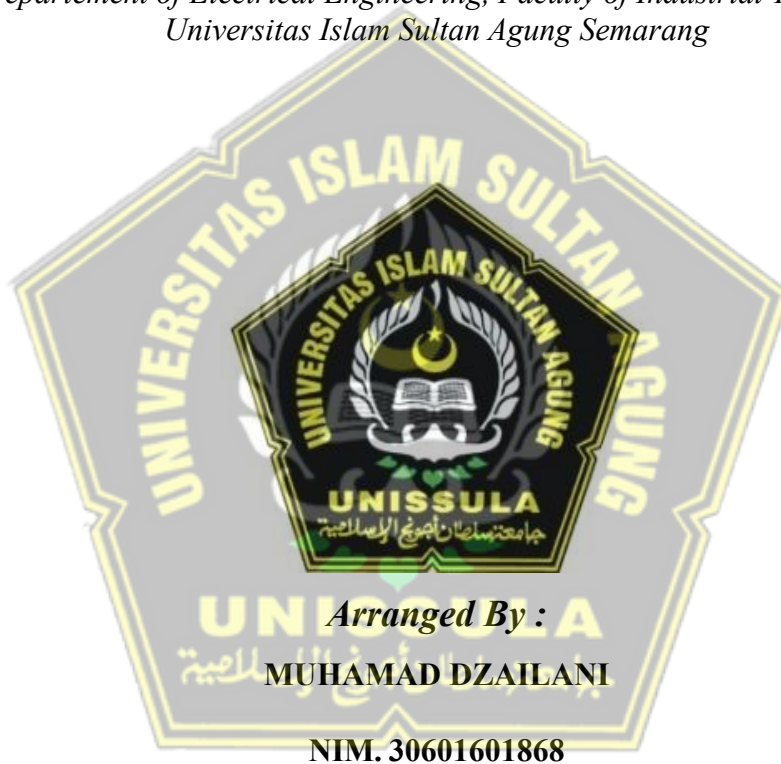
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

FINAL PROJECT

***ANALYSIS THE INFLUENCE OF TURN ANGLE ON PENSTOCK
HEAD LOSS IN PLTA TIMO 3x4MW***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung Semarang*



**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDSUTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis pengaruh sudut belokan terhadap Head Losses Penstock di PLTA Timo 3 X 4MW”

Ini disusun oleh :

Nama : Muhamad Dzailani

NIM : 30601601868

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :


Hari :

Tanggal :

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT


Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.

NIDN. 0628086501

NIDN. 0618066301

Mengetahui,
Ketua Progam Studi Teknik Elektro


Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis pengaruh sudut belokan terhadap Head Losses Penstock di PLTA Timo 3 X 4MW**” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Muhamad Dzailani

Tanggal : 30601601868

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari :

Tanggal :

TIM PENGUJI

Anggota I

Anggota II

Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT

Arief Marwanto ST, M.Eng., Ph.D

NIDN. 0619076401

NIDN. 0628097501

Ketua Penguji

Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0617126602

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhamad Dzailani
NIM : 30601601868
Judul Tugas Akhir : Analisis pengaruh sudut belokan terhadap Head Losses Penstock di PLTA Timo 3 X 4MW

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang dengan judul “ANALISIS PENGARUH SUDUT BELOKAN TERHADAP HEAD LOSSES PENSTOCK DI PLTA TIMO 3 X 4MW”** adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis, maupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan, kesuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Agustus 2023

Yang Menyatakan,



(Muhamad Dzailani)

NIM. 30601601868

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhamad Dzailani

NIM : 30601601868

Program Studi : Teknik Elektro

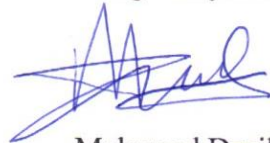
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul : **ANALISIS PENGARUH SUDUT BELOKAN TERHADAP HEAD LOSSES PENSTOCK DI PLATA TIMO 3 X 4MW.**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyamtumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 21 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Muhamad Dzailani

PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Persembahan :

Alhamdulillahill'alamiin

Rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, cinta, serta kasih sayang yang telah memberikan kekuatan dan juga kesabaran yang berlimpah sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam selalu terlimpah kepada Baginda Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafa'at beliau di yaumul qiamah nanti, aamiin. Laporan tugas akhir ini yang berjudul Analisis pengaruh sudut belokan terhadap Head Losses Penstock di PLTA TIMO 3 x 4Mw yang saya persembahkan kepada orang-orang yang sangat saya sayangi dan cintai terutama kedua orangtua saya tercinta sebagai wujud rasa terimakasih karena telah memeberikan semangat, dukungan, motivasi, dan mendoakan saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Telah selesainya tugas akhir ini merupakan capaian awal yang bisa saya persembahkan untuk memulai kehidupan baru. Saya tau bahwa tugas akhir ini tidak ada apa-apanya dibandingkan dengan perjuangan orangtua saya dalam membiayai saya selama ini, tetapi saya akan selalu berusaha untuk membuat kedua orangtua sayaselalu bahagia dengan usaha saya semaksimal. Saya ingin membuktikan bahwa saya juga dapat dibanggakan. Terima kasih atas seluruh kerja keras bapak, untuk setiap doayang tak henti-hentinya diucapkna untuk kesuksesan saya, saya masih hanya bisa membalas dengan ucapakan kata terimakasih yang sebesr-besarnya. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan ibu dan bapak amin.

Terimakasih juga untuk kakak dan adik, juga seluruh teman-teman atas semangat dan motivasi yang telah diberikan untuk saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Motto :

وَاعْبُدُوا اللَّهَ وَلَا تُشْرِكُوا بِهِ شَيْئًا وَبِالْوَالِدَيْنِ إِحْسَانًا وَبِذِي الْقُرْبَىٰ وَالْيَتَامَىٰ وَالْمَسْكِينِ وَالْجَارِ ذِي الْقُرْبَىٰ
وَالْجَارِ الْجُنُبِ وَالصَّاحِبِ بِالْجَنبِ وَابْنِ السَّبِيلِ وَمَا مَلَكَتْ أَيْمَانُكُمْ ۚ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ مَنْ كَانَ مُخْتَالًا فَخُورًا

“

Dan sembahlah Allah dan jangan menyekutukan-Nya dengan apapun. Dan berbuat baiklah kepada kedua orang tuamu, kerabat dekatmu, anak yatim, fakir miskin, tetangga dekat dan jauh, rekan-rekanmu, Ibnu Sabil dan budak-budak yang kamu miliki. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang sombong dan membanggakan diri”(An-Nisa ayat 36) .

كُونُوا رَبَّانِيِّينَ خُلَمَاءَ فَهَاءَ عُلَمَاءَ وَيَقَالُ الرَّبَّانِيُّ الَّذِي يُرَبِّي النَّاسَ بِصَغَارِ الْعِلْمِ قَبْلَ كِبَارِهِ

“Jadilah pendidik yang penyantun, ahli fiqih, dan ulama. Disebut pendidik apabila seseorang mendidik manusia dengan memberikan ilmu sedikit-sedikit yang lama - lama menjadi banyak” (HR Bukhari).

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

“Sebaik-baiknya manusia adalah dia yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya”
(HR. Al-Qadlaai'y dalam Musnad Asy-Syihaab no. 129)

مَنْ أَرَادَ الدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَ الْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

" Dia yang menginginkan dunia harus menguasai pengetahuan. Barang siapa yang menginginkan akhirat hendaknya menguasai ilmu, dan barang siapa yang menginginkan keduanya (dunia dan akhirat) hendaknya menguasai ilmu." (HR Ahmad).

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan saya rahmat dan nikmat-Nya sehingga saya masih memiliki kesempatan untuk belajar dengan sehat. Shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga suatu hari kita akan mendapatkan intervensinya. Amin Ya Robbalaalamin.

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan baik moril maupun materiil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orang tua saya, Ibu Rukini dan Bapak Suparjo tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sujudnya.
3. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., S.E. Akt., M.Hum., selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Bapak Mohammad Khosyiin, S.T., M.T., selaku Wali Dosen
7. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi N , M.T. selaku dosen pembimbing I dan bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas

Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini

9. Terima kasih kepada saudara-saudara saya telah memberi dukungan dan do'a perhatian yang amat sangat berharga sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Wassalamualaikum Warahmatullah Hiwabarokatuh.

Semarang, Agustus 2023

Muhamad Dzailani



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Potensi PLTA di Indonesia	6
2.2.2 Pengertian Turbin Air.....	7
2.2.3 Klasifikasi Turbin Air.....	8
2.2.4 Fluida.....	9

2.2.5	Aliran Laminar dan Turbulen.....	9
2.2.6	Persamaan Bernauli.....	10
2.2.7	Persamaan Kontinuitas.....	11
2.2.8	<i>Head Losses</i>	12
2.2.9	Pressure Drop	15
2.2.10	Perhitungan besar energi	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Model Penelitian	18
3.2	Objek penelitian	18
3.3	Alat Penelitian.....	19
3.4	Langkah Penelitian.....	21
3.5	Diagram Alir Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		24
4.1	Hasil Penelitian	24
4.2	Perhitungan	24
BAB V PENUTUP.....		38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA.....		39
LAMPIRAN.....	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gambaran PLTA secara umum.....	7
Gambar 2.2. Bagan Perbandingan Karakteristik Turbin	8
Gambar 2.3. Jenis aliran.....	10
Gambar 2.4. Diagram sudut	14
Gambar 2.5. Bentuk belokan patah pipa	15
Gambar 2.6. Bola jatuh	17
Gambar 3.1 Model 2D Penstock PLTA.....	18
Gambar 3.2 Peta permodelan penstock.....	19
Gambar 3.3 Pemetaan berdasar jarak.....	20
Gambar 3.4 Diagram Flowchart.....	22
Gambar 3.5 Diagram Flowchat Perhitungan.....	23



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data pipa pesat/ Penstock.....	18
Tabel 3.2 Data percabangan pipa pesat tiap unit.....	19
Tabel 4.1. Hasil perhitungan berdasar titik 0	29
Tabel 4.2. Hasil perhitungan berdasar ketinggian PLTA.....	31
Tabel 4.3. Hasil perhitungan daya potensial	37



ABSTRAK

Salah pemasalahan yang sering terdapat pada *Penstock* di PLTA Timo adalah terdapat banyaknya jumlah belokan, maka diperlukan pengkajian lebih lanjut. Dimana *Penstock* sendiri menjadi bagian utama dalam unit PLTA dan digunakan dalam jangka waktu yang lama. Masalah lainnya yaitu: jarak atau panjang *Penstock*, percabangan, dan material yang digunakan. Hal ini dapat menyebabkan menurunnya daya yang dihasilkan oleh PLTA serta kerusakan komponen lainnya. Solusi yang diperlukan adalah evaluasi besar nilai kerugian daya dan perawatan rutin guna menghindari kerusakan berat.

