

**ANALISA TURBIN AIR PENGGERAK GENERATOR LISTRIK
PADA PLTA SIPANSIHAPORAS UNIT 1
DENGAN DAYA MAMPU 33 MW**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana*

Oleh:

**RAHMAD AL-HIDAYAT PUTRA
NIM: 08.813.0013**



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2010**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)3/1/24

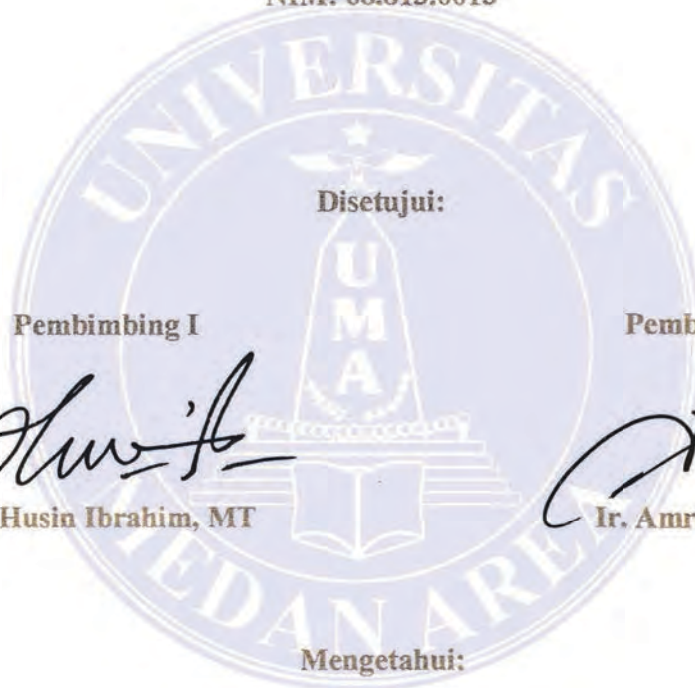
**ANALISA TURBIN AIR PENGGERAK GENERATOR LISTRIK
PADA PLTA SIPANSIHAPORAS UNIT 1
DENGAN DAYA MAMPU 33 MW**



TUGAS AKHIR

Oleh:

**RAHMAD AL-HIDAYAT PUTRA
NIM: 08.813.0013**



Disetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Husin Ibrahim, MT

Ir. Amrinsyah, MM

Mengetahui:

Ir. Hj. Haniza, MT

Pelaksana Dekan

Ir. Amru Siregar, MT

Ka. Program Studi

ABSTRAK

Pada saat ini system kelistrikan yang ada pada Negara Indonesia masih kekurangan daya (deficit power), maka di cari potensi-potensi energi yang membutuhkan biaya operasional yang murah. Stasiun Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang memerlukan biaya operasional yang relative murah dan sangat mungkin untuk dikembangkan di Negara-negara dengan sumber air yang tersebar luas, misalnya Indonesia. Untuk melaksanakan pembangunan PLTA diperlukan suatu perencanaan yang matang sehingga perlu disurvei tentang potensi sungai dan kondisi di suatu daerah tersebut.

Studi awal perencanaan bagian-bagian PLTA dari segi mekanikal dan kelistrikan meliputi, turbin, powerhouse, generator dari PLTA yang direncanakan. merupakan pembangkit listrik tenaga air tipe kolam cascade dengan konstruksi regulating Dam dari pertemuan tiga aliran anak sungai yakni Paramaan, Aek Natolbak dan Aek Bargot. Luas genangan air untuk Regulating Dam yakni 18,4 Ha dengan kapasitas tampung air sebesar 2.288 juta m^3 , dengan kapasitas yang direncanakan 33 (MW) untuk unit 1 dan 17 (MW) untuk unit 2.

ABSTRACT

At this time the electrical system in the State of Indonesia still lacks the power (power deficit), then in the search for potential energy which require cheap operational costs. Hydroelectric Power Station (Hydroelectric) is one form of alternative energy that require relatively low operating costs and is likely to be developed in countries with vast water resources, such as Indonesia. To carry out the construction of hydropower need careful planning so that necessary surveyed about the potential of rivers and conditions in an area.

Preliminary studies of hydropower planning in terms of mechanical and electrical covers, turbine, power plant, from hydroelectric generators planned. is the type of pool with cascade hydropower dam construction set from the confluence of three rivers which flow Paramaan, Aek Natolbak and Aek Barget. large pool of water to Regulate Dam is 18.4 ha with a water capacity of 2.288 billion m², with a planned capacity of 33 (MW) for units 1 and 17 (MW) for unit 2.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, atas berkat dan karunia yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini dengan judul ***"Analisa Turbin Air Penggerak Generator Listrik Pada PLTA Sipansihaporas Unit 1 Dengan Daya Mampu 33 MW"***.

Tulisan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan yang harus ditempuh untuk menyelesaikan studi jenjang S1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin di Universitas Medan Area.

Dalam penyusunan tulisan ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material, spiritual, informasi, maupun administrasi. Oleh karena itu, sudah selayaknya penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Hj. Siti Mariani Harahap, Ketua Yayasan Pendidikan Haji Agus Salim
2. Bapak Prof. DR. A. Ya'kub Matondang, MA rektor Universitas Medan Area.
3. Ibu Ir. Hj. Haniza, MT, Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. Amru Siregar, MT, Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
5. Bapak Ir. Husin Ibrahim, MT selaku Pembimbing I yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. Amrinsyah, MM selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang sangat bermanfaat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Ir. Amirsyam, MT yang telah banyak membantu penulis dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Dosen-dosen Universitas Medan Area Jurusan Teknik Mesin yang telah menyalurkan ilmunya kepada penulis.
9. Seluruh Staff dan karyawan Universitas Medan Area. Terutama bang Dedi dan Kak Tris yang telah banyak membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini.
10. Ayahanda dan Ibunda serta keluarga yang sangat penulis cintai yang telah banyak memberikan bantuan moril, materil dan doa serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan pengetahuan dan pikiran yang penulis miliki, untuk itu dengan hati yang terbuka penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun yang dapat meningkatkan kemampuan penulis dalam pembuatan karya tulis lainnya dimasa yang datang.

Semoga dengan usaha yang sudah penulis lakukan ini dapat memberi manfaat sebagai sumbangan pikiran dalam usaha peningkatan mutu pendidikan.

Medan, Oktober 2010
Penulis

Rahmad Al-Hidayat Putra



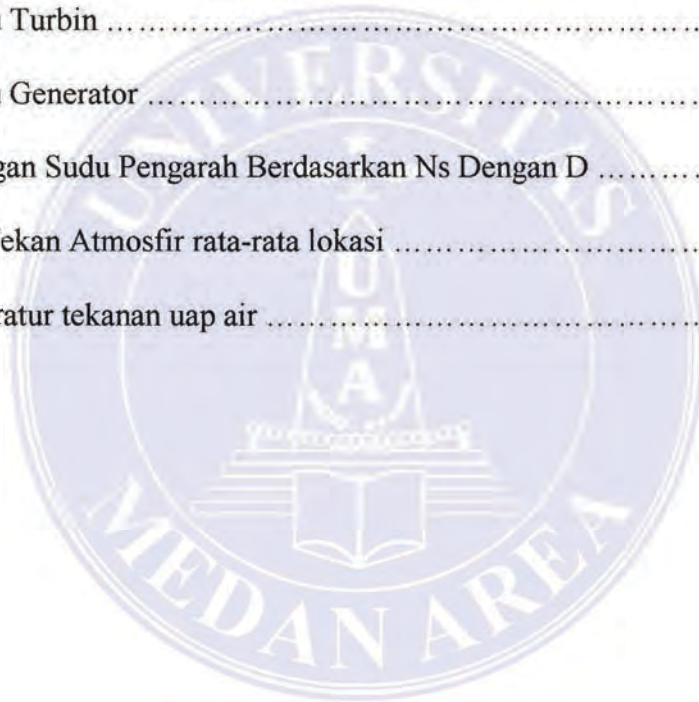
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Nama Gambar	Halaman
2.1	Proses Perubahan Energi	5
2.2	Proses Perubahan Energi Potensial	6
2.3	Prinsip Kerja PLTA	7
2.4	Konversi Energi Elektromagnet	8
2.5	Potongan Generator dan bagian-bagiannya	9
2.6	Potongan generator dan bagian-bagiannya	10
2.7	Prinsip Kerja Generator	11
2.8	Prinsip Kerja Eksitasi	12
2.9	Turbin Pelton	15
2.10	Konstruksi Turbin Reaksi	17
2.11	Turbin Prancis	18
2.12	Komponen Utama PLTA	18
2.13	Spillway	19
2.14	Intake	20
2.15	Konstruksi intake gate	20
2.16	Intake valve type butterfly	21
2.17	Letak headrace tunnel	21
2.18	Surge tank	22
2.19	Pipa pesat (penstock)	22
2.20	Model gedung sentral (power house)	23

2.21	Bendungan tail race	24
4.1	Skema instalasi perencanaan pipa pesat (penstock)	28
4.2	Skema Perencanaan Profil PLTA	30
4.3	Diagram Moody	34
4.4	Jenis-jenis surge tank	46
5.1	Grafik Spesifik dan ratio	56
5.2	Bentuk runner turbin Prancis	57
5.3	Turbin Aliran Radial Luar (Out Ward Flow Turbin)	61
5.4	Segitiga kecepatan turbin aliran luar (out Ward Flow Turbin) ..	61
5.5	Turbin Aliran Radial Dalam (In Ward Flow Turbin)	62
5.6	Segitiga kecepatan turbin aliran dalam (In Ward Flow Turbin)	62
5.7	Segitiga Kecepatan Sisi Masuk Runner	64
5.8	Segitiga Kecepatan Sisi Luar Runner	65
5.9	Penampang Sadu Pengarah	67
5.10	Rumah turbin	71
5.11	Penentuan Hs	74
5.12	Jenis-jenis pipa lepas	76
5.13	Penampang straight tube	77
5.14	Perencanaan poros turbin air	80
5.15	Kopling Flens Tempa	81
6.1	Governor	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul Tabel	Halaman
4.1	Dimensi Pipa Pesat	29
4.2	Perubahan Perbandingan Kecepatan Dan Koefisien Pada Setiap Diameter Pipa Instalasi	31
4.3	Harga Koefisien Tahanan Pipa Pada Berbagai Macam Fitting	35
4.4	Koefisien Kerugian Elbow	39
5.1	Putaran Turbin	48
5.2	Putaran Generator	49
5.3	Hubungan Sudu Pengarah Berdasarkan Ns Dengan D	58
5.4	Tinggi Tekan Atmosfir rata-rata lokasi	75
5.5	Temperatur tekanan uap air	75



DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	I
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR ISI	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Perencanaan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Manfaat Tugas Akhir	2
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Umum	4
2.2 Macam-Macam Energi	4
2.3 Perubahan Energi pada PLTA	5
2.4 Energi Potensial	6
2.5 Prinsip Kerja PLTA	7
2.6 Konversi Energi Elektromekanik	8
2.7 Generator	9
2.8 Eksitasi	10
2.9 Turbin	13
2.10 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Air	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
4.1. Tahap Persiapan	25
3.2 Studi Literatur	25
3.3 Tinjauan Lapangan	25
3.4 Pengajuan proposal	26

3.5	Seminar	26
3.6	Pengumpulan Data	26
3.7	Analisa Perhitungan	27
3.8	Sidang	27
3.9	Penyelesaian Laporan	27
BAB IV PERENCANAAN INSTALASI		
4.1	Perencanaan Pipa Pesat	28
4.2	Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Pada Saluran Pengantar Atas (Head Race Pipa)	32
4.3	Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Pada Pipa Pesat (Penstock)	36
4.4	Analisa Water Hammer (Pukulan Air).....	42
4.5	Tangki Peredam Gelombang (Surge Tank).....	45
BAB IV PEMILIHAN JENIS TURBIN		
5.1	Putaran Turbin	47
5.2	Putaran Generator.....	48
5.3	Daya Turbin	49
5.4	Putaran Spesifik Turbin	50
5.5	Analisa Pemilihan Posisi Poros Turbin	51
5.6	Pemilihan Rumah Turbin	52
5.7	Daya dan Putaran Generator	53
5.8	Purtaran Liar (Runway Speed)	54
5.9	Sudu Gerak (Runner)	55
5.10	Perhitungan Segi Tiga Kecepatan Pada Sisi Masuk Sudu Gerak	60
5.11	Perhitungan Segi Tiga Kecepatan Pada Sisi Keluar Sudu Gerak	64
5.12	Sudut Pengarah (Guide Vanes).....	66
5.13	Rumah Turbin (Scroll Casing)	67
5.14	Kavitasi dan Pipa Lepas (Draft Tube).....	72
5.15	Poros Turbin	78
5.16	Kopling	81

BAB VI SISTEM PENGATURAN TURBIN DAN PELUMAS

6.1 Sistem Pengaturan Turbin	82
6.2 Pelumasan	86

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena penambahan penduduk, Pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Sedangkan energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama ketersediaannya sangat terbatas dan terus mengalami deplesi (menipis). Proses alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil ini.

