

ANALISA KINERJA TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK

TENAGA AIR

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi dan Melengkapi Persyaratan Akademik

Mata Kuliah Tugas Akhir Pada Program Studi Teknik Mesin

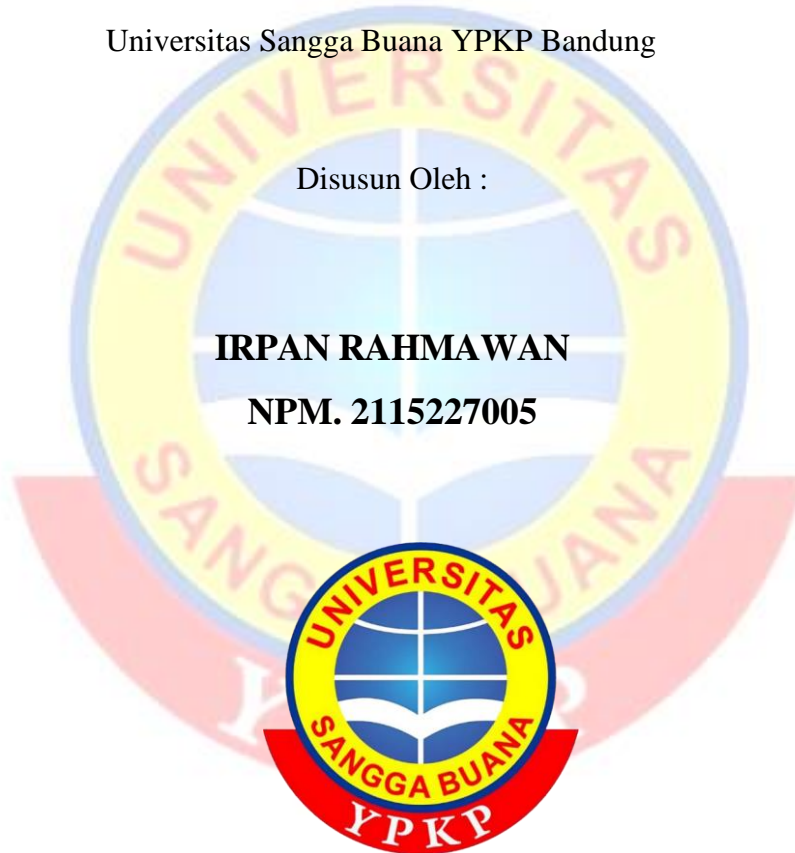
Fakultas Teknik

Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Disusun Oleh :

IRPAN RAHMAWAN

NPM. 2115227005




PROGAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP BANDUNG

2024

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN	
	Jl. P.H. Mustofa No.68, Cikutra, Cibeunying Kidul, Bandung 40124	No. Revisi Berlaku Efektif	00 09 March 2024

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
ANALISA KINERJA TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA AIR

Hydroelectric Turbine Performance Analysis

Disusun Oleh :

IRPAN RAHMAWAN

2115227005

Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir Program S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP

Bandung, 09 Maret 2024

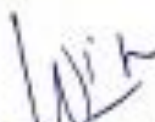
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Agus Solehudin, ST., M.T., IPM.

NIDN : 0018026802

Dosen Penguji I



Wisnu Wijaya, ST., MT.

NIDN : 0420117101

Dosen Penguji II



Cecep Deni Mulvadi, ST., MT.


NIDN : 042058804

Ketua Program Studi



Wisnu Wijaya, ST., MT.

NIDN : 0240117101

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR PERNYATAAN ORISINALITAS	
	Jl. P.H.H. Mustofa No.68, Cikutra, Cibeunying Kidul, Bandung 40124	No. Revisi	00
		Berlaku Elektronik	17 Februari 2024

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

NAMA : Irpan Rahmawan
 NIM : 2115227005
 ALAMAT : Kp. Tambakan RT/RW 01/05 Ds. Margacinta Kec.
 Leuwigoong Kab. Garut Jawa barat Indonesia 44192
 NO Telepon/HP : +6282214857739
 EMAIL : irpanrahmawan27@gmail.com

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini menyatakan orisinal saya sendiri, dengan
 Judul :

ANALISA KINERJA TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Hydroelectric Turbine Performance Analysis

Atas pernyataan ini, Peneliti siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada peneliti apabila di kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidak aslian karya ini.