Penelitian ini membahas tentang pengaruh sudut belokan terhadap *Head Losses* pada PLTA Timo dengan daya yang di hasilkan 3 X 4 Mw. Parameter yang di tentukan yaitu nilai *Head mayor*, *Head minnor*, *Head effectif* yang didapat berdasar metode Fluida, persamaan Bernauli dan persamaan Kontinuitas, dan metode yang digunakan membandingkan *Pestock* dilapangan dengan *Pestock* ideal.

Hasil perhitungan untuk besar *Head effectif* yaitu: $\Delta h = 41,98\text{m}$ dengan *Head mayor*: $H_f = 66,62\text{ m}$; dan *Head minnor*: $H_m = 3,3\text{ m}$ lalu untuk tanpa belokan yaitu: $\Delta h = 56,39\text{m}$ dan *Head mayor*: $H_f = 55,51\text{m}$ serta perbandingan dengan *Pestock* ideal pada tiap unitnya yaitu unit 1 E_p : 4.032.700,69J (45%); unit 2 E_p : 1.537.441,44J (17%); unit 3 E_p : 957.817,8J (10%); *Pestock* PLTA dengan adanya belokan E_p : 6.582.464,46J (74%); dan untuk *Pestock* PLTA ideal E_p : 8.841.952J (100%).

Kata kunci: Pengaruh Sudut belokan, *Head Losses*, *Penstock*, PLTA TIMO



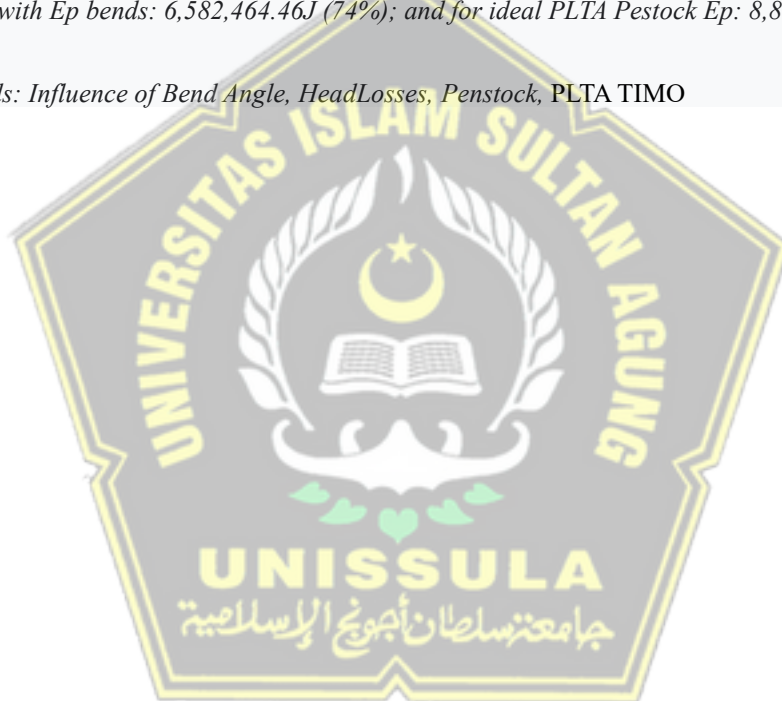
ABSTRACT

One of the problems that is often found in Penstock at the Timo Hydropower Plant is that there are a large number of turns, so further studies are needed. Where the Penstock itself is the main part of the PLTA unit and is used for a long time. Other problems are: the distance or length of the Penstock, the branches, and the material used. This can cause a decrease in the power generated by the hydropower plant and damage to other components. The solution needed is a large evaluation of the power loss value and routine maintenance to avoid serious damage.

This study discusses the effect of the angle of bend on Head Losses in the Timo hydropower plant with a generated power of 3 X 4 Mw. The parameters determined are the major Head, Minor Head, Effective Head values obtained based on the Fluid method, the Bernauli equation and the Continuity equation, and the method used to compare Pestock in the field with ideal Pestock.

The calculation results for the Headeffective size are: $\Delta h = 41.98\text{m}$ with Headmajor: $H_f = 66.62\text{ m}$; and Headminor: $H_m = 3.3\text{ m}$ then for no turns, namely: $\Delta h = 56.39\text{m}$ and Headmajor: $H_f = 55.51\text{m}$ as well as a comparison with the ideal Pestock for each unit, namely unit 1 Ep: 4,032,700.69J (45%); Ep 2 units: 1,537,441.44J (17%); Ep 3 units: 957,817.8J (10%); PLTA Pestock with Ep bends: 6,582,464.46J (74%); and for ideal PLTA Pestock Ep: 8,841,952J (100%).

Keywords: Influence of Bend Angle, HeadLosses, Penstock, PLTA TIMO



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan komoditi berupa barang jadi hasil proses energi baku seperti air, bahan bakar (kimia), inti, panas bumi, dan lain sebagainya. Pemanfaatan energi terbarukan sudah digalakkan akhir-akhir ini mengingat semakin minimnya ketersediaan energi minyak bumi, batu bara, dan sebagainya. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air[1]. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) salah satu unit pembangkitan yang berada dibawah naungan PT Indonesia Power adalah Unit Bisnis Pembangkitan Mrica, diantara Unit pembangkitannya yaitu PLTA TIMO yang berdiri tahun 1962. PLTA TIMO mempunyai kapasitas pembangkitan sebesar 3x4mW diharapkan dapat membantu ketersediaan suplai energi untuk wilayah kecamatan Tutang dan sekitarnya termasuk kota Salatiga.

Salah satu komponen utama dalam PLTA sendiri yaitu Pipa Pesat (*Penstock*), yang berfungsi sebagai pengalir air dari kolam penampungan menuju katub utama. Dapat dikatakan juga pipa pesat menyalurkan energi Potensial air di ketinggian menjadi energi mekanik, untuk menggerakkan turbin air. Gangguan pada pipa pesat sendiri mempengaruhi seluruh aktifitas pembangkitan dalam PLTA. Pada PLTA TIMO sendiri terdapat satu buah pipa pesat yang di gunakan untuk mensuplai 3 unit turbin, dimana terdapat percabangan pada ujung pipa pesat.

Permasalahan yang terdapat dalam *Penstock* di PLTA Timo adalah banyaknya jumlah belokan yang berjumlah 10 belokan di karenakan geografis di lapangan. Selain itu juga dikarenakan jarak yang cukup jauh ± 3600 m antara kolam penampungan dengan rumah turbin, menyebabkan pengoperasian yang tidak maksimal. Akibatnya saat suplai air ke kolam tandon menurun pengoperasian unit yang ada juga terbatas, seperti saat pergantian musim dimana hanya unit 1 dan 2 yang beroperasi. Serta waktu musim kemarau hanya mampu untuk 1 unit saja yang beroperasi.

Solusi yang ada antara lain perlunya strategi pengoperasian, pengawasan pada tinggi muka air, evaluasi besar nilai kerugian daya pengaruh jarak serta sudut belokan dan perlunya dilakukan perawatan rutin guna menghindari kerusakan berat. Dalam penelitian ini parameter yang ditentukan meliputi debit air, diameter pipa pesat *penstock* dan koefisien manning dengan menghitung *head minor*, *head mayor*, *head efektif*. Dimana berdasar permasalahan yang telah di jabarkan dilakukan perbandingan perhitungan *Penstock* dilapangan dengan *Penstock* ideal tanpa adanya belokan [2]. Dalam hal ini penulis melakukan penelitian mengkaji pengaruh sudut belokan pipa pesat untuk mengetahui besar energi yang dihasilkan data yang diperoleh serta melakukan perhitungan sesuai persamaan hukum ernergi. Berdasarkan penelitian ini bertujuan mengetahui kerugian pengaruh sudut belokan *penstock* terhadap daya keluaran PLTA dan diperlukan obsevasi lanjutan serta perbaikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh sudut belokan pada *Penstock* terhadap besar *Head losses* pada pembangkitan di PLTA TIMO.
- b. Pengaruh apa saja yang di timbulkan sudut belokan pada *Penstock* dan pengaruhnya terhadap energi yang dihasilkan PLTA TIMO.

1.3 Batasan Masalah

Tugas akhir ini akan membatasi masalah yang akan dibahas sebagai berikut::

- 1.Perhitungan besarnya *Headloss* dan energi potensial PLTA TIMO.
- 2.Perhitungan *Headloss* berdasar nilai ketinggian.
- 3.Perhitungan dan perbandingan nilai *Headloss penstock* yang terdapat belokan dengan *penstock* tanpa belokan yang ada di PLTA TIMO.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk :

- a. Menentukan besaran *Headlosses* dari pengaruh sudut kemiringan, sudut belokan dan gaya gesek yang ada dan besaran nilai efisiensi yang ada dengan tanpa pengaruh sudut belokan.
- b. Mengetahui perbandingan bersar *Headlosses Penstock* dengan belokan dan tanpa adanya belokan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

- a. Menambah pengetahuan tentang Pembangkit Listrik Tenaga Air.
- b. Menambah pengetahuan tentang rugi-rugi dari sudut belokan dan percabangan dalam lingkup PLTA.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini sistematika penulisan yang digunakan adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan di bahas tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan metode penulisan laporan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan di jelaskan mengenai dasar teori dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air serta *Losses* yang terdapat dalam perpipaan.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan membahas gambaran umum dari penelitian, serta tahapan atau prosedur dalam metode penelitian guna memperoleh data yang akan digunakan sebagai objek penelitian.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas tentang hasil dari penelitian yang dilakukan meliputi pengambilan data yang selanjutnya dimasukan dalam perhitungan daya yang dihasilkan oleh PLTA.