Kelangkaan sumber energi pada saat ini dan mahalnya harga BBM mengakibatkan biaya operasional pembangkitan semakin tinggi. Sebagai contoh PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) karena harga BBM yang mahal, mengakibatkan biaya operasional energi yang besar sehingga diharapkan perlu adanya sumber energi listrik alternatif yang hemat dan memerlukan biaya operasional yang kecil. Dengan sumber daya alam yang ada disekitar kita diharapkan mampu menghasilkan sumber energi listrik yang baru dan efisien. Salah satu pembangkit tenaga listrik yang efisien dan efektif adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Krisis energi yang melanda Indonesia, khususnya energi listrik telah memaksa berbagai pihak untuk mencari solusi dalam mengatasi persoalan ini. Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif selain dari minyak bumi dan batubara. Pemanfaatan energi matahari, angin dan air sudah banyak dilakukan baik dalam skala kecil maupun besar. Salah satu yang sedang populer adalah pemanfaatan

tenaga air dan angin. Pembangkit listrik yang berupa kincir angin dan kincir air dimana air dan angin digunakan sebagai sumber primer untuk pembangkitan energi listrik. Kedua jenis kincir ini pastilah membutuhkan generator.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini di maksudkan untuk menganalisa turbin generator yang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 33 MW di PLTA Sipansihaporas.

1.3. Batasan Masalah

Dalam perancangan tugas akhir ini penulis menitik beratkan beberapa topik pembahasan antara lain :

1. Pemilihan turbin yang sesuai.
2. Perencanaan bagian-bagian utama turbin.
3. System pengaturan daya turbin.

Pada perancangan ini hanya meliputi spesifikasi dan bentuk konstruksinya saja tidak termasuk estimasi biaya.

1.4. Manfaat Tugas Akhir

Tugas Akhir ini diharapkan mempunyai beberapa manfaat antara lain :

1. Manfaat bagi penulis sendiri untuk menambah pengalaman dan pengetahuan penulis tentang Turbin Generator.
2. Sebagai tambahan ilmu pengetahuan dari sebuah penelitian langsung di lapangan.

3. Untuk dapat mengaplikasikan ilmu yang selama ini di dapat di perkuliahan yang nantinya sebagai modal pengetahuan dalam dunia kerja.
4. Sebagai bahan pertimbangan bagi pembaca atau mahasiswa dan untuk informasi jika ingin membahas masalah yang sama.
5. Dapat dijadikan referensi untuk kalangan lain yang membutuhkan.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah suatu sistem peralatan atau mesin yang dapat merubah energi potensial menjadi energi gerak (mekanik dalam bentuk rotasi) dan melalui rotor dari generator akan diubah menjadi energi listrik pada stator generator. Untuk mendapatkan daya tertentu dari turbin sangat tergantung dari tinggi jatuh air dan debit air. Seperti diketahui, bahwa dunia ini ada beberapa macam pembangkit listrik yang masing-masing diberi nama sesuai dengan sistem penggerakannya atau nama bahan bakar yang dipakai Pusat Pembangkit Listrik yang ada:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Air
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
- c. Pembangkit Listrik Tenaga Termal Batu Bara
- d. Pembangkit Listrik Tenaga Termal Minyak
- e. Pembangkit Listrik Tenaga Gas
- f. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
- g. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
- h. Pembangkit Listrik Tenaga Surya
- i. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

2.2. Macam-Macam Energi

Berbagai macam sumber energi di dunia ini setelah dikonversi dapat dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak suatu mesin. Tetapi sebagai sumber utama sudah tentu adalah

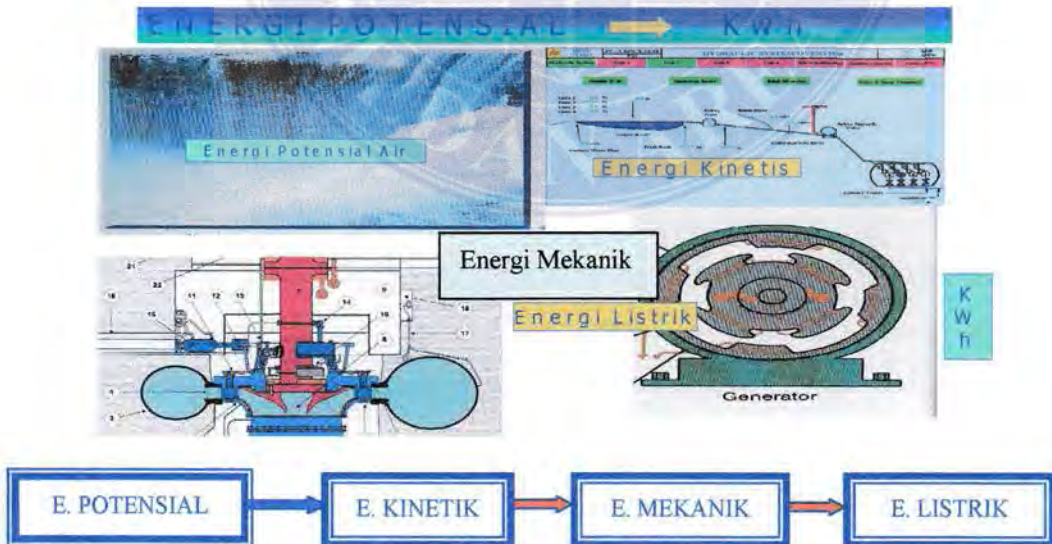
matahari. Matahari sebagai sumber energi inti karena seluruh perubahan bentuk yang terjadi karena panas dari sinar matahari. Macam-macam Sumber energi yang dipakai :

- a. Matahari
- b. Air
- c. Gas Alam
- d. Panas Bumi
- e. Minyak (Residu, solar)
- f. Batu bara
- g. Nuklir
- h. Angin

Dan masih banyak lagi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

2.3. Perubahan Energi Pada PLTA

Energi yang terkandung dalam suatu fluida ialah energi potensial, dalam proses aliran di dalam pipa energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik, di dalam turbin energi kinetik air berubah menjadi energi mekanik. Energi mekanik dayanya diteruskan lewat poros generator sehingga berubah menjadi energi listrik.

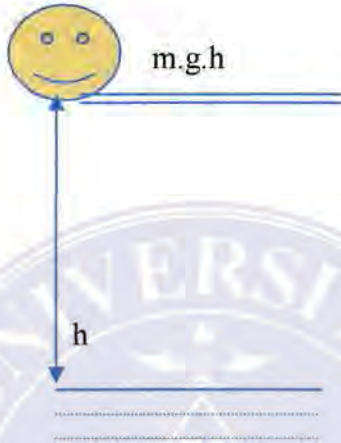


Gambar 2.1 Proses perubahan energi

2.4. Energi Potensial

Air merupakan energi potensial berdasarkan perbedaan ketinggian / kedudukannya. Untuk menentukan energi potensial dapat diperoleh dengan menyesuaikan kondisi air tersebut dan yang perlu diperhatikan adalah ;

- Jumlah air yang tersedia
- Ketinggian hidrolis dari air yang ada.



Gambar 2.2 Proses perubahan energi potensial

Gambar 2.2 Pada peristiwa benda jatuh terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Jika benda jatuh dari ketinggian tertentu, kecepatan awalnya nol. Makin mendekati permukaan tanah, kecepatan benda jatuh makin besar. Kecepatan maksimal benda jatuh adalah saat menyentuh permukaan tanah. Besar kecepatan maksimal tersebut bergantung pada ketinggian benda dari permukaan tanah.

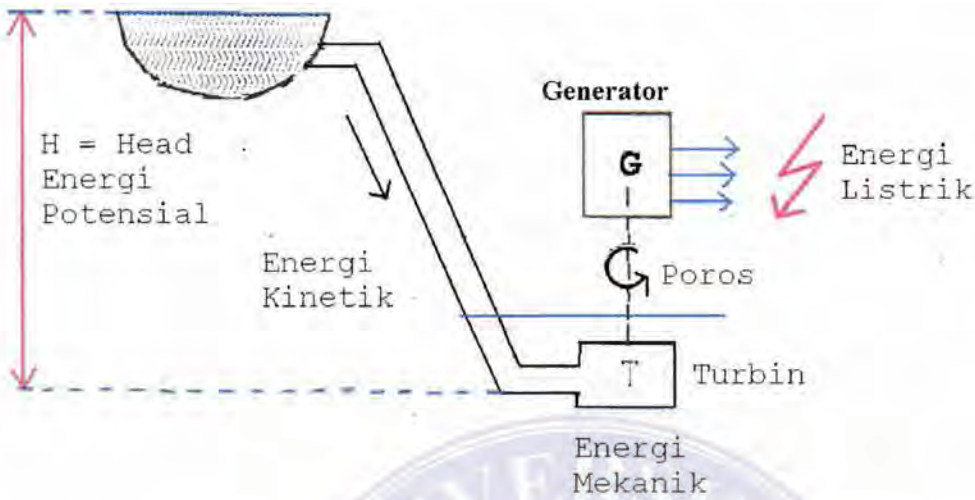
a. Energi Mekanik

Yaitu energi yang menggerakkan poros dengan perantara sudu jalan dalam rumah turbin. Energi potensial air dengan melalui injector atau casing atau saluran, mendorong sudu jalan yang selanjutnya memutar poros turbin.

b. Energi Listrik

Energi listrik terjadi karena perbedaan medan magnet di generator yang disebabkan oleh poros turbin.

2.5. Prinsip Kerja PLTA



Gambar 2.3 Prinsip kerja PLTA

Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pusat pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi potensial air (energi gravitasi air) menjadi energi listrik. Mesin penggerak yang digunakan adalah turbin air untuk mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis poros yang akan memutar rotor generator untuk menghasilkan energi listrik.

Air sebagai bahan baku PLTA dapat diperoleh dari sungai secara langsung disalurkan untuk memutar turbin, atau dengan cara ditampung dahulu (bersama-sama air hujan) dengan menggunakan kolam tando atau waduk sebelum disalurkan untuk memutar turbin. Untuk mencari ketinggian dari *head* ataupun debit air yang dibutuhkan dengan daya yang diinginkan digunakan persamaan 2.1 yaitu :

$$P = \eta \times \rho \times g \times h \times q \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

P = Daya (J/s or Watts)

η = efisiensi turbin

ρ = massa jenis air (Kg/m^3)

g = percepatan gravitasi ($9.81 m/s^2$)

h = *head* (m). Untuk air tenang, ada perbedaan berat antara permukaan masuk dan keluar. Perpindahan air memerlukan komponen tambahan untuk ditambahkan untuk mendapatkan aliran energi kinetik. Total head dikalikan tekanan head ditambah kecepatan head.

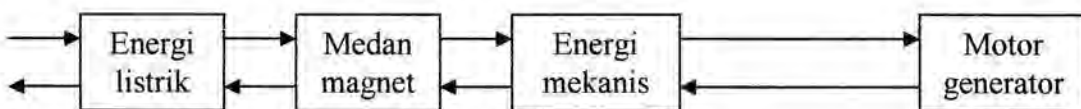
q = aliran rata-rata (m^3/s)

Untuk mempermudah dalam memahami cara kerja dari generator pikohidro maka perlu di pelajari dasar teori dari beberapa komponen yang digunakan pada tugas akhir ini.