Bandung, 15 Januari 2024



Irpan Rahmawan

2115227005

ABSTRAK

Seperti yang peneliti ketahui kebutuhan listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan industri, kegiatan komersial maupun dalam kehidupan sehari-hari. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya terbarui keberadaannya terbatas. Salah satu pusat pembangkit tenaga yang menghasilkan energi listrik adalah PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) salah satunya Bendungan Jati Luhur yang berada di Purwakarta Jawa Barat Indonesia. Oleh karena itu peneliti menganalisa kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan metode Interview sekaligus wawancara dengan teknik pengumpulan data dan salah satu lainnya dengan metode Observasi (Pengamatan). Setelah melakukan dan menganalisa di dapat data untuk pembangkit Listrik tenaga air tipe Turbin Francis memiliki daya turbin maksimal yang tercapai sebesar 35,2 MW yaitu pada debit $46.7 \text{ m}^3/\text{s}$ dari ketinggian 77 m pada putaran 272.7 rpm, torsi maksimum yang tercapai 66.640 N dengan frekuensi 50 Hz, daya turbin (Nt) adalah 35 . 239 .820 watt.

Kata Kunci : Tinggi Jatuh, Pembangkit Listrik Tenga Air, Turbin Francis.

ABSTRACT

As researcher know, electricity is a very important source of energy for human life, both for industrial activities, commercial activities and daily activities. Considering the enormous and the benefits of electrical energy, energy sources for generating electricity, especially those originating from non-renewable resources are limited. One of the power generating centers that produce electrical energy is the PLTA (Hydroelectric Power Plant), one of which is located in Purwakarta, West Java, the Jati Luhur Dam. Therefore, the researchers analyzed a performance of Hydroelectric Power Plants is using the Interview method as well as interviews using data collection techniques and the other using the Observation method. After doing and analyzing the data obtained for the Francis Turbine type hydroelectric power plant, the maximum turbine power achieved was 35.2 MW, namely at a discharge of $46.7\text{m}^3/\text{s}$ from a height of 77 m at a rotation of 272.7 rpm, the maximum torque achieved was 66,640 N with a frequency 50 Hz, turbine power (N_t) is 35.239.820 watts.

Keywords : Head, Hydropower , Francis Turbine.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISA KINERJA TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan seluruh umatnya.

Selama proses penyusunan hingga terselesaikannya skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan do'a, motivasi, semangat, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih yang tulus kepada:

1. Orang tua, adik dan satu Team yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungannya selama ini kepada penulis.
2. Bapak Dr. Didin Saepudin SE. M.Si selaku Rektor USBYPKP.
3. Bapak Wistu Wijaya, ST., MT. selaku Ketua Progam Studi Teknik Mesin.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Solehudin, S.T., M.T., IPM selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini dan.
5. Seluruh Staf dan Dosen di Fakultas Teknik Mesin Universitas sangga Buana YPKP Bandung dan tidak lupa Rekan Teknik Mesin Angkatan 2022.

Terlepas dari semua itu, Pengkaji menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan baik dari segi sususan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu dengan sangat terbuka kami menerima segala kirtik dan saran yang membangun agar pedoman ini dapat disempurnakan.

Akhir kata Peneliti berharap semoga pedoman penulisan Tugas akhir/Kerja praktek ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi kepada mahasiswa/i Program Studi Sarjana Teknik Mesin Universitas Sangga Buana YPKP.

