

TUGAS AKHIR

ANALISA PENGARUH SUDUT LENGKUNGAN PENSTOCK TERHADAP DAYA KELUARAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) BINTANG ASIH

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

YUDHI ARDANA
1807220076



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FALKUTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Yudhi Ardana

NPM : 1807220076

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : "Analisa Pengaruh Sudut Lengkungan Penstock Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bintang Asih"

Bidang Ilmu : Energi Baru Dan Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 Oktober 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T.,M.T

Dosen Pembanding I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

Dosen Pembanding II



Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd

Program Studi Teknik Elektro



Ketua,

Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Yudhi Ardana
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/09 September 2000
NPM : 1807220076
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Pengaruh Sudut Lengkungan Penstock Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bintang Asih”.

Bukan merupakan Plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 Oktober 2022

Yang menyatakan



Yudhi Ardana

ABSTRAK

Salah satu penyebab kurangnya daya atau energi yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) adalah penurunan debit aliran air yang disebabkan oleh adanya perubahan arah, belokan, lengkungan, dan perubahan penampang pipa pesat (*penstock*). Penelitian ini berfokus pada Analisa Pengaruh Sudut Lengkungan Penstock Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) Bintang Asih. Dalam suatu jalur pipa pesat (*penstock*) PLTMH pasti memiliki perbedaan tanah yang tidak rata atau letak geografis yang tidak mendukung hal itu yang akan menyebabkan desain *penstock* memiliki sebuah lengkungan, maka dari itu akan menyebabkan perubahan pada tekanan air yang melewatinya. Pada penelitian ini dilakukan suatu perbandingan antara dua desain pipa pesat (*penstock*), desain pertama yang merupakan desain pipa pesat (*penstock*) yang ada pada PLTMH Bintang Asih saat ini yang memiliki 3 sudut lengkungan yang nilai sudutnya meliputi 30° , 70° , dan 50° dan desain pipa pesat (*penstock*) kedua yang memiliki satu sudut lengkungan yang nilai sudutnya yaitu 30° . Tahap penelitian ini dilakukan dengan menetapkan metode penelitian, parameter yang ditentukan pada sudut lengkungan *penstock* PLTMH Bintang Asih yang meliputi debit air, diameter *penstock* dan koefisien *meaning*. Tahap selanjutnya melakukan perhitungan *head minor*, *head mayor*, *head total*, *head efektif* dan daya keluaran generator PLTMH. Hasil menunjukkan bahwa daya keluaran generator pada desain pipa pesat (*penstock*) pertama yaitu sebesar 7,43 kW dan pada desain pipa pesat (*penstock*) kedua diperoleh daya generator sebesar 11,9 kW.

Kata Kunci: PLTMH, Pipa Penstock, Sudut Lengkungan

ABSTRACT

One of the causes of the lack of power or energy generated from Micro hydro Power Plants (PLTMH) is a decrease in the discharge of water flow caused by changes in direction, turns, curves, and changes in the cross section of the pipe rapidly (penstock). This study focuses on Analyzing the Effect of Penstock Arch Angle on the Output Power of the Bintang Asih Micro hydro Power Plant (PLTMH). In a rapid pipeline (penstock) PLTMH must have an uneven soil difference or geographical location that does not support it which will cause the penstock design to have an arch, therefore it will cause a change in the pressure of the water passing through it. In this study, a comparison was carried out between two penstock designs, the first design which is a rapid pipe design (penstock) that exists at the current Bintang Asih PLTMH which has 3 arch angles whose angular values include 30° , 70° , and 50° and the second rapid pipe design (penstock) which has one arch angle whose angle value is 30° . This research stage was carried out by establishing the research method, the parameters of which are determined at the angle of the arch of the PLTMH Bintang Asih penstock which includes water discharge, penstock diameter and meaning coefficient. The next stage is to calculate the head minor, head major, head total, effective head and output power of the PLTMH generator. The results showed that the generator output power in the first rapid pipe design (penstock) was 7.43 kW and in the second rapid pipe design (penstock) a generator power of 11.9 kW was obtained.

Keywords: *PLTMH, Penstock Pipes, Arch Angle*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur peneliti ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan peneliti dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Pengaruh Sudut Lengkungan Penstock Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bintang Asih” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu peneliti menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibunda Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan peneliti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik elektroan kepada peneliti.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2018

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu peneliti berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan peneliti di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu ke teknik elektroan.

Medan, 17 Maret 2022

YUDHI ARDANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematis Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Landasan Teori	7
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro.....	7
2.2.2. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro.....	8
2.2.3. Komponen Rancang Bangun PLTMH	9
2.2.4. Sistem Perpipaan	13
2.2.5. Aliran pada Saluran Tertutup (Pipa)	15
2.2.6. Kehilangan Energi Pada System Perpipaan	24
2.2.7. Turbin.....	30
2.2.8. Generator.....	37
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1. Tempat Dan Waktu	41
3.1.1. Tempat.....	41
3.1.2. Waktu	41
3.2. Alat	41
3.3. Prosedur Penelitian	42
3.4. Diagram alir penelitian	43

3.5. Langkah penelitian	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Kriteria Perencanaan Penelitian	45
4.2. Analisa Debit	46
4.2.1. Perhitungan Penampang Basah Sungai	46
4.2.2. Perhitungan Kecepatan Aliran Air	47
4.2.3. Perhitungan Debit aliran	48
4.3. Data Pipa penstock atau Pipa pesat	49
4.4. Perhitungan <i>Head losses</i> Pada Pipa Pesat	49
4.4.1. Perhitungan Kecepatan Aliran Air Dalam Pipa	49
4.4.2. Perhitungan <i>Head Losses Mayor</i>	50
4.2.3. Perhitungan <i>Head Minor Losses</i>	50
4.5. Analisa Daya Keluaran PLTMH	54
4.6. Hasil Analisa Perbandingan	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian PLTMH.....	8
Gambar 2. 2 Bendungan (wier).....	10
Gambar 2. 3 Definisi Tegangan Geser.....	18
Gambar 2. 4 Alat Osborn Reynolds.....	19
Gambar 2. 5 Aliran Laminer (a), Kritik (b), Turbulen (c).	19
Gambar 2. 6 Kehilangan Energi Akibat Energi – Kecepatan	21
Gambar 2. 7 Transfer momentum dalam aliran zat cair.....	23
Gambar 2. 8 Grafik Moody.....	28
Gambar 2. 9 Turbin Peleton.....	31
Gambar 2. 10 Turbin Turgo	32
Gambar 2. 11 Turbin Crossflow	33
Gambar 2. 12 Turbin Screw	33
Gambar 2. 13 Turbin Francis.....	34
Gambar 2. 14 Turbin Kaplan	35
Gambar 2. 15 Generator.....	37
Gambar 3. 1 Desain Pipa Penstok.....	42
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4. 1 Desain Pipa penstok PLTMH Bintang Asih	45
Gambar 4. 2 Rekomendasi Desain Pipa Penstok	46
Gambar 4. 3 Penampang Sungai	46
Gambar 4. 4 Pipa Pesat PLTMH Bintang Asih	49
Gambar 4. 5 Pengaruh Sudut Lengkungan Terhadap Head Losses Minor	56
Gambar 4. 6 Grafik hasil desian pertama.....	57
Gambar 4. 7 Grafik hasil desian kedua	58
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Perbandingan.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Aliran Viskos	17
Tabel 2. 2 Koefisien Jenis Pipa.....	26
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian	41
Tabel 4. 1 Data Kecepatan Aliran Air.....	48
Tabel 4. 2 Data Shett Penelitian Sebelumnya	49
Tabel 4. 3 Spesifikasi Kompenen PLTMH.....	55
Tabel 4. 4 Data Perhitungan Hasil Percobaan.....	57

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam mencukupi kepentingan listrik untuk sebuah daerah, khususnya kepentingan listrik desa mutlak diperlukan demi menjamin kelancaran kehidupan serta aktivitas masyarakat. Listrik merupakan kebutuhan yang sangat berperan penting bagi kehidupan manusia (Ointu, 2020). Ketersediaan listrik yang layak untuk sebuah desa akan memacu kenaikan mutu hidup masyarakat. Dalam upaya tersebut dilakukan hal seperti memberikan kontribusi dalam menciptakan teknologi tepat guna yang dapat dimanfaatkan masyarakat secara langsung dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, salah satunya yaitu membangun energi baru terbarukan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH).

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah salah satu sumber energi *alternative* ramah lingkungan yang dapat dijadikan sumber pembangkit listrik dengan memanfaatkan aliran sungai pada ketinggian tertentu. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan pembangkit listrik lainnya, bersih lingkungan, tidak *konsumtif* terhadap pemakaian air, lebih awet (tahan lama/*long life*), biaya operasinya lebih kecil dan sesuai untuk daerah terpencil (Doda & Mohammad, 2018). Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatan relative murah, sedangkan biaya investasinya bersaing dengan pembangkit listrik lainnya.

Dusun Bintang Asih merupakan salah satu dusun terpencil di Desa Rumah sumbul Kecamatan Sinembah Tanjung Muda (STM) Hulu Kabupaten Deli Serdang yang tergolong desa tertinggal. Mayoritas masyarakat di Dusun ini mempunyai mata pencarian sebagai buruh tani di perkebunan sawit, salak dan karet. Di Dusun Bintang Asih juga terdapat pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), Seiring berjalan waktu pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) Bintang asih sudah berumur 6 tahun (Hutasuhut, 2019). Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di Dusun Bintang Asih perlu adanya perkembangan lebih lanjut dengan cara menganalisa suatu kemungkinan apabila terjadi sebuah masalah pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Sudah banyak penelitian yang

sudah mengembangkan pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH) Bintang Asih antara lain (Saputro & Harahap, 2021) Penelitian ini melakukan perancangan alat penstabil tegangan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) TM221ME16R dengan sistem komparasi. (Rimbawati & Yusniati, 2019) Dalam penelitian ini sistem proteksi yang digunakan adalah Modul *Deep Sea* Elektronik 3110 yang berguna untuk memproteksi adanya *under* dan *over voltage* serta memproteksi ketidakstabilan frekuensi, dan masih banyak lagi penelitian yang ada pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) Bintang Asih.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran sungai pada ketinggian tertentu semakin besar kapasitas aliran dan ketinggian aliran, maka akan semakin banyak pula energi listrik yang dihasilkan PLTMH. Salah satu penyebab kurangnya daya atau energi yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah penurunan debit aliran air yang disebabkan oleh adanya perubahan arah, belokan, dan perubahan penampang pipa.

Penstock (Pipa pesat) merupakan saluran penghubung antara bak penenang dengan turbin pada rumah pembangkit listrik (Dhiva Pratama et al., 2021). Dalam suatu jalur penstock PLTMH pasti memiliki perbedaan tanah yang tidak rata itu yang akan menyebabkan desain penstock memiliki sebuah lengkungan maka dari itu akan menyebabkan perubahan pada tekanan air yang melewatinya Menurut (Zainudin et al., 2012) Pemakaian variasi sudut belokan menyebabkan perubahan pada *head losses* dan *pressure drop*. Semakin besar sudut belokan, nilai *head losses* dan *pressure drop* yang dihasilkan semakin besar. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisa pengaruh sudut lengkungan daya keluaran pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) Bintang Asih”

Penelitian ini membahas tentang Analisa pengaruh sudut lengkungan penstock terhadap daya keluaran pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Dalam penelitian ini peneliti mengambil parameter antara lain diameter pipa, debit air, sudut lengkungan pipa *koefisien meaning* dengan menghitung *head minor*, *head mayor*, *head efektif*, dan daya keluaran yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dan akan dibandingkan oleh desain yang dibuat oleh peneliti.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara menghitung *Head efektif* dan *Head minor* akibat sudut lengkungan pipa pada PLTMH Bintang Asih?
2. Bagaimana cara menghitung daya keluaran pada generator yang dihasilkan pada perhitungan analisa sudut lengkungan pada PLTMH Bintang Asih?
3. Bagaimana cara mengetahui pipa pesat (*penstock*) yang lebih efisien pada PLTMH Bintang Asih?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui *Head efektif* akibat sudut lengkungan pipa pada PLTMH Bintang Asih.
2. Mengetahui daya keluaran pada generator yang dihasilkan pada perhitungan analisa sudut lengkungan pada PLTMH Bintang Asih
3. Mengetahui hasil perbandingan desain pipa pesat (*penstock*) pada PLTMH Bintang Asih dengan desain perbandingan yang dibuat peneliti.

1.4. Ruang Lingkup

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut:

1. Membahas tentang cara menghitung head efektif akibat sudut lengkungan pipa pada PLTMH Bintang Asih.
2. Membahas tentang cara menghitung daya keluaran generator melalui Analisa sudut lengkungan pipa pada PLTMH Bintang Asih.
3. Membahas tentang bagaimana cara menentukan letak pipa pesat (*penstock*) pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH).

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan peneliti adalah:

1. Dapat membantu sebagai data apabila terjadi kerusakan pada PLTMH Bintang Asih.

2. Memberikan manfaat terhadap mahasiswa dengan menciptakan inovasi dan mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh dalam perkuliahan Dapat memanfaatkannya sebagai referensi penelitian selanjutnya.
3. Memberikan informasi tentang pengaruh sudut lengkungan penstock terhadap daya keluaran pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

1.6. Sistematis Penelitian

Adapun sistematika penelitian tugas akhir ini di uraikan secara singkat sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan di dalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat di dalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Berdasarkan kajian pustaka sebelumnya telah banyak dilakukan penelitian tentang pengaruh sudut lengkungan pipa *penstock* atau hal-hal lainnya yang berkaitan tentang pipa penstock dengan hasil yang sudah dipublikasikan baik secara nasional maupun internasional adalah sebagai berikut:

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang analisa pengaruh sudut belokan penstock PLTMH di Daerah Kali pancur Getasan oleh (Press et al., 2019) Penelitian ini membahas tentang analisa sudut belokan *penstock* terhadap daya pada generator. Sudut belokan ditentukan sebesar 30°, 45°, dan 60° pada saluran *penstock* Tahap penelitian ini dilakukan dengan menetapkan model penelitian, parameter yang ditentukan pada sudut belokan *penstock* PLTMH meliputi debit air, diameter penstock dan koefisien manning. Tahap selanjutnya melakukan perhitungan *head minor*, *head mayor*, *head total*, *head efektif* dan menentukan daya keluaran generator PLTMH. Di dapat hasil penelitian yang menunjukkan bahwa daya keluaran pada PLTMH dengan pengaruh sudut belokan yang terdapat pada penstock adalah pada sudut 30° daya yang diperoleh sebesar $P = 384,91$ kW, pada sudut 45° potensi daya yang diperoleh sebesar $P = 383,41$ kW. Pada sudut 60° daya yang diperoleh sebesar $P = 380,93$ kW. Jadi sudut belokan yang dipasang pada penstock Daya yang dihasilkan yaitu sebesar 384,91.

Pada penelitian yang lain telah dilakukan penelitian tentang perubahan tinggi tekanan akibat sudut belokan 90° dan 45° oleh (Nurnawaty & Sumardi, 2020) penelitian ini membahas tentang *Head losses* atau kehilangan tinggi tekanan merupakan suatu fenomena rugi-rugi aliran di dalam sistem perpipaan. *Head losses* sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena *head losses* dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida. *Head losses* yang terjadi pada prinsipnya dapat dinyatakan dalam dua bagian besar, yaitu *minor losses* dan *mayor losses*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya kehilangan nilai tinggi tekanan akibat sudut belokan dan juga nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) pada belokan 90° dan 45°. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengalirkan fluida

pada rangkaian pipa (*fluid friction apparatus*) yang mengalami belokan 90° dan 45° . Dengan menggunakan persamaan mayor losses dan minor losses akan didapat nilai perubahan tinggi tekanan.