2.6. Konversi Energi Elektromekanik

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet.

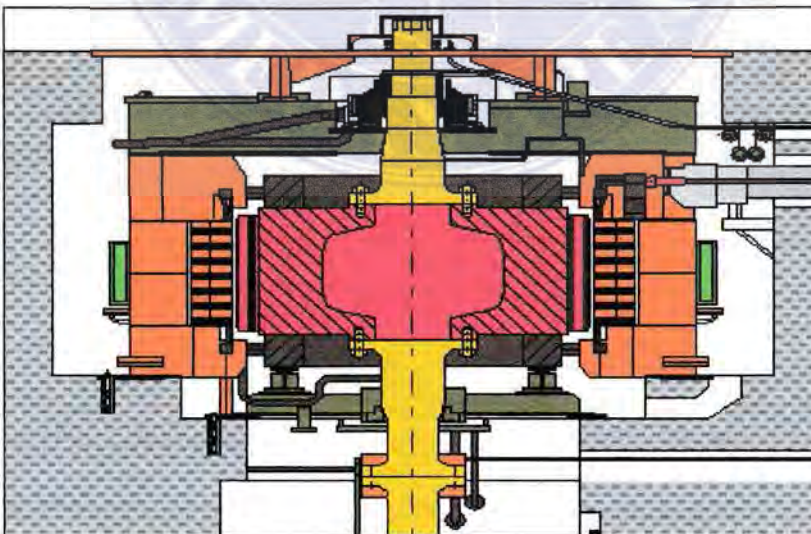
Energi yang ditimbulkan akan diubah dari satu ke lain sistem, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi. Konfersi energi elektromagnet dapat di lihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Konversi Energi Elektromagnet

2.7. Generator

Baterai dan generator merupakan sumber daya untuk mensuplai arus keperalatan listrik, agar dapat beroperasi. Baterai mensuplai arus keperalatan seperti pada sistem lampu senter, radio portable, dan lampu mobil. Untuk mengoperasikan peralatan-peralatan tersebut hanya dibutuhkan arus yang kecil, akan tetapi setiap saat baterai harus diisi kembali agar dapat bekerja secara kontinyu. Pada peralatan lain seperti lampu listrik dan motor-motor listrik yang besar, untuk mengoperasikannya dibutuhkan arus lebih besar dan tegangan lebih tinggi dari baterai. Tipe peralatan seperti ini dioperasikan oleh mesin-mesin listrik yang dinamakan generator. Generator merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator terdiri dari medan magnet atau magnet buatan yang berputar menghasilkan *flux* (rotor), dan kawat belitan (stator) yang dipotong oleh medan magnet. Flux tersebut akan membangkitkan gaya gerak listrik (ggl) yang menghasilkan tegangan listrik sebagai *output* generator. Gambar 2.5. memperlihatkan susunan suatu generator berukuran besar yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air.

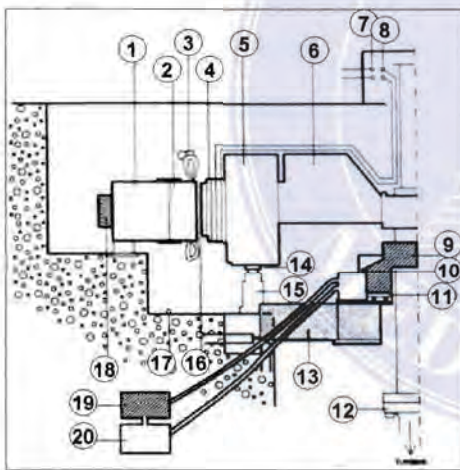


Gambar 2.5. Potongan generator dan bagian-bagiannya

Generator terdiri dari beberapa bagian utama (Gambar 2.6) antara lain:

1. Stator, bagian generator yang tidak bergerak dan terdiri dari rangka besi cor atau baja, inti magnetik berlapis dan *winding armature*.
2. Rotor, bagian generator yang bergerak/berputar yang mempunyai jenis *salient-pole* dengan *winding* mengelilingi kutub-kutub medan yang berada pada sekeliling inti yang berlapis.
3. *Exciter*, alat yang mengaktifkan medan magnet buatan sehingga generator dapat menghasilkan gaya gerak listrik.
4. Poros, yang terhubung dengan turbin yang dapat memutar rotor generator.

Kopling, adalah bagian poros yang dipasang untuk menghubungkan turbin dengan generator.



Keterangan gambar:

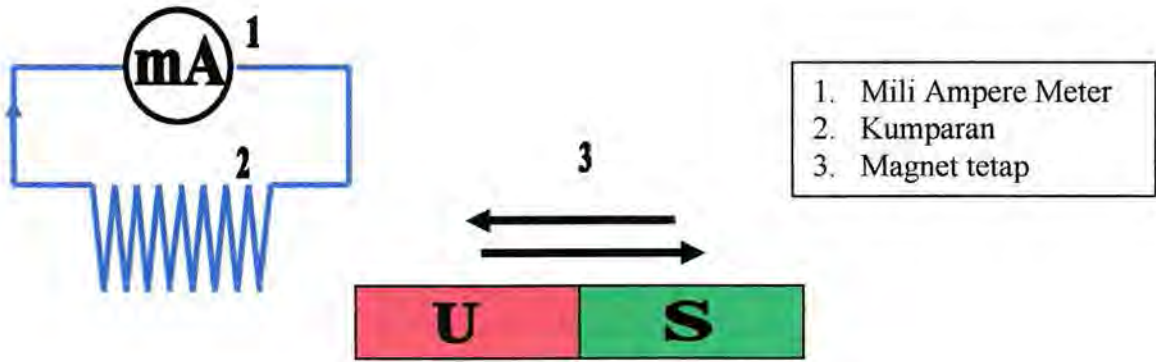
- | | |
|---------|-----------------------------------|
| 1,2 | <i>stator</i> |
| 3 | <i>winding</i> |
| 4,5,6 | <i>rotor</i> |
| 7,8 | <i>exciter</i> |
| 9,10,11 | <i>thrust & upper bearing</i> |
| 12 | <i>coupling</i> |
| 13 | <i>lower bracket</i> |
| 14, 15 | <i>jack & brake</i> |
| 16 | <i>generator air gap</i> |
| 17 | <i>generator floor</i> |
| 18 | <i>air cooler</i> |
| 19, 20 | <i>sump oil tank</i> |

Gambar 2.6. Potongan generator dan bagian-bagiannya

2.8. Eksitasi

Generator merupakan alat untuk mengubah daya poros turbin menjadi energi listrik.

Prinsip kerja generator secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.7. Prinsip kerja generator

Generator bekerja berdasarkan induksi magnet. Pengaruh magnet tetap terhadap kumparan dalam sirkuit tertutup menimbulkan arus, arus ini disebut “arus induksi”.

Pengaruh tersebut dapat dilakukan dengan :

- Menggerakkan magnet tetap terhadap kumparan
- Menggerakkan kumparan terhadap magnet tetap

Faktor penentu besar kecilnya gaya gerak listrik (ggl) yang dihasilkan yakni:

1. Kecepatan konduktor memotong medan magnet.

Besarnya tegangan akan bertambah sejalan dengan bertambahnya kecepatan konduktor memotong medan magnet

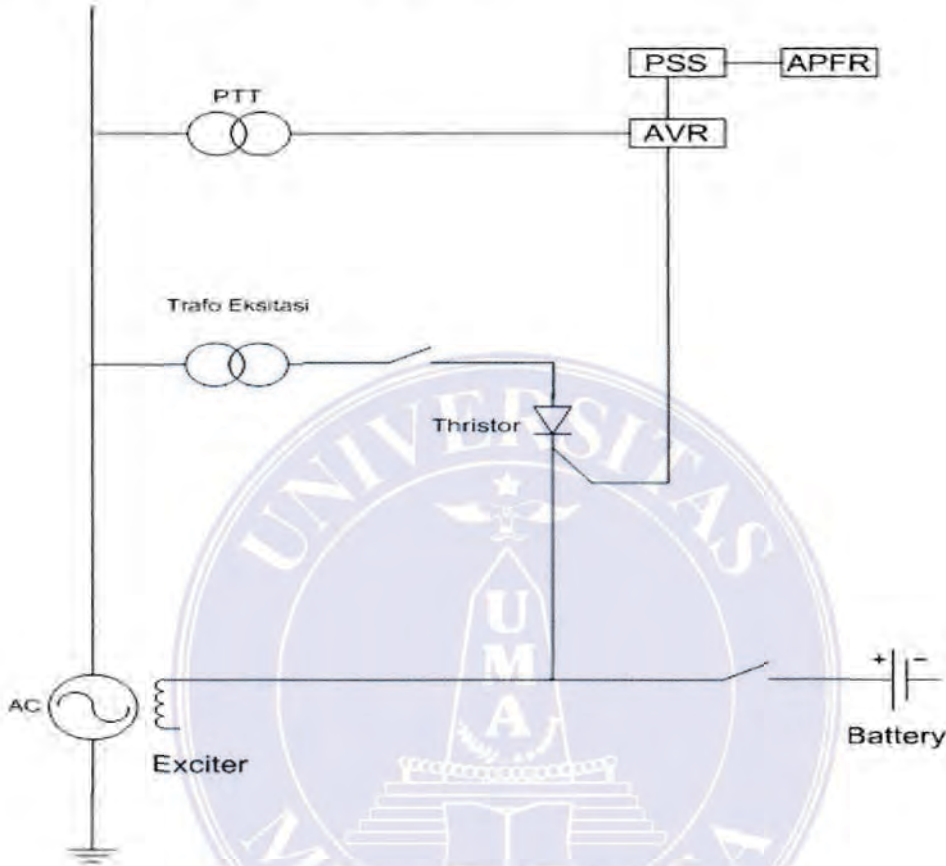
2. Kuat medan magnet

Penambahan kuat medan magnetnya akan menghasilkan suatu tegangan yang lebih tinggi.

3. Jumlah lilitan konduktor

Terjadinya pertambahan jumlah lilitan konduktor dimana kekuatan medan magnet dan kecepatan konduktor yang memotong medan magnet tersebut tetap maka akan menaikkan output tegangan.

Untuk menghasilkan tegangan dari generator, maka terlebih dahulu generator diberi tegangan penguat. Tegangan penguat inilah yang dinamakan tegangan eksitasi. Prinsip kerja dari tegangan penguat (eksitasi) ini yakni:



Gambar 2.8. Prinsip kerja eksitasi

Pada generator, rotor diputar oleh turbin. Pada saat rotor berputar maka arus eksitasi di supply dari sumber eksternal yakni baterai, sehingga pada rotor timbul medan magnet. Magnet tersebut berputar seiring dengan putaran turbin dan akan menginduksikan tegangan ke stator sehingga menghasilkan GGL. Setelah generator menghasilkan tegangan maka supply dari baterai akan putus. Tegangan out put generator akan masuk ke trafo tegangan dan trafo eksitasi. Melalui trafo tegangan ini AVR selalu dapat mendeteksi berapa tegangan keluaran dari generator. Tegangan ini kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan yang

disetting untuk generator. Berdasarkan inilah nantinya AVR akan memberitahukan system eksitasi untuk menaikkan atau menurunkan arus eksitasi.

Pada gambar diatas, eksitasi menggunakan penyearah dengan bahan semi konduktor. Sehingga tegangan yang keluar dari generator dapat disearahkan. Tegangan yang keluar dari semi konduktor tersebut dapat diatur besarnya, karena itu semikonduktor ini disebut penyearah terkendali. Besar tegangan keluar dari penyearah terkendali ini tergantung pada sudut pemucu dari terminal gatenya. Untuk itu, pada system ini kerja out put AVR adalah mengatur besar sudut picu atau penyalaan dari penyearah terkendali ini. Sinyal terminal gate pada penyearah terkendali ini merupakan sinyal implus atau pulsa.