Bandung , 15 Januari 2024

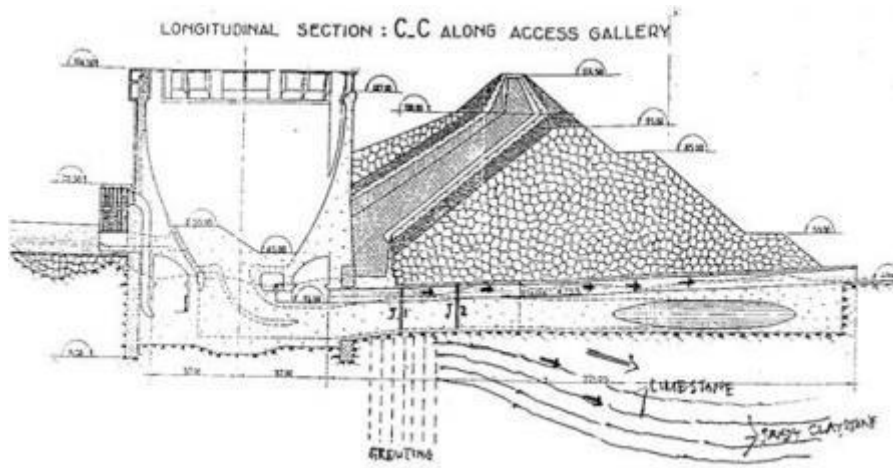


Irpan Rahmawan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Pengertian Umum Turbin Air	5
2.2 Sejarah Turbin Francis	6
2.3 Jenis Turbin Air.....	8
2.4 Rumus Dasar	22
BAB III DATA TEKNIS YANG DITINJAU	27
3.1 Turbin Francis	27
3.2 Data Teknik Turbin Francis	27
3.3 Bagian - Bagian Turbin Francis.....	28
3.4 Komponen Utama Pembangkitan	40
3.5 Waktu dan Tempat Penelitian.....	45
3.6 Metode Penelitian.....	46
3.7 Diagram Alur Penelitian	46
BAB IV DATA DAN ANALISIS	47
4.1 Data Teknik Turbin Francis	47
4.2 Daya Turbin	47
4.3 Kecepatan Jenis Turbin (N_s)	48
4.4 Kecepatan Turbin (n)	48
4.5 Daya Turbin (N_t)	49

4.6 Efisiensi Turbin.....	50
BAB V	51
PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	1



..... 1



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kincir Air	9
Gambar 2. 2 PLTMH	10
Gambar 2. 3 Animasi Minihidro 100-5000 W	10
Gambar 2. 4 Hydropower tenaga yang dihasilkan diatas 20MW.	11
Gambar 2. 5 Jarum katup dan tekanan tinggi pada nozel	12
Gambar 2. 6 Turbin Pelton.....	13
Gambar 2. 7 Intalasi Turbin Pelton dalam bentuk gambar 2d.	13
Gambar 2. 8 Turbin Banki/Cross-Flow dalam bentuk gambar 2d.	14
Gambar 2. 9 Inlet Horizontal dan Vertikal Cross-Flow.....	14
Gambar 2. 10 Kontruksi Turbin Turgo	18
Gambar 2. 11 Kontruksi Turbin Francis	19
Gambar 2. 12 Sistem Kerja Turbin Francis	19
Gambar 2. 13 Runner Turbin Francis	20
Gambar 2. 14 Istalasi Turbin Kaplan/Propeller	21
Gambar 2. 15 Kontruksi Turbin Kaplan/Propeller.....	22
Gambar 2. 16 Turbin Kaplan/Propeller.....	22
Gambar 2. 17 Flow Diagram PLTA.....	22
Gambar 3. 1 Turbin Francis	28
Gambar 3. 2 Bagian Turbin Francis.....	28
Gambar 3. 3 Servo Motor	31
Gambar 3. 4 Sudu Pengantar (Guide Vane).....	34
Gambar 3. 5 Gerak Sudu.....	34
Gambar 3. 6 Sketsa Gerak Sudu	35
Gambar 3. 7 Runner	37
Gambar 3. 8 Poros Utama.....	37
Gambar 3. 9 Bantalan (Bearing)	38
Gambar 3. 10 Drafftube/Tailrace (Pembuangan / Pelepas Air)	38

Gambar 3. 11 Generator.....	39
Gambar 3. 12 Waduk Jatiluhur.	41
Gambar 3. 13 Menara (Morning Glory).....	41
Gambar 3. 14 Pelimpas (Spillway).	42
Gambar 3. 15 Hollow Jet Katup.....	42
Gambar 3. 16 Generator.....	43
Gambar 3. 17 Switchyard	45
Gambar 4.1 Head dan Debit	50