BAB V: KESIMPULAN

Pada bab ini akan membahas tentang hasil dan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang diberikan berdasarkan dari hasil kesimpulan penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang telah dibuat ini bertujuan sebagai pembandingan penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh orang lain dengan penelitian yang akan dilakukan atau penelitian yang bersangkutan. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan yaitu

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Riza Syammajid Khoirudin tahun 2019 berjudul “Analisa Pengaruh Sudut Belokan Penstock Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro” dalam hal ini adalah Penelitian tentang analisa sudut belokan *penstock* terhadap daya keluaran pada generator. Dengan nilai sudut belokan ditentukan sebesar 30° , 45° , dan 60° pada saluran *penstock*. Penulis melakukan penelitian untuk mengkaji pengaruh sudut belokan *penstock* terhadap daya keluaran generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)[3].
- b. Penelitian yang dilakukan oleh Eko Sulistiyo tahun 2018 berjudul “ANALISIS HEAD LOSSES PADA PENSTOCK UNIT III DI PERUM JASA TIRTA II UNIT JASA PEMBANGKIT PLTA IR. H. DJUANDA” membahas tentang untuk mengetahui penyebab dan besar *head losses* pada *penstock* unit 1 di PLTA Ir. H. Djuanda yang berdampak turunnya daya turbin[2].
- c. Penelitian yang dilakukan oleh CYNTHIA PUSPA LUVITA pada tahun 2017 yang berjudul ” STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR DI KABUPATEN ROKAN HULU PROVINSI RIAU” membahas tentang memanfaatkan potensi sumber daya air yang ada di Wilayah Sungai Rokan Kabupaten Rokan Hulu provinsi Riau, dalam rangka pengadaan energi listrik untuk pemenuhan energi listrik masyarakat Riau[4].

2.2 Landasan Teori

Pembangkit listrik tenaga air adalah bentuk energi terbarukan yang berasal dari air yang mengalir. Untuk menghasilkan listrik, sumber air yang digunakan sebagai sumber energi harus berpindah (air terjun atau air yang mengalir). Ketika air jatuh dari ketinggian tertentu karena gravitasi, air tersebut memiliki energi potensial yang dapat digunakan sebagai sumber listrik. Energi potensial yang digunakan terlebih dahulu diubah menjadi energi kinetik sebelum turbin mengubahnya menjadi energi mekanik. Energi kinetik air kemudian menimbulkan gaya dorong (tekanan) pada sudu-sudu atau baling-baling turbin sehingga bentuk energi kinetik dari air diubah menjadi energi mekanik. Turbin digunakan untuk menggerakkan rotor generator, yang kemudian mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dan sistem ini disebut pembangkit listrik tenaga air. Sistem hidroelektrik pertama dikembangkan pada tahun 1880. Menurut lembaga energi internasional (IEA), pasokan pembangkit listrik tenaga air skala besar saat ini mencapai 16% dari kebutuhan listrik dunia[4].

2.2.1 Potensi PLTA di Indonesia

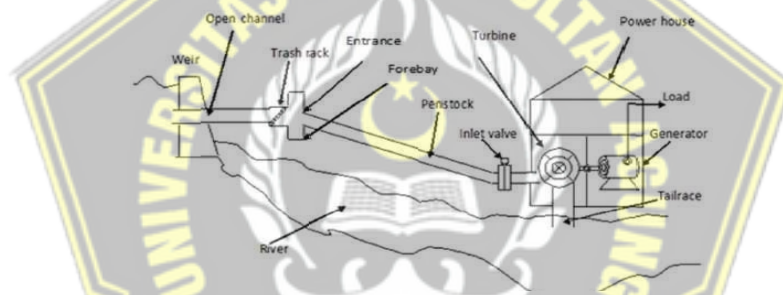
Indonesia merupakan negara dengan kekayaan dan sumber daya alam yang melimpah, salah satunya yaitu potensi energi terbarukan (air). Energi air merupakan sumber energi terbarukan yang sangat potensial di Indonesia. Apabila dapat memanfaatkan energi tersebut secara meluas di seluruh wilayah Indonesia maka peluang untuk keluar dari krisis energi dan mengembakan kebutuhan energi akan semakin besar.

Umumnya dalam sebuah PLTA terdapat beberapa komponen-komponen besar di antaranya yaitu:

1. Dam/bendungan pengalihan dan *intake*. Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap
2. Bak pengendapan. Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel- partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat

- penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir
3. Saluran pembawa. Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan
 4. Pipa pesat (*penstock*). *Penstock* dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin
 5. Turbin. Turbin berfungsi mengkonversi energi potensial dan energi kinetik dari air menjadi energi mekanik
 6. Generator. Generator berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Dimana pemilihan generator disesuaikan dengan daya yang dihasilkan turbin atau sumber daya air yang digunakan.

Secara umum skema PLTA yang umum digunakan yaitu ditunjukkan pada Gambar 2.1[5]



Gambar 2.1. Gambaran PLTA secara umum
(Sumber: Jurnal Perencanaan *Penstock*)

2.2.2 Pengertian Turbin Air

Turbin air dapat dikatakan sebagai suatu mesin penggerak awal yang mana fluida kerjanya adalah air yang digunakan langsung memutar roda turbin, adapun beberapa jenis fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Berbeda yang terdapat pada motor, turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamai rotor (*runner* pada turbin *cross-flow*) atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (generator).

a. Cara Kerja Turbin Air

Pada turbin (*runner* pada turbin *Cross-flow*) terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan ataupun plat dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida

kerja mengalir melalui ruang di antara sudu turbin tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir di antara sudu. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut.

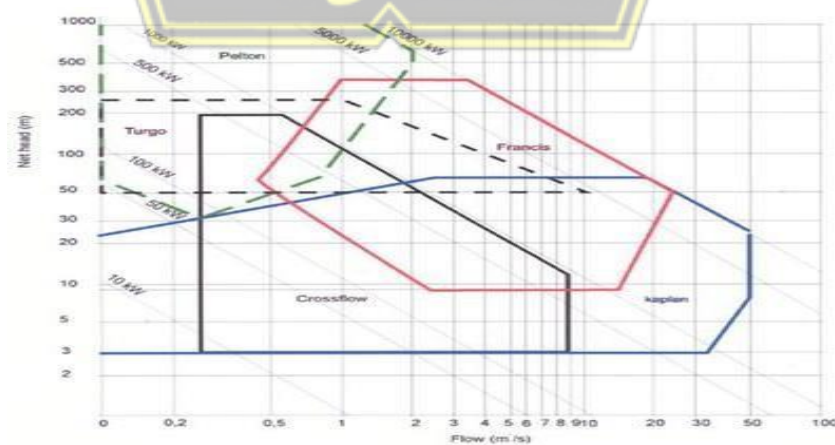
Jenis-jenis turbin dibagi menurut jenis putarannya adalah sebagai berikut :

- a) Turbin impuls, dibuat agar runner bekerja karena aliran air; disini beda tinggi air diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi.
- b) Turbin reaksi, dibuat agar runner bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun karena tekanan.

2.2.3 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air adalah komponen yang mengubah atau mengubah energi kinetik air yang besar menjadi energi mekanik. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh generator listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik, maka turbin air sendiri terbagi menjadi dua jenis yang berbeda yaitu turbin impuls dan turbin reaksi, dimana masing-masing dapat digunakan untuk mengalirkan air pada ketinggian tertentu..

Perbandingan karakteristik turbin dapat dilihat seperti pada grafik *head* (m) dan *flow* (m^3/s) Gambar 2.2[6]



Gambar 2.2. Bagan perbandingan karakteristik turbin

(Sumber; Jurnal Efisiensi pergantian pipa)

2.2.4 Fluida

Fluida adalah zat/materi yang tidak dapat menahan gaya geser atau tegangan dalam keadaan setimbang. Dapat juga didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir jika terdapat perbedaan tekanan atau ketinggian. Sifat dasar fluida nyata yaitu tahanan terhadap aliran yang diukur dengan tegangan geser yang terjadi pada bidang geser yang dikenai beban adalah viskositas atau kekentalan/densitas fluida..

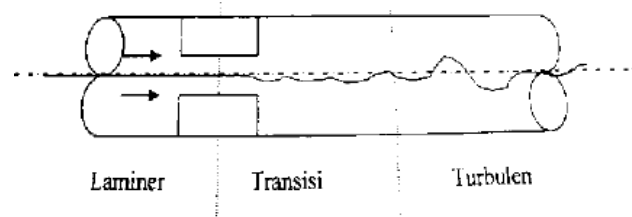
Fluida dapat didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir dan dapat menyesuaikan bentuknya dengan bentuk wadah yang ditempatinya, dan jika diberikan tegangan geser sekecil apapun akan menyebabkan fluida bergerak dan berubah bentuk secara terus menerus selama tekanan diterapkan.

Dengan pengertian di atas, zat cair dapat dipisahkan menjadi zat cair dan gas. Dimana kedua zat ini secara teknis berbeda karena adanya gaya kohesif. Cairan mempertahankan volumenya dan membutuhkan permukaan bebas di medan gravitasi.

2.2.5 Aliran Laminar dan Turbulen

Osborne Reynolds telah melakukan beberapa percobaan untuk menentukan kriteria aliran laminar dan turbulen. Reynolds berpendapat bahwa aliran selalu laminar jika kecepatan aliran berkurang sehingga bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re < 2300$). Dalam hal ini juga dikatakan bahwa aliran turbulen ketika bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$). Dan jika bilangan Reynolds antara 2300 dan 4000 ($2300 < Re < 4000$), maka aliran tersebut merupakan aliran yang berada pada daerah transisi.

Menganalisis kedua macam aliran ini memberikan parameter tidak berdimensi yang dikenal dengan nama bilangan Reynolds pada Gambar 2.3 dan dijelaskan pada persamaan (2.1)[7]



Gambar 2.3. Jenis aliran (Sumber; Jurnal PLTA)

$$Re = \frac{VD}{u} \quad (2.1)$$

dengan: Re = bilangan Reynolds

V = kecepatan fluida (m/s)

D = diameter pipa (m)

u = viskositas kinematika fluida (m^2/s)

2.2.6 Persamaan Bernauli

Hukum Bernoulli menjelaskan konsep dasar aliran fluida (cair dan gas) bahwa peningkatan laju aliran suatu cairan atau gas akan menyebabkan penurunan tekanan pada cairan atau gas tersebut. Dimana akan terjadi losses atau kehilangan energi potensial pada aliran fluida yang ada.

Gambaran dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan (*compressible flow*), dan pada fluida dengan aliran tak-termampatkan (*incompressible-flow*). Hukum Bernoulli sebenarnya menyatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli. Secara matematis persamaan Bernoulli sesuai dengan persamaan (2.2) dan (2.3).