2.9. Turbin

Air yang mengalir mempunyai energi yang dapat digunakan untuk memutar roda turbin, karena itu pusat-pusat tenaga air di bangun di sungai-sungai dan pegunungan. Pusat tenaga air tersebut dapat di bedakan dalam 2 golongan yaitu pusat tenaga air tekanan tinggi dan pusat tenaga air tekanan rendah. Turbin adalah mesin penggerak, dimana energi fluida kerja di gunakan langsung untuk memutar roda turbin, jadi berbeda dengan yang terjadi pada mesin torak, pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang bergerak dinamai rotor atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar poros daya yang menggerakkan alat memutar bebannya (generator listrik, pompa, kompressor, baling-baling mesin lainnya).

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam prososaliran di dalam saluran air energi potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Di dalam turbin *fluida* kerja mengalami proses ekspansi, yaitu proses menurun tekanan dan mengalir secara kontiniu. Fluida kerjanya dapat berupa air, uap, air dan gas.

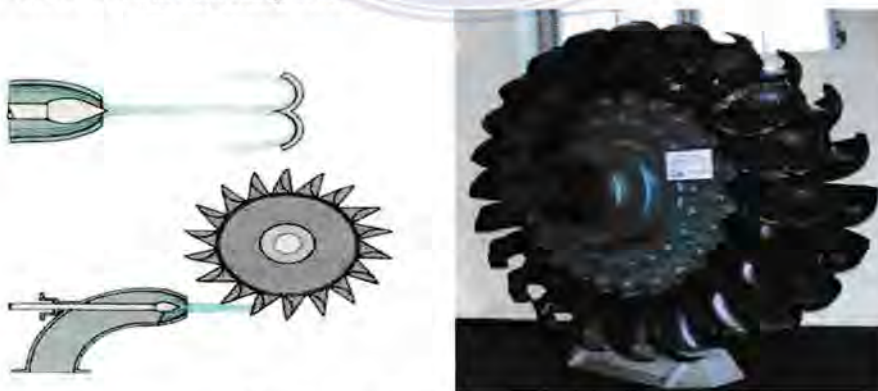
Sudu-sudu yang terdapat pada turbin bererak bersama-sama dengan roda turbin dinamai sudu gerak, pada sebuah roda turbin mungkin terdapat beberapa baris sudu penggerak dimana setiap baris sudu terdiri dari sudu yang disusun melingkari roda turbin, masing- masing dengan bentuk dan ukuran yang sama. turbin dengan satu baris sudu gerak saja dinamai turbin gerak tunggal, sedangkan turbin dengan beberapa baris sudu gerak dinamai turbin tingkat ganda. Dalam hal tersebut terahir *fluida* kerja mengalir melalui baris sudu yang pertama, kemudian baris kedua, ketiga dan seterusnya. Oleh karena itu sudu tersebut terahir tidak bergerak berputar, maka sudu tersebut disebut sudu tetap dimana sudu tetap fungsinya mengarahkan aliran *fluida* kerja masuk ke dalam sudu gerak berikutnya tetapi biasa juga berfungsi sebagai nosel. Dari segi pengubahan momentum *fluida* kerjanya, maka turbin dibagi menjadi dua golongan utama yaitu :

1. *Tubin Impuls (Pelton)*

Turbin *impuls* adalah turbin diproses ekspansi dari fluida kerjanya (proses penurunan tekanan) hanya terjadi pada sudu-sudu tetapnya saja. Jadi dalam hal ini diharapkan tidak terjadi penurunan tekanan di dalam sudu gerak. Meskipun demikian, dalam kenyataan penurunan tekanan (kecil) di dalam sudu gerak tidak dapat di hindari berhubungan adanya gesekan, aliran turbulen dan kerugian energi lainnya dan turbin

platon ini digunakan untuk tinggi terjunan yang tinggi, yaitu di atas 300 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses *impuls* sehingga turbin pelton disebut sebagai turbin impuls.

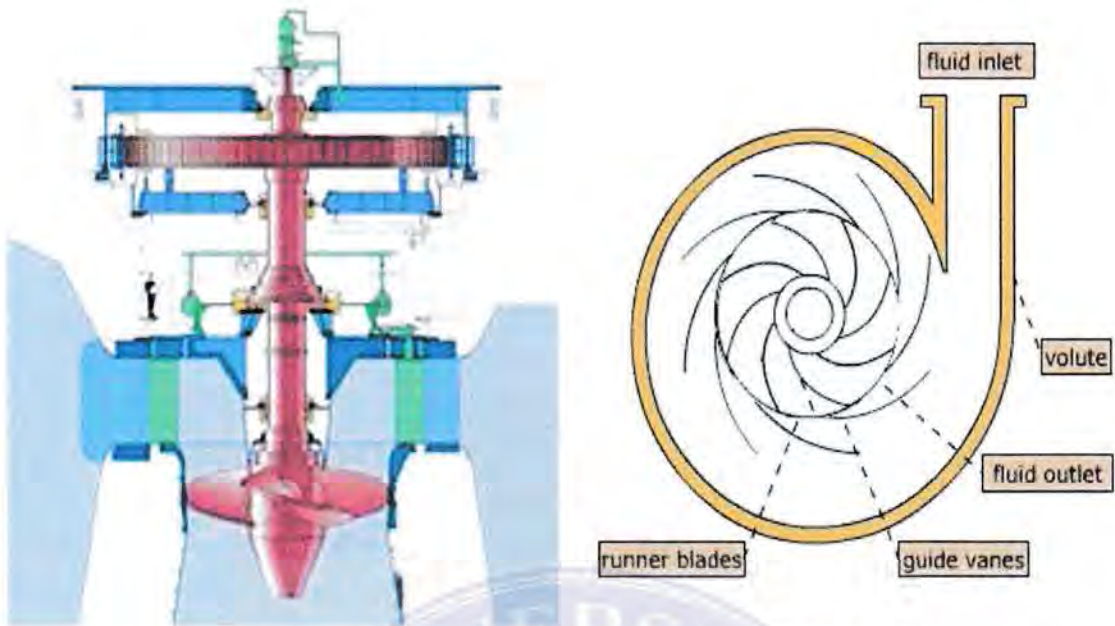
Turbin *kaplan* adalah turbin tekanan lebih spesial di mana turbin tekanan sama juga disebut sebagai pancaran bebas atau turbin *impuls*, karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer di sekitarnya. semua energi tinggi tempat dan tekanannya ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Di lain pihak pusat tenaga air di tentukan oleh data-data setempat, perbedaan kombinasi antara tinggi air jatuh dan kapasitas aliran yang tersedia dan berapa kecepatan putar yang di inginkan. Turbin *impuls* merubah aliran semburan air. Semburan turbin membentuk sudut yang membuat aliran turbin. Hasil perubahan momentum (*impuls*) disebabkan tekanan pada sudu turbin. Sejak turbin berputar, gaya berputar melalui kerja dan mengalihkan aliran air dengan mengurangi energi. Sebelum mengenai sudu turbin, tekanan air (energi potensial) dikonversi menjadi energi kinetik oleh sebuah nosel dan difokuskan pada turbin. Gambar 2.9 merupakan gambar konstruksi dari turbin *pelton*.



Gambar 2.9. Gambar turbin *pelton*

2. Turbin *Reaksi* (*Prancis, Kaplan, Propeller*)

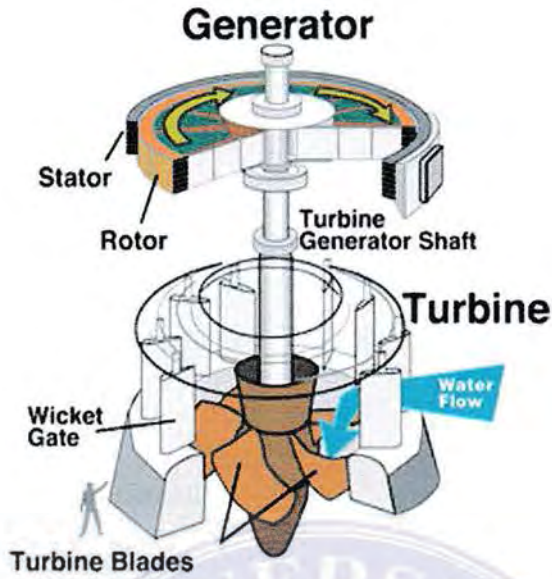
Turbin *reaksi* yaitu turbin yang dimana proses ekspansi dari fluida kerja terjadi baik di dalam sudu tetap, maupun sudu geraknya namun demikian ada kemungkinan sebuah turbin mempergunakan sebuah roda turbin dengan baris-baris sudu impuls reaksi. Tujuan penggunaan turbin bertingkat ganda adalah untuk menaikkan efisiensi dan memperkecil kecepatan tangensial dari roda turbin yang bersangkutan. Celah antara puncak sudu dan rumah turbin harus di buat sesempit mungkin agar supaya energi fluida kerja dapat sebanyak banyaknya diubah menjadi kerja berguna. Disamping itu, pada umumnya roda turbin berputar dengan kecepatan tinggi oleh karena itu roda turbin harus ada dalam keadaan seimbang untuk mengurangi getaran dan mencegah terjadinya kerusakan, terutama akibat adanya goresan atau tumbukan antara (puncak) sudu gerak dalam rumah turbin atau antara (puncak) sudu tetap dengan roda turbin. Turbin kapalan banyak di gunakan untuk ketinggian air yang rendah yaitu di bawah 20m teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi mekanik roda turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Roda air turbin dilakukan menyerupai baling-baling dari kipas angin. Turbin *reaksi* digerakkan dengan air, yang merubah tekanan sehingga melewati turbin dan menaikkan energi. Turbin *reaksi* harus menutup untuk mengisi tekanan air (pengisap) atau mereka harus sepenuhnya terendam dalam aliran air. Hukum ketiga Newton menggambarkan transfer energi untuk turbin *reaksi*. Turbin air yang paling banyak digunakan adalah turbin reaksi. Turbin *reaksi* digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium. Gambar 2.10 merupakan gambar dari konstruksi dari turbin reaksi.



Gambar 2.10. gambar konstruksi turbin *reaksi*

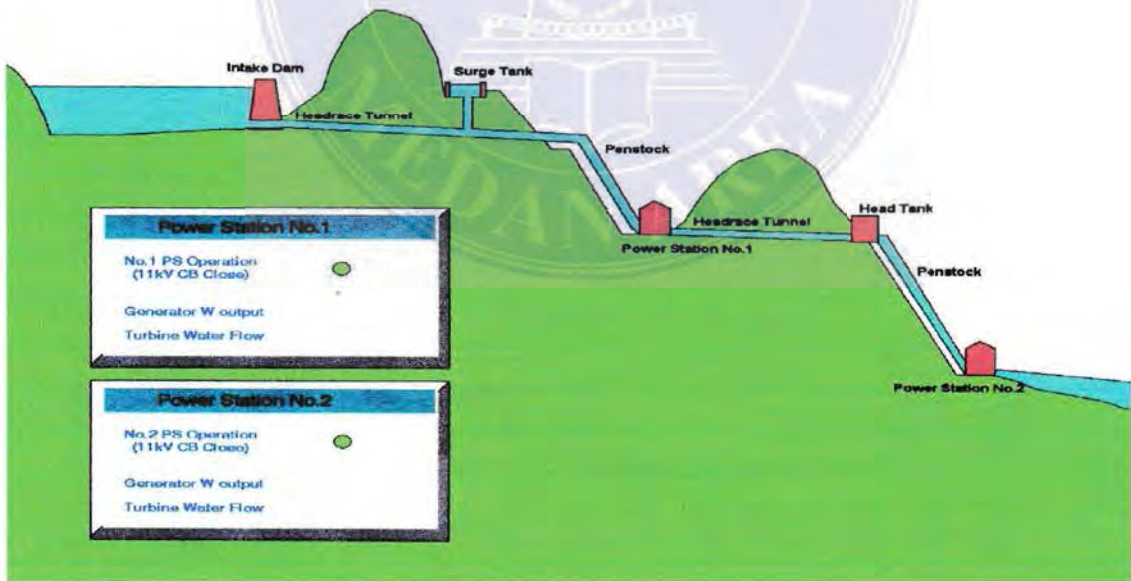
3. Jenis Turbin Yang Digunakan

Turbin Yang digunakan dalam pembangkit Listrik Tenaga Air ini yaitu turbin *Francis* dimana dalam suatu pembangkit listrik yang mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis, memutar turbin dan generator untuk menghasilkan daya listrik. Turbin merupakan salah satu mesin fluida yang mengubah energi mekanis *fluida* menjadi kerja poros. Turbin *Francis* banyak digunakan untuk ketinggian air 50-350 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi mekanik roda turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Roda air turbin dibuat menyerupai baling-baling dari kipas angin. Gambar 2.11. merupakan gambar dari turbin yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air ini.