BAB I

PENDAHULUAN

I.I Latar Belakang

Pada akhir-akhir ini, peningkatan jumlah penduduk semakin pesat dan disertai dengan tingkat aktivitas, mobilitas manusia yang semakin kompleks. Pembangkit tenaga listrik merupakan salah satu penyedia energi yang memiliki peranan yang sangat penting di antara penunjang-penunjang energi lain. Tenaga Listrik merupakan yang seperti yang kita ketahui merupakan sumber energi yang sangat penting dan penunjang bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan komersil, industry terutama kegiatan sehari atau rumah tangga. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi Listrik sedangkan yang menjadi sumber energi pembangkit listrik terutama yang dapat di perbaharui dan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui keadaannya terbatas. Maka untuk menjaga kelestarian sumber energi ini perlu di usahakan dan Langkah-langkah yang strategis dan pasti tentunya terstruktur yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan dapat terjangkau orang banyak. Sumber ini yang digunakan untuk bahan bakar dan sumber pembangkit listrik di kita di dominasi oleh penggunaan bahan bakar fosul terutama Batu bara. Minyak bumi dan Batu bara merupakan energi tidak terbarukan dan memerlukan penguraian waktu yang tidak sebentar yang membuat lama kelamaan enrgi tersebut akan habis (<http://indonesia.co.id>)

Salah satu pusat pembangkit tenaga yang menghasilkan energi listrik adalah PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air). PLTA merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang lebih ekonomis dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya karena PLTA hanya membutuhkan aliran air sebagai media atau fluida kerjanya. Selain itu PLTA dibuat sebagai upaya pembaharuan energi untuk mengatasi terbatasnya minyak bumi, gas, dan batu bara sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik lainnya (<http://mesin.umy.co.id>)

PLTA Ir.H Djuanda merupakan salah satu pembangkit di Indonesia yang menggunakan air sebagai sumber energinya, dalam proses pembangkitan energi listrik pada PLTA Ir.H Djuanda terdapat peralatan peralatan yang saling berhubungan atau mempengaruhi satu sama lain. Peralatan tersebut diantaranya adalah Turbin, Transformator, Generator dan lain-lain . Ketiga peralatan tersebut

sangat berperan penting dalam proses perubahan energi. Pada prinsipnya PLTA mengolah air menjadi listrik dengan memanfaatkan perubahan energi, yaitu energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dengan adanya head, lalu energi kinetik ini berubah menjadi energi mekanis dengan adanya aliran air yang menggerakkan turbin, lalu energi mekanis ini berubah menjadi energi listrik melalui perputaran rotor pada generator (Doc. PJT II).

PLTA memiliki berbagai kelebihan, termasuk sifatnya yang terbarukan dan bebas emisi, andal, fleksibel, serta potensinya sebagai tempat rekreasi. Namun, juga terdapat kekurangan, seperti potensi dampak lingkungan dari pembangunan bendungan dan kebutuhan biaya awal yang besar untuk konstruksi. Selain itu, PLTA diakui sebagai sumber energi bersih yang efisien dengan ongkos listrik yang relatif rendah, menjadikannya kompetitif di antara sumber energi terbarukan lainnya. Teknologi ini tidak menghabiskan air dan memiliki emisi gas rumah kaca yang relatif lebih rendah dibanding pembangkit listrik berbahan bakar fosil. (<http://coaction.co.id>).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah teknologi yang memanfaatkan energi potensial dan kinetik air untuk menghasilkan energi listrik, menawarkan sumber energi terbarukan yang andal dan bersih. PLTA terdiri dari berbagai komponen utama seperti waduk, bendungan, pipa pesat (penstock), turbin, generator, dan sistem transmisi yang bekerja bersama untuk mengubah energi air menjadi listrik (<http://lestari.compas.com>).

Cara kerja PLTA melibatkan energi potensial air yang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin, yang kemudian berputar dan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik ini diteruskan untuk memutar generator, dari mana tercipta energi listrik. Ketinggian jatuh air dan jumlah debit air memengaruhi besarnya energi listrik yang dihasilkan. (<http://fatek.umsu.ac.id>).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka identifikasi masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Kebutuhan konsumsi listrik yang meningkat.
- b. Pemanasan global dan pencemaran udara

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari permasalahan yang ada, maka dalam hal ini penulis membatasi pembahasan ini sebagai berikut:

Laporan ini penulis membatasi masalah yang akan di bahas hanya pada analisa prinsip/kinerja turbin Francis kapasitas 32.3 Mw dan bagian- bagian turbin francis beserta fungsinya.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Apa saja yang menjadi bagian-bagian turbin PLTA?
- b. Bagaimana prinsip kerja turbin francis ?