Kemudian penelitian lain yang dilakukan oleh (Dhiva Pratama et al., 2021) Tujuan penelitian ini adalah melakukan Optimasi diameter dan tebal pipa pesat untuk mencari hasil yang paling efisien, yang dikaji dari aspek hidrolika dan biayanya. Metode pemilihan pipa pesat yang optimal dapat ditentukan berdasarkan hubungan secara empiris, antara berbagai formula dari diameter dan tebal pipa pesat yang dinilai terhadap energi yang dihasilkan serta harga pipa pesat itu sendiri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar diameter pipa berbanding lurus dengan besar energi yang dihasilkan dan berbanding lurus dengan harga pipa pesat tersebut. Berdasarkan perbandingan, didapatkan diameter optimum pipa pesat sebesar 0,45 meter dengan tebal 0,0018 meter yang dihitung menggunakan formula dari Moffat, serta daya bangkitan sebesar 52,16 kW dan energi yang dihasilkan sebesar 456.914,33 kWh per tahunnya dengan harga pipa IDR 3.610.900 per meter pipa pesat.

Adapun penelitian sebelumnya (Luthfie, 2017) yang telah dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan sudut pipa siphon terhadap performansi turbin *hydro coil*. Pada penelitian ini, variasi sudut pipa siphon adalah 45° dan 90° . Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Hasil penelitian didapatkan bahwa sudut kemiringan pipa siphon 45° memberikan performansi turbin *hydro coil* yang lebih baik dibandingkan sudut kemiringan pipa siphon 90° .

Ada pula penelitian yang membahas tentang Analisa *head loss system* jaringan pipa pada sambungan pipa kombinasi diameter berbeda oleh (Waspodo, 2017) Hasil analisa *Head Loss dari Reservoir* ke Pipa Distribusi didapat kehilangan tekanan maksimum tertinggi ada pada pipa dengan diameter paling kecil yaitu antara diameter berbeda 63 ke 50 mm sebesar 0,40 m (HL, rata-rata kumulatif), sedangkan tekanan maksimum paling rendah ada pada pipa besar, yaitu diameter 90 ke 63 mm sebesar 0,07 (HL, rata-rata kumulatif). Tekanan yang hilang dari *Reservoir* ke Pipa Distribusi sebesar 5,73 atm dari tekanan fluida yang berada di *Reservoir* (5,8 atm). Sedangkan hasil analisa *Head Loss* dari *Intake* ke *Reservoir*

tanpa kombinasi diameter berbeda didapat kehilangan tekanan maksimum diameter 90 mm sebesar 8,48 m (HL kumulatif). Tekanan yang hilang dari *Intake* ke *Reservoir* sebesar 0,164 atm dari tekanan fluida air awal (0,9 atm).

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro

Mikro hidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air (Iwanda et al., 2016). Secara teknis, mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikro hidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikro hidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik.

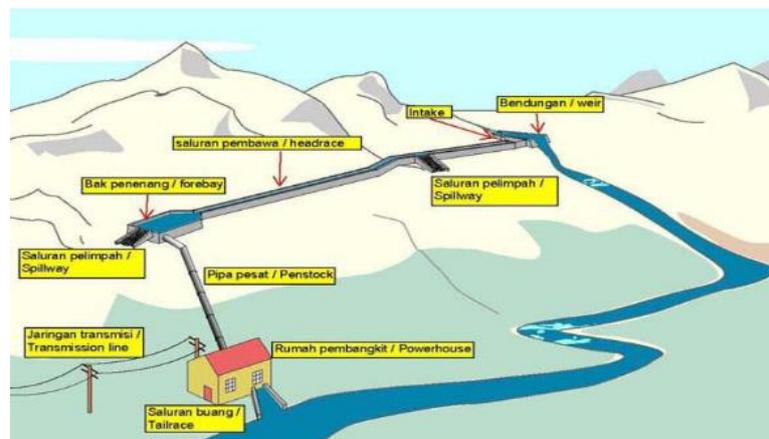
Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan sebuah tenaga listrik tenaga air yang berskala kecil dengan daya listrik yang dibangkitkan kurang dari 100 kW (Likadja et al., 2019). Secara teknis, mikro hidro terdiri dari tiga komponen utama antara lain air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikro hidro mendapatkan energi dari pemanfaatan aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya mikro hidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik (Subandono, 2013). Salah satu keunggulan mikro hidro, sehingga tidak terlalu menimbulkan kerusakan lingkungan.

Pembangkit listrik mikro hidro memiliki beberapa keuntungan yang membuatnya makin menarik, seperti berikut ini:

1. Air merupakan suatu sumber energi yang tidak ada habisnya atau berubah menjadi apapun. Sehingga bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro tidak akan habis.

2. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan pembangkit listrik mikro hidro sangat rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya.
3. Pembangkit listrik mikro hidro cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah untuk dioperasikan.
4. Pengembangan pembangkit listrik mikro hidro dengan memanfaatkan arus sungai dapat menimbulkan juga manfaat lain seperti misalnya pariwisata, perikanan dan lain-lain.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki prinsip kerja yang memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu. Dalam sekema mikro hidro memiliki beberapa kriteria yang sangat penting yaitu debit air dan ketinggian jatuh air untuk menghasilkan tenaga listrik yang bermanfaat. Hal tersebut merupakan system konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran air (energi potensial) ke dalam bentuk energi mekanik kemudian diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2. 1 Bagian PLTMH

(Ikrar Hanggara dan Harvi Irvani, 2017)

2.2.2. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro

Berdasarkan daya yang dapat dihasilkannya, pembangkit listrik air dapat diklasifikasikan sebagai berikut.:

1. PLTA Pico: < 500 W
2. PLTA Micro: 0.5-100 kW
3. PLTA Mini: 100-1000 kW

4. PLTA Kecil: 1 MW-10 MW
5. PLTA Skala Penuh: > 10 MW

2.2.3. Komponen Rancang Bangun PLTMH

Dalam rancang bangun sebuah pembangkit listrik tenaga mikro hidro diperlukan banyak komponen yang mendukung agar PLTMH dapat bekerja dengan efektif dan efisien yang menyediakan bentang alam yang ada aliran air dan ketinggian air. Pembangkit Listrik Tenaga mikro hidro termasuk dalam pembangkit listrik tenaga air yang konvensional. karena dalam implementasinya pembangkit listrik ini menggunakan kekuatan air secara wajar yang diperoleh dari pengaliran air dan sungai.

Dalam sebuah sistem instalasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki komponen (bangunan) yang kompleks, meliputi:

1. Bendungan (*Weir*)
2. Saluran Pengambil (*Intake*)
3. Saluran Pengendap (*Sedimen Trap*)
4. Saluran Pembawa
5. Kolam Penenang (*Forebay*)
6. Pipa Pesat (*Penstock*)

1. Bendungan (*wier*)

Bendungan (*wier*) adalah bangunan yang berada pada sungai yang berguna untuk membelokkan arah aliran air. Fungsi dari bendungan yaitu kolam penampung air yang mempunyai peran sebagai tempat penyediaan air dan menaikkan ketinggian tekanan air yang merupakan potensi dari aliran sungai. Tempat pemilihan pembangunan bendungan mempunyai dua factor yaitu, Ciri geologi tempat (sungai) dan pendekatan secara ekonomi (biaya).



Gambar 2. 2 Bendungan (*wier*)

2. Saluran pengambil (*Intake*)

Saluran pengambil (*Intake*) adalah saluran yang berfungsi sebagai pengambil sumber energi potensial utama (air) dari bendungan menuju ke bak penampungan dan pipa pesat. Permasalahan yang sering dihadapi oleh saluran intake adalah debit air yang tidak stabil baik ketika debit air yang besar maupun ketika debit air kecil adanya lumpur, pasir, dan kerikil seringkali mempengaruhi unjuk kerja dari pembangkit listrik mikro hidro. Selain itu keadaan alam di suatu daerah juga mengakibatkan perubahan cepat pada debit air (aliran air) sehingga sangat mempengaruhi operasional pembangkit listrik mikro hidro secara signifikan daerah juga mengakibatkan perubahan cepat pada debit air (aliran air) sehingga sangat mempengaruhi operasional pembangkit listrik mikro hidro secara signifikan.

Penentuan lokasi pembangunan saluran pengambil (*Intake*) direncanakan dibangun disebelah kanan aliran sungai dan sejajar. Dalam pembangunannya lokasi saluran pengambil (*Intake*) selalu pada posisi luar dari lengkungan sungai Ini dilakukan untuk memperkecil pengendapan sedimen (lumpur, pasir, kerikil, dan lain-lain) di saluran pembawa (*Intake*).

3. Saluran pengendap (*Sedimen Trap*)

Saluran Pengendap (*Sedimen trap*) Merupakan komponen pada pembangkit listrik mikro hidro yang berfungsi sebagai pengendap dari sedimen-sedimen yang terbawa oleh aliran air dari saluran pembawa (*Intake*). Hal ini merupakan salah satu cara untuk mencegah masuknya sedimen ke dalam sistem saluran pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Ukuran sedimen minimum yang diendapkan pada bak sangat bervariasi seperti, pasir, tanah, dan partikel – partikel lainnya, untuk ukuran sedimen yang di endapkan pastinya memiliki ukuran dan yang berbeda beda. Untuk keperluan pembilasan maka debit air yang masuk ke bak harus ditambah 20% agar kebutuhan air di turbin tetap terjaga. Bak penampung direncanakan berdasarkan kecepatan pembilasan dalam hal ini kecepatan pembilasan di rencanakan. Kecepatan pembilasan yang efektif ialah tidak terlalu deras agar aliran air tidak terlalu cepat.

4. Saluran Pembawa

Saluran pembawa berfungsi mengalirkan air dari saluran pengendap (*Sedimen Trap*) dan pembilas ke bak penenang (*forebay*). Dalam perencanaan ya saluran pembawa menggunakan saluran terbuka untuk dimensi saluran pembawa dan pembuang di tentukan dengan kondisi topografi (keadaan bentang alam). Untuk panjang saluran pada saluran pembawa ini dapat di rencanakan sesuai dengan perencanaan dan kondisi topografi. Penampang saluran pada saluran pembawa direncanakan berupa saluran terbuka berbentuk trapesium.

Untuk menghindari tumbuhnya vegetasi dan derasnya aliran air di sekitar saluran pembawa dapat direncanakan pada saat di bak penenang (*forebay*) aliran air dikondisikan pada kecepatan 0,3-2.0 m/s.

5. Bak Penenang (*Forebay*)

Bak Penenang (*forebay*) memiliki fungsi untuk mengurangi arus turbin sebelum aliran masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*). Kolam penenang (*forebay*) juga berfungsi sebagai saringan akhir sebelum air masuk ke dalam penstock dan akhirnya masuk turbin. Kolam Penenang (*forebay*) juga difungsikan sebagai pengatur ketersediaan air.

Bak penenang (*forebay*) dibuat pada bagian akhir saluran tenaga dengan cara memperluas menjadi bentuk seperti sebuah cekungan kecil, yang dapat menyimpan sejumlah air untuk kebutuhan yang tidak diduga dari turbin. Bak penenang (*forebay*) dapat dibuat dengan membangun sebuah bendungan kecil memotong saluran alami. Dengan membangun sebuah bendungan kecil, kapasitas bak penenang (*forebay*) menjadi sangat besar.

6. Pipa Pesat

Pipa pesat (*Penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penenang (*forebay*) menuju turbin yang ada di rumah pembangkit (*power house*) dengan memanfaatkan ketinggian (*head*) (Sudibyo, 2018). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter pipa, dan tebal pipa. Pemilihan material didasarkan pada pertimbangan operasional, akses, berat, dan biaya.

Diameter pipa pesat (*Penstock*) dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material di pasaran dan *friction losses* (kerugian gesekan) sekecil mungkin. Ketebalan pipa dipilih untuk menahan tekanan hidrolis dan surge pressure yang terjadi dalam pipa.

a. Diameter Pipa Pesat

Diameter pipa pesat (*Penstock*) sangat berpengaruh dalam perencanaan pipa pesat dikarenakan jumlah (kapasitas) aliran air yang masuk akan berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin sehingga harus ditetapkan berapa kapasitas dan aliran air yang sesuai dengan kebutuhan untuk turbin.

Diameter pipa pesat ditentukan menurut sudut rata-rata pipa pesat dan debit yang telah direncanakan dengan menggunakan persamaan:

$$D = \sqrt{\frac{4Qp}{\pi Vp}} \dots\dots\dots (2. 1)$$

- Dimana: D = Diameter pipa (m)
 Qp = Debit air (m^3/s)
 Vp = kecepatan aliran air (m/s)

b. Rugi Aliran Pipa Pesat (*Penstock Pipe Losses*)

Kerugian energi (*head losses*) yang terjadi di dalam pipa dapat di kelompokkan atas dua bagian:

1. Kerugian terjadi sebagai akibat dari gesekan air disepanjang pipa (*Head losses mayor*). Prinsip kerugian energi akibat gesekan air di sepanjang pipa dapat dijelaskan pada persamaan Darcy-Weisbach berikut:

$$H_{Mayor} = f \frac{L.V^2}{d.2.g} \dots\dots\dots (2. 2)$$

- Dimana: H_{Mayor} = *head mayor* (m)

- L = panjang pipa (m)
- d = diameter pipa (m)
- V = kecepatan (m/s)
- g = gravitasi bumi
- f = $64/R_e$ (untuk aliran laminar, $R_e < 2300$)
- R_e = VD/ν

2. Kerugian yang terjadi di pipa, belokan pipa, perubahan penampang, dan lain – lain (*Head losses minor*). Kerugian ini dapat dinyatakan dengan persamaan

$$H_{Minor} = k \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2. 3)$$

Dimana: H_{Minor} = head minor (m)

V = kecepatan (m/dt)

g = gravitasi bumi (m/dt²)

2.2.4. Sistem Perpipaan

Pengetahuan perpipaan merupakan sarana dan dasar pengetahuan di dalam perhitungan, perencanaan dan pelaksanaan perpipaan berikutnya. Perpipaan merupakan alat transportasi fluida yang banyak digunakan di industri. Sistem perpipaan lebih efisien dan efektif digunakan karena fluida memiliki sifat yang tidak tetap sehingga selalu mengikuti bentuk wadah yang ditempati atau dilalui (Rahayu et al., 2021). Dalam menentukan ukuran pipa menggunakan metode *ekuivalensi* tekanan pipa . Metoda ini didasarkan pada konsep sirkuit tertutup pipa-pipa cabang bermula pada suatu pipa pengumpul (*Header*) dan kembali lagi. Yang berarti kerugian gesek dalam masing-masing pipa cabang tersebut sama. Sistem pipa penyediaan air dalam gedung biasanya tidak merupakan sirkuit tertutup kembali lagi ke pipa pengumpul, kerugian gesek pada pipa tidak haruslah sama. Walaupun demikian metode ini sangat praktis digunakan untuk menghitung secara kasar ukuran pipa yang melayani sejumlah alat pelambun relatif sedikit Dalam hal ini kita dapat melihat tabel ekuivalen masing-masing pipa.

Pengetahuan perpipaan merupakan sama dan pengetahuan dalam perhitungan, perencanaan dan pelaksanaan perpipaan berikutnya .