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H \quad (2.2)$$

$$P_1 + \frac{1}{2}(2gV_1^2) + z_1 = P_2 + \frac{1}{2}(2gV_2^2) + z_2 + \quad (2.3)$$

dengan : $P_{1,2}$ = besar tekanan di penampang 1 dan 2 (N/m²)

$v_{1,2}$ = besar kecepatan di penampang 1 dan 2 (m/s²)

$z_{1,2}$ = tinggi permukaan 1 dan 2 (m)

$\mu_{1,2}$ = massa jenis 1 dan 2 (N/m³)

g = gayagravitasi (9,82 m/s²)

H = *head loss* (m)

2.2.7 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan hubungan antara kecepatan fluida yang masuk pada suatu pipa terhadap kecepatan fluida yang keluar. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan (2.4)

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.4)$$

dengan: A_1 = Luas penampang pipa 1 (m²)

A_2 = Luas penampang pipa 2 (m²)

V_1 = Kecepatan fluida pada pipa 1 (m/s)

V_2 = Kecepatan fluida pada pipa 2 (m/s)

Debit adalah nilai kuantitatif yang menyatakan jumlah cairan yang mengalir per satuan waktu dalam persamaan(2.5):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.5)$$

dengan: Q = Debit (m³/s)

V = Volume (m³)

t = Waktu (s)

Sistem pipa paralel menjadikan total laju aliran adalah sama dengan jumlah besar kapasitas masing-masing aliran pada setiap pipa dan rugi atau *losses* pada sebuah cabang adalah sama dengan rugi pada pipa cabang yang lain, dengan persamaan (2.6) dan (2.7).

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (2.6)$$

$$V \cdot A = V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3 \quad (2.7)$$

Dengan menentukan *head loss* sebagai persamaan Darcy-Weisbach maka didapat persamaan (2.8) menjadi :

$$\left(f_1 \frac{L_1}{D_1} + \Sigma k_1\right) \frac{V_1^2}{2g} = \left(f_2 \frac{L_2}{D_2} + \Sigma k_2\right) \frac{V_2^2}{2g} = \left(f_3 \frac{L_3}{D_3} + \Sigma k_3\right) \frac{V_3^2}{2g} \quad (2.8)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{(f_1 L_1 / D_1) + \Sigma k_1}{(f_2 L_2 / D_2) + \Sigma k_2}} \quad (2.9)$$

Perbandingan kecepatan tersebut dapat juga dimasukkan ke persamaan (2.7) menjadi persamaan (2.10)[8].

$$Q = V_1 A_1 + \frac{V_2}{V_1} V_1 A_2 + \frac{V_3}{V_1} V_1 A_3 + \dots \quad (2.10)$$

2.2.8 Head Losses

Head losses adalah head atau kerugian-kerugian dalam aliran pipa yang terdiri atas mayor losses dan minor losses, dengan persamaan (2.11).

$$H = H_f + H_m \quad (2.11)$$

dengan: H = head losses (m)

H_f = mayor losses (m)

H_m = minor losses (m)

2.2.5.1 Mayor Losses

Head Mayor adalah penurunan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran dengan luas penampang tetap atau konstan. Aliran fluida melalui pipa akan

selalu mengalami kerugian. Hal ini disebabkan adanya gaya gesek yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa serta perubahan kecepatan yang terjadi pada fluida [9], [10]. Rugi-rugi akibat gesekan dihitung dengan menggunakan persamaan (2.12).

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

dengan: H_f = Head Mayor (m)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

v = kecepatan (m/s)

g = gaya gravitasi (m/s²)

f = factor gesek (diambil berdasar diagram moody)

Diagram Mody digunakan untuk menyelesaikan masalah aliran fluida dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy–Weisbach. Untuk aliran laminar, dimana bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re < 2300$), faktor gesekan pada persamaan (2.6) dihubungkan dengan bilangan Reynolds melalui persamaan (2.10):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.13)$$

Aliran turbulen dimana bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$), sehingga fungsi faktor gesekan (f) menurut persamaan 2.8 bergantung pada bilangan Reynolds dan kekasaran relatif, nilai $f = \mathcal{O}(Re, \varepsilon/D) \varepsilon$.

2.2.5.2 Minor Losses

Kerugian minor adalah penurunan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katub-katub, sambungan Tee, sambungan belokan, serta dalam luas penampang yang tidak

konstan. Aliran yang melewati belokan serta katub merupakan *losses minor* yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan (2.11):

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.14)$$

dengan: H_m = head minor (m)

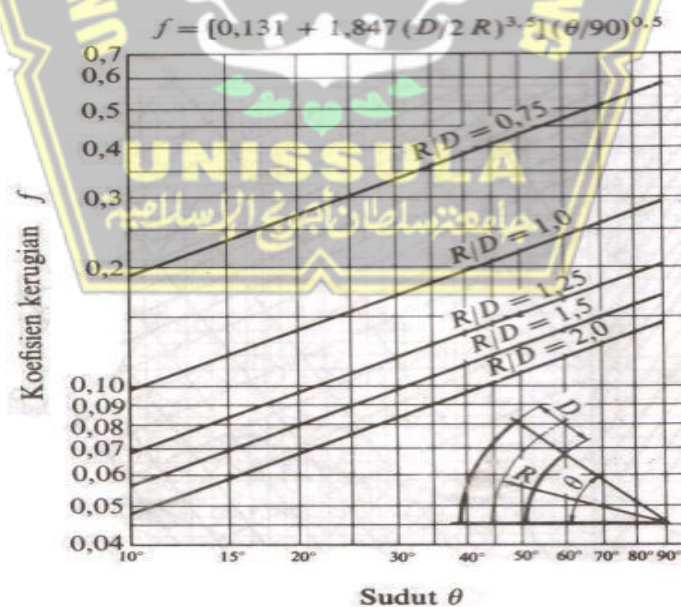
v = kecepatan (m/s)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

k = koefisien rugi-rugi

2.2.5.3 Koefisien kerugian pada belokan pipa

Terdapat dua macam belokan pada pipa yaitu belokan tipe lengkung dan belokan tipe patah [8], [11] [12] (Widiana et al., 2020) . Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller dimana k pada persamaan (2.11) dinyatakan seperti dalam Gambar 2.4 dan persamaan (2.12)[9].



Gambar 2.4. Diagram sudut (sumber; Jurnal studi Analisa PLTMH)

$$k = \left[0,131 + 1,1847 \left(\frac{D_b}{2R} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{\theta}{90} \right]^{0,5} \quad (2.15)$$

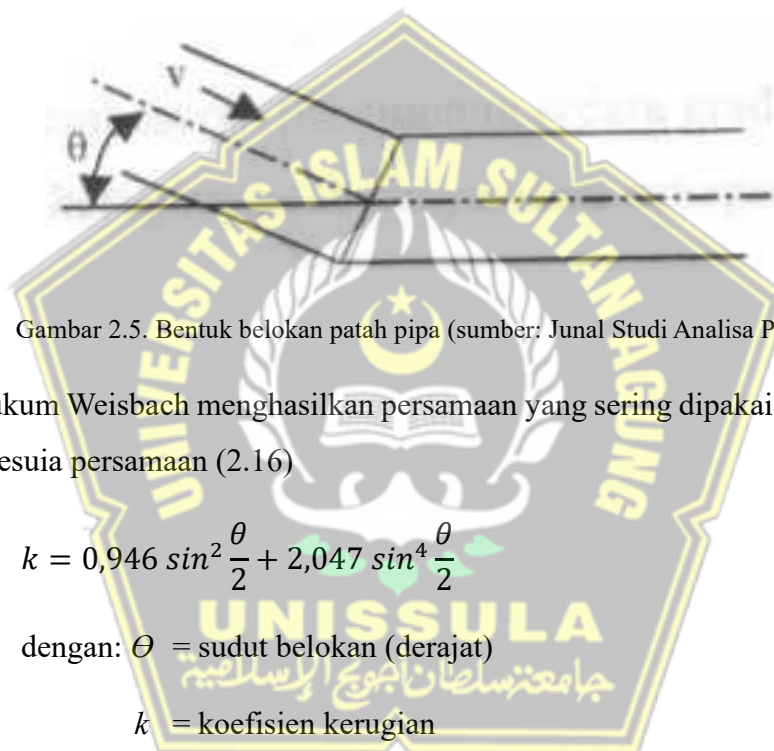
dengan : D_b = Diameter belokan pipa(m)

R = Jari-jari dalam belokan (m)

θ = besar sudut belokan (derajat)

k = koefisien kerugian

Hubungan pada persamaan (2.15) di perlihatkan sesuai Gambar 2.5



Gambar 2.5. Bentuk belokan patah pipa (sumber: Jurnal Studi Analisa PLTMH)

Dari hukum Weisbach menghasilkan persamaan yang sering dipakai dalam belokan patah sesuai persamaan (2.16)

$$k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (2.16)$$

dengan: θ = sudut belokan (derajat)

k = koefisien kerugian

2.2.9 Pressure Drop

Penurunan tekanan adalah label yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik dalam pipa. "Penurunan tekanan" disebabkan oleh gaya gesek pada cairan yang mengalir melalui pipa. Gesekan menyebabkan resistensi terhadap aliran. Faktor utama yang mempengaruhi ketahanan terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui pipa dan viskositas fluida. Aliran dalam cairan atau gas akan selalu mengalir berlawanan arah (penurunan tekanan).

Secara matematis pressure drop pada pipa horizontal dituangkan dalam persamaan (2.17)[10].

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (2.17)$$

dengan : Δp = pressure drop (N/m)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

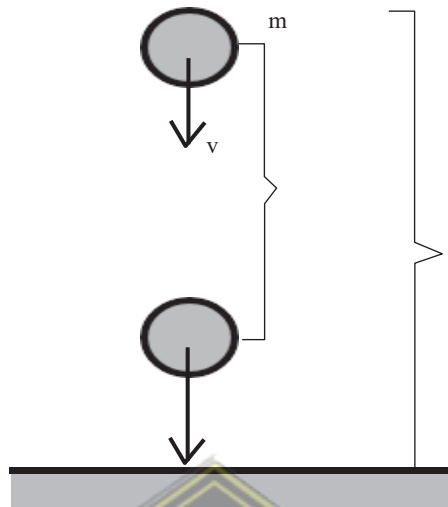
g = gravitasi (m/s²)

Δh = tinggi (m)

2.2.10 Perhitungan besar energi

Energi potensial bersifat intrinsik pada ketinggiannya, sedangkan energi kinetik memiliki nilai berdasarkan gerakannya. Semakin tinggi suatu benda dilempar, semakin besar energi potensial yang dimilikinya. Namun pada ketinggian maksimum, benda tersebut memiliki energi potensial maksimum dan energi kinetik minimum.