1.5 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghitung kinerja turbin PLTA.
2. Untuk menganalisa kinerja dari segi data teknis, tinggi jatuh (Head) dan kapasitas debit turbin PLTA dan.
3. Menentukan efisiensi turbin PLTA.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini diantaranya;

1. Untuk pengembangan ilmu dan pengetahuan mahasiswa mahasiswi dengan aplikasi dilapangan.
2. Untuk mengetahui prinsip kerja turbin Francis.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian terbagi dalam beberapa bab-bab yang diuraikan secara rinci. Adapun untuk sistematika penulisan ini adalah sebgai berikut;

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang gambaran umum mengenai laporan Tugas Akhir, yaitu meliputi: latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan penelitian ,manfaat penelitian,tempat dan metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang pembahasan terkait turbin Turbin PLTA secara umum dan alat-alat yang menunjang ataupun bagian-bagian turbin PLTA. Pada bab ini dibahas mengenai klasifikasi macam-macam turbin PLTA dan bagian – bagian turbin PLTA (turbin francis) dan rumus dasar.

BAB III DATA TEKNIS YANG DI TINJAU

Bab ini menerangkan tentang teori singkat mengenai turbin PLTA (Turbin Francis), pipa pesat ,poros ,runner ,guid vane ,rumah keong ,serta perlengkapan lainnya .

BAB IV DATA DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang data Teknik dan beberapa Perhitungan terkait Pembangkit Listrik Tenaga Air dari sudut pandang Head atau tinggi jatuh.kapasitas, kecepatan putar, daya poros dan debit.

BAB V PENUTUP

Untuk Bab ini berisi tentang hasil dari Analisa kinerja PLTA dan beberapa saran yang bisa di sampaikan oleh penilti.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Umum Turbin Air

Turbin air adalah sebuah alat yang merubah energi kinetik dan potensial dari aliran fluida menjadi energi mekanik. Prinsip kerja ini memanfaatkan aliran air untuk menggerakkan blade atau runner pada turbin, yang kemudian menghasilkan putaran pada rotor. Perbedaan dasar antara turbin air dengan kincir air terletak pada desain dan efisiensi penggunaan energi air. Turbin air dirancang untuk bekerja dengan lebih optimal, memanfaatkan aliran air dengan kecepatan dan tekanan yang lebih tinggi, serta mampu memanfaatkan head atau tinggi jatuh air yang lebih besar, sehingga menghasilkan lebih banyak energi mekanik dibandingkan dengan kincir air yang lebih tradisional. Prinsip kerja turbin air berfokus pada transformasi energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik. Air yang jatuh dari ketinggian (head) memiliki energi potensial yang, ketika melewati turbin, berubah menjadi energi kinetik yang mendorong blade rotor untuk berputar. Rotasi ini kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator yang terhubung dengan rotor turbin.

Turbin air dapat dikategorikan berdasarkan arah aliran air terhadap blade rotor (aksi atau reaksi), jenis aliran air (radial, aksial, atau campuran), dan tinggi jatuh air yang dimanfaatkan (turbin tinggi, sedang, atau rendah). Desain dan pemilihan jenis turbin yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan energi air yang tersedia.

Turbin reaksi adalah jenis turbin yang merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik untuk menggerakkan turbin. Prinsip kerja turbin reaksi didasarkan pada konsep bahwa sudu atau penggerak dalam turbin memiliki desain atau profil khusus yang memungkinkan terjadinya penurunan tekanan air saat air melewati sudu tersebut. Penurunan tekanan ini menciptakan perbedaan tekanan antara bagian masuk dan keluar dari sudu, yang memberikan gaya dorong pada sudu tersebut, sehingga runner atau rotor dapat berputar. Berikut dua contoh utama dari turbin reaksi adalah:

Turbin Francis: Ini adalah turbin reaksi yang paling umum digunakan dan dapat bekerja pada rentang tinggi jatuh air yang luas, dari sedang hingga tinggi. Turbin Francis memiliki desain yang memungkinkan air mengalir masuk secara radial ke dalam runner dan keluar secara aksial. Efisiensi turbin ini sangat baik untuk berbagai kondisi operasi, dan desainnya yang fleksibel membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi pembangkit listrik tenaga air.