Gambar 2.11. Gambar Turbin *Francis*

2.10. Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Air



Gambar 2.12 Komponen Utama PLTA

1. Waduk (Reservoir)

Sungai dibendung untuk memperoleh air sebanyak mungkin dan mencapai evaluasi/ketinggian muka air tertentu sesuai dengan yang dibutuhkan sehingga dapat untuk menggerakkan turbin

2. Pelimpah (Sillway)

Bendungan pelimpah (Spillway) berfungsi melimpahkan air apabila tinggi permukaan air waduk melampaui batas maksimum (kondisi banjir). Pelimpah ini biasanya terdapat pada bendungan-bendungan besar.



Gambar 2.13 Spillway

3. Intake (bangunan pengambil air)

Bangunan pengambil air ini harus memenuhi persyaratan :

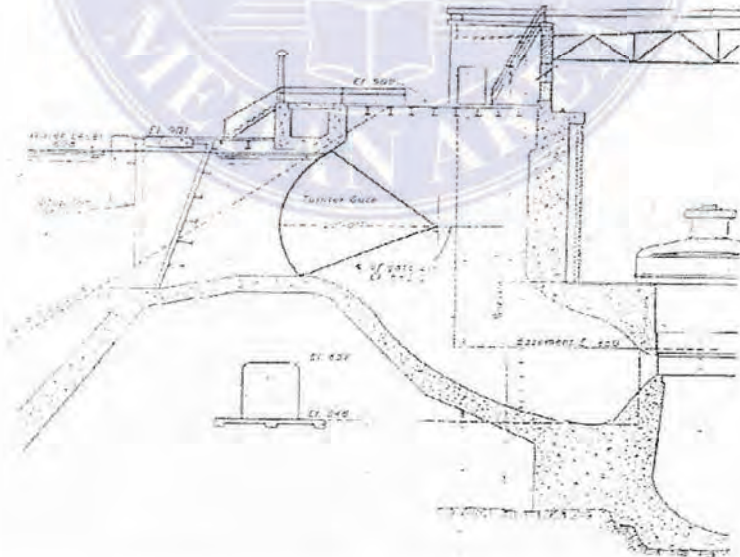
- a. Dapat mengatur kebutuhan air
- b. Dapat mengontrol dan mencegah sampah masuk ke saluran
- c. Mengurangi masuknya sedimentasi
- d. Mudah pengoperasiannya.



Gambar 2.14 Intake

4. Pintu pengambil air (Intake Gate)

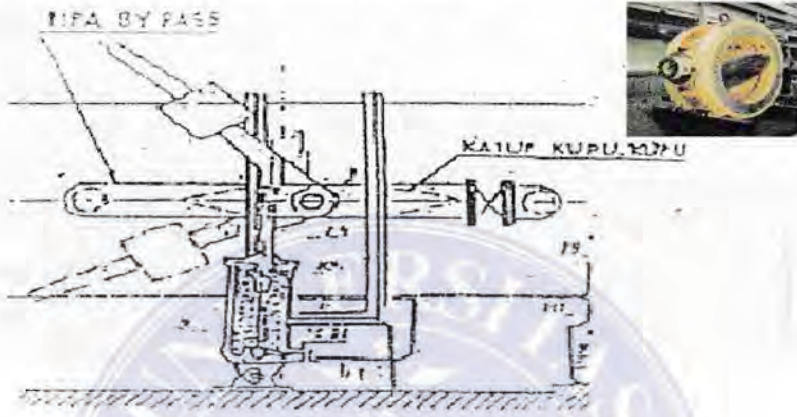
Adalah pintu pengambilan air (Intake gate) yang dipasang didepan intake dan digunakan hanya bilamana pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan. Type yang dipakai biasanya tipe sorong slide gate dan biasa juga pintu ini disebut pintu pemeliharaan.



Gambar 2.15 Konstruksi intake gate

5. Intake valve

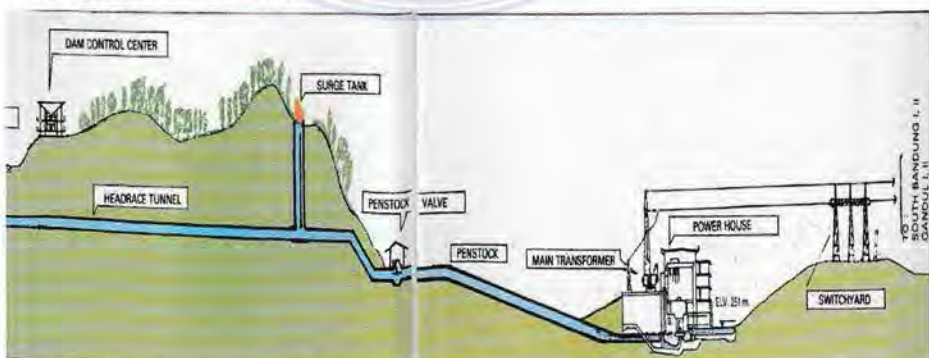
Adalah katup yang berfungsi sebagai pengaman bila terjadi kebocoran pada penstock (pipa pesat). Pada Intake valve dilengkapi dengan differential pressure relay yang akan mengomando menutup intake valve secara otomatis bila terjadi kebocoran pada pipa pesat sehingga tidak terjadi penurunan tekanan air.



Gambar 2.16 Intake Valve Type Buterfly

6. Saluran tekan (Pressure tunnel/Headrace Tunnel)

Saluran pengantar (Headrace) untuk menyalurkan air dari bangunan pengambil air sampai tangki pendatar atau tempat mulainya pipa pesat. Ada dua tipe, tipe tertutup berupa terowongan dibawah permukaan tanah dan dengan bentuk penampangnya tapal kuda, segi empat atau trapesium.



Gambar 2.17 Letak headrace tunnel

7. Tangki pendatar (Surge Tank)

Tangki pendatar atau tangki pelepas tekanan (surge Tank) bertugas untuk mengatur jumlah air untuk menyerap pukulan air (water hammer) apabila debit air pada turbin tiba-tiba berubah. Biasanya diperlukan perbandingan dengan tinggi terjun yang ada.



Gambar 2.18 Surge Tank.

8. Pipa pesat (Penstock)

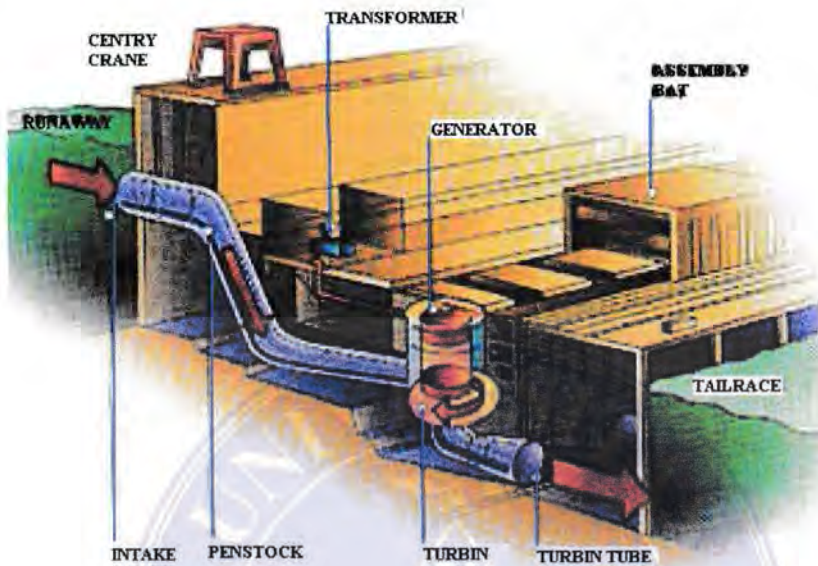
Pipa penstock berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau dari kolom tando atau langsung dari bangunan pengambilan air ke turbin, mempunyai posisi kemiringan yang tajam di maksudkan untuk memperoleh energi potensial air (tekanan air) untuk memutar turbin air.



Gambar 2.19 Pipa pesat (penstock)

9. Gedung Sentral

Gedung pusat pembangkit, pada bangunan ini terletak instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, dan ruang kontrol.



Gambar 2.20 Model Gedung Sentral (Power House)

10. Pipa Lepas (Draft Tube)

Draft tube adalah bagian dari water way yang mengalirkan air setelah keluar dari turbin ke arah tail race. Perencanaan draft tube amat tergantung pada spesifikasi turbin.

11. Tail Race

Bangunan " Tail race" berfungsi untuk mengalirkan air serta mengurangi tekanan air bawah " Draft tube" dan merupakan bangunan akhir dari system " Water way " pada suatu PLTA. Tail Race biasanya dilengkapi dengan Stop Log (balok Bendung) fungsinya apabila ada pemeliharaan atau inspeksi pada Turbin Air . Stop log

diturunkan pada posisinya guna menutup air dari tail race dan air yang ada pada draft tube baru dapat dikeringkan dalam pemeliharaan atau inspection baru dapat dilaksanakan



Gambar 2.21 Bendungan Tail Race



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, maka ada beberapa langkah yang akan dilalui yaitu :

3.1. Tahap Persiapan

Merupakan tahap awal dengan mempersiapkan hal-hal seperti peninjauan sepiantas tugas akhir, mempersiapkan proposal dan surat keterangan judul skripsi. Pengajuan judul dilakukan untuk mengetahui judul skripsi apa yang akan dibawa pada saat proses seminar dan sidang nantinya sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.

3.2. Studi Literatur

Mempelajari buku-buku perpustakaan, karangan ilmiah, dan artikel yang berhubungan dengan permasalahan Tugas Akhir sehingga nantinya diperoleh teori-teori yang sesuai dengan skripsi. Atau setelah pengajuan judul diberikan baru mencari referensi untuk mendukung bahan bacaan yang ada sebagai acuan untuk membuat tugas akhir.

3.3. Tinjauan Lapangan

Melihat dan mempelajari secara langsung tentang cara metode dan sistem yang ada sekaligus mengadakan wawancara atas hal-hal yang dianggap perlu. Tinjauan lapangan dilakukan untuk mencocokkan hasil yang didapat dari studi literatur dengan yang ada di lapangan.

3.4. Pengajuan proposal

Dalam hal ini pengajuan proposal dilakukan untuk memenuhi syarat-syarat pengajuan tugas akhir dalam mengumpulkan data yang berhubungan dengan judul proposal (skripsi), menganalisa dan mengevaluasi data yang diperoleh berdasarkan teori-teori yang digunakan.

3.5. Seminar

Setelah pengajuan proposal dilakukan maka dilakukan pengajuan seminar (penulisan daftar laporan) tugas akhir tentang judul yang dibawa.

3.6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan setelah proses seminar selesai untuk melengkapi data-data yang ada sehingga dalam penyusunan tugas akhir nanti tidak ada keraguan. Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan adalah :

1. Melakukan pengamatan langsung
2. Mengadakan wawancara
3. Mengadakan studi arsip perusahaan yang dianggap perlu
4. Mendiskusikan dengan pihak terkait di perusahaan dan pembimbing
5. Setelah sidang dilakukan maka selesai tugas akhir yang dibuat.

3.7. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dilakukan setelah proses pengambilan data selesai dilakukan sehingga dalam proses analisa perhitungan nantinya sesuai dengan data yang ada dan rumus-rumus yang digunakan.