Hal ini yang dapat diketahui dalam Teknik perpipaan yaitu:

1. Jenis pipa
 - a. Jenis pipa tanpa sambungan (pembuatan pipa tanpa sambungan)
 - b. Jenis pipa dengan sambungan (pembuatan pipa dengan pengelasan).
2. Bahan-bahan pipa secara umum
 - a. *Carbon steel*
 - b. *Carbon molly*
 - c. *Galvanis*
 - d. *Ferro nikel*
 - e. *Stainless steel*
 - f. *PVC* (paralon)
 - g. *Chrome moly*

2.2.4.1. Komponen Perpipaan

Komponen pipa harus dibuat berdasarkan spesifikasi, standar yang terdaftar dalam simbol dan kode yang telah dibuat atau dipilih sebelumnya. Komponen ini terdiri dari:

- a. *Pipes* (pipa)
- b. *Flanges* (*fiens-hens*)
- c. *Fitting* (sambungan)
- d. *Valves* (katub-katub)
- e. *Gasket*
- f. *Special item* (bagian khusus)

2.2.4.2. Pemilihan Bahan

Pemilihan bahan perpipaan baru disesuaikan dengan pembuatan Teknik perpipaan

- a. Perpipaan pembangkit tenaga
- b. Perpipaan untuk industri gas
- c. Perpipaan untuk penyulingan minyak mentah
- d. Perpipaan untuk pengangkutan minyak, perpipaan untuk pendinginan

- e. Perpipaan instalasi air
- f. Perpipaan untuk distribusi dan transmisi gas

2.2.4.3. Sambungan Perpipaan

Pada instalasi perpipaan banyak dipakai sambungan yang berfungsi untuk membelokkan maupun membagi aliran mejadi bercabang. Pemisahan aliran fluida pada percabangan merupakan hal yang tidak dapat dihindari sehingga dampaknya akan dapat menurunkan unjuk kerja dari suatu system (Syahputra et al., 2017). Oleh karena itu efisiensi dalam system perpipaan harus diperhatikan dengan efisiensi yang baik maka akan biaya produksi akan menurun dan kerugian semakin sedikit. Macam-macam sambungan perpipaan antara lain:

- a. Sambungan menggunakan pengelasan
- b. Sambungan menggunakan ulir

Selain sambungan diatas, terdapat pula penyambungan khusus dengan menggunakan pengeleman (untuk pipa plastik dan pipa *fiber glass*). Pada pengilangan umumnya pipa bertekanan rendah menggunakan sambungan ulir.

2.2.4.4. Tipe Sambungan Cabang

Ada beberapa jenis sambungan dalam sistem perpipaan antara lain:

- a. Sambungan langsung (*Stub in*).
- b. Sambungan dengan menggunakan *Fittings* (slat penyambung).
- c. Sambungan dengan menggunakan *Flanges*.

2.2.5. Aliran pada Saluran Tertutup (Pipa)

Pipa merupakan saluran tertutup yang biasanya ber penampang lingkaran yang dipergunakan untuk mengalirkan fluida dengan penampang aliran penuh. Fluida yang di alirkan melalui pipa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran atau tekanan dalam pipa sama dengan tekanan atmosfernya (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang mengalir adalah zat cair. Tekanan dipermukaan zat cair disepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada pipa adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka. Misalnya aliran air pada gorong-gorong. Pada kondisi saluran penuh air, desain nya harus mengikuti kaidah aliran pada pipa, namun bila mana aliran air pada dalam pipa didesain tidak penuh maka sifat alirannya adalah sama dengan aliran pada saluran terbuka. Perbedaan yang lainnya adalah saluran terbuka mempunyai kedalaman air (y), sedangkan pada pipa ke dalam air tersebut ditransformasikan berupa (P/y). Oleh karena itu konsep analisis aliran pada pipa harus dalam kondisi pipa terisi penuh dengan air.

Zat cair riil didefinisikan sebagai zat yang mempunyai kekentalan, berbeda dengan zat air ideal yang tidak mempunyai kekentalan. Kekentalan disebabkan karena adanya sifat kohesi antara partikel zat cair. Karena adanya kekentalan zat cair maka terjadi perbedaan kecepatan partikel dalam medan aliran. Partikel zat cair yang berdampingan dengan dinding batas akan diam (kecepatan nol) sedang yang terletak pada suatu jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak dari dinding batas. Aliran zat cair riil disebut juga aliran *viscos*.

Aliran *viscos* adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas). Viskositas terjadi pada temperature tertentu. sifat air (viskositas kenematik) pada tekanan atmosfer dan beberapa temperatur. Viskositas dapat dipengaruhi oleh beberapa factor seperti suhu, tekanan dan konsentrasi larutan. Viskositas dapat dinyatakan dalam bentuk absolut (dinamis) dan dalam bentuk kenematik (Wicaksono et al., 2021). Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi.

Tabel 2. 1 Aliran Viskositas

Suhu °C	Viskositas Kenematik m^2/dt	Suhu °C	Viskositas Kenematik m^2/dt
0.0	1.795×10^{-6}	50.0	0.556×10^{-6}
0.5	1.519×10^{-6}	60.0	0.477×10^{-6}
10.0	1.308×10^{-6}	70.0	0.415×10^{-6}
20.0	1.007×10^{-6}	80.0	0.367×10^{-6}
30.0	0.804×10^{-6}	90.0	0.328×10^{-6}
40.0	0.661×10^{-6}	100.0	0.296×10^{-6}

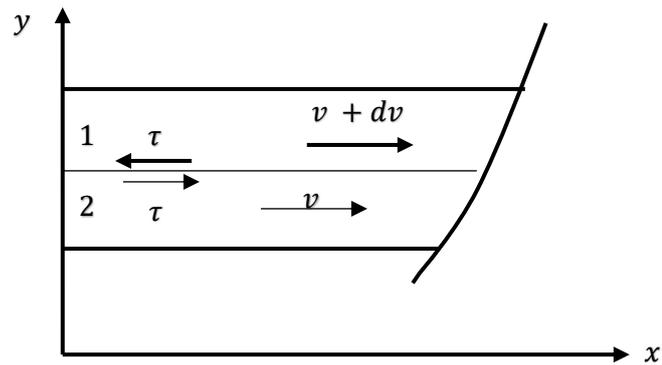
Aliran viskositas dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam. Apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel- partikel zat cair bergerak secara teratur.

2.2.5.1. Hukum Newton tentang kekentalan zat cair

Kekentalan zat cair menyebabkan terbentuknya gaya-gaya geser antara 2 (dua) elemen. Keberadaan kekentalan ini menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran atau diperlukan energi untuk menjamin adanya pengaliran.

Hukum Newton (dalam Triatmojo 1996 :2) tentang kekentalan menyatakan bahwa tegangan geser antara 2 (dua) partikel zat cair yang berdampingan adalah sebanding dengan perbedaan kecepatan dari kedua partikel (*gradient* kecepatan). seperti terlihat dalam gambar:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots (2. 4)$$



Gambar 2. 3 Definisi Tegangan Geser

Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan diatas dan gambar diatas, apabila 2 (dua) elemen zat cair yang berdampingan dan bergerak dengan kecepatan berbeda, elemen yang lebih cepat akan diperlambat dan yang lebih lambat akan dipercepat. Tegangan geser τ pada lapis 1 (satu) bagian bawah mempunyai arah ke kiri karena bagian tersebut tertahan oleh lapis di bawahnya yang mempunyai kecepatan lebih rendah. Sedangkan lapis 2 (dua) bagian atas bekerja tegangan geser dalam arah ke kanan karena bagian tersebut tertarik oleh lapis di atasnya yang mempunyai kecepatan lebih besar. Pada permukaan antara dinding batas dan aliran zat cair juga terjadi tegangan geser dengan arah berlawanan dengan arah aliran. Tegangan geser pada dinding batas ini cukup besar karena gradien kecepatan didaerah tersebut sangat besar.

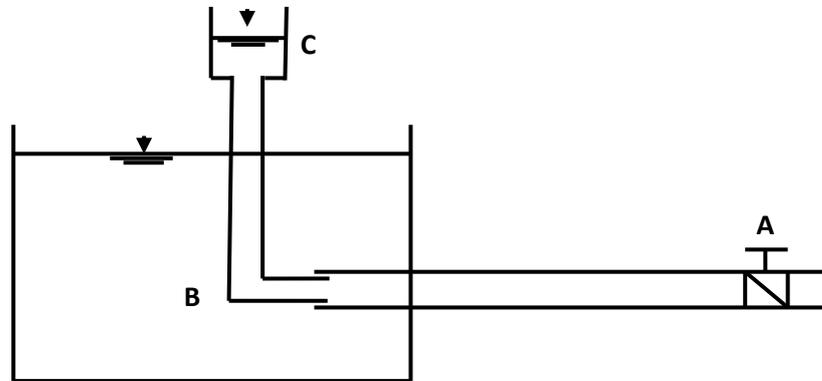
2.2.5.2. Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran viskositas dapat dibedakan menjadi 2 (dua) tipe yaitu aliran laminar dan turbulen. Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan atau kekentalan besar. Pengaruh kekentalan adalah sangat besar sehingga dapat meredam gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang, yang sampai pada suatu batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari laminar ke turbulen.

Pada aliran turbulen gerak partikel-partikel zat cair tidak teratur. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan zat cair kecil. Semakin kecil luas penampang nya maka pola aliran semakin acak atau turbulen (Susilo et al., 2021).

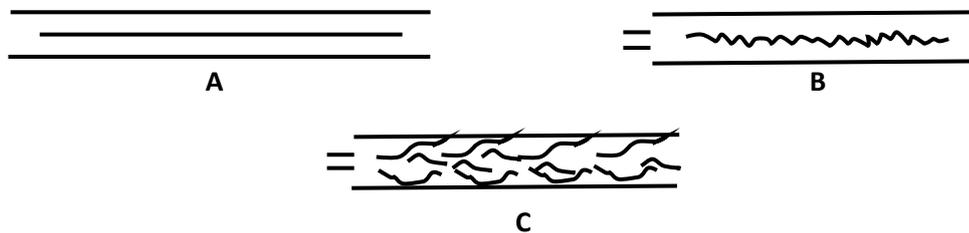
2.2.5.3. Percobaan Osborn Reynolds

Pada tahun 1884 Osborn Reynolds (dalam Triatmojo 1996 : 3) melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan aliran turbulen. Alat yang digunakan terdiri dari pipa kaca yang dapat melewatkan air dengan berbagai kecepatan. Aliran tersebut diatur oleh kutub A. Pipa kecil B yang berasal dari tabung berisi zat warna C. Ujung yang lain berada pada lobang masuk pipa kaca.



Gambar 2. 4 Alat Osborn Reynolds

Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil di dalam aliran kaca, zat warna akan mengalir dalam suatu garis lurus seperti benang yang sejajar dengan sumbu pipa. Apabila kutub dibuka sedikit demi sedikit, kecepatan akan bertambah besar dan benang warna mulai berlubang yang akhirnya pecah dan menyebar pada seluruh aliran dalam pipa.



Gambar 2. 5 Aliran Laminar (a), Kritik (b), Turbulen (c).

Kecepatan rerata pada mana benang warna mulai pecah disebut kecepatan kritik. Penyebaran dari benang warna disebabkan oleh pencampuran dari partikel-partikel zat cair selama pengaliran. Dari percobaan tersebut dapat disimpulkan

bahwa pada kecepatan kecil, pencampuran tidak terjadi dan partikel-partikel zat cair bergerak dalam lapisan-lapisan yang sejajar, dan menggelincir terhadap lapisan di sampingnya. Keadaan ini disebut aliran laminar. Pada kecepatan yang lebih besar, benang warna menyebar pada seluruh penampang pipa, dan terlihat bahwa pencampuran dari partikel-partikel zat cair terjadi; keadaan ini disebut aliran turbulen.

Menurut Reynolds, ada tiga faktor yang mempengaruhi keadaan aliran yaitu kekentalan zat cair μ (mu), rapat masa zat cair ρ (rho), dan diameter pipa D. Hubungan antara μ , ρ , dan D yang mempunyai dimensi sama dengan kecepatan adalah : $\frac{\mu}{\rho D}$ (2. 5)

Reynolds menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan membagi kecepatan aliran di dalam pipa dengan nilai $\frac{\mu}{\rho D}$, yang disebut dengan angka Reynolds. Angka Reynolds mempunyai bentuk berikut ini:

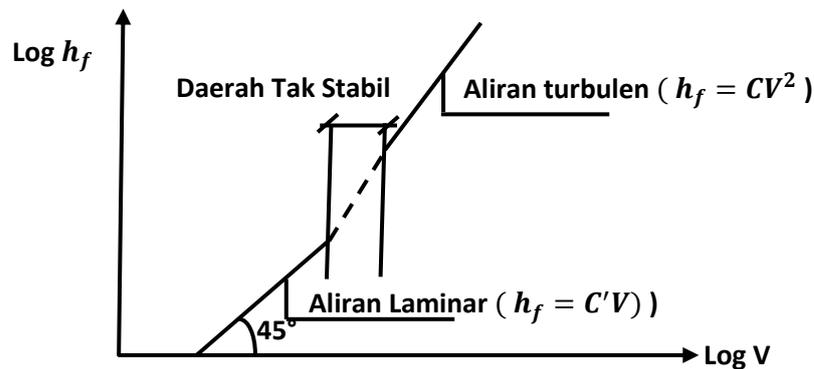
$$Re = \frac{V}{\frac{\mu}{\rho D}} = \frac{\rho DV}{\mu} \text{ atau } \frac{VD}{\nu} \text{(2. 6)}$$

Dengan ν (nu) adalah kekentalan kenematik. Dari percobaan yang dilakukan untuk aliran air melalui pipa dapat disimpulkan bahwa pada angka Reynolds rendah gaya kental dominan sehingga aliran adalah laminar. Dengan bertambahnya angka Reynolds baik karena bertambahnya kecepatan atau berkurangnya kekentalan zat cair atau bertambah besarnya dimensi medan aliran (pipa), akan bisa menyebabkan kondisi aliran laminar menjadi tidak stabil. Sampai pada suatu angka Reynolds di atas nilai tertentu aliran berubah dari laminar menjadi turbulen.

Berdasarkan pada percobaan aliran di dalam pipa, Reynolds menetapkan bahwa untuk angka Reynolds dibawah 2000, gangguan aliran dapat diredam oleh kekentalan zat cair, dan aliran pada kondisi tersebut adalah laminar. Aliran akan turbulen apabila angka Reynolds lebih besar dari 4000. Apabila angka Reynolds berada diantara kedua nilai tersebut $2000 < Re < 4000$ aliran adalah transisi. Angka Reynolds pada kedua angka diatas ($Re = 2000$ dan $Re = 4000$) disebut dengan batas kritik bawah dan atas.

2.2.5.4. Hukum Tekanan Gesek

Reynolds menetapkan hukum tekanan gesek (dalam Triatmojo 1996: 5) dengan melakukan pengukuran kehilangan energi di dalam beberapa pipa dengan panjang berbeda dan untuk berbagai debit aliran. Percobaan tersebut memberikan hasil berupa suatu grafik hubungan antara kehilangan energi h_f dan kecepatan aliran pada gambar dibawah menunjukkan kedua hubungan tersebut yang dibuat dalam skala logaritma untuk diameter tertentu.



Gambar 2. 6 Kehilangan Energi Akibat Energi – Kecepatan

Bagian bawah dari grafik merupakan garis lurus, dengan kemiringan 45° , yang menunjukkan bahwa FH sebanding dengan V , yang merupakan sifat aliran laminar. Sedang bagian atas merupakan garis lurus dengan kemiringan n , dengan n antara 1,75 dan 2,0 yang tergantung pada nilai Re dan kekasaran. Hal ini menunjukkan bahwa FH sebanding dengan $n V$, nilai pangkat yang besar berlaku untuk pipa kasar sedang yang kecil untuk pipa halus. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kehilangan energi pada aliran turbulen lebih besar dari aliran laminar. Hal ini disebabkan karena adanya turbulensi yang dapat memperbesar kehilangan energi.

2.2.5.5. Aliran Laminar Dalam Pipa

Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran laminar lebih mudah terjadi bila kecepatan aliran relatif kecil sedangkan viskositas cairan besar dan pengaruh kekentalan cukup dominan dibandingkan dengan kecepatan aliran, sehingga partikel-partikel zat cair akan bergerak teratur menurut lintasan lurus.