Turbin Kaplan/Propeller: Turbin jenis ini mirip dengan propeler kapal dan bekerja paling efektif pada tinggi jatuh air rendah dengan aliran air yang besar. Turbin Kaplan memiliki sudu yang bisa diatur sudutnya (adjustable blades), memungkinkan optimasi performa turbin sesuai dengan perubahan kondisi aliran air. Hal ini menjadikan Turbin Kaplan sangat efisien untuk lokasi dengan tinggi jatuh air yang rendah dan aliran air yang bervariasi.

Kedua jenis turbin reaksi ini dirancang untuk memanfaatkan energi potensial dan kinetik dari air secara maksimal, dengan cara mengubahnya menjadi energi mekanik melalui putaran rotor yang dihasilkan oleh perbedaan tekanan yang diciptakan oleh desain sudu mereka. Turbin reaksi sangat efektif dalam mengkonversi energi hidraulik menjadi energi mekanik, dan pilihan antara Turbin Francis dan Kaplan tergantung pada karakteristik khusus dari lokasi pembangkit listrik tenaga air, seperti tinggi jatuh air dan volume aliran air.

2.2 Sejarah Turbin Francis

Kata "turbine" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "whirling" (putaran) atau "vortex" (pusaran air). Ján Andrej Segner mengembangkan turbin air reaksi pada pertengahan tahun 1700. turbin ini mempunyai sumbu horizontal dan merupakan awal mula dari turbin air modern. Turbin ini merupakan mesin yang simpel yang masih diproduksi saat ini untuk pembangkit tenaga listrik skala kecil. Segner bekerja dengan Euler dalam membuat teori matematis awal untuk desain turbin. Pada tahun 1820, Jean-Victor Poncelet mengembangkan turbin aliran kedalam. Pada tahun 1826, Benoit Fourneyon mengembangkan turbin aliran keluar. Turbin ini sangat efisien (80%) yang mengalirkan air melalui saluran dengan sudu lengkung satu dimensi. Saluran

keluaran juga mempunyai lengkungan pengarah. Pada tahun 1844, Uriah A. Boyden mengembangkan turbin aliran keluar yang meningkatkan performa dari turbin Fourneyon. Bentuk sudunya mirip dengan turbin Francis. Pada tahun 1849, James B. Francis meningkatkan efisiensi turbin reaksi aliran kedalam hingga lebih dari 90%. Dia memberikan test yang memuaskan dan mengembangkan metode engineering untuk desain turbin air. Turbin Francis dinamakan sesuai dengan namanya, yang merupakan turbin air modern pertama. Turbin ini masih digunakan secara luas di dunia saat ini. Turbin air aliran kedalam mempunyai susunan mekanis yang lebih baik dan semua turbin reaksi modern menggunakan desain ini. Putaran massa air berputar hingga putaran yang semakin cepat, air berusaha menambah kecepatan untuk membangkitkan energi. Energi tadi dibangkitkan pada sudu dengan memanfaatkan berat jatuh air dan pusarannya. Tekanan air berkurang sampai nol sampai air keluar melalui sirip turbin dan memberikan energi. Sekitar tahun 1890, bantalan fluida modern ditemukan, sekarang umumnya digunakan untuk mendukung pusaran turbin air yang berat. Hingga tahun 2002, bantalan fluida terlihat mempunyai arti selama lebih dari 1300 tahun. Sekitar tahun 1913, Victor Kaplan membuat turbin Kaplan, sebuah tipe mesin baling-baling. Ini merupakan evolusi dari turbin Francis tetapi dikembangkan dengan kemampuan sumber air yang mempunyai head kecil.