Ketika suatu benda jatuh atau berkurang ketinggiannya, energi potensialnya berkurang sedangkan nilai energi kinetiknya bertambah. Ketika suatu benda mencapai titik terendahnya, energi potensial benda tersebut berada pada nilai minimum dan energi kinetiknya berada pada nilai maksimumnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6[11], [12], [13][14]



Gambar 2.6. Bola jatuh (sumber Buku Fluida Dasar)

Ketika bola berada pada ketinggian h , energi potensial dan energi kinetik berada di titik A adalah persamaan (2.18).

$$E_p = mgh \text{ dan } E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.18)$$

dengan : E_p = Energi potensial (J)

E_k = Energi kinetic (J)

m = massa (kg)

g = besar gravitasi (m/s^2)

h = tinggi (m)

v = kecepatan(m/s)

Jumlah energi potensial ditambah energi kinetic sama dengan energi mekanik, besar energi mekanik dalam persamaan (2.19).

$$E_m = E_p + E_k. \quad (2.19)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dibuat dengan maksud memperlancar proses penelitian yang dilakukan dan memaparkan metode yang dilakukan oleh peneliti, pada penelitian tugas akhir ini, metode penelitian yang dilakukan oleh penulis sebagai berikut

3.1 Model Penelitian

Pada bagian Metode penelitian dijelaskan mengenai metode-metode yang digunakan untuk melaksanakan dan mencari solusi dalam penelitian. Penelitian ini dimulai dengan menentukan lokasi penelitian serta study literatur guna menunjang dalam melakukan pengumpulan data – data penelitian, penulis menentukan obyek penelitian yaitu pada pipa *Penstock* di PLTA Timo. Dalam pengambilan data penulis menggunakan data *Headlosses* sebagai acuan pengambilan data yang akan dimasukkan dalam bab pembahasan dengan permodelan seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Model 2D Penstock PLTA

3.2 Objek penelitian

Dalam penelitian ini *Penstock/* Pipa pesat :

Tabel 3.1. Data pipa pesat/ Penstock

Spesifikasi	
Bahan Pipa	Besi Corten
Diameter	2,2m

Panjang	3600m
Sudut kemiringan	60 ⁰
Debit	16 m ³ /s
Beda ketinggian	111,9m

Tabel 3.2 Data percabangan pipa pesat tiap unit

	Panjang	Diameter
Unit 1	0,61m	1,46m
Unit 2	4,2m	1,46m
Unit 3	10,6m	1,46m
<i>Penstock</i> tanpa belokan	3000m	2,2m

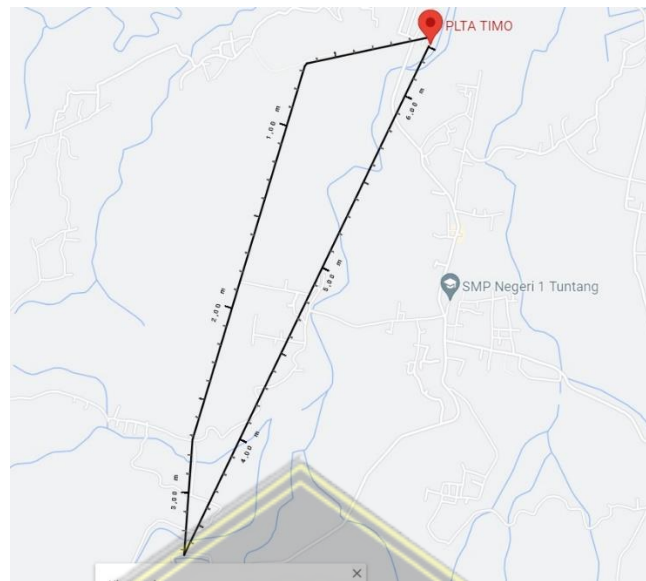
Tabel 3.1 merupakan data dari pipa pesat utama yang menghubungkan kolam tandon dengan percangan tiap unitnya. Sedangkan untuk Tabel 3.2 merupakan data pipa percabangan pada setiap unitnya

Dalam menentukan rugi-rugi yang ada, digunakan pipa pesat tanpa belokan sebagai pembandingan dan acuan dalam perhitungan seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Peta permodelan penstock (sumber: Google Earth)

Pada gambar diatas dapat dilihat garis berwarna biru merupakan peta letak dari pipa pesat PLTA TIMO dengan warna merah terdapat belokan, serta pada pemetaan garis berwarna hijau merupakan lokasi pipa pesat tanpa belokan yang digunakan sebagai acuan. Dengan data jarak pada pemetaan seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Pemetaan berdasar jarak (sumber: Google Earth)

3.3 Alat Penelitian

Dalam riset ini membutuhkan alat untuk membantu jalannya riset ini. peralatan yang digunakan pada riset ini antara lain :

1. Pc atau Laptop

Pc atau laptop digunakan untuk penyusunan laporan tugas akhir dan sebagai sarana perhitungan laporan tugas akhir.

2. Software microsoft excel

Software microsoft excel digunakan untuk perhitungan besar *HeadLosses* , *Head efektif* , energi yang di hasilkan serta perbandingan dari data actual dengan data perhitungan

3. Maps

Google maps digunakan untuk melihat permodelan yang ada di lapangan serta menentukan permodelan ideal.

4. Data

Untuk memperoleh data-data penelitian yaitu dengan melakukan wawancara terstruktur. Data penelitian yang di dapat berupa angka, skala maupun grafik yang bisa dihitung.

3.4 Langkah Penelitian

1. Pengumpulan data

Data dalam perhitungan di dasarkan pada data actual yang mana meliputi peta lokasi, data spesifikasi. Dimana data tersebut diambil melalui wawancara serta pengecekan pada lokasi yang mana berfokus pada pipa pesat seperti spesifikasi pipa pesat, yang akan dilakukan perhitungan. Perhitungan besar *headlosses* digunakan dalam perhitungan besar energi yang di hasilkan pada pipa pesat yang ada.

2. Permodelan

Permodelan di lakukan dengan berdasar data lapangan dengan menggunakan maps dan permodelan ideal tanpa adanya belokan yang akan di gunakan sebagai acuan untuk perbandingan.

3. Perhitungan *Head* total

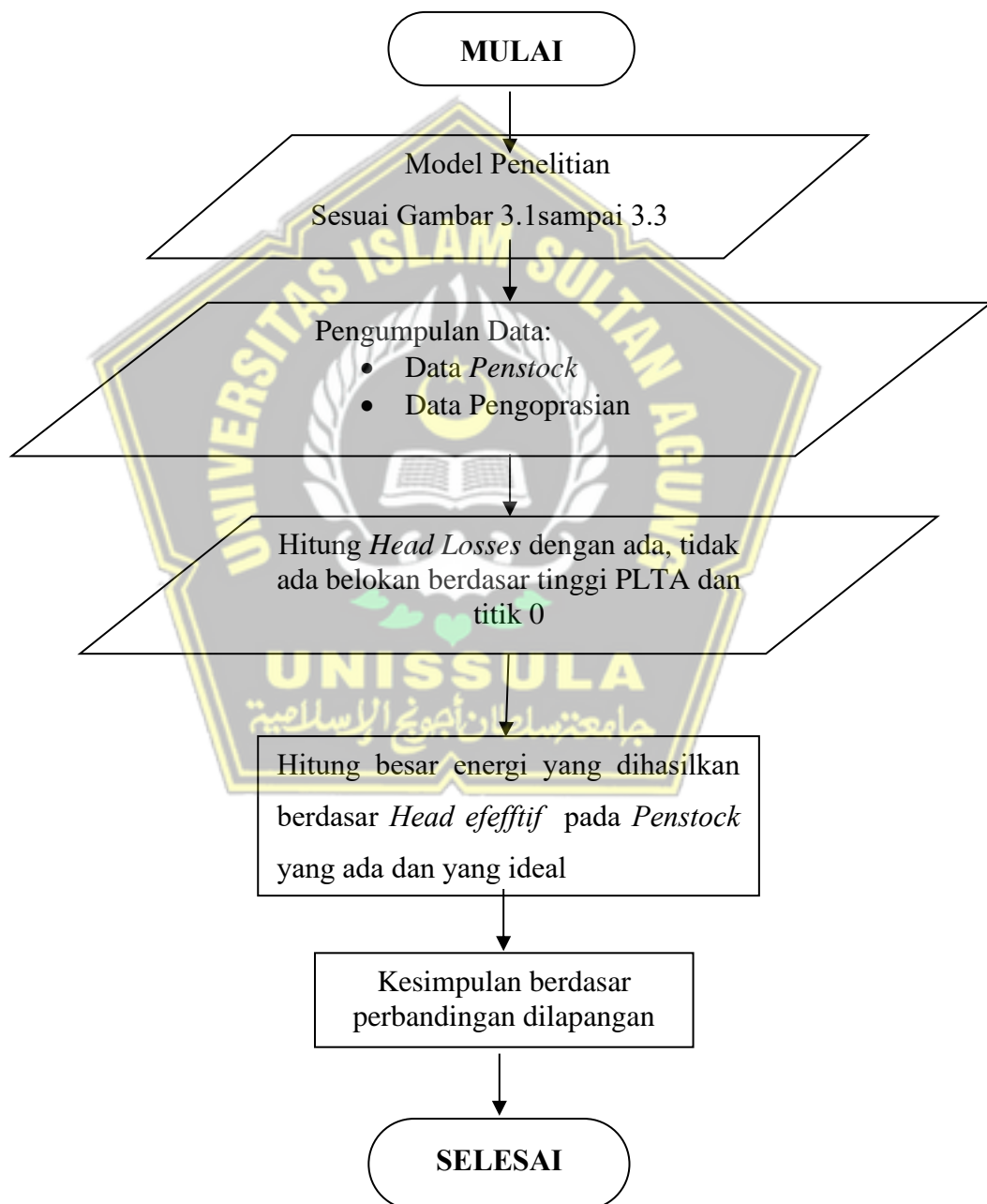
Perhitungan dilakukan berdasar data actual terlebih dahulu dengan mencari kecepatan aliran air pada pipa utama maupun pada tiap unitnya. Dari hasil perbandingan kecepatan pada tiap unit dilakukan perhitungan debit pada tiap unit yang akan digunakan untuk mengetahui *losses* pada masing-masing unit. Dari hasil perhitungan *headlosses* ini akan dihitung *head mayor* dan *head minor*, yang nantinya akan digunakan dalam menghitung *head efektif* di sepanjang pipa. Dilanjutkan perhitungan pipa tanpa belokan yang akan di gunakan sebagai acuan perbandingan rugi-rugi yang akan di sajikan dalam table.

4. Menganalisa dari perhitungan

Setelah perhitungan dari besar energi potensial tersebut maka dapat dianalisa besar nilai perbedaan perhituan data actual dengan perhitungan acuan yang digunakan dalam mencari solusi permasalahan, serta digunakan dalam menarik kesimpulan.