Secara matematis aliran laminar akan terjadi bila perbandingan momentum dan gaya viscos ada di bawah 2000, atau yang lebih dikenal dengan bilangan Reynold (Re) < 2000 . Bilangan Reynold (Re) dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots (2. 7)$$

Dimana:

D = Diameter pipa

VD = Kecepatan rerata

ν = Kekentalan kenematik

2.5.6. Aliran Turbulen dan Tegangan Reynolds

Turbulensi adalah gerak partikel zat cair yang tidak teratur dan sebarang dalam waktu dan ruang. Turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viscos dan gerak lapis zat cair yang berdampingan pada kecepatan berbeda. Aliran turbulen akan terjadi pada bilangan Reynold (Re) lebih besar dari 4000. Analisa teoritis persamaan kehilangan energi pada aliran turbulen ($Re > 4000$) akan lebih sulit dibandingkan yang terjadi pada aliran laminar. Hal ini disebabkan adanya ketidakteraturan aliran turbulen. Faktor gesekan f dapat diturunkan secara matematis untuk aliran laminar, tetapi belum ada hubungan matematis yang sederhana untuk aliran turbulen, Untuk pipa-pipa halus dan kasar hukum-hukum tahanan universal dapat diturunkan dari:

$$f = \frac{8 t_0}{\rho V^2} \dots\dots\dots (2. 8)$$

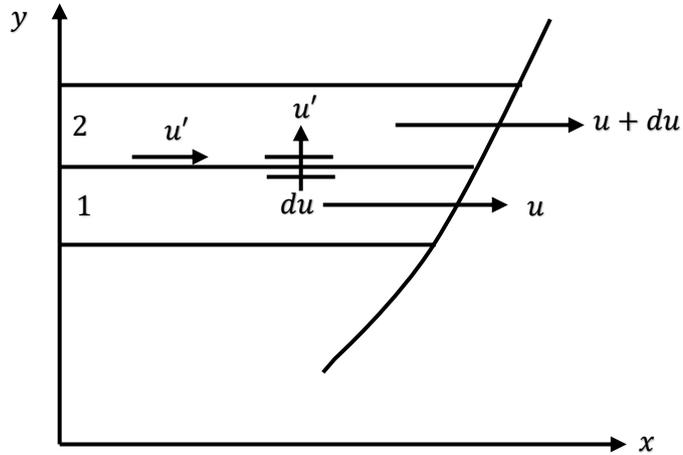
Dengan: f = Faktor gesek

t_0 = Tegangan geser pada dinding pipa

ρ = Kerapatan air (density)

V = Kecepatan aliran

Untuk menentukan tegangan geser yang ditimbulkan oleh turbulensi, dipandang aliran zat cair melalui suatu elemen dengan luas dA .



Gambar 2. 7 Transfer momentum dalam aliran zat cair

Pada gambar (2.7) dijelaskan bahwa v' adalah kecepatan tegak lurus dA dan u' adalah fluktuasi kecepatan atau perbedaan kecepatan pada kedua sisi luasan. Massa zat cair yang melalui luasan dA dalam satu satuan waktu adalah:

$$dM = \rho v' dA$$

Dengan persamaan momentum:

$$dF = dMdu$$

Atau:

$$dF = \rho v' dAu'$$

Tegangan geser τ karena fluktuasi turbulen diperoleh dengan membagi persamaan diatas dengan dA :

$$\tau = \frac{dF}{dA} = \frac{\rho v' dAu'}{dA} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Atau } \tau = \frac{\rho}{u'}$$

Tegangan geser yang diberikan oleh persamaan dikenal sebagai tegangan Reynolds.

2.2.6. Kehilangan Energi Pada System Perpipaan

Zat cair yang ada di alam ini mempunyai kekentalan, meskipun demikian dalam berbagai perhitungan mekanika fluida ada yang dikenal atau dianggap sebagai fluida ideal, Adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Zat cair terdiri atas molekul-molekul tepat dan rapat dengan gaya kohesif yang relative kuat, sehingga cenderung mempertahankan volumenya dan akan membentuk permukaan yang bebas dan rata dalam medan gravitasi (Wasposito, 2017).

Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya. Pengubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi. Pengaruh debit terhadap kehilangan energi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi debit maka tingkat kehilangan energinya juga makin meningkat. Demikian juga sebaliknya semakin kecil debit maka kehilangan energi semakin menurun (Pallu & Bakri, 2020). Dengan mengetahui kerugian energi pada suatu system instalasi pipa, akan sangat menentukan tingkat efisiensi penggunaan energi itu sendiri (Siregar et al., 2021).

2.2.6.1. Kehilangan energi akibat gesekan (*Mayor Losses*)

Kehilangan energi akibat gesekan disebut juga kehilangan energi primer. Terjadi akibat adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekasaran dinding batas pipa dan akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan kehilangan energi disepanjang pipa dengan diameter konstan pada aliran seragam. Kehilangan energi sepanjang satu satuan panjang akan konstan selama kekasaran dan diameter tidak berubah.

Secara teoritis kehilangan energi akibat gesekan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan yang menurut White (1986), adalah persamaan yang disebut dengan Persamaan Darcy-Weisbach yaitu :

$$H_{Mayor} = f \frac{L.V^2}{d.2.g} \dots\dots\dots (2. 10)$$

- Dimana: H_{Mayor} = head mayor (m)
 L = panjang pipa (m)
 d = diameter pipa (m)

$$\begin{aligned}
v &= \text{kecepatan (m/s)} \\
g &= \text{gravitasi bumi (m/s}^2\text{)} \\
f &= 64/R_e \text{ (untuk aliran laminar, } R_e < 2300\text{)} \\
R_e &= VD/v
\end{aligned}$$

Untuk menentukan koefisien gesekan (f), Blasius memberikan persamaan koefisien gesek untuk pipa halus pada batasan angka bilangan Reynolds tertentu. Berdasarkan penelitian (Akbar, 2022) disebutkan bahwa semakin besar debit maka kecepatan dan bilangan Reynolds juga semakin meningkat dan juga sebaliknya, mengusulkan suatu rumus semi empiris yang dapat digunakan secara menyeluruh (berbagai angka Reynolds). Koefisien gesek juga dipengaruhi oleh jenis aliran, untuk aliran laminar (bilangan Reynolds kecil),

$$f = \frac{64}{R_e}$$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius, mengemukakan koefisien gesekan f untuk pipa halus dalam bentuk,

$$f = \frac{0.316}{R_e^{0,25}}$$

Rumus ini berlaku untuk $4.000 < Re < 10$ Untuk pipa kasar nilai f tidak hanya tergantung pada angka Reynolds, tetapi juga pada dinding pipa yaitu kekasaran relative k/D, atau:

$$f = \phi (R_e, K/D)$$

Nikuradse melakukan percobaan tentang pengaruh kekasaran pipa. Percobaan tersebut meliputi daerah aliran laminar dan turbulen sampai pada angka Reynolds $Re = 106$, dan untuk nilai k/D yang bervariasi antara 0.0333 sampai 0.0009. Hasil percobaan merupakan hubungan antara f, Re Untuk menentukan nilai koefisien gesek (f) untuk aliran melalui pipa hidraulis licin dan untuk aliran pipa kasar. dan k/D.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{R_e \sqrt{f}}{2.51}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.7 D}{k}$$

Untuk aliran didaerah transisi, Colebrook mengusulkan persamaan berikut, yang merupakan gabungan:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{k}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \dots\dots\dots (2. 11)$$

Dimana nilai k, seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. 2 Koefisien Jenis Pipa

Jenis Pipa	Nilai K (Mm)
Pipa Pvc	0,00256
Kaca	0.06 – 0.24
Besi Di Lapis Aspal	0.18 – 0.90
Plaster Semen	0.27 – 1.20
Beton	0.30 – 3.00
Baja	0.03 – 0.09
Baja Di keling	0.90 – 9.00
Pasangan Batu	6.00

2.2.6.2. Kehilangan Energi Akibat Perubahan Penampang Dan Aksesoris Lainnya (*Minor Losses*)

Kehilangan energi akibat perubahan penampang dan aksesoris lainnya disebut juga kehilangan energi sekunder atau minor loss. Misalnya terjadi pada pembesaran tampang (*expansion*), pengecilan penampang (*contraction*), belokan atau tikungan. Kehilangan energi sekunder atau *minor losses* ini akan adanya tumbukan antara partikel zat cair dan meningkatnya gesekan karena turbulensi serta tidak seragamnya distribusi kecepatan pada suatu penampang pipa. Adanya lapisan batas terpisah dari dinding pipa maka akan terjadi olakan atau pusaran air. Adanya olakan ini akan mengganggu pola aliran laminar sehingga akan menaikkan tingkat turbulensi.

Pada aliran laminar akan terjadi bila bilangan Reynold (*Re*) < 2000, dengan persamaan kehilangan energi pada aliran laminar sepanjang pipa L menurut Hagen Poiseuille adalah sebagai berikut:

$$h_f = \frac{32 \nu}{g D^2} VL \dots\dots\dots (2. 12)$$

Dengan: h = Tinggi kehilangan energi

ν = viskositas zat cair

g = Percepatan gravitasi

D = Diameter pipa

V = Kecepatan aliran

P = Panjang pipa

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung kerugian akibat perubahan penampang, lengkungan dan belokan:

$$H_{Minor} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.13)$$

1. Pipa halus

Koefisien gesekan pipa tergantung pada parameter apabila pipa adalah hidrolis halus parameter tersebut adalah kecepatan aliran diameter pipa dan kekentalan zat cair dalam bentuk angka Reynolds (Eka Putra et al., 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius, dia mengemukakan rumus gesekan f untuk pipa halus dalam bentuk:

$$f = 0,316/Re^{0,25} \text{ Berlaku untuk } 4000 < Re < 10^5$$

Dari persamaan empiris koefisien gesekan tersebut diatas akan dapat di hitung kehilangan energi disepanjang pipa berdasar persamaan Darcy-Weisbach. Sedangkan percobaan Nikuradse memberikan persamaan yang agak berbeda dengan Blasius. Persamaan tersebut adalah:

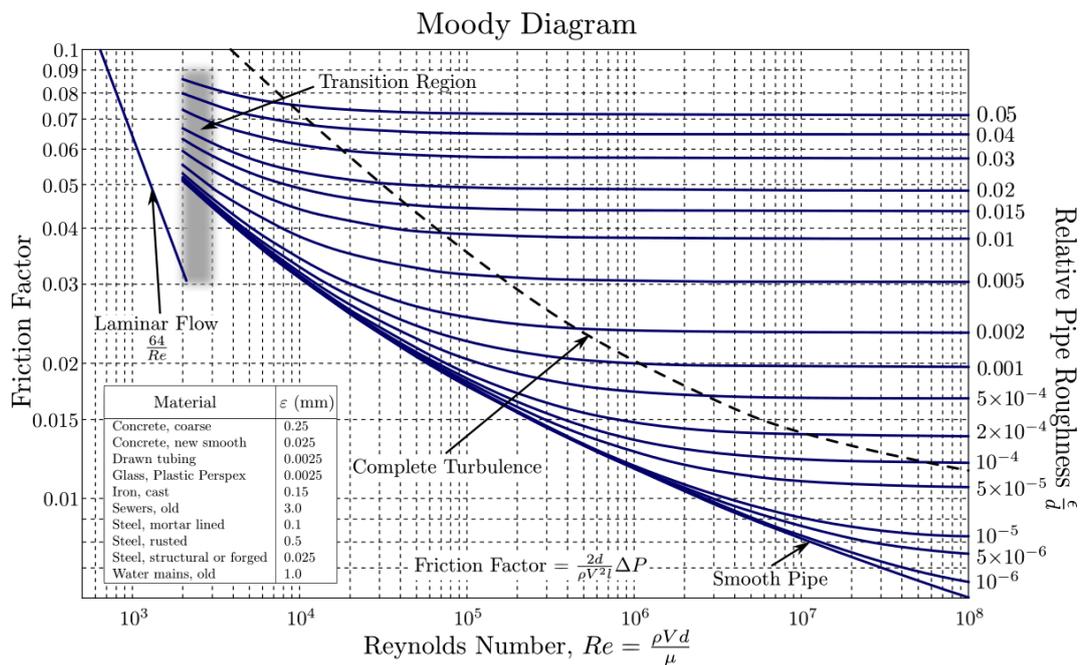
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \dots\dots\dots(2.14)$$

2. Pipa kasar

Tahanan pada pipa kasar lebih besar dari pada pipa halus, untuk pipa halus nilai f hanya tergantung pada angka Reynolds. Untuk pipa kasar nilai f tidak hanya tergantung angka Reynolds, tetapi juga pada sifat-sifat dinding pipa yaitu

kekasaran relatif k/D , atau $f = \frac{64}{Re}$ (dengan k = kekasaran dinding pipa, D = diameter pipa).

Nikuradse (dalam Triatmojo 1996 :36) melakukan percobaan tentang pengaruh kekasaran pipa. Percobaan tersebut meliputi daerah aliran laminar dan turbulen sampai pada angka Reynolds $Re = 6 \cdot 10^4$, dan untuk enam kali percobaan dengan nilai k/D (kekasaran relatif) yang bervariasi antara 0.0333 sampai 0.000985. Hasil percobaan merupakan hubungan antara f , Re , dan k/D seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. 8 Diagram Moody

Gambar (2.8) tersebut mempunyai empat daerah yaitu daerah pengaliran laminar, daerah kritis dimana nilainya tidak tetap karena pengaliran mungkin laminar atau turbulen, daerah transisi di mana f merupakan fungsi dari angka Reynolds dan kekasaran dinding pipa, dan daerah turbulen sempurna di mana nilai f tidak tergantung pada angka Reynolds tetapi hanya pada kekasaran relatif. Untuk menggunakan grafik tersebut, nilai k diperoleh dari table 2.2. Untuk pipa tua nilai f dapat jauh lebih besar dari pipa baru, yang tergantung pada umur pipa dan sifat zat cair yang dialirkan. Untuk pipa kecil, endapan atau kerak yang terjadi dapat mengurangi diameter pipa. Oleh Karena itu diperlukan kecermatan di dalam men estimasi nilai k dan juga f .

a. Kerugian pada bagian pemasukan

Untuk menghitung kehilangan energi pada bagian pemasukan digunakan persamaan:

$$h_0 = k_0 \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2. 15)$$

Dimana:

k_0 = Koefisien gesek pada mulut pemasukan

b. Kerugian karena sambungan

Untuk menghitung kerugian Head karena belokan digunakan rumus Fuller ditulis dalam bentuk persamaan:

$$h_b = f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2. 16)$$

Dimana f = koefisien kehilangan karena sambungan, seperti pada persamaan

c. Kerugian karena perubahan penampang

Untuk menghitung kerugian energi karena perubahan penampang digunakan persamaan:

$$h_c = k_c \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2. 17)$$

Dimana: k_c = koefisien perubahan penampang.

d. Kerugian pada lengkungan

Untuk lengkung sering dipakai rumus Fuller, dinyatakan sebagai berikut:

$$k = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,15} \right] \left[\frac{\phi}{90} \right]^{0,5} \dots\dots\dots(2. 18)$$

Dimana:

k = Koefisien kerugian lengkungan

R = Jari – jari belokan pipa (mm)

D = Diameter pipa (m)

ϕ = Sudut belokan (derajat)

2.2.7. Turbin

Turbin air adalah mesin konversi energi yang mengubah energi potensial (air) menjadi energi mekanik. Kemudian dari energi mekanik yang dihasilkan akan dimanfaatkan menjadi energi listrik oleh bantuan generator. Turbin air dalam sistem operasional pembangkit listrik tenaga air merupakan peralatan utama, sama halnya dengan generator. Fungsi utama dari turbin adalah mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air (*Head*) mendorong untuk berputarnya baling-baling (*blade*) pada turbin. Perputaran turbin kemudian dihubungkan menuju generator (He et al., 2019).