3.8. Sidang

Setelah proses-proses di atas selesai maka dilakukan sidang tugas akhir guna mempertanggungjawabkan apa-apa saja yang sudah dilakukan dalam pembuatan tugas akhir dan yang telah dapat asistensi kepada pihak perusahaan atau dosen pembimbing.

3.9. Penyelesaian Laporan

Adapun hasil dari sidang diselesaikan pada laporan akhir. Laporan akhir ini bisa juga berisi revisi-revisi akhir yang dikemukakan ketika sidang. Setelah laporan akhir ini diterima oleh pihak penguji dan dosen pembimbing, maka selesai lah tugas sarjana ini.

BAB IV

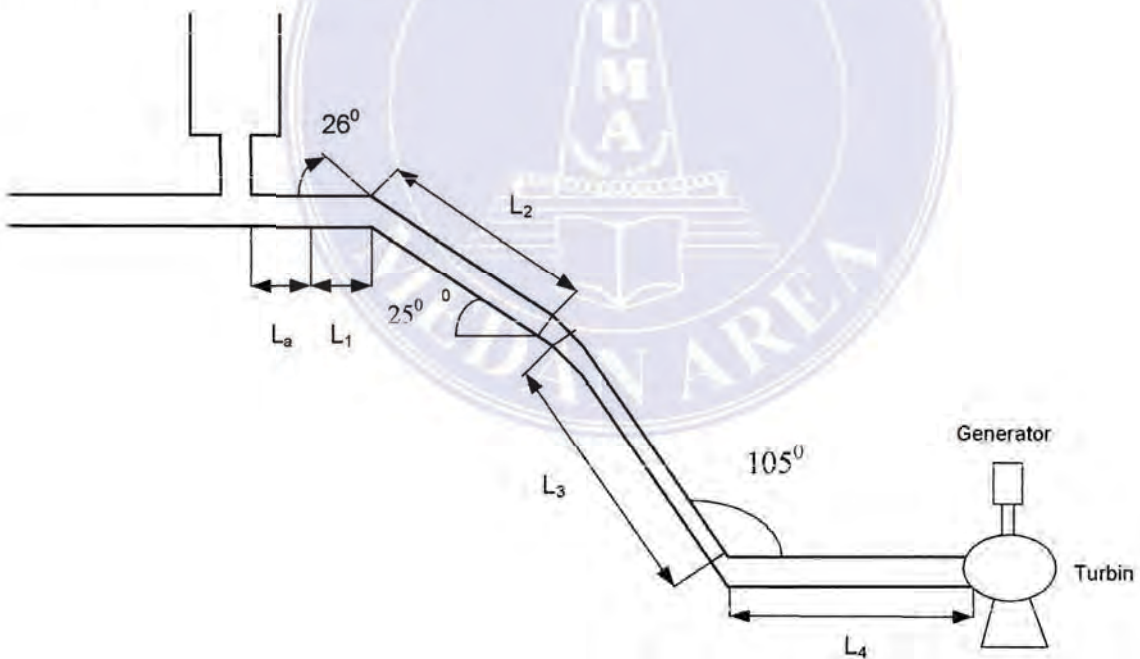
PERENCANAAN INSTALASI

4.1. Perencanaan Pipa Pesat

Perencanaan pipa pesat (penstock) dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan dimensi yang sesuai mengalirkan air sebesar $30 \text{ m}^3/\text{s}$ kerumah turbin.

Penentuan Diameter Pipa Pesat (Penstock)

Pada perencanaan ini diameter pipa penstock dibuat bervariasi seperti terlihat pada gambar 3.1 yaitu diameter penstock akan mengecil saat aliran mendekat rumah turbin, sehingga kecepatan akan meningkat saat memasuki rumah turbin dan menghasilkan energi gerak yang lebih besar (energi kinetik).



Gambar 4.1 skema instalasi perencanaan pipa pesat (penstock)

Berdasarkan gambar 4.1 dimensi pipa pesat dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Dimensi Pipa Pesat

No	Panjang (m)	Diameter (m)
1	$l_1 = 63,54$	$d_1 = 3,4$
2	$l_2 = 88,96$	$d_2 = 3,1$
3	$l_3 = 23,97$	$d_3 = 2,8$
4	$l_4 = 13,5$	$d_4 = 2,6$
5	$l_a = 5,75$	Reduksi 3,9 → 3,4
6	$l_b = 18,5$	Elbow reduksi 3,4 → 3,1
7	$l_c = 25,5$	Elbow reduksi 3,1 → 2,8
8	$l_d = 13,75$	Elbow reduksi 2,8 → 2,6

Dari tabel dapat diketahui panjang pipa pesat (penstock):

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_a + l_b + l_c + l_d$$

$$l = 63,54 + 88,96 + 23,97 + 5,75 + 18,5 + 25,5 + 13,75$$

$$l = 253.469 (m)$$

Kecepatan aliran dalam pipa pesat saat memasuki rumah turbin dapat diperoleh dengan rumus dengan kecepatan:

$$Q = v \cdot A$$

Dimana:

$$Q = \text{Kapasitas aliran } (30 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$v = \text{Kecepatan Aliran } (m/s)$$

$$A = \text{Luas Penampang Pipa (m}^2) \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right)$$

Koefisien Kecepatan dapat diperoleh dengan persamaan:

$$v = C_v \sqrt{2 g h}$$

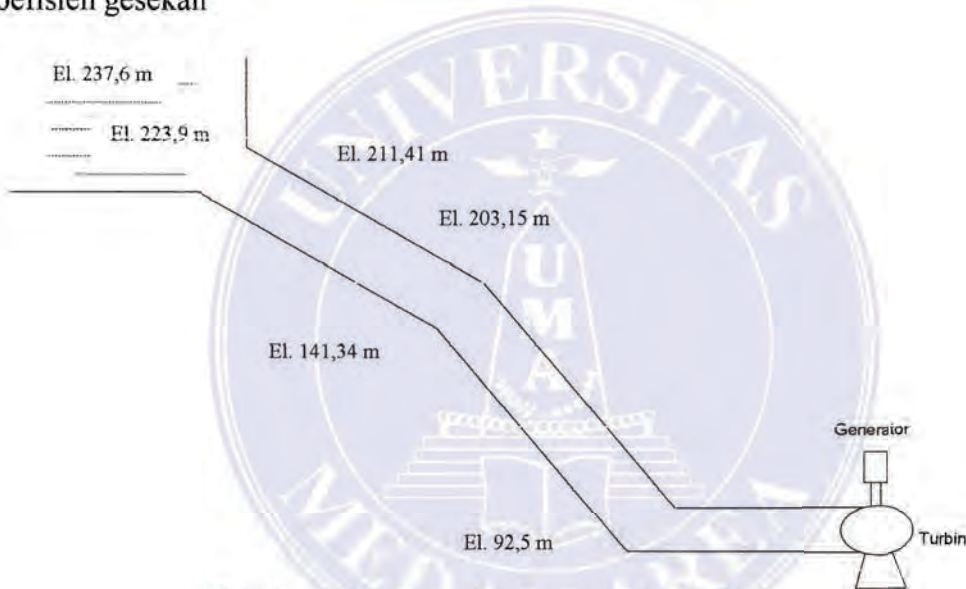
Dimana:

v = Kecepatan aliran

g = Percepatan Gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h = Perbedaan elevasi Pemasangan penstock (tinggi head)

C_v = Koefisien gesekan



Gambar 4.2 Skema Perencanaan Profil PLTA

Dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas maka kecepatan dan koefisien kecepatan pada tiap perubahan diameter pipa saat akan memasuki rumah turbin diperoleh untuk diameter = $3,7 \text{ m}$

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

$$v = \frac{30}{\frac{3,14}{4} (3,9)^2}$$

$$v = 2,5 \text{ m/s}$$

$$h = El_{237,6} - El_{223,9}$$

$$h = 13,7 \text{ m}$$

$$C_v = \frac{v}{\sqrt{2gh}}$$

$$C_v = \frac{2,5}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 13,7}} = 0,15$$

Dengan menggunakan rumus yang sama dan dengan memilih beberapa selisih head dan diameter penstock di tiap-tiap titik maka dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perubahan Perbandingan Kecepatan Dan Koefisien Kecepatan Pada Setiap Diameter Pipa Instalasi Perpipaan

No	Kapasitas Q (m ³ /s)	Head (m)	Diameter Penstock (m)	Kec. Aliran Pada Penstock (m/s)	Koefisien Kecepatan
1	30	13,7	3,9	2,5	0,15
2	30	23,19	3,4	3,3	0,16
3	30	34,45	3,1	3,9	0,15
4	30	96,26	2,8	4,87	0,11
5	30	145,1	2,6	5,67	0,11

Berdasarkan buku D.R Jagdistal: Hydraulic Machine, Mc. Graw hill New Delhi 1980 hal 153, bahwa untuk keamanan material pipa penstock kecepatan aliran max pada pipa pesat (penstock) saat memasuki rumah turbin (casing adalah Vmax = 5,65 bererti dimensi pipa pesat masih memenuhi syarat.

4.2. Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Pada Saluran Pengantar Atas (Head Race Pipa)

a. Kehilangan Tinggi Tekan Akibat Pemasukan

Kehilangan tinggi tekan pada pemasukan disebabkan oleh perubahan arah aliran, juga karena adanya kontraksi mendadak dari luas daerah pembelokan.

Kehilangan tinggi tekan akibat pemasukan dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_c = k_c \frac{V^2}{2g}$$

Dimana

h_c = Head losses akibat pemasukan (m)

k_c = Koefisien kehilangan tinggi tekan karena pemasukan
= 0,04 untuk bentuk pemasukan bulat

V = Kecepatan aliran pada pemasukan terowongan tekan (2,5 m/s)

G = Percepatan grafitasi (9,81 m/s)

Sehingga:

$$h_c = 0,04 \frac{(2,5)^2}{2 \cdot 9,81} = 0,0012 \text{ m}$$

b. Kehilangan Tinggi Tekan Karena Gesekan (h_f)

Kehilangan tinggi tekan karena gesekan (Frictionn losses) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h_f = f \frac{l \cdot V^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

h_f = Head losses (m)

- L = Panjang pipa head race (54 meter)
- D = Diameter head race (3,9 m)
- G = Percepatan gravitasi (9,81 m/s)
- F = Koefisien gesek

Berdasarkan koefisien gesek (f) adalah tergantung kekasaran pipa dan bilangan reynold. Bilangan reynold dapat dihitung dengan persamaan:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Dimana:

- R_e = Bilangan Reynold
- V = Kecepatan aliran (2,5 m/s)
- D = Diameter head race (3,9 m)
- ν = Visikositas kinematik air pada temperatur 21⁰C (0,985 x 10⁻⁶ m²/s)

Bilangan Reynold:

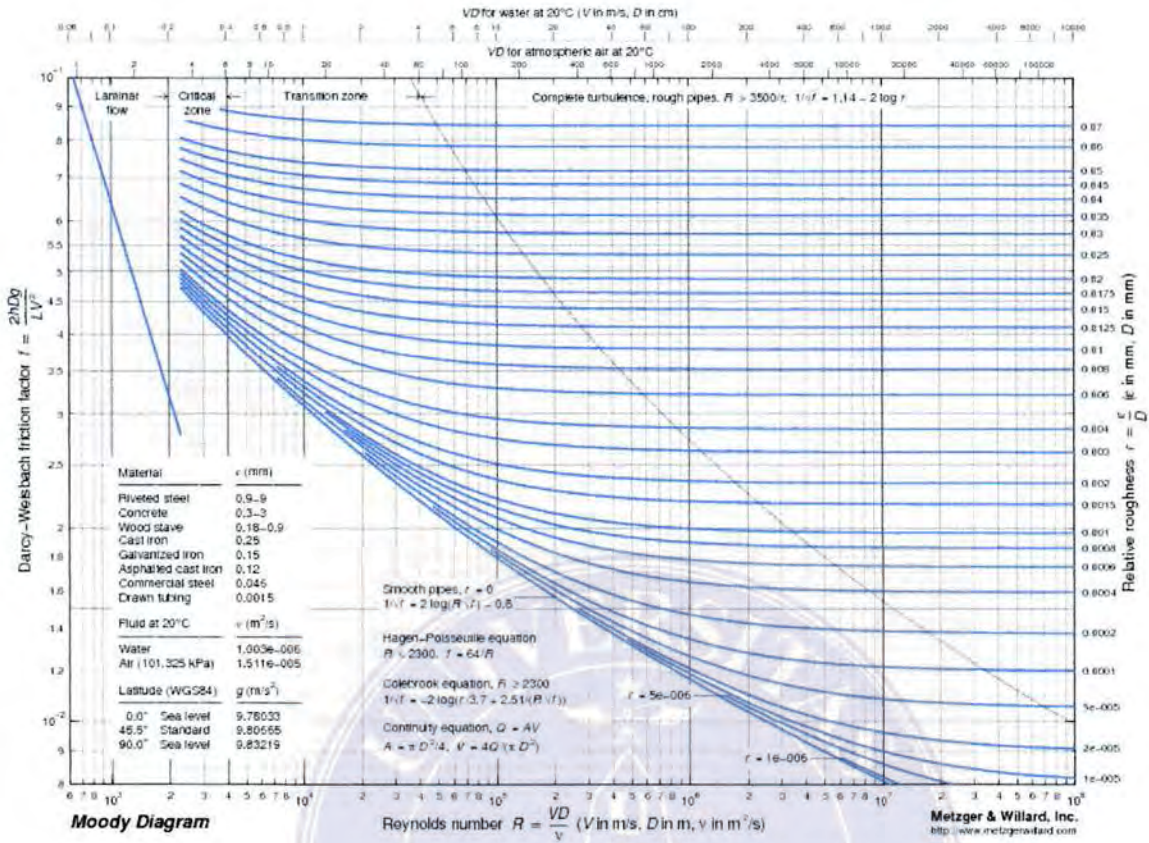
$$R_e = \frac{2,5 \times 3,9}{0,985 \times 10^{-6}}$$

$$R_e = 9,89 \times 10^6$$

Material headrace dipilih beton (concrete) dari gambar diagram moody, diperoleh kekasaran absolut: $(\varepsilon) = 0,3 \div 3,0$

$$(\varepsilon) = 2,34 \text{ (diambil)}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{2,34}{3900} = 0,0006$$



Gambar 4.3 Diagram moody

Sehingga dari tabel diperoleh harga koefisien gesek (f) = 0,019. dengan demikian diperoleh head losses karena gesekan sebesar:

$$h_{ff} = 0,019 \frac{54.2,5^2}{3,9.2.9,81} = 0,08 m$$

c. Kehilangan Tinggi Tekan Akibat Pemasangan Pintu Air (Sluice Gate Valve) Pada Saluran Atas (Head Race)

Kerugian tinggi tekan akibat pemasangan pintu air dapat diketahui dengan persamaan:

$$h_1 = k \frac{V^2}{2.g}$$

Dimana:

K = Koefisien kerugian tinggi tekan katup (0,19)

V = Kecepatan aliran (2,5 m/s)

Tabel 4.3 Harga Koefisien Tahanan Pipa Pada Berbagai Macam *Fitting*

Fitting and Valves	Koefisien tahanan (K)
Globe valve, fully open	10.0
Angle valve, fully open	5.00
Swing check valve, fully open	2.50
Gate valve, fully open	0.19
Gate valve, three-fourths open	1.15
Gate valve, one-half open	5.60
Gate valve, one-fourth open	24.0
Close return bend	2.20
Standard Tee	1.80
Standard 90° elbow	0.90
Medium sweep 90° elbow	0.75
Long sweep 90° elbow	0.60
45° elbow	0.42

(Sumber: A.H. Gibson, The conversion of kinetic to pressure energy in the flow of water through passages having divergent boundaries, engineering, vol. 93,p205, 1912

Maka:

$$h_1 = 0,19 \frac{(2,5)^2}{2 \cdot 9,81} = 0,06$$

Total kerugian tekanan yang terjadi pada saluran atas (headrace) adalah:

$$\sum h_1 = h_c + h_{fr} + h_1$$

$$\sum h_1 = 0,012 + 0,08 + 0,06$$

$$\sum h_1 = 0,152$$

4.3. Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Pada Pipa Pesat (Penstock)

a. Kehilangan Tinggi Tekan Karena Gesekan (H_{fr})

Kehilangan tinggi tekan karena gesekan sepanjang pipa L_1 :

$$h_{fr} = f \frac{l_1 \cdot V_1^2}{d_1 \cdot 2 \cdot g}$$

dimana:

h_{fr} = Head loss sepanjang l_1 karena gesekan

l_1 = Panjang pipa 63,54 m

d_1 = Diameter pipa penstock 3,4 m

V_1 = Kecepatan aliran pada pipa 2 (3,3 m/s)

F = Koefisien gesek (tergantung kekasaran pipa dan bilangan reynold)

V = Visikositas kinematik air (21⁰C) $0,985 \times 10^{-6}$

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$R_e = \frac{3,3 \cdot 3,4}{0,985 \times 10^{-6}} = 1,139 \times 10^7$$

Material penstock $\varepsilon = 0,046 \text{ mm}$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,046}{3400} = 0,000013$$

Dari diagram Moody diperoleh harga koefisien gesek = 0,0095 maka:

$$h_f = 0,0095 \frac{63,54 \cdot (3,3)^2}{3,4 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,099 \text{ m}$$

Kehilangan tinggi tekan karena gesekan pada pipa tekan sepanjang l_2

$$h_{f2} = f \frac{l_2 \cdot V_2^2}{D_2 \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

D_2 = Diameter penstock (3,1 m)

L_2 = Panjang pipa penstock (88,96 m)

V_2 = Kecepatan aliran pada pipa 2 (3,9 m/s)

F = Koefisien gesek

V = $0,985 \times 10^{-6}$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{3,9 \cdot 3,1}{0,985 \times 10^{-6}} = 1,2 \times 10^7$$

Material penstock baja dagangan $\varepsilon = 0,046$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,046}{3100} = 0,000014$$

Dari diagram moody diperoleh harga koefisien gesek $f = 0,01184$

Maka:

$$h_{f2} = 0,01184 \frac{88,96 \cdot (3,9)^2}{3,1 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{f2} = 0,263 \text{ m}$$

Kehilangan tinggi tekan karena gesekan pada pipa tekan sepanjang L_3

$$h_{f3} = f \frac{l_3 \cdot V_3^2}{D_3 \cdot 2 \cdot g}$$

D_3 = Diameter penstock (2,8 m)

l_3 = Panjang pipa penstock (23,97 m)

V_3 = Kecepatan aliran pada pipa 2 (4,87 m/s)

F = Koefisien gesek

V = $0,985 \times 10^{-6}$

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{4,87 \cdot 2,8}{0,985 \times 10^{-6}} = 1,384 \times 10^7$$

Material penstock baja dagangan $\varepsilon = 0,046$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,046}{2800} = 0,000016$$

Dari diagram moody di peroleh harga koefisien gesek $f = 0,0091$

Maka:

$$h_{f3} = 0,0091 \frac{23,97 \cdot (4,87)^2}{2,8 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{f3} = 0,094 \text{ m}$$

Kehilangan tinggi tekan karena gesekan pada pipa tekan sepanjang l_4

$$h_{f4} = f \frac{l_4 \cdot V_4^2}{D_4 \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

D_4 = Diameter penstock (2,6 m)

l_4 = Panjang pipa penstock (13,5 m)

V_4 = Kecepatan aliran pada pipa 2 (5,67 m/s)

F = Koefisien gesek

V = $0,985 \times 10^{-6}$

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{7,11 \cdot 2,2}{0,985 \times 10^{-6}} = 1,5 \times 10^7$$

Material penstock baja dagangan $\varepsilon = 0,046$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,046}{2600} = 0,000018$$

Dari diagram moody diperoleh harga koefisien gesek $f = 0,0082$

Maka:

$$h_{l2} = 0,0082 \frac{13,5 \cdot (5,65)^2}{2 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{l2} = 0,082 \text{ m}$$

Total head losses akibat gesekan pada pipa penstock:

$$\sum h_3 = 0,099 + 0,263 + 0,094 + 0,082$$

$$\sum h_3 = 0,538 \text{ m}$$

b. Kehilangan Tinggi Tekan Akibat Belokan (Elbow)

Kehilangan tinggi tekan akibat belokan (bend loss) dapat di hitung dengan menggunakan persamaan:

$$h_{el} = f \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

h_{el} = Kerugian tinggi tekan akibat elbow

F = Koefisien kerugian elbow

G = Percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Tabel 4.4
Koefisien Kerugian Elbow

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

(Sumber: Sularso, Harau Tahara: Pompa dan Kompresor PT. Pradnya Paranita, Jakarta)

Pada pipa instalasi ini terdapat 3 buah elbow. Masing-masing:

Elbow 26⁰

$$V = 3,3 \text{ m/s} \qquad D = 3,4 \rightarrow 3,1$$

f diperoleh dengan interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{30 - 26}{30 - 22,5} = \frac{0,130 - x}{0,130 - 0,066}$$

$$\frac{4}{7,5} = \frac{0,130 - x}{0,064}$$

$$0,975 - 7,5x = 0,256$$

$$7,5x = 0,975 - 0,256$$

$$7,5x = 0,719$$

$$x = \frac{0,719}{7,5} = 0,096$$

Maka:

$$h_{el} = 0,096 \frac{3,3^2}{2 \cdot 9,81} = 0,053 \text{ m}$$

Elbow 16⁰

$$V = 3,9 \text{ m/s} \qquad D = 3,1 \rightarrow 2,8$$

f diperoleh dengan interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{22,5 - 16}{22,5 - 15} = \frac{0,066 - x}{0,066 - 0,042}$$

$$\frac{6,5}{7,5} = \frac{0,066 - x}{0,024}$$

$$0,475 - 7,5x = 0,156$$

$$7,5x = 0,339$$

$$x = 0,045$$

Maka:



$$h_{el} = 0,045 \frac{(3,9)^2}{2,9,81} = 0,034$$

Elbow 42⁰

$$V = 4,87 \frac{m}{s}$$

$$D = 28 \rightarrow 26$$

f diperoleh dengan interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{45 - 42}{45 - 30} = \frac{0,236 - x}{0,236 - 0,130}$$

$$\frac{3}{15} = \frac{0,236 - x}{0,106}$$

$$1,18 - 15x = 0,318$$

$$15x = 3,22$$

$$x = 0,21$$

Maka:

$$h_{el} = 0,21 \frac{(4,87)^2}{2,9,81} = 0,025$$

$$\sum h_{el} = 0,053 + 0,034 + 0,025$$

$$\sum h_{el} = 0,337 m$$



c. Kehilangan Tinggi Tekan Pada Kutub (h_{Lv}) Pipa Pesat (Penstock)

Pemasangan katup pada instalasi ini berfungsi untuk menutup bilamana turbin tidak beroperasi ataupun penutupan aliran tiba-tiba kalau ada kerusakan pada turbin.

Kerugian tekanan akibat pemasangan gate valve menurut persamaan

$$h_{Lx} = k \frac{V^2}{2g}$$

Dimana

h_{Lx} = head lossed pada gate valve

k = koefisien kerugian tinggi tekan pada kutub

V = kecepatan aliran (5,65 m/s)

$$h_{Lx} = 0,19 \frac{(5,56)^2}{2,9,81} = 0,30 \text{ m}$$

Total perhitungan kehilangan tinggi tekan pada saluran pengantar aliran (waterway) yang terjadi mulai dari permasukan pada reservoir atas hingga ke turbin adalah:

$$\begin{aligned} \Sigma h_1 &= h_1 (\text{saluran pengantar atas}) + h_1 (\text{pipa penstock}) + h_1 (\text{elbow}) + h_1 (\text{gate valve}) \\ &= 0,152 \text{ m} + 0,538 \text{ m} + 0,337 \text{ m} + 0,30 \text{ m} \\ &= 1,327 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka tinggi tekan efektif (head effective) adalah:

$$\begin{aligned} H_{eff} &= H_{actual} - \Sigma h_1 \\ H_{eff} &= 128,4 \text{ m} - 1,327 \text{ m} \\ H_{eff} &= 127,07 \end{aligned}$$

4.4. Analisa Water Hammer (Pukulan Air)

Pada air adalah merupakan tumbukan air itu atau perubahan kecepatan aliran secara tiba-tiba. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya water hammer, antara lain:

1. Penutupan Kutub

Penutupan katup pada jalur pipa akan menghentikan aliran fluida sebelum fluida berhenti akan terjadi perubahan tekanan dan gelombang yang tinggi sehingga terjadi water hammer.