Pada umumnya semua turbin air hingga akhir abad 19 (termasuk kincir air) merupakan mesin reaksi; tekanan air yang berperan pada mesin dan menghasilkan kerja. Sebuah turbin reaksi membutuhkan air yang penuh dalam proses transfer energi. Pada tahun 1866, tukang pembuat gilingan di California, Samuel Knight menemukan sebuah mesin yang mengerjakan tuntas sebuah konsep yang berbeda jauh. Terinspirasi dari system jet tekanan tinggi yang digunakan dalam lapangan pengeboran emas hidrolik, Knight mengembangkan ceruk kincir yang dapat menangkap energi dari semburan jet, yang ditimbulkan dari energi kinetik air. Pada sumber yang cukup tinggi (ratusan kaki) yang dialirkan melalui sebuah pipa saluran. Turbin ini disebut turbin impulse atau turbin tangensial. Aliran air mendorong ceruk disekeliling kincir turbin pada kecepatan maksimum dan jatuh keluar sudu dengan tanpa kecepatan. Pada tahun 1879, Lester Pelton, melakukan percobaan dengan kincir Knight, dikembangkanlah desain ceruk ganda yang

membuang air kesamping, menghilangkan beberapa energi yang hilang pada kincir Knight yang membuang sebagian air kembali melawan kincir. Sekitar tahun 1895, William Doble mengembangkan ceruk setengah silinder milik Pelton menjadi ceruk berbentuk bulat memanjang, termasuk sebuah potongan didalamnya yang memungkinkan semburan untuk membersihkan masukan ceruk. Turbin ini merupakan bentuk modern dari turbin Pelton yang saat ini dapat memberikan efisiensi hingga 92%. Pelton telah memprakarsai desain yang efektif, kemudian Doble mengambil alih perusahaan Pelton dan tidak mengganti namanya menjadi Doble karena nama Pelton sudah dikenal. Turgo dan turbin aliran silang merupakan desain turbin impulse selanjutnya. Turbin air terdapat dalam suatu pembangkit listrik berfungsi untuk mengubah energi potensial yang dimiliki air menjadi energi kinetik. Selanjutnya energi kinetik ini akan dirubah menjadi energi elektrik melalui generator.

2.3 Jenis Turbin Air

Turbin air dapat digolongkan menjadi dua yaitu turbin air berdasarkan model aliran air masuk runner dan berdasarkan bentuknya. Berikut ini akan diuraikan klasifikasi jenis turbin air.

2.3.1 Berdasar arah Aliran

a. Aliran Aksial

Pada turbin tipe ini air masuk melalui runner dan keluar sejajar dengan poros runner, Turbin Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe aliran aksial. Turbin aksial ini adalah turbin yang paling banyak digunakan dengan fluida kompresible.

b. Aliran Radial

Tipe aliran ini terbagi atas sentripetasi dan sentripugal. Untuk pola sentrifugal adalah pola aliran yang menyebar dari suatu puncak, pola seperti ini terdapat pada daerah yang membentuk kerucut atau gunung api. Pola aliran radial sentripetal merupakan pola aliran yang arahnya mengumpul menuju suatu pusat.

c. Aliran Tangensial

Pada kelompok ini turbin posisi air masuk runner dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner mengakibatkan runner berputar contohnya Turbin Pelton dan Turbin Cross-Flow.

2.3.2 Berdasarkan Daya

a. Mini Microhydro

Mini mikrohidro merupakan turbin yang mengalirkan daya atau energi yang kecil. Turbin ini tergolong teknologi tepat guna, contoh nyata dari teknologi ini adalah kincir angin. Sebelum adanya mesin generator kincir angin digunakan untuk membuat sistem irigasi perairan di beberapa pesawahan.



Gambar 2. 1 Kincir Air (Khazanah. Republikonline.com)

b. Mikrohidro

Mikrohidro menawarkan solusi energi yang efektif untuk kebutuhan spesifik, menawarkan potensi besar untuk peningkatan akses energi dan pembangunan berkelanjutan di seluruh dunia, khususnya di daerah terpencil dan kurang berkembang. Mikrohidro adalah sistem pembangkit listrik tenaga air skala sangat kecil yang dirancang untuk menghasilkan listrik dengan kapasitas di bawah 100 kilowatt (kW). Sistem ini ideal untuk komunitas kecil, rumah tangga terpencil, atau aplikasi kecil lainnya di lokasi yang memiliki akses ke aliran air dengan head yang cukup. Mikrohidro dapat menyediakan solusi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, menawarkan alternatif yang handal dan terjangkau untuk daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik atau di mana sumber energi lain tidak praktis atau terlalu mahal.