3.5 Diagram Alir Penelitian

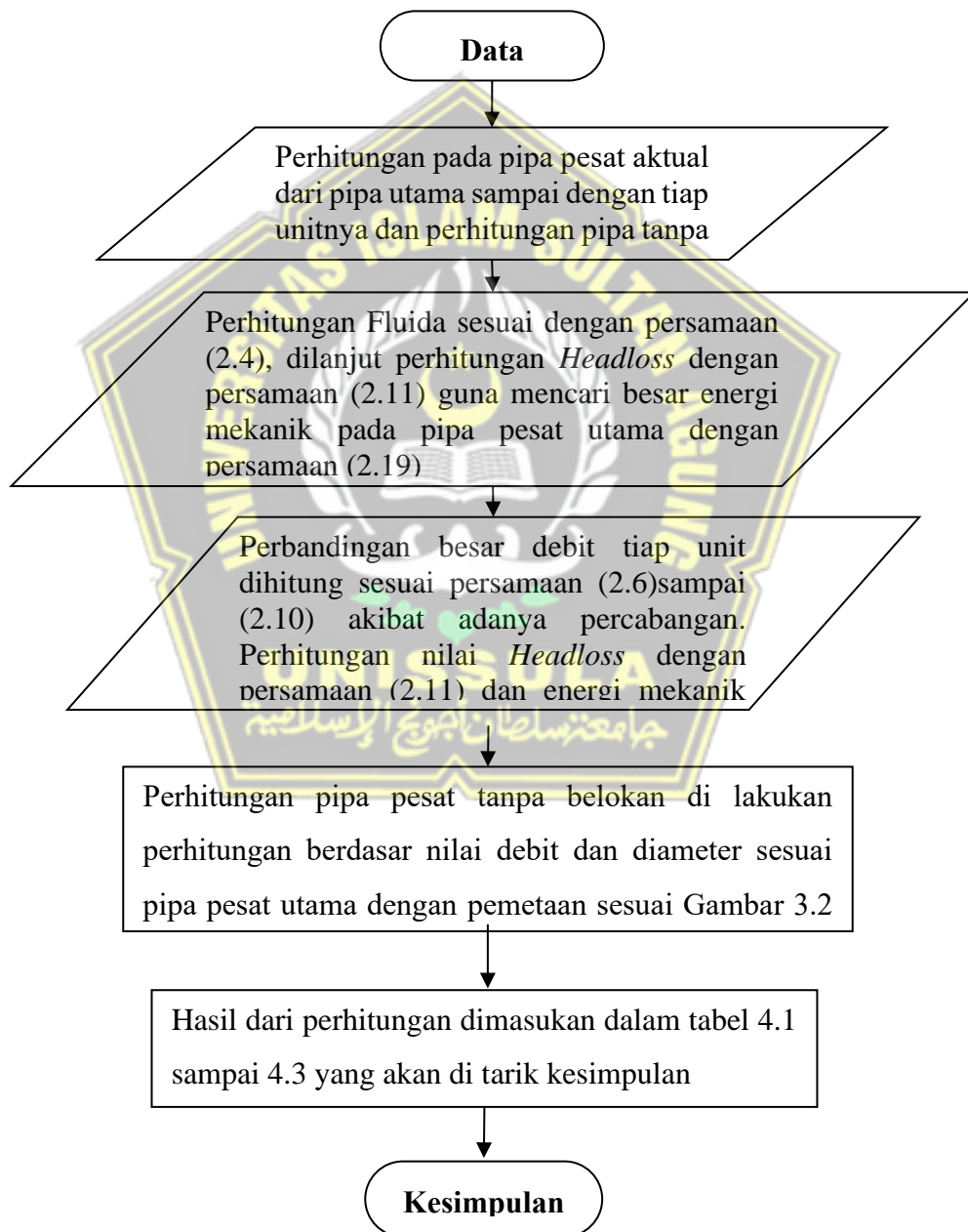
Berdasar tujuan yang di inginkan dalam memperoleh hasil yang maksimal nantinya dilakukan perencanaan terlebih dahulu. Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan perencanaan kegiatan yang akan dilakukan berdasar pada alur diagram Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Flowchart

3.6 Diagram Alir Perhitungan

Perhitungan dalam penelitian ini dilakukan berdasar data-data yang diperoleh melalui study langsung dan wawancara, dimana banyaknya sudut belokan mempengaruhi besarnya *HeadLosses*. Hasil dari perhitungan digunakan untuk menganalisa pengaruh besarnya energi yang dihasilkan PLTA itu sendiri. Perhitungan dilakukan dengan perencanaan sesuai pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram Flowchat Perhitungan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Merujuk pada model penelitian sesuai dengan Gambar 3.1 sampai 3.3 yang merupakan permodelan dan pemetaan yang ada, dimana data yang digunakan pada pipa pesat sesuai yang tertera pada table 3.1 dan 3.2 maka:

- a. Menghitung besarnya rugi-rugi atau *Headlosses*, dan mencari besar *Head efektif*.
- b. Menghitung dan membandingkan besar energi yang dihasilkan dari *penstock* di lapangan dengan *penstock* ideal.

4.2 Perhitungan

Dengan adanya percabangan pada pipa pesat dilakukan terlebih dahulu perhitungan fluida sesuai dengan persamaan (2.4) yang dilanjutkan dengan perhitungan debit pada masing-masing unit. Setelahnya dilakukan perhitungan pipa pesat tanpa belokan yang akan di gunakan sebagai pembanding.

- 1) Perhitungan besar energi berdasar potensial air dengan ketinggian titik 0m dengan permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 , lalu dilakukan perhitungan dengan koefisien pada table Moody nilai koefisien (f)= 0,045

- a) Kecepatan aliran air pada pipa utama

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$V = \frac{4.16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211m/s^2$$

b) *Head losses* sepanjang pipa dengan 10 belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right] + \left[k \frac{V^2}{2g} 10 \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{3600 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2,9,8} \right] + \left[0,3644 \frac{4,211^2}{2,9,8} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{63837,07}{43,12} \right] + \left[0,3644 \frac{17,73}{19,6} 10 \right]$$

$$H = 66,62 + 3,3$$

$$H = 69,92m$$

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

$$k = 0,946 \sin^2 \frac{60}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{60}{2}$$

$$k = 0,2365 + 0,1279$$

$$k = 0,3644$$

c) Besar energi mekanik

$$E_m = E_p + E_k$$

$$E_k = 0 \text{ karena nilai } V_0 = 0$$

$$E_m = E_p$$

$$\Delta h = h - H$$

$$E_m = m \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\Delta h = 315,15 - 69,92$$

$$E_m = 16000 \cdot 9,8 \cdot 245,23$$

$$\Delta h = 245,23m$$

$$E_m = 38.452.064 \text{ J}$$

A. Perhitungan pada Unit 1:

Berdasar permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 lalu dilakukan perhitungan

a) Untuk perbandingan kecepatan air pada tiap unit

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{f_1 L_1 D_2}{f_2 L_2 D_1}} = \sqrt{\frac{0,61}{4,2}} = 0,381$$

L_1 = Panjang pipa unit 1

$$\frac{V_3}{V_1} = \sqrt{\frac{f_1 L_1 D_3}{f_3 L_3 D_1}} = \sqrt{\frac{0,61}{10,6}} = 0,239$$

L_2 = Panjang pipa unit 2

L_3 = Panjang unit 3

V_1 = kecepatan unit 1

V_3 = kecepatan unit 3

V_2 = kecepatan unit 2

D_1 = diameter pipa unit 1

D_2 = diameter unit 2

D_3 = diameter unit 3

f_1 = koefisien gesek unit 1 f_3 = koefisien gesek unit 3

f_2 = koefisien gesek unit 2

a) Debit air pada unit 1

$$3,14 \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,73^2 = 1,67 \text{m}^2$$

Sehingga berdasar hukum kontinuitas pada persamaan (2.4)

$$Q = V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3$$

$$16 = 1,67 V_1 + 1,67(0,381) V_1 + 1,67(0,239) V_1$$

$$V_1 = 5,88 \text{m/s} \quad ; \quad V_2 = 2,24 \text{m/s} \quad \text{dan} \quad V_3 = 1,4 \text{m/s}$$

$$Q_1 = 5,88 \cdot 1,67 = 9,81 \text{m}^3/\text{s}$$

b) Untuk losses mayor yaitu kehilangan energy akibat gesekan dengan

$$H = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$H = 0,045 \frac{0,61 \cdot 5,88^2}{1,46 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H = 0,045 \frac{21,09}{28,61}$$

$$H = 0,045 \cdot 0,737$$

$$H = 0,033 \text{ m}$$

Di peroleh

$$\Delta h = h - H$$

$$\Delta h = 203,25 - 0,033$$

$$\Delta h = 203,217 \text{m}$$

c) Besar energi mekanik Unit 1

$$E_m = E_p + E_k$$

$$E_p = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h$$

$$E_p = 9810 \cdot 9,8 \cdot 203,217$$

$$E_p = 19.536.875,9 \text{J}$$

$$E_m = 19.536.875,9 + 169.587,432$$

$$E_m = 19.706.462,4 \text{ J}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \rho Q \cdot V^2$$

$$E_k = 0,5 \cdot 9810 \cdot 5,88^2$$

$$E_k = 169.587,432 \text{J}$$

B. Perhitungan pada Unit 2:

Berdasar permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 lalu dilakukan perhitungan

- a) Debit air pada unit 2

$$3,14 \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,73^2 = 1,67 \text{m}^2$$

Sehingga berdasar hukum kontinuitas pada persamaan (2.4)

$$Q_2 = V_2 A_2$$

$$Q_2 = 2,24 \cdot 1,67 = 3,74 \text{m}^3/\text{s}$$

- b) Untuk *losses mayor* yaitu kehilangan energy akibat gesekan dengan

$$H = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$H = 0,045 \frac{4,2 \cdot 2,24^2}{1,46 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H = 0,045 \frac{21,07}{28,61}$$

$$H = 0,045 \cdot 0,736$$

$$H = 0,033 \text{m}$$

- c) Besar energi mekanik unit 2

$$E_m = E_p + E_k$$

$$E_p = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h \quad E_k = \frac{1}{2} \rho Q \cdot V^2$$

$$E_p = 3740 \cdot 9,8 \cdot 203,217 \quad E_k = 0,5 \cdot 3740 \cdot 2,24^2$$

$$E_p = 7.448.309,48 \text{J} \quad E_k = 9.382,912 \text{J}$$

$$E_m = 7.448.309,48 + 9.382,912$$

$$E_m = 7.457.692,39 \text{ J}$$

C. Perhitungan pada Unit 3:

Berdasar permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 lalu dilakukan perhitungan