2. Penurunan Beban Turbin

Bila beban turbin turun maka kapasitas aliran yang dibuthkan akan semakin kecil. Sehingga sebagian air di dalam pipa akan berlebihan dan tekanan akan naik sehingga menyebabkan water hammer

3. **Beban Turbin Naik**

Saat beban turbin naik secara tiba-tiba maka governor akan memperbesar aliran. Kapasitas pada suatu instalasi pipa sudah tertentu, maka tiba-tiba dibutuhkan kenaikan kapasitas maka mengakibatkan palu air pada instasi pipa-pipa.

Water hammer yang terjadi pada penurunan atau kenaikan beban turbin tidaklah terlalu berbahaya dibandingkan dengan water hammer yang diakibatkan oleh penutupan katub. Sehingga kekuatan pipa terhadap palu air diperhitungkan saat penutupan katub.

Kondisi sebelah hilir (headrace) katub yang ditempatkan sedemikian rupa akan berhubungan dengan tekanan udara luar, sehingga fenomena water hammer pada bagian hilir ini dapat diabaikan, sedangkan pada bagian atau sepanjang pipa pesat tidak dapat diabaikan.

Kecepatan gelombang air didalam popa pada penutupan katup secara tiba-tiba dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\gamma}{g}\right) \left(\frac{1}{k} + \frac{d \cdot c_1}{c \cdot E}\right)}}$$

- A = Kecepatan gelombang tekanan (ft/s)
 - γ - Berat jenis air (lb/ft³)
 - G = Percepatan gravitasi (ft/s²) (32,3 ft/s²)
 - K - Volume modulus air (43,2 10⁶ lb/ft²)
 - D = Diameter pipa (inchi)
- 2,6 meter = 102,18 inchi

C = Tabel pipa (inchi)

0,02 m \Rightarrow direncanakan 0,78 inchi

E = Modulus elastisitas (lb/ft²)

C₁ = Faktor untuk ancor dan penyangga pipa 0,91

$$a = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{62,4}{32,2}\right) \left(1 + \frac{102,18 \times 0,91}{43,2 \times 10^6 + 0,786 \times 4,32 \times 10^9}\right)}}$$

Maka:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{62,4}{32,2}\right) \left(1 + \frac{102,18 \times 0,91}{43,2 \times 10^6 + 0,786 \times 4,32 \times 10^9}\right)}}$$

$$a = \sqrt{1,93(2,3 \times 10^6 + 2,7 \times 10^{-8})}$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{9,65 \times 10^{-8}}}$$

$$a = 3219,11 \frac{ft}{s} \times \frac{1ms}{3,28084 \frac{ft}{s}} = 981,18 m/s$$

Waktu untuk terjadinya water hammer setelah katub (valve) tertutup menurut persamaan:

$$T = \frac{2.L}{a}$$

Dimana:

L = Panjang pipa yang mengalami water hammer (115,9 m)

a = Kecepatan gelombang tekanan (981,18 m/s)

Maka :

$$T = \frac{2 \cdot 253,469}{981,18}$$

$$T = 0,52 \text{ detik}$$

Bahan yang dipakai untuk pipa penstock adalah baja yang diroll SS 34. yang mempunyai $t=3400 \text{ kg/cm}^2$ dengan faktor keamanan $V= 6$ dengan bahan baja karbon. Sehingga kekuatan tarik izin menjadi:

$$\sigma_{izin} = \frac{3400}{6}$$

$$\sigma_{izin} = 566,6 \text{ kg/cm}^2$$

Dari perhitungan diatas ternyata tekanan yang timbul akibat water hammer lebih kecil dari tekanan yang diizinkan. Maka pipa pesat aman terhadap pengaruh water hammer dan pemasangan pipa ini juga diletakkan pada terowongan bawah tanah dan dicor keliling permukaan luar pipa, sehingga pipa penstock ini aman akibat getaran air dalam pipa.

4.5. Tangki Peredam Gelombang (Surge Tank)

Gelombang tekanan akan terjadi akibat penutupan katup yang secara tiba-tiba ataupun akibat pengaturan kapasitas aliran pada turbin. Gelombang ini agak lunak pada sistem pipa yang pendek atau pada penutupan katub yang perlahan-lahan.

Tetapi pada instalasi pipa untuk turbin dimana sistem pemipaan cukup panjang dan governor ataupun katup sering di tutup/ dibuka secara cepat, efek palu air yang terjadi adalah cukup serius. Untuk itu dipakai tangki peredam gelombang yang fungsinya antara lain:

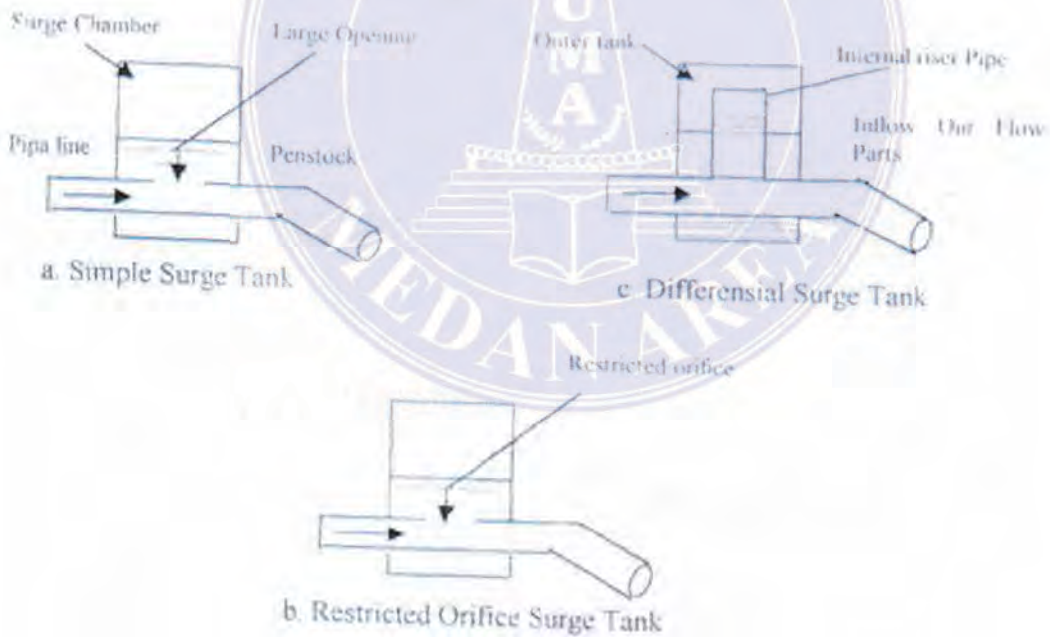
- a. Untuk menghindari refleksi gelombang sepanjang pipa dengan membuat ujung surge tank yang lebih dekat dengan inlet valve.

- b. Pada kenaikan beban yang tiba-tiba, tambahan air dapat diberi dengan cepat dengan bantuan air dari surge tank.
- c. Sebagai bandul peredam gelombang tekanan yang timbul seperti hanya palu air (menetralsir gelombang)
- d. Pada penurunan beban yang tiba-tiba, surge tank dapat menyimpan air dengan cepat.

Jenis-jenis Surge tank (lihat gambar 3.10)

- Simple surge tank
- Restricted orifice surge tank
- Defferensial surge tank

Pada perencanaan instalasi PLTA ini digunakan surge tank type Restricted orifice dengan diameter: 8,0 m tinggi 42,4 m



Gambar 4.4. Jenis-jenis surge tank

BAB VII

KESIMPULAN

Pembangkit listrik tenaga air merupakan salah satu alternatif dalam menanggulangi kebutuhan energi listrik dalam kehidupan masyarakat modern. Mengingat terbatasnya persediaan minyak bumi dan gas pada lapisan perut bumi.

Pada perencanaan ini instalasi turbin terdapat fasilitas-fasilitas lainnya yang mendukung sistem turbin antara lain : bendungan, saluran air , kolam pengendap pasir, rumah instalasi, katub dan lain-lain.

Dengan mempertimbangkan dan berdasarkan ketersediaan air maka pada perencanaan ini ditentukan kapasitas air yang digunakan untuk menggerakkan turbin adalah sebesar $30m^3/s$ dengan $h_{eff} = 127,07$ m dan menghasilkan daya turbin sebesar 33,6MW.

Turbin air yang direncanakan adalah jenis turbin francis dengan putaran spesifik $n_s = 342$ rpm dan putaran kerja turbin (N) = 428 rpm, posisi poros vertikal.

Data-data hasil perencanaan selengkapnya dapat dilihat pada uraian berikut :

1. Pipa head race (Low pressure pipe)

- Diameter : 3,9 m
- Panjang : 54 m
- Bahan : Beton
- Jenis : Terowongan tekan

2. Pipa besar (Penistock)

- Diameter : 2,6 ÷ 3,4 m
- Tebal : 0,02 m
- Panjang : 253 m
- Bahan : Baja yang diroll SS 34

3. Turbin Air

- Jenis : Francis poros vertikal
- Daya : 33,6 MW
- Kapasitas Pembangkit : $30 \text{ m}^3 / \text{s}$
- Head actual : 128,4 m
- Head efektif : 127,07 m
- Putaran Kerja : 428 rpm
- Putaran spesifik : 342 rpm

4. Sudu gerak

- Jumlah sudu : 19 buah
- Diameter runner sisi masuk : 1,63 m
- Diameter runner sisi keluar : 2,44 m
- Tebal sudu : 25 mm
- Bahan : Stainless Steel SC 56

5. Sudu penggerak (Guide venn)

- Jumlah : 18 buah
- Diameter ujung-ujungnya : 1,78 m

- Panjang : 444 mm
 - Bahan : stainless Steel
6. Rumah Turbin (Scroll Casing)
- Jenis : Close flume type
 - Jari-jari penampang terkecil : 1,4 m
 - Jari-jari penampang terbesar : 4,0 m
 - Tebal : 5,96 mm
 - Bahan : JIS. G. 3108 SS 41 B-D
7. Pipa lepas (Draft tube)
- Jenis : Straight tube
 - Diameter sisi masuk draft tube : 2,44 m
 - Diameter sisi keluar draft tube : 3,72 m
 - Material : JIS. G. 3108 SS 42
8. Daya
- 1 Watt = 1 J/S = 1/1000 KW
 - Daya Kuda Metrik : 1 PS = 75 kg.m/s = 0,7355 KW = 0,9863 Hp
 - Daya Kuda Non Mekanik : 1 Hp = 550 ft.lb/s = 0,7475 KW = 1,014 Ps

Pada turbin reaksi, letak turbin harus diperhatikan agar tidak terjadi bahaya kavitasi yang terjadi akibat adanya tekanan absolute yang lebih kecil dari tekanan uap air. Kavitasi dapat menyebabkan sudu-sudu turbin menjadi berlubang-lubang kecil, sehingga mengurangi efisiensi turbin yang akhirnya dapat pula merusak sudu turbin. Untuk menghitung tingginya penempatan turbin diatas permukaan ataupun bawah permukaan tail race sehingga runner tidak terjadi kavitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dietzel, Fritz. 1988, Turbin Pompa dan Kompresor. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Djojodiharjo, DR. Ir. Hariyono. 1983. *Mekanika fluida*, Erlangga, Jakarta
- Stueber, Victor L, *Fluida Mechanics, Ed 8th*, terjemahan Arko Priono, Msc, Erlangga, Jakarta, 1975.
- Suga, Ir. Sularso Kiyotsu. 1985. *Elemen Mesin*, PT. Pradya Paramitha, Jakarta.
- White, Frank M. 1988. *Mekanika Fluida. Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.