2.2.7.1. Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dapat dibedakan menjadi 2 (dua) menurut cara kerjanya, yaitu:

1. Turbin aksi (*Impuls*)

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (terdiri dari energi potensial, tekanan dan kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozzle. Air yang keluar dari nozzle mempunyai kecepatan tinggi, lalu membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya, roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin dengan tekanan sama, karena aliran air yang keluar dari nozzle tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi dari tempat tinggi dan bertekanan, ketika masuk ke sudu maka jalan turbin akan dirubah menjadi energi kecepatan.

Berikut merupakan adalah jenis klarifikasi dari turbin air dengan menggunakan cara kerja aksi (impuls):

A. Turbin peleton

Turbin peleton Turbin Pelton disebut juga turbin impuls atau turbin tekanan rata atau turbin pancaran bebas karena tekanan air keluar nozzle sama dengan tekanan atmosfer. Dalam instalasi turbin ini semua energi dirubah menjadi kecepatan keluar *nozzle*. Energi yang masuk ke dalam roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Ketika melewati roda turbin, energi

kinetik tadi dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi ada yang terlepas dan ada yang digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin.

Semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangential F yang bekerja pada sudu roda jalan. Kecepatan pancaran air dari *nozzle* adalah sebagai berikut: Ukuran-ukuran utama turbin peleton adalah diameter lingkaran sudu yang terkena pancaran air, disingkat diameter lingkaran pancar dan diameter pancaran air.

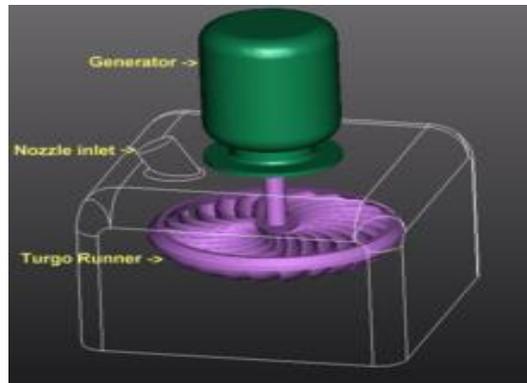
- a. Kelebihan turbin peleton antara lain:
- b. Daya yang dihasilkan besar
- c. Konstruksi yang sederhana
- d. Mudah dalam perawatan
- e. Teknologi yang sederhana dan mudah diterapkan didaerah terisolir.



Gambar 2. 9 Turbin Peleton
(Irawan, 2014)

B. Turbin Turgo

Turbin Turgo adalah salah satu jenis turbin yang digunakan pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga mikro hidro. Turbin Turgo dikembangkan pada tahun 1919 oleh Gilkes sebagai modifikasi turbin Pelton. Perbedaan utama antara turbin Pelton dan turbin Turgo adalah bentuk sudunya, bentuk sudu turbin Turgo adalah setengah dari bentuk sudu turbin Pelton dengan jumlah dan ukuran sudu yang sama. Turbin Turgo adalah salah satu jenis turbin impuls yang sering digunakan pada PLTMH yang memiliki tinggi jatuh (*head*) yang tinggi karena bentuk kelengkungan sudu yang tajam (Bono & Suwarti, 2019).



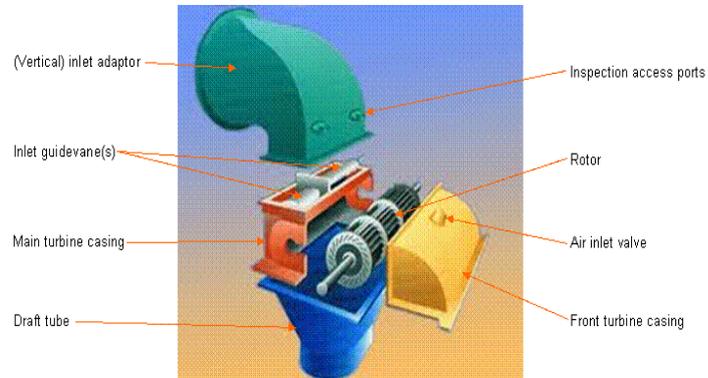
Gambar 2. 10 Turbin Turgo

C. Turbin *crossflow*

Turbin *Crossflow* Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *crossflow*. Turbin ini dapat dioperasikan dalam debit 20 liter/detik hingga 10 m³ /detik dan tekanan antara 1 s/d 200m.

Turbin *crossflow* menggunakan nozzle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi (lebih rendah saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin terbuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

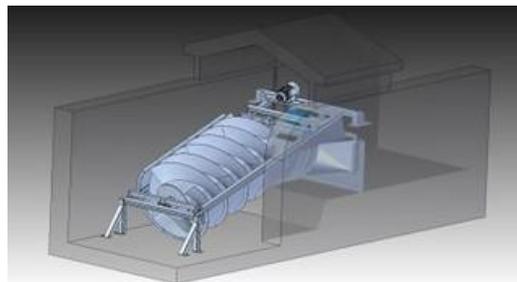
Turbin *crossflow* baik sekali digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang dari 750 kW. Pembuatan dan pemasangan konstruksi sangat sederhana dan biaya pembuatan murah



Gambar 2. 11 Turbin Crossflow

D. Turbin *Screw*

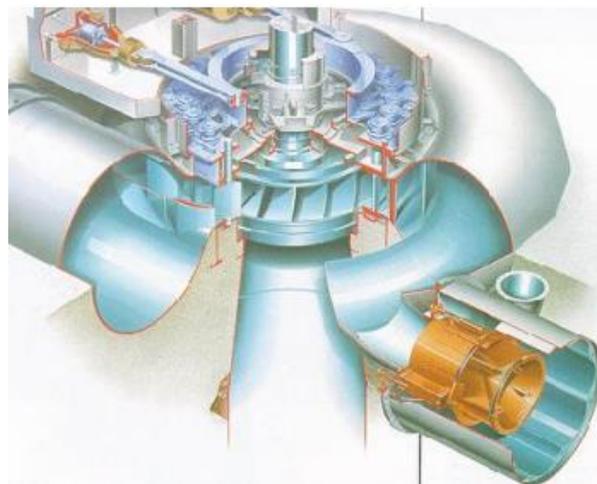
Turbin *screw* merupakan pembalikan dari fungsi pompa screw. Pompa screw sendiri ditemukan oleh seorang ilmuwan Yunani yaitu telah lebih dari 21 abad yang lalu dan sampai saat ini pompa ini masih dipakai. Pada awalnya Archimedes menciptakan pompa ini bertujuan untuk mengeluarkan air dari bagian dalam kapal. Kemudian Archimedes sendiri merancang ulang pompa ini untuk digunakan dalam menaikkan air dari sungai.



Gambar 2. 12 Turbin Screw

E. Turbin Francis

Turbin Francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Konstruksi turbin terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan, dan kedua sudu tersebut semuanya terendam di dalam aliran air. Air yang masuk ke dalam turbin dialirkan melalui pengisian air dari atas turbin atau melalui sebuah rumah yang berbentuk spiral (rumah siput). Pengaturan daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin Francis dapat dipasang dengan poros vertikal dan horizontal



Gambar 2. 13 Turbin Francis

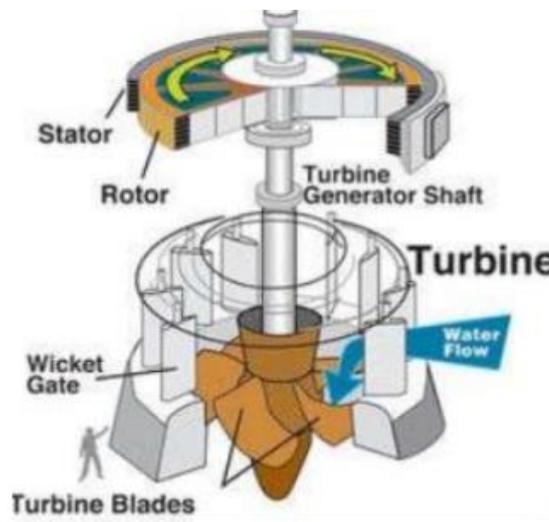
Pada sisi sebelah luar roda jalan terdapat tekanan kerendahan (kurang dari 1 atm) dan kecepatan aliran yang tinggi. Di dalam pipa isap kecepatan alirannya akan berkurang dan tekanannya akan kembali naik sehingga air bisa dialirkan keluar lewat saluran air dibawah dengan tekanan seperti keadaan sekitarnya. Pipa isap pada turbin ini mempunyai fungsi mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan.

Sekarang turbin Francis adalah yang paling banyak digunakan, karena tinggi air jatuh dan kapasitas yang paling sering sesuai dengan kebutuhannya. Dari hasil penggunaan dan penelitian terus menerus turbin Francis sekarang dapat digunakan untuk tinggi air jatuh sampai 700 meter dengan kapasitas air dan kecepatan putar roda yang sudah memenuhi harapan. Penentuan turbin Francis di dalam bangunan bawah

tanah yang baik dan menguntungkan untuk turbin air ini adalah bila tinggi permukaan air bawah sangat berubah-ubah. Efisiensi untuk turbin francis dengan beban penuh cukup baik, tetapi akan memburuk jika bebannya tidak penuh.

F. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan atau turbin propeller adalah turbin air, jenis baling-baling yang memiliki pisau atau sirip yang disesuaikan. Turbin ini dikombinasikan bilah baling-baling otomatis yang dapat disesuaikan dengan gerbang gawang otomatis yang juga dapat disesuaikan untuk dapat mencapai efisiensi melalui berbagai tingkat aliran air.



Gambar 2. 14 Turbin Kaplan

Turbin Kaplan ini merupakan evolusi dari turbin Francis. Penemuan yang memungkinkan produksi listrik yang efisien di negara tertentu yang memiliki head yang relatif rendah yang tidak mungkin diterapkan oleh turbin Francis.

Turbin Kaplan berkisar 2-20 meter dan output daya 5-120 MW. Diameter blade adalah antara 2 dan 8 meter. Kecepatan putar blade turbin adalah 79-429 rpm. Turbin Kaplan saat ini sudah banyak digunakan di seluruh dunia. Keuntungan turbin Kaplan dibandingkan dengan turbin Francis adalah kecepatan putarannya bisa dipilih lebih tinggi, dengan demikian roda turbin bisa di kopel langsung dengan generator dan ukurannya pun lebih kecil.

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

Turbin reaksi disebut juga dengan turbin tekanan lebih karena tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk ke roda turbin mempunyai energi penuh, kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air ke saluran pembuangan.

Berdasarkan arah alirannya, turbin dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu turbin aliran radial dan turbin aliran aksial.

- a. Turbin Aliran Radial Turbin aliran radial adalah turbin yang arah alirannya tegak lurus dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran radial digunakan untuk laju alir (aliran *working fluid*) rendah dan dengan perbedaan tekanan (*difference pressure*) tinggi.
- b. Turbin Aliran Aksial Turbin yang sejajar dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran aksial digunakan untuk laju alir tinggi dan dengan perbedaan tekanan rendah (1 – 40 bar). Axial-flow turbines kebanyakan digunakan dalam aplikasi yang melibatkan fluida *compressible*. Dalam banyak penggunaan, efisiensi Axial-flow turbines lebih tinggi dibandingkan *radial-inflow turbines*.

2.2.7.2. Daya Keluaran Turbin

Potensi daya keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga mikro hidro jika sistem ini menggunakan turbin air sebagai pembangkit listrik tenaga air maka dapat dihitung dengan cara matematis dengan persamaan sebagai berikut.

$$P = g \times \rho \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_{gm} \times \eta_g \dots \dots \dots (2.19)$$

$$P = g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_{gm} \times \eta_g \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan:

P = Daya (kW)

Q = Debit Aliran (m^3/s)

H = Head (m)

g = Gaya gravitasi 9,8 m/s

η_t = Efisiensi Turbin

η_{gm} = Efisiensi gear mekanik 95%

η_g = Efisiensi generator

2.2.8. Generator

Konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (*alternator*) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator sinkron dengan definisi sinkron nya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut (Iwanda et al., 2016). Putaran sinkron generator adalah sama dengan putaran turbin dikarenakan putaran turbin ditransmisikan langsung ke generator (Sany ardhy, meiki aru putra, 2020).



Gambar 2. 15 Generator

Berikut ini adalah beberapa jenis klasifikasi dari generator:

Jenis generator yang dibagi berdasarkan letak kutub nya:

- a. generator kutub dalam: generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang diletakkan pada bagian rotor.
- b. generator kutub luar: generator kutub luar mempunyai medan magnet yang diletakkan pada bagian stator

Jenis generator yang dibagi berdasarkan putaran medan:

- a. generator sinkron
- b. generator asinkron

Jenis generator yang dibagi berdasarkan jenis arus:

- a. generator arus searah (DC)
- b. generator arus bolak balik (AC)

Jenis generator yang dibagi berdasarkan fasanya:

- a. generator satu fasa
- b. generator tiga fasa

2.2.8.1. Klarifikasi Generator

1. Generator Arus Bolak-Balik

Generator sinkron adalah mesin pembangkit listrik yang mengubah energi mekanik sebagai input menjadi energi listrik sebagai energi output, menurut hukum Faraday, menjelaskan secara kuantitatif induksi tegangan oleh medan magnetik berubah waktu. Perubahan tenaga elektro magnetik terjadi pada saat perubahan fluks yang disebabkan oleh adanya gerakan mekanis. Pada mesin berputar, tegangan dibangkitkan oleh lilitan dan sekelompok putaran lilitan-lilitan tersebut secara mekanisme melalui suatu medan magnetik.

Pada generator *asinkron*/induksi yang patut kita catat bahwa secara konstruksi adalah motor induksi. Dimana rotor dari mesin ini tidak ada hubungan ke luar maka dari itu perlu adanya menyesuaikan secara rangkaian elektris. Apabila generator induksi yang terhubung ke jaringan tenaga listrik maka peran dari kapasitor dapat ditiadakan. Karena generator induksi akan menyerap daya reaktif dari jaringan sebagai sumber arus eksitasi.

2. Generator Arus Searah

Generator DC merupakan sebuah generator listrik yang mengubah dari energi mekanis menjadi energi listrik dimana generator DC menghasilkan arus searah. Generator DC dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari

rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker).
jenis generator DC yaitu:

1. Generator penguat terpisah.
2. Generator shunt
3. Generator kompon.

2.2.8.2. Konstruksi generator arus bolak-balik

Konstruksi generator AC lebih sederhana, selain generator sinkron ada juga generator asinkron (generator induksi) yang mempunyai konstruksi sama dengan motor-motor induksi. Bagian utama dari generator AC yaitu:

1. Rangkaian stator

Rangkaian stator di buat dari besi tuang. Rangkaian stator merupakan rumah dari bagian-bagian yang lain.

2. Stator

Stator bagian ini tersusun dari plat-plat, stator yang mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan motor. Lilitan ini berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL induksi.

3. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar. Pada motor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah melewati cincin geser dan sikat-sikat.

4. Slip ring atau cincin geser

Dibuat dari bahan Kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar Bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah slip ring ada dua buah masing-masing slip ring dapat menggeser sikat yang masing-masing merupakan sikat-sikat positif dan negatif, berguna mengalirkan arus penguat ke magnet lilitan magnet pada lilitan motor.

2.2.8.3. Daya keluaran generator

Daya pada generator merupakan hasil perkalian dari tinggi jatuh dan debit, sehingga berhasilnya suatu usaha pembangkitan tergantung dari usaha untuk

mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis. Selain itu pembangkitan tenaga air juga tergantung pada kondisi geografis, keadaan curah hujan dan area pengaliran. Penentuan tinggi jatuh efektif dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Maka dapat dihitung dengan cara matematis dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_g = Q \times H \times g \times \eta_p \times \eta_t \times \eta_g \dots\dots\dots (2. 21)$$

Dimana:

- P_g = Daya Generator (kW)
- Q = Debit Aliran (m^3/s)
- H = Head (m)
- g = Gaya gravitasi 9,8 m/s
- η_t = Efisiensi Turbin
- η_g = Efisiensi Generator
- η_p = Efisiensi Pipa

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Dan Waktu

3.1.1. Tempat

Penelitian analisa pengaruh sudut lengkungan *penstock* terhadap daya keluaran pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) ini dilaksanakan di Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul, Kecamatan Sinembah Tanjung Muda Hulu, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu 6 bulan yang dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian ini diawali dengan kajian awal (tinjauan Pustaka), Studi literatur, pengumpulan data yang diperlukan untuk penelitian, serta hasil penelitian dan terakhir kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada table berikut.