- a) Debit pada unit 3

$$3,14 \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,73^2 = 1,67 \text{ m}^2$$

Sehingga berdasar hukum kontinuitas pada persamaan (2.4)

$$Q_3 = V_3 A_3$$

$$Q_3 = 1,4 \cdot 1,67 = 2,33 \text{ m}^3/\text{s}$$

- b) Untuk *losses mayor* yaitu kehilangan energy akibat gesekan dengan nilai koefisien besi (f) = 0,045

$$H = f \frac{LV^2}{d2g}$$

$$H = 0,045 \frac{10,6 \cdot 1,4^2}{1,46 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H = 0,045 \frac{20,77}{28,61}$$

$$H = 0,045 \cdot 0,725$$

$$H = 0,0326 \text{ m}$$

- c) Besar energi mekanik unit 3

$$E_m = E_p + E_k$$

$$E_p = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h \qquad E_k = \frac{1}{2} \rho Q \cdot V^2$$

$$E_p = 2330 \cdot 9,8 \cdot 203,217 \qquad E_k = 0,5 \cdot 2330 \cdot 1,4^2$$

$$E_p = 4.640.256,98 \text{ J} \qquad E_k = 2.283,4 \text{ J}$$

$$E_m = 4.640.256,98 + 2.283,4$$

$$E_m = 4.642.540,38 \text{ J}$$

- D. Lalu untuk perhitungan besar *headlosses* tanpa adanya belokan atau permodelan ideal seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3

- a) Kecepatan aliran air pada pipa utama

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2}$$

$$V = \frac{4,16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211m/s^2$$

b) *Head losses* sepanjang pipa tanpa belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{3000 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2 \cdot 9,8} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{53197,56}{43,12} \right]$$

$$H = 55,51m$$

c) Besar energi mekanik

$$E_m = E_p + E_k \quad E_k = 0 \text{ karena nilai } V_0 = 0$$

$$E_m = E_p \quad \Delta h = h - H$$

$$E_m = m \cdot g \cdot \Delta h \quad \Delta h = 315,15 - 55,51$$

$$E_m = 16000 \cdot 9,8 \cdot 259,64 \quad \Delta h = 259,64m$$

$$E_m = 40.711.552 \text{ J}$$

Tabel 4.1. Hasil perhitungan berdasar titik 0

Generator	Debit (Q)	Tinggi (Δh)	Head Loss (H)	Energi Potensial (E_p)	Energi Kinetik (E_k)	Energi Mekanik (E_m)
Unit 1	9,81m ³ /s	203,217 m	0,033m	19.536.871 J	169.587,43 J	19.706.462,4 J
Unit 2	3,74m ³ /s	203,217 m	0,033m	7.448.309 J	9.382,912 J	7.457.692,39 J
Unit 3	2,33m ³ /s	203,217 m	0,033m	4.640.256 J	2.283,4J	4.642.540,38 J
Penstock aktual	16m ³ /s	245,23m	69,92m	38.452.06 J	-	38.452.064 J
Penstock tanpa	16m ³ /s	259,64m	55,51m	40.711.55 J	-	40.711.552 J

belokan						
---------	--	--	--	--	--	--

2) Perhitungan besar energi berdasar potensial air dengan ketinggian PLTA dengan permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 , lalu dilakukan perhitungan dengan koefisien pada table Moody nilai koefisien (f)= 0,045

a) Kecepatan aliran air pada pipa utama

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$V = \frac{4.16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211 \text{ m/s}^2$$

b) *Head losses* sepanjang pipa dengan 10 belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right] + \left[k \frac{V^2}{2g} 10 \right] \quad k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$H = \left[0,045 \frac{3600 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2 \cdot 9,8} \right] + \left[0,3644 \frac{4,211^2}{2 \cdot 9,8} 10 \right] \quad k = 0,946 \sin^2 \frac{60}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{60}{2}$$

$$H = \left[0,045 \frac{63837,07}{43,12} \right] + \left[0,3644 \frac{17,73}{19,6} 10 \right] \quad k = 0,2365 + 0,1279$$

$$H = 66,62 + 3,3 \quad k = 0,3644$$

$$H = 69,92 \text{ m}$$

c) Besar energi mekanik

$$E_m = E_p + E_k \quad E_k = 0 \text{ karena nilai } V_0 = 0$$

$$E_m = E_p \quad \Delta h = h - H$$

$$E_m = m \cdot g \cdot \Delta h \quad \Delta h = 111,9 - 69,92$$

$$E_m = 16000 \cdot 9,8 \cdot 41,98 \quad \Delta h = 41,98 \text{ m}$$

$$E_m = 6.582.464 \text{ J}$$

Lalu untuk perhitungan besar *headlosses* tanpa adanya belokan atau permodelan ideal seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3

a) Kecepatan aliran air

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$V = \frac{4.16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211 \text{ m/s}^2$$

b) *Head losses* sepanjang pipa tanpa belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{3000 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2 \cdot 9,8} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{53197,56}{43,12} \right]$$

$$H = 55,51 \text{ m}$$

d) Besar energi mekanik

$$E_m = E_p + E_k \quad E_k = 0 \text{ karena nilai } V_0 = 0$$

$$E_m = E_p \quad \Delta h = h - H$$

$$E_m = m \cdot g \cdot \Delta h \quad \Delta h = 111,9 - 55,51$$

$$E_m = 16000 \cdot 9,8 \cdot 56,39 \quad \Delta h = 56,39 \text{ m}$$

$$E_m = 8.841.952 \text{ J}$$

Tabel 4.2. Hasil perhitungan berdasar ketinggian PLTA

Generator	Debit (Q)	Tinggi i (Δh)	Head Loss (H)	Energi Potensial (E_p)	Energi Kinetik (E_k)	Energi Mekanik (E_m)
Unit 1	9,81m ³ /s	0m	0,033m	–	169.587,432 J	169.587,432 J
Unit 2	3,74m ³ /s	0m	0,033m	–	9.382,912J	9.382,912J

Unit 3	2,33m ³ /s	0m	0,033m	–	2.283,4J	2.283,4J
Penstock aktual	16m ³ /s	41,98m	69,92m	6.582.46 J	-	6.582.464 J
Penstock tanpa belokan	16m ³ /s	56,39m	55,51m	8.841.95 J	-	8.841.952 J

3) Perhitungan besar energi berdasar potensial air dengan ketinggian PLTA dengan permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 , lalu dilakukan perhitungan dengan koefisien pada table Moody nilai koefisien (f)= 0,045

a) Kecepatan aliran air pada pipa utama

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$V = \frac{4.16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211 \text{ m/s}^2$$

b) Head losses sepanjang pipa dengan 10 belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right] + \left[k \frac{V^2}{2g} 10 \right] \quad k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$H = \left[0,045 \frac{3600 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2 \cdot 9,8} \right] + \left[0,3644 \frac{4,211^2}{2,9,8} 10 \right] \quad k = 0,946 \sin^2 \frac{60}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{60}{2}$$

$$H = \left[0,045 \frac{63837,07}{43,12} \right] + \left[0,3644 \frac{17,73}{19,6} 10 \right] \quad k = 0,2365 + 0,1279$$

$$H = 66,62 + 3,3 \quad k = 0,3644$$

$$H = 69,92 \text{ m}$$

c) Nilai Daya Potensial air

$$P = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\Delta h = h - H$$

$$P = 1000 \cdot 16 \cdot 9,8 \cdot 41,98$$

$$\Delta h = 111,9 - 69,92$$

$$P = 6.582.464 \text{ J}$$

$$\Delta h = 41,98 \text{ m}$$

A. Perhitungan pada Unit 1:

Berdasar permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 lalu dilakukan perhitungan

b) Untuk perbandingan kecepatan air pada tiap unit

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{f_1 L_1 D_2}{f_2 L_2 D_1}} = \sqrt{\frac{0,61}{4,2}} = 0,381 \quad L_1 = \text{Panjang pipa unit 1}$$

$$\frac{V_3}{V_1} = \sqrt{\frac{f_1 L_1 D_3}{f_3 L_3 D_1}} = \sqrt{\frac{0,61}{10,6}} = 0,239 \quad L_2 = \text{Panjang pipa unit 2}$$

$L_3 = \text{Panjang unit 3}$

$V_1 = \text{kecepatan unit 1}$

$V_3 = \text{kecepatan unit 3}$

$V_2 = \text{kecepatan unit 2}$

$D_1 = \text{diameter pipa unit 1}$

$D_2 = \text{diameter unit 2}$

$D_3 = \text{diameter unit 3}$

$f_1 = \text{koefisien gesek unit 1}$

$f_3 = \text{koefisien gesek unit 3}$

$f_2 = \text{koefisien gesek unit 2}$

c) Debit air pada unit 1

$$3,14 \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,73^2 = 1,67 \text{ m}^2$$

Sehingga berdasar hukum kontinuitas pada persamaan (2.4)

$$Q = V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3$$

$$16 = 1,67 V_1 + 1,67(0,381) V_1 + 1,67(0,239) V_1$$

$$V_1 = 5,88 \text{ m/s} ; V_2 = 2,24 \text{ m/s} \quad \text{dan} \quad V_3 = 1,4 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = 5,88 \cdot 1,67 = 9,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) Untuk losses mayor yaitu kehilangan energy akibat gesekan dengan

$$H = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$H = 0,045 \frac{0,61 \cdot 5,88^2}{1,46 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H = 0,045 \frac{21,09}{28,61}$$

$$H = 0,045.0,737$$

$$H = 0,033 \text{ m}$$

Di peroleh

$$\Delta h = h - H$$

$$\Delta h = 41,98 - 0,033$$

$$\Delta h = 41,947 \text{ m}$$

e) Besar Potensial Unit 1

$$P_1 = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h$$

$$P_1 = 9810.9,8.41,947$$

$$P_1 = 4.032.700,69 \text{ Watt}$$

B. Perhitungan pada Unit 2:

Berdasar permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2 lalu dilakukan perhitungan

a) Debit air pada unit 2

$$3,14 \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,73^2 = 1,67 \text{ m}^2$$