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian kegiatan	1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi literature						
3	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3						
4	Seminar Proposal						
5	Pengambilan data						
6	Perhitungan Analisa						
7	Penyelesaian penelitian						
8	Sidang						

3.2. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggaris busur

alat yang digunakan untuk mengukur sudut lengkungan pipa pesat (*penstock*) yang ada pada PLTMH Bintang Asih.

2. Meteran tanah 50 m

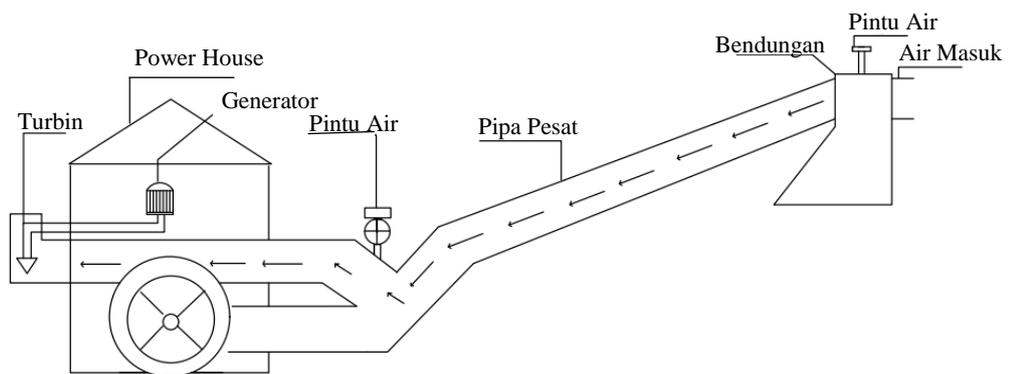
Alat yang digunakan untuk mengukur Panjang dan ketinggian pipa pesat (*penstock*).

3. Penggaris

Alat ini digunakan untuk mengukur ukuran diameter dari pipa pesat yang ada pada PLTMH Bintang Asih.

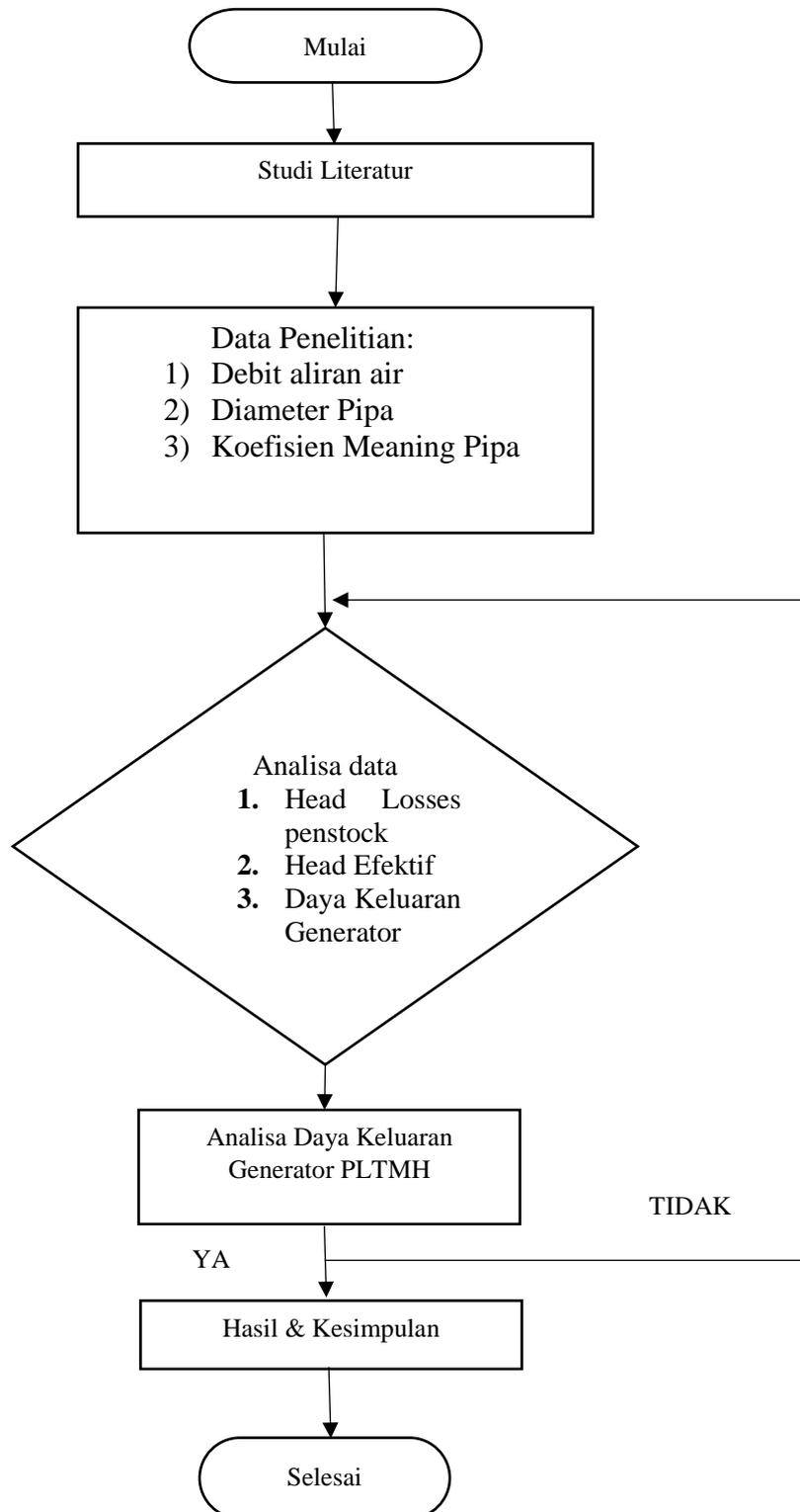
3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan gambaran desain pipa penstock yang ada pada PLTMH Bintang Asih yang akan digunakan untuk menghitung potensi daya generator pada PLTMH, Setelah studi literatur telah dilakukan maka akan didapatkan sudut lengkungan dan pipa pesat (*penstock*) .



Gambar 3. 1 Desain Pipa Penstok

3.4. Diagram alir penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.5. Langkah penelitian

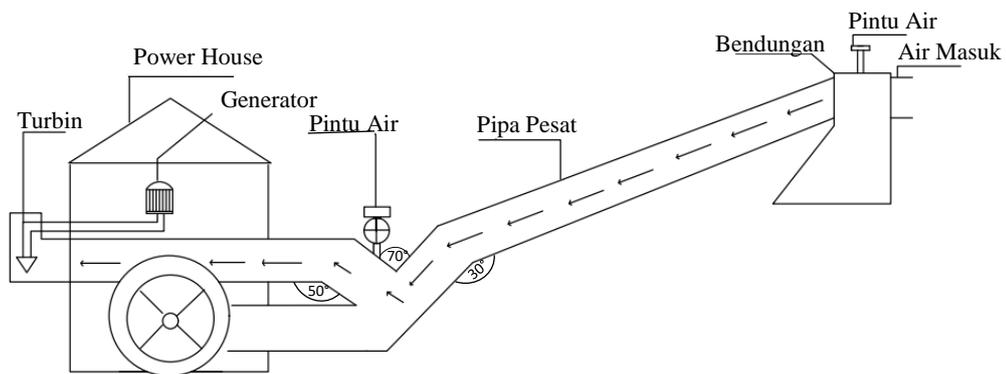
Langkah Penelitian Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan study literatur untuk menghitung Analisa pengaruh sudut lengkungan pipa penstock. Analisa ini dilakukan berdasarkan kriteria debit aliran dan *head* yang terdapat pada aliran sungai.
2. Setelah *literature* terkumpul dan data mengenai head tersedia dan debit aliran air didapatkan, maka akan menghitung dimensi pipa, kemudian mulai melakukan perhitungan- perhitungan untuk mengetahui losses energi dan debit efektif pada pipa di desain pertama. Dari hasil perhitungan losses energi dan debit efektif pipa ini akan dihitung *head efektif*, dengan cara mengurangi head tersedia atau debit tersedia dengan *head losses* baik dibelokkan maupun di sepanjang pipa dan kemudian akan dihitung perbandingan desain kedua dengan cara menghitung losses energi dan *head efektif* nya juga.
3. Setelah *head losses* dihitung, selanjutnya akan dihitung daya yang didapat dari keluaran generator. Daya keluaran generator ini disebut juga daya keluaran PLTMH
4. Setelah melakukan perhitungan maka peneliti akan melakukan perbandingan antara landasan teori dengan kondisi lapangan yang ada di PLTMH Bintang Asih.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

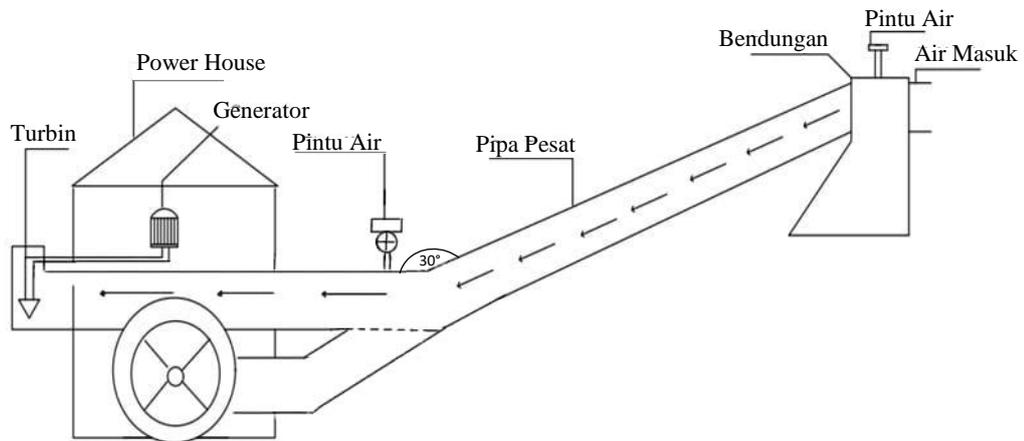
4.1. Kriteria Perencanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan data yang diambil dari penelitian sebelumnya dan data yang ada pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang ada di Sungai desa Bintang Asih pada saat ini. yang didapatkan pada penelitian ini meliputi head efektif dan head total pada pipa pesat PLTMH Bintang Asih yang mempunyai tiga lengkungan yang bersudut 30° , 70° dan 50° . Kemudian ditentukan potensi daya keluaran dari generator.



Gambar 4. 1 Desain Pipa penstok PLTMH Bintang Asih

Setelah didapatkan hasil penelitian pipa pesat PLTMH Bintang Asih pada saat ini maka akan di bandingkan oleh peneliti dengan desain pipa pesat yang hanya mempunyai satu sudut lengkungan saja.

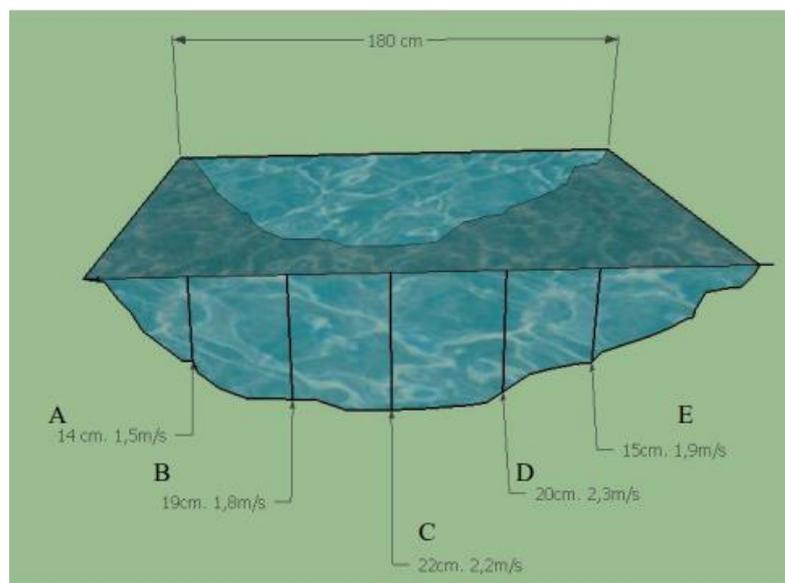


Gambar 4. 2 Rekomendasi Desain Pipa Penstok

4.2. Analisis Debit

Pada perhitungan debit air ini diambil perhitungan berdasarkan data yang sudah ada pada penelitian sebelumnya (Rimbawati, 2022). Dalam perhitungan tersebut sebelumnya yang harus dilakukan yaitu mengetahui nilai dari kecepatan air dan penampang basah nya terlebih dahulu.

4.2.1. Perhitungan Penampang Basah Sungai



Gambar 4. 3 Penampang Sungai

Pada gambar 4.3 menjelaskan bahwasanya luas penampang basah adalah jumlah luas dari lima kotak, dengan kedalamannya seperti yang dapat diukur di titik

D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , dan D_5 . Lebarnya tiap kotak adalah seperlima dari lebar saluran/sungai yang ada pada Bintang Asih. Untuk mengukur penampang basah sungai maka dapat dihitung dengan persamaan:

$$A = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{n} \times L$$

Kedalaman air sungai pada titik:

$$D_1 = 0,14 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,19 \text{ m}$$

$$D_3 = 0,22 \text{ m}$$

$$D_4 = 0,2 \text{ m}$$

$$D_5 = 0,19 \text{ m}$$

$$L = 1,8 \text{ m}$$

Maka penampang basahnya adalah:

$$A = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{n} \times L$$

$$A = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5} \times L$$

$$A = \frac{0,14 + 0,19 + 0,22 + 0,2 + 0,19}{5} \times 1,8$$

$$A = 0,188 \times 1,8$$

$$A = 0,3384 \text{ m}^2$$

4.2.2. Perhitungan Kecepatan Aliran Air

Dalam pencarian data kecepatan aliran air diambil 5 titik pengukuran dalam kecepatan aliran air sungai dengan titik kedalaman berbeda-beda, dan didapatkan datanya sebagai berikut:

$$V_1 = 1,5 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1,8 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 2,2 \text{ m/s}$$

$$V_4 = 2,3 \text{ m/s}$$

$$V_5 = 1,9 \text{ m/s}$$

Setelah mendapatkan hasil pengukuran kecepatan aliran di setiap titik kedalaman sungai, maka selanjutnya mencari rata-rata kecepatan aliran air yang ada pada sungai PLTMH Bintang Asih, sebagai berikut:

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{n}$$

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5}$$

$$V = \frac{1,5 + 1,8 + 2,2 + 2,3 + 1,9}{5}$$

$$V = 1,9 \text{ m/s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan kecepatan aliran air pada sungai PLTMH Bintang Asih adalah

Tabel 4. 1 Data Kecepatan Aliran Air

Titik pengukuran	Kedalaman air D(m)	Kecepatan aliran air V(m/s)
A	0,14	1,5
B	0,19	1,8
C	0,22	2,2
D	0,2	2,3
E	0,19	1,9
Rata-rata	0,188	1,9

4.2.3. Perhitungan Debit aliran

Setelah diperoleh penampang basah dan kecepatan rata-rata yang dihasilkan oleh sungai, maka selanjutnya adalah mencari debit aliran airnya. Untuk mencari debit aliran air, maka dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0,33384 \text{ m}^2 \times 1,9 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,642 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka nilai dari debit aliran sungai PLTMH Bintang Asih adalah $0,642 \text{ m}^3/\text{s}$ nilai tersebut yang akan digunakan dalam penelitian Analisa pengaruh sudut lengkungan *penstock* di PLTMH Bintang Asih.

Maka besar uraian yang diperoleh secara keseluruhan ditunjukkan pada tabel 4.2 adalah:

Tabel 4. 2 Data Sheet Penelitian Sebelumnya (Rimbawati, 2022)

No	Uraian	Bilangan	Satuan
1	A = (Luas Penampang Basah Sungai)	0,3384	m^2
2	V = (Kecepatan Aliran Air)	1,9	m/s
3	Q = (Debit Air)	0,642	m^3/s

4.3. Data Pipa penstock atau Pipa pesat

Pada pipa pesat yang ada pada PLTMH bintang asih terletak pada hilir sungai yang Panjang pipa sekitar 50 m. Pipa yang dipakai disana berjenis pipa pvc yang berukuran 10 inci yang mempunyai diameter 0,267 m dan pada penelitian disebutkan (Subagyo et al., 2016) bahwa koefisien kekasaran pada pipa pvc yaitu semakin besar kecepatan aliran semakin kecil pula koefisien kekasaran nya. Adapun data koefisien kekasaran pada penelitian ini adalah 0,00256.



Gambar 4. 4 Pipa Pesat PLTMH Bintang Asih

4.4. Perhitungan *Head losses* Pada Pipa Pesat

Dalam perhitungan sebuah kerugian head losses pada pipa pesat (*penstock*) di PLTMH Bintang Asih maka sebelum itu akan dihitung terlebih dahulu kecepatan aliran air yang terdapat pada pipa pesat (*penstock*) yang ada pada PLTMH Bintang Asih.

4.4.1. Perhitungan Kecepatan Aliran Air Dalam Pipa

Untuk kecepatan aliran air dalam pipa pesat dengan debit aliran air $Q = 0,642 m^3/s$ dapat dihitung dengan persamaan (2.1) :

$$V = \left(\frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2} \right)$$

$$V = \left(\frac{0,642 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,267^2} \right)$$

$$V = 11,4 \text{ m/s}^2$$

Setelah didapatkan hasil dari kecepatan aliran air dalam pipa pesat (*penstock*) yang ada pada PLTMH Bintang Asih, maka selanjutnya adalah mencari *losses mayor* yaitu kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa pesat (*penstock*) yang ada pada PLTMH Bintang Asih.

4.4.2. Perhitungan *Head Losses Mayor*

Untuk *head mayor losses* yaitu kehilangan energi akibat gesekan pipa dapat dihitung dengan persamaan (2.2) dan (2.10) :

$$H_{mayor} = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

$$H_{mayor} = 0,00256 \frac{50 \cdot 11,4^2}{0,267 \cdot 2 \cdot 9,8}$$

$$H_{mayor} = 0,00256 \frac{6498}{5,2}$$

$$H_{mayor} = 0,00256 \cdot 1249,61$$

$$H_{mayor} = 3,19 \text{ m}$$

Dalam perhitungan tersebut koefisien yang dipakai $f = 0,00256$ dengan bahan pipa pvc. Didapat disana nilai sebuah *head mayor losses* yang merupakan nilai kerugian akibat gesekan sepanjang pipa pesat (*penstock*) di PLTMH Bintang Asih sebesar 3,19 m.

4.2.3. Perhitungan *Head Minor Losses*

Dalam penelitian ini terdapat dua percobaan perhitungan yang meliputi dua desain pipa pesat (*penstock*). Desain pipa pesat (*penstock*) pertama yang merupakan pipa pesat (*penstock*) yang ada pada saat ini di PLTMH Bintang Asih, yang

mempunyai Panjang pipa sekitar 50 meter di hilir sungai Bintang Asih dan mempunyai ukuran pipa 10 inci yang berdiameter 0,267 m menggunakan bahan pipa pvc.

Dalam pipa pesat (*penstock*) yang terdapat di PLTMH Bintang Asih terdapat 3 lengkungan pipa yang meliputi 30° pada lengkungan pertama, 70° pada lengkungan kedua, dan lengkungan terakhir 50°. Kemudian akan dibandingkan dengan desain pipa pesat (*penstock*) yang akan di saran kan oleh peneliti yang mempunyai satu sudut lengkungan yaitu 30°.

a. Head Minor Losses Pada Desain Pertama

1. Pada sudut lengkungan 30°

Sebelum perhitungan kehilangan energi akibat lengkungan, maka langkah awal yang harus dihitung yaitu koefisien kerugian lengkungan nya dengan persamaan (2.18) berikut.

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2.R} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{\theta}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{0,267}{2 (0,55)} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{30}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = (0,144)(0,57)$$

$$K = 0,08$$

Maka kehilangan energi akibat lengkungan dapat dihitung dengan persamaan (2.13) berikut :

$$H_{Minor} = K \frac{V^2}{2. g}$$

$$H_{Minor} = 0,08 \frac{11,4^2}{2. 9,8}$$

$$H_{Minor} = 0,53 \text{ m}$$

Dalam perhitungan kerugian kehilangan energi pada lengkungan pipa pertama dengan sudut 30° didapatkan yaitu 0,53 m.

2. Pada sudut lengkungan 70°

Sebelum perhitungan kehilangan energi akibat lengkungan, maka langkah awal yang harus dihitung yaitu koefisien kerugian lengkungan nya dengan persamaan (2.18) berikut.

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2.R} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{\theta}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{0,267}{2 (0,55)} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{70}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = (0,144)(0,88)$$

$$K = 0,126$$

Maka kehilangan energi akibat lengkungan dapat dihitung dengan persamaan berikut (2.13) :

$$H_{Minor} = K \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{Minor} = 0,126 \frac{11,4^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$H_{Minor} = 0,8 \text{ m}$$

Dalam perhitungan kerugian kehilangan energi pada lengkungan pipa kedua dengan sudut 70° didapatkan yaitu 0,8 m.

3. Pada sudut lengkungan 50°

Sebelum perhitungan kehilangan energi akibat lengkungan, maka langkah awal yang harus dihitung yaitu koefisien kerugian lengkungan nya dengan persamaan (2.18).

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2.R} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{\theta}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{0,267}{2 (0,55)} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{50}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = (0,144)(0,75)$$

$$K = 0,108$$

Maka kehilangan energi akibat lengkungan dapat dihitung dengan persamaan berikut (2.13) :

$$H_{Minor} = K \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{Minor} = 0,108 \frac{11,4^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$H_{Minor} = 0,71 \text{ m}$$

Dalam perhitungan kerugian kehilangan energi pada lengkungan pipa kedua dengan sudut 50° didapatkan yaitu 0,71 m. Maka *head losses minor* total dari ketiga lengkungan dari pipa pesat (*penstock*) tersebut adalah:

$$H_{Minor} = \text{sudut lengkung } 30^\circ + \text{sudut lengkung } 70^\circ + \text{sudut lengkung } 50^\circ$$

$$H_{Minor} = 0,53 \text{ m} + 0,8 \text{ m} + 0,71 \text{ m}$$

$$H_{Minor} = 2,04 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan perhitungan dari *head mayor losses* dan *head minor losses* maka langkah selanjutnya menentukan kehilangan total dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{total} = H_{Mayor} + H_{Minor}$$

$$H_{total} = 3,19 \text{ m} + 2,04 \text{ m}$$

$$H_{total} = 5,23 \text{ m}$$

Jadi tinggi jatuh air efektif yang tersedia dengan tinggi total 7,73 m dapat dihitung dengan persamaan:

$$H_{efektif} = H - H_{total}$$

$$H_{efektif} = 7,73 \text{ m} - 5,23 \text{ m}$$

$$H_{efektif} = 2,5 \text{ m}$$

b. Head Minor Losses Pada Desain Kedua

Pada desain kedua ini hanya memiliki satu sudut lengkungan yang merupakan sudut lengkungan 30° . Sebelum perhitungan kehilangan energi akibat lengkungan, maka langkah awal yang harus dihitung yaitu koefisien kerugian lengkungan nya dengan persamaan (2.18) berikut.

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2.R} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{\theta}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{0,267}{2 (0,55)} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{30}{90} \right]^{0,5}$$

$$K = (0,144)(0,57)$$

$$K = 0,08$$

Maka kehilangan energi akibat lengkungan dapat dihitung dengan persamaan berikut (2.13) :

$$H_{Minor} = K \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{Minor} = 0,08 \frac{11,4^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$H_{Minor} = 0,53 \text{ m}$$

Dalam perhitungan kerugian kehilangan energi pada lengkungan pipa dengan sudut 30° didapatkan yaitu 0,70 m. Selanjutnya menentukan kehilangan total dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{total} = H_{Mayor} + H_{Minor}$$

$$H_{total} = 3,19 \text{ m} + 0,53 \text{ m}$$

$$H_{total} = 3,72 \text{ m}$$

Jadi tinggi jatuh air efektif yang tersedia dengan tinggi total 7,73 m dapat dihitung dengan persamaan:

$$H_{efektif} = H - H_{total}$$

$$H_{efektif} = 7,73 \text{ m} - 3,72 \text{ m}$$

$$H_{efektif} = 4,01 \text{ m}$$

4.5. Analisa Daya Keluaran PLTMH

Daya yang dapat diproduksi oleh PLTMH sangat bergantung kepada jumlah debit air yang tersedia. Pada PLTMH Bintang Asih Sungai Sumbul Desa Rumah Sumbul, Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang mempunyai kapasitas air

sebesar 0,642 m³ /s karena dimana ada air mengalir dengan debit air 250 liter/detik maka disitu akan ada energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di sungai Sumbul Desa Rumah Sumbul, Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang daya yang dihasilkan ini nantinya akan memenuhi 1 dusun yang memiliki 22 rumah dan di dalamnya memiliki 25 kepala keluarga.

Pada daya mekanik (*transmisi*) memiliki fungsi untuk memutar generator. Adapun yang digunakan terdiri dari *set-pulley*, *bearing*, *set-kopling*, dan *set-belt*. Dan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di sungai Sumbul Desa Rumah Sumbul, Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang ini memiliki spesifikasi komponen sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Komponen PLTMH

URAIAN	BILANGAN	SATUAN
G (Gravitasi)	9,8	m/s
Q (Debit Air)	0,642	m ³ /s
H ₁ (Tinggi Efektif)	2,5	Meter
H ₂ (Tinggi Efektif)	4,01	Meter
η _P = (Efisiensi Pipa)	9,8	
η _T = (Efisiensi Turbin)	75%	
η _G = (Efisiensi Generator)	70%-80%	

1. Analisa Daya Keluaran Pada Generator

Antara turbin dan generator terdapat perangkat sistem set-belt mekanik yang saling terhubung satu sama lain di dalamnya, dan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini menggunakan generator AC sebesar < 10 KVA jadi mempunyai efisiensi berkisar 70% sampai 80%. Pada perhitungan ini diasumsikan efisiensinya adalah sebesar 75%. Sistem set-belt mekanik serta puli yang terhubung satu sama lain antara generator dan turbin air masing-masing nilainya sebesar 90%. Sehingga daya output yang dapat dihasilkan pada generator adalah sebesar:

a. Desain pertama

$$P_g = Q \times H \times g \times \eta_p \times \eta_t \times \eta_g$$

$$P_g = 0,642 \times 2,5 \times 9,8 \times 0,9 \times 0,75 \times 0,7$$

$$P_g = 7,43 \text{ kw}$$

b. Desain kedua

$$P_g = Q \times H \times g \times \eta_p \times \eta_t \times \eta_g$$

$$P_g = 0,642 \times 4,01 \times 9,8 \times 0,9 \times 0,75 \times 0,7$$

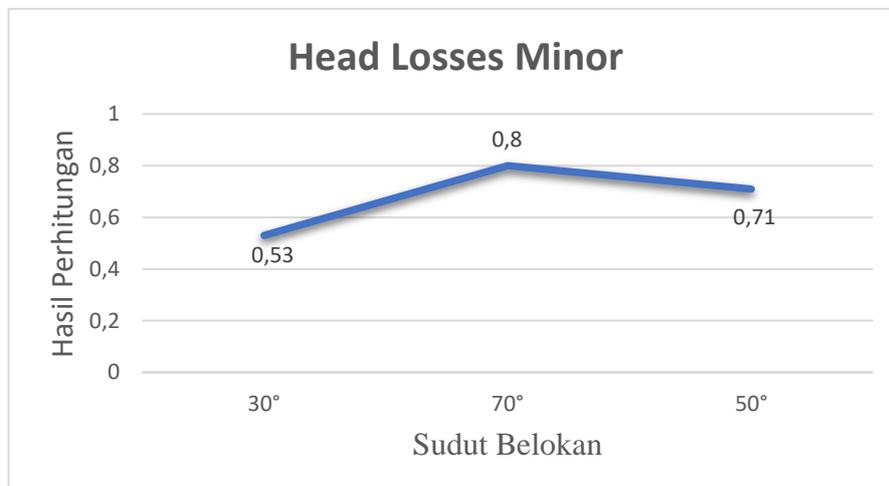
$$P_g = 11,9 \text{ kw}$$

Dengan kata lain, daya output yang dikeluarkan oleh generator pada desain pipa pesat (*penstock*) pertama adalah sebesar 7,43 KW dan daya output generator pada desain pipa pesat (*penstock*) kedua ini adalah sebesar 11,9 KW akan didistribusikan ke setiap rumah mengingat di Desa Rumah Sumbul mempunyai sekitar 22 rumah.

4.6. Hasil Analisa Perbandingan

4.6.1. Hasil Analisa Head Losses

Pada analisa didapatkan data perhitungan yang merupakan hasil perbandingan pada desain pipa pesat (*penstock*) pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) Bintang Asih dengan desain pipa pesat yang mempunyai sudut lengkungan yang lebih sedikit.



Gambar 4. 5 Pengaruh Sudut Lengkungan Terhadap *Head Losses Minor*

Kehilangan energi akibat sudut lengkungan pipa pesat akan sangat berpengaruh karena banyaknya lengkungan pada suatu pipa pesat akan berpengaruh besar pada daya yang akan dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) terutama pada generator yang dipakai oleh pembangkit tersebut. Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwasanya semakin besar sudut

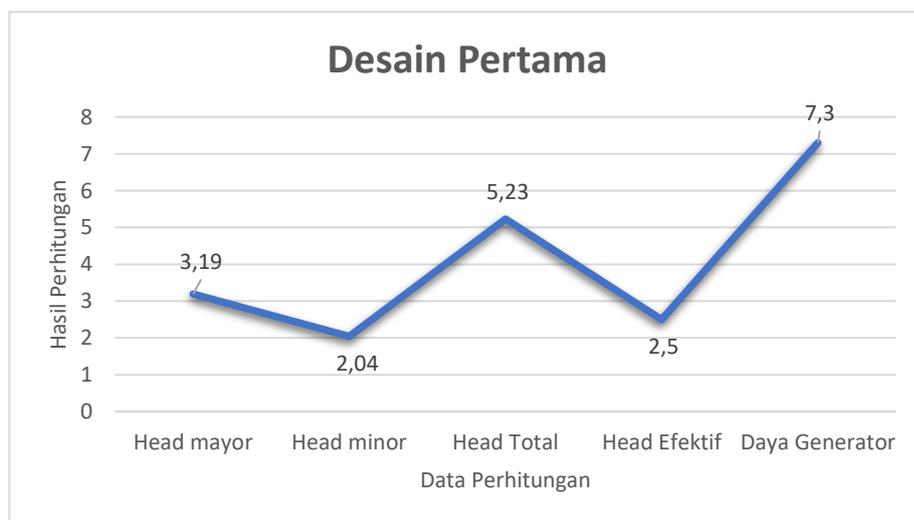
lengkungan yang ada pada pipa pesat maka akan semakin besar kehilangan energi yang akan dihasilkan.