Sehingga berdasar hukum kontinuitas pada persamaan (2.4)

$$Q_2 = V_2 A_2$$

$$Q_2 = 2,24 \cdot 1,67 = 3,74 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Untuk *losses* mayor yaitu kehilangan energy akibat gesekan dengan

$$H = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$H = 0,045 \frac{4,2 \cdot 2,24^2}{1,46 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H = 0,045 \frac{21,07}{28,61}$$

$$H = 0,045.0,736$$

$$H = 0,033 \text{ m}$$

Di peroleh

$$\Delta h = h - H$$

$$\Delta h = 41,98 - 0,033$$

$$\Delta h = 41,947 \text{ m}$$

c) Besar Potensial Unit 2

$$P_2 = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h$$

$$P_2 = 3740.9,8.41,947$$

$$P_2 = 1.537.441,44 \text{ Watt}$$

C. Perhitungan pada Unit 3:

Perhitungan dilakukan berdasar permodelan Gambar 3.1 dan data pada table 3.2

a) Debit air pada unit 3

$$3,14 \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,73^2 = 1,67 \text{ m}^2$$

Sehingga berdasar hukum kontinuitas pada persamaan (2.4)

$$Q_3 = 1,4 \cdot 1,67 = 2,33 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Untuk *losses* mayor yaitu kehilangan energy akibat gesekan dengan nilai koefisien besi (f) = 0,045

$$H = f \frac{LV^2}{d2g}$$

$$H = 0,045 \frac{10,6 \cdot 1,4^2}{1,46 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H = 0,045 \frac{20,77}{28,61}$$

$$H = 0,045 \cdot 0,725$$

$$H = 0,0326 \text{ m}$$

Di peroleh

$$\Delta h = h - H$$

$$\Delta h = 41,98 - 0,033$$

$$\Delta h = 41,947 \text{ m}$$

c) Besar Potensial Unit 3

$$P_3 = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h$$

$$P_3 = 2330.9,8.41,947$$

$$P_3 = 957.817,798 \text{ Watt}$$

D. Lalu untuk perhitungan besar *headlosses* tanpa adanya belokan atau permodelan ideal seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3

a) Kecepatan aliran air

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$V = \frac{4.16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211 \text{ m/s}^2$$

b) Head losses sepanjang pipa tanpa belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{3000 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2 \cdot 9,8} \right]$$

$$H = \left[0,045 \frac{53197,56}{43,12} \right]$$

$$H = 55,51 \text{ m}$$

c) Besar Daya potensial air

$$P = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h \quad \Delta h = h - H$$

$$P = 1000 \cdot 16,9 \cdot 8,56,39 \quad \Delta h = 111,9 - 55,51$$

$$P = 8.841.952 \text{ Watt} \quad \Delta h = 56,39 \text{ m}$$

E. Lalu untuk pembandingan yang lain digunakan satu belokan dengan sudut 90° berdasar seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3

a) Kecepatan aliran air

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$V = \frac{4.16}{3,14 \cdot 2,2^2}$$

$$V = \frac{64}{15,197}$$

$$V = 4,211 \text{ m/s}^2$$

b) Head losses sepanjang pipa 90° dengan 1 belokan

$$H = H_f + H_m$$

$$H = \left[f \frac{LV^2}{D2g} \right] + \left[k \frac{V^2}{2g} 10 \right] \quad k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

$$H = \left[0,045 \frac{3109,9 \cdot 4,211^2}{2,2 \cdot 2,9,8} \right] + \left[0,985 \frac{4,211^2}{2,9,8} \right] \quad k = 0,946 \sin^2 \frac{90}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{90}{2}$$

$$H = \left[0,045 \frac{55146,36}{43,12} \right] + \left[0,985 \frac{17,73}{19,6} \right] \quad k = 0,473 + 0,51175$$

$$H = 57,5 + 0,89 \quad k = 0,985$$

$$H = 58,39\text{m}$$

c) Besar Daya potensial air

$$P = \rho Q \cdot g \cdot \Delta h \quad \Delta h = h - H$$

$$P = 1000 \cdot 16,9 \cdot 8,53,51 \quad \Delta h = 111,9 - 58,39$$

$$P = 8.390.368 \text{ Watt} \quad \Delta h = 53,51\text{m}$$

Tabel 4.3. Hasil perhitungan daya potensial

Generator	Debit (Q)	Tinggi (Δh)	Head Loss (H)	Daya Potensial (P)	Perbandingan dengan model tanpa belokan
Unit 1	9,81m ³ /s	0m	0,033m	4.032.700,69W	45%
Unit 2	3,74m ³ /s	0m	0,033m	1.537.441,44W	17%
Unit 3	2,33m ³ /s	0m	0,033m	957.817,798W	10%
Penstock aktual	16m ³ /s	41,98m	69,92m	6.582.464 W	74%
Penstock tanpa belokan	16m ³ /s	56,39m	55,51m	8.841.952 W	100%
Penstock dengan 1 belokan 90 ⁰	16m ³ /s	53,51m	58,39m	8.390.368 W	94%

Berdasar hasil perhitungan pada table 4.3 dapat dilihat bahwa jumlah belokan sangat berpengaruh dalam mengetahui besarnya *HeadLosses*, yang mana hal ini disebabkan karena bertambahnya panjang pipa akibat banyaknya belokan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada makadidapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar nilai dan banyaknya sudut belokan besar nilai *Headlosses* sehingga mempengaruhi besar Daya yang dihasilkan dengan adanya belokan $P=6.582.464$ W dan untuk *Penstock* Ideal $P=8.841.952$ W mempunyai kerugian sebesar 26%.
2. Besar nilai dan banyaknya sudut belokan mempengaruhi nilai ketinggian efektif yang bekerja, dengan besar nilai beda ketinggian $H = 111,9\text{m}$,untuk *Penstock* dengan belokan $\Delta h = 41,98\text{m}$ sedangkan untuk *Penstock* Ideal $\Delta h = 56,39\text{m}$.

5.2 Saran

- a. Berdasarkan hasil penelitian maka penggunaan pipa tunggal sebagai *Penstock* memang mengurangi pembiayaan yang besar dalam pembangunan PLTA. Namun dengan adanya percabangan / belokan menyebabkan rugi-rugi tambahan dan menimbulkan adanya gelembung udara yang memberikan dampak terhadap turbin dan daya yang dihasilkan.
- b. Dengan terdapat banyaknya belokan yang diakibatkan letak geografis yang ada, perawatan harus rutin dilakukan agar tidak semakin memperburuk dan mengurangi besar energi yang dihasilkan oleh PLTA serta pengoperasian dapat dilakukan secara maksimal.
- c. Penentuan tempat untuk jalur pipa juga sangat berpengaruh dalam menentukan jarak dan jumlah belokan, jadi pipa pesat yang dipasang dapat lebih efisien dan memperoleh aliran maksimal air ke turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Putra, “STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK GERICO PUTRA DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO,” 2020.
- [2] E. Sulitiyo, “Analisis Head Losses Pada Penstock Unit Iii Di Perum Jasa Tirta Ii Unit Jasa Pembangkit Plta Ir. H. Djuanda,” *Power Plant*, vol. 6, no. 1, pp. 19–25, 2018, doi: 10.33322/powerplant.v6i1.70.
- [3] R. Syammajid *et al.*, “Analisa Pengaruh Sudut Belokan Penstok Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH),” vol. 8, no. 1, pp. 134–143, 2019.
- [4] C. P. Luvita, P. T. Juwono, and P. H. Wicaksono, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau,” *Teknik Pengairan Konsentrasi Perencanaan Teknik Bangunan Air*, vol. 12, no. Daya dan Energi, p. 11, 2017.
- [5] I. N. Widiana, I. A. D. Giriantari, and I. N. Setiawan, “Perancangan Penstock (Pipa Pesat) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Banjar Dinas Mekarsari, Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 2, p. 235, Dec. 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i02.p16.
- [6] R. HIDAYAWATI, “EFISENSI PENGGANTIAN PIPA PENSTOCK PLTA SIMAN DENGAN METODE WELDED LAP JOINT RANTI HIDAYAWANTI Jurusan Teknik Sipil , Sekolah Tinggi Teknik – PLN,” 2017.
- [7] E. Fahmivalecom, D. Magister, M. Fakultas, D. Magister, M. Fakultas, and B. Universitas, “(PLTA) DEPARTMENT MAINTENANCE & UTILITIES PT . VALE INDONESIA OPERATIONAL STRATEGY HYDROELECTRIC POWER PLANT MAINTENANCE & UTILITIES DEPARTMENT OF PT . VALE Fahmi Mahasiswa Magister Manajemen Fakultas Ekonomi dan bisnis Universitas Hasanuddin Jusni Duni,” *Strategi Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Air (Plta) Department Maintenance & Utilities Pt. Vale Indonesia*, vol. 14, no. 1, pp. 27–34, 2017.
- [8] · Book, “MEKANIKA FLUIDA DASAR,” 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/350558740>
- [9] Daniel. Lukas. Rohi, “21024-Article Text-27819-1-10-20180908,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, pp. 17–23, 2017.
- [10] B. Hartadi, I. J. Kalimantan Adhyaksa No, K. Tangi Banjarmasin, and K. selatan, “UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

(PLTMH) DI SUNGAI SAMPANAHAN DESA MAGALAU HULU
KABUPATEN KOTABARU.”

- [11] Book, “Sarwono Sunaroso Suyatman Fisika 2 Mudah dan Sederhana Untuk SMA dan MA Kelas XI,” 2009.
- [12] I. Eka Putra, S. Sulaiman, and A. Galsha, “Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC,” in *Pengembangan Insfrastruktur dan Technopreneurship Untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa*, ITP Press, Jul. 2017, pp. 34–39. doi: 10.21063/PIMIMD4.2017.34-39.
- [13] O. Pertiwi, “Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA),” *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2015, [Online]. Available: [http://eprints.polsri.ac.id/5142/3/FILE 3.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/5142/3/FILE%203.pdf)
- [14] B. Badaruddin and J. P. Suwarjono, “Studi Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Air Alternative Microhydro,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 82–90, 2013, doi: 10.22441/jte.v4i3.751.
- [15] A. Dhiva Pratama, E. Hidayah, and R. Utami Agung Wiyono, “Penentuan Desain Optimum Penstock untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Poreng, Jember,” *Jurnal Teknik Pengairan*, vol. 12, no. 1, pp. 71–80, May 2021, doi: 10.21776/ub.pengairan.2021.012.01.07.
- [16] M. Mahida and B. Y. Angguniko, “Optimalisasi Kapasitas Daya PLTA Bili-Bili menggunakan Metode Strategic Assumption Surfacing and Testing,” *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 17, no. 1, pp. 31–42, 2018, [Online]. Available: <http://ketjurnal.p3tkebt.esdm.go.id/ketjurnal/index.php/ket/article/view/165/225>