Pada tabel 4.3 berikut ini menjelaskan hasil perhitungan dari Analisa pengaruh sudut lengkungan penstock terhadap daya keluaran pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PTMH) Bintang Asih:

Tabel 4. 4 Data Perhitungan Hasil Percobaan

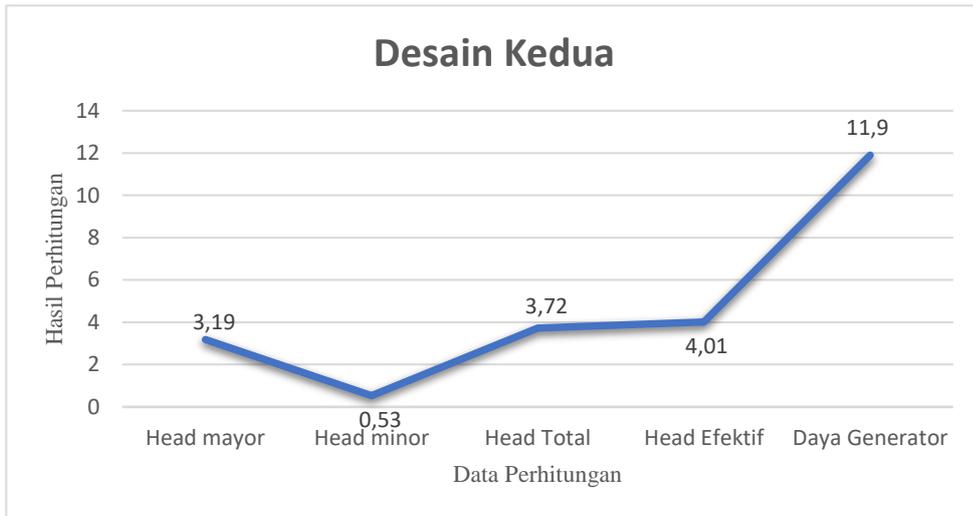
No	Data Perhitungan	Desain Pertama	Desain Kedua
		1	H_{Mayor}
2	H_{Minor}	2,04 m	0,53 m
3	H_{total}	5,23 m	3,72 m
4	$H_{efektif}$	2,5 m	4,01 m
5	Daya generator (P_g)	7,3 KW	11,9 KW

Pada Tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa hasil dari data perhitungan hasil percobaan menunjukkan semakin besar nilai dari *Head efektif* dari sebuah pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) maka semakin besar daya yang dihasilkan generator tersebut.



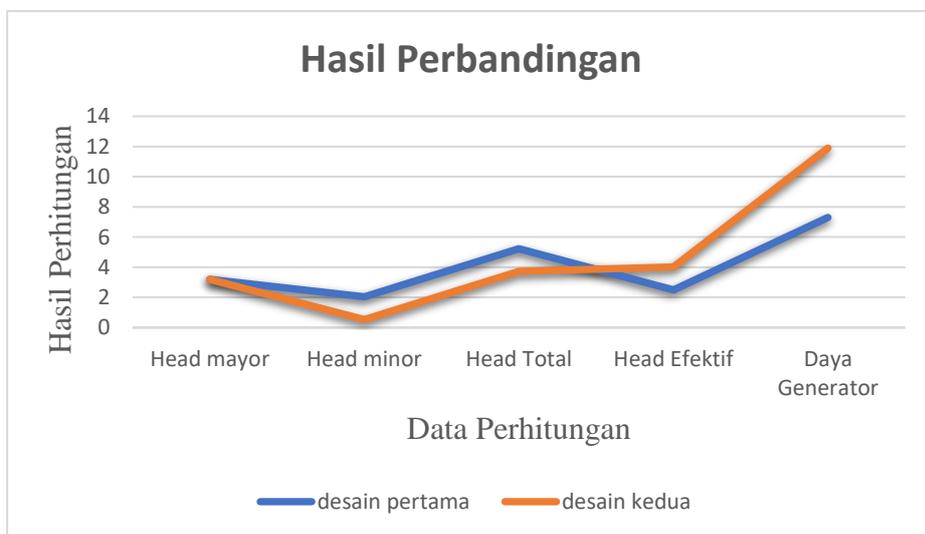
Gambar 4. 6 Grafik hasil desain pertama

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan hasil penelitian dari desain pipa pesat (*penstock*) pertama yang merupakan desain pipa pesat (*penstock*) yang ada pada Pembangkit Listrik Tenaga mikro hidro (PLTMH) Bintang Asih.



Gambar 4. 7 Grafik hasil desain kedua

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan hasil penelitian pada desain pipa pesat (*penstock*) kedua yang merupakan desain perbandingan yang mempunyai satu lengkungan saja.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Perbandingan

Gambar 4.7 merupakan grafik yang memperlihatkan hasil perbandingan *head losses* dari kedua desain.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di PLTMH Bintang Asih Desa Rumah Sumbul Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan head total pada penelitian ini yaitu membandingkan antara 2 desain, desain pertama merupakan desain pipa pesat (*penstock*) yang ada pada PLTMH Bintang Asih saat ini yang memiliki 3 sudut lengkungan yang nilai sudutnya meliputi 30° , 70° , dan 50° . Jadi hasil head minor nya akan dijumlahkan antara 3 sudut belokan tersebut, desain kedua yang hanya memiliki satu sudut lengkungan yang nilai sudutnya yaitu 30° yang akan ditentukan juga head minor nya. Pada desain pertama didapatkan nilai *Head efektif* yaitu sebesar 2,5 m. Pada desain kedua didapatkan nilai *Head efektif* yaitu sebesar 4,01 m.
2. Perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini dengan hasil *Head efektif* yang diperoleh dari kedua desain yang ada dan nilai efisiensi dapat mengetahui besar nilai daya keluaran generator. Dalam perhitungan daya keluaran generator pada desain pipa pesat (*penstock*) pertama di peroleh nilai daya sebesar 7,43 kW. Pada perhitungan daya keluaran generator desain pipa pesat (*penstock*) kedua di peroleh nilai daya sebesar 11,9 kW.
3. Dari hasil perbandingan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa banyaknya lengkungan yang ada di *penstock* sangat berpengaruh terhadap daya keluaran generator PLTMH.

5.2. Saran

Dalam penentuan jalur pipa sangat berpengaruh pada lengkungan pipa dan kondisi tanah juga mempengaruhi penempatannya, jadi pipa yang dipasang sangat efisien dan maksimal dalam penyaluran air ke rumah turbin. Maka dari itu perencanaan pada jalur pipa sangat perlu diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. T. (2022). Studi Eksperimental Kecepatan Aliran Slurry pada Saluran Tertutup. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 25(1), 48–58.
<https://doi.org/10.25042/jpe.052021.06>
- Bono, B., & Suwarti, S. (2019). Variasi Jumlah Sudu Dan Modifikasi Bentuk Nosel Pada Turbin Turgo Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Eksergi*, 15(2), 81. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i2.1510>
- Dhiva Pratama, A., Hidayah, E., & Utami Agung Wiyono, R. (2021). Penentuan Desain Optimum Penstock untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Poreng, Jember. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(1), 71–80.
<https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.01.07>
- Doda, N., & Mohammad, H. (2018). Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Kabupaten Bone Bolango. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1), 1.
<https://doi.org/10.32662/gojise.v1i1.134>
- Eka Putra, I., Sulaiman, S., & Galsha, A. (2017). *Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC*. 34–39.
<https://doi.org/10.21063/pimimd4.2017.34-39>
- He, I. N. T., Ejawar, R. I. K., & Anyumas, V. I. B. (2019). *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Aliran Sungai Desa Kejawar Banyumas*. 15(1), 11–24.
- Hutasuhut, A. A. (2019). *peningkatan kapasitas daya listrik paa pembangkit listrik tenaga mikro hidro bintang asih guna memenuhi kebutuhan penerangan*. 24(4), 909–917.
- Ikrar Hanggara dan Harvi Irvani. (2017). Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Reka Buana*, 2(2), 149–155.
- Irawan, D. (2014). Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro Di Lampung. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(1), 1–6.
<https://doi.org/10.24127/trb.v3i1.17>
- Iwanda, P. S., Syafriyudin, S., & Pambudi, P. E. (2016). Perencanaan Generator Axial Fluks Magnet Permanen Jenis Neodyiums (NdFeB) Tanpa Inti Stator Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Elektrikal*, 3(2), 23–30.
<https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2536>
- Likadja, F., Sampeallo, A. S., & Amaral, C. R. D. N. R. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Memanfaatkan Outlet Kondensor Pltu Ii Ntt Di Desa Bolok Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang. *Jurnal Media Elektro*, VIII(2), 155–163.
<https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.1858>

- Luthfie, A. A. (2017). Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Cfd). *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 41.
<https://doi.org/10.22441/jtm.v6i1.1336>
- Nurnawaty, & Sumardi. (2020). Analisis perubahan tinggi tekanan akibat sudut belokan 90° dan 45° dengan menggunakan fluid friction apparatus. *Jurnal Teknik Hidro*, 13(1), 28–37.
- Ointu, S. (2020). *Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berdasarkan Potensi Air yang Ada di Desa Pinogu*. 2, 30–38.
- Pallu, M. S., & Bakri, B. (2020). *Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh Terhadap Kehilangan Energi pada Jaringan Perpipaan*. 24(2), 164–174.
<https://doi.org/10.25042/jpe.112020.09>
- Press, A. I., Putra, B. D., Munadi, R., Walidainy, H., Meutia, E. D., Irhamsyah, M., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Kuala, U. S., Aceh, B., & Artikel, I. (2019). Analisa Pengaruh Sudut Belokan Penstok Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Ilmiah Setrum*, 8(1), 134–143.
- Rahayu, P., Putri, D. K., & Indriyani, N. (2021). Pengaruh Diameter Pipa Pada Aliran Fluida Terhadap Nilai Head Loss. *Jurnal Agitasi*, 2(2), 2776–513.
- Rimbawati. (2022). *Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan:(Mikrohidro di Rumah Sumbul)*.
<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=RJJaEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=beban+setimbang&ots=OdrurBI6w&sig=2Y9ydMR3gpMgjnPeeY16dLTX9F0>
- Rimbawati, & Yusniati. (2019). Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Modul Deep Sea Elektronik 3110 Pada PLTMH Bintang Asih. *Journal of Electrical Technology*, 4(1), 1–8.
- Sany ardhy, meiki aru putra, islahuddin. (2020). *Rancang bangun prototype turbin pembangkit listrik tenaga mini hidro (pltmh) di nagari koto gaek guguk, solok*. 3(1).
- Saputro, E., & Harahap, P. (2021). Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 62–70. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- Siregar, I., Tranggono, A., & Salim, A. (2021). *Analisa Perbandingan Kerugian Aliran (Losses) pada Pipa Jenis HDPE dan Galvanis (Studi Eksperimen)*. 6(2), 1–4.
- Subagyo, R., Wardana, I. N. G., S.W, A., & Siswanto, E. (2016). Pengaruh Diameter Gelembung Hidrogen Terhadap Penurunan Tekanan (Pressure Drop) Pada Saluran Tertutup Segi-Empat. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri (Seniati)*, 1, 1–7.

- Subandono, A. (2013). Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh). *ADITYA - Pendidikan Bahasa Dan Sastra Jawa*, 10(4), 1–13.
- Sudibyo, H. (2018). *PROSIDING SNIPS 2018 Perhitungan Head Losses Pada Pipa Penstock Turbin Propeller*.
- Susilo, E. J., Dharma, U. S., & Irawan, D. (2021). Pengaruh viskositas bahan bakar terhadap karakteristik aliran fluida pada pompa sentrifugal. *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 2(1), 27–32. <https://doi.org/10.24127/armatur.v2i1.740>
- Syahputra, D., Mesin, J. T., & Industri, F. T. (2017). *Analisa distribusi kapasitas aliran fluida di daerah percabangan pada sistem perpipaan*. 3, 7–11.
- Waspodo, W. (2017). Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/doi.org/10.29406>
- Wicaksono, F. A., Subekti, S., & Indriyanto, K. (2021). *Analisis pengaruh penyumbatan aliran fluida pada pipa dengan*. 6(April), 77–83.
- Zainudin, Z., Adi Sayoga, I. M., & Nuarsa, M. (2012). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(2), 75–83. <https://doi.org/10.29303/d.v2i2.97>

LAMPIRAN



Gambar 1. Proses Pengambilan Data sudut lengkungan 50°



Gambar 2. Proses Pengambilan Data sudut lengkungan 30°



Gambar 3. Proses Pengambilan Data sudut lengkungan 70°



Gambar 4. Proses Pengambilan Data Ketinggian (*Head*)

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisa Pengaruh Sudut Lengkungan Penstok Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bintang Asih

Nama : Yudhi Ardana
NPM : 1807220076

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Jumat/04-03-2022	Revisi Bab 1 Latar Belakang	my.
2.	Kamis/17-03-2022	Revisi Bab 1 Tambah: tujuan penelitian Rumusan masalah Ruang lingkup	my.
3.	Rabu/23-03-2022	Revisi Bab 2 Penambahan Tinjauan Pustaka	my.
4.	Sabtu/26-03-2022	Revisi Bab 2 Tambah: Landasan teori gambar	my.
5.	sebesa/05-04-2022	Revisi Bab 3 Desain gambar	my.
6.	kamis/07-04-2022	Revisi Bab 3 Flow chart Diagram	my.
7.	sabtu/09-04-2022	Att seminar proposal 9/4/2022	my.

Dosen Pembimbing

Rimbawati, S.T., M.T.

Gambar 5. Lembar Asistensi Seminar Proposal

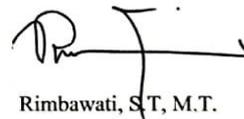
LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisa Pengaruh Sudut Lengkungan Penstock Terhadap Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Bintang Asih

Nama : Yudhi Ardana
NPM : 1807220076

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	01/08/2022	Revisi Citation Jurnal!	Ry.
2.	4/08/2022	Revisi tujuan penelitian!	Ry.
3.	11/08/2022	Revisi tabel & gambar	Ry.
4.	19/08/2022	kerangka penulisan	Ry.
5.	26/08/2022	Revisi Bab IV 4.1 dan 4.2	Ry.
6.	2/09/2022	Revisi Bab V kesimpulan	Ry.
7.	10/09/2022	Atas Seminar Hasil 10/9/2022	R. J.

Dosen Pembimbing


Rimbawati, S.T., M.T.

Gambar 6. Lembar Asistensi Seminar Hasil

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisa Pengaruh Studi Lengkungan Penstock Terhadap Daya Keluaran
Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bintang Asih

Nama : Yudhi Ardana
NPM : 1807220076

No	Hari/Tanggal	Kegiatam	Paraf
1.	21/g 2022	Refleksi seminar Hasil	mf.
2.	23/g 2022	Perbaikan TA Keseluruhan	mf.
3.	26/g 2022	Diskusi persiapan sidang sarjana	mf.
		Acc sidang Tugas Akhir 27/g 2022	mf.

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T.

Gambar 7. Lembar Asistensi Sidang Tugas Akhir

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : YUDHI ARDANA

NPM : 1807220076

Tempat/Tanggal Lahir : Medan/09 September 2000

Alamat : Jalan Rawe IV Lingkungan 6 Kelurahan Tangkahan Kec.
Medan Labuhan

RIWAYAT PENDIDIKAN

TK MIS ANNUR : Tahun 2005 - 2006

SD MIS ANNUR : Tahun 2006 - 2012

SMP NEGERI 25 MEDAN : Tahun 2012 - 2015

SMA SWASTA PAB 1 HELVETIA : Tahun 2015 - 2018

Universitas Muhammadiyah : Tahun 2018 - 2022

Sumatera Utara, Fakultas

Teknik Elektro