Poros yang berputar tersebut kemudian di teruskan ke generator dengan menggunakan kopling dari generator akan menghasilkan energi listrik yang akan

masuk ke system control arus listrik sebelum dialirkan energi listrik yang akan masuk ke system control arus listriksebelu di alirkan ke rumah- rumah penduduk atau keperluan lainnya. Begitulah cara kerja secara ringkay untuk PLTMH.



Gambar. 2.2 PLTMH (Brainly).

c. Minihidro

Minihidro, atau pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mini, merujuk pada sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi air untuk menghasilkan listrik dengan kapasitas yang lebih besar daripada sistem microhydro tetapi masih tergolong kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air skala besar. Kapasitas produksi listrik dari sistem minihidro umumnya berkisar antara 100 kilowatt (kW) hingga 1 megawatt (MW). Sistem ini merupakan solusi energi terbarukan yang ideal untuk komunitas kecil hingga menengah, industri kecil, atau daerah terpencil yang membutuhkan suplai listrik yang stabil dan berkelanjutan.



Gambar 2. 2 Animasi Minihidro 100-5000 Watt(SlideShare.Turbinair).

d. Turbin Hydropower

Pembangkit tipe initergolong dari turbin hydropower dikarenakan tenaga yang dihasilkan di atas 20 MW setiap unit. Pembangkit tipe ini menggunakan atau

mengandalkan energi potensial dan kinetic dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan ini biasa disebut sebagai hidro elektrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakan oleh tenaga kinetic dari air.



Gambar 2.4 Hydropower kapasitas diatas 20 MW.

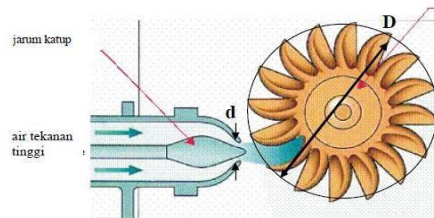
(Pengujian Untuk Kerja Turbin Pelton Tunggal Hasil Perancangan).

2.3.3. Berdasarkan Bentuk

a. Turbin Impuls (Turbin Pelton)

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial, tekanan, kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozle tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Turbin impuls merubah aliran semburan air, semburan air membentuk sudut yang membentur turbin. Sebelum mengenai sudu turbin, tekanan air (energi potensial) dikonversi menjadi energi kinetik oleh sebuah nosel dan difokuskan pada turbin. Tidak ada tekanan yang dirubah pada sudu turbin, dan turbin tidak memerlukan rumahan untuk operasinya.

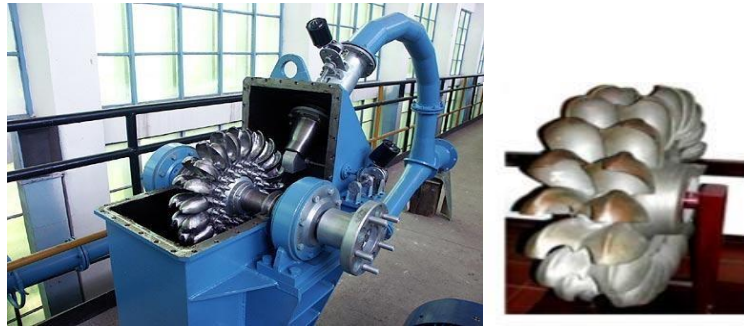
Hukum kedua Newton menggambarkan transfer energi untuk turbin impuls. Turbin impuls paling sering digunakan pada aplikasi turbin tekanan sangat tinggi. Contoh turbin impuls adalah turbin pelton, turbin cross flow, dan turbin turgo. Berikut adalah macam-macam turbin impuls (Turbin Pelton)



Gambar 2. 3 Jarum katup dan tekanan tinggi pada nozel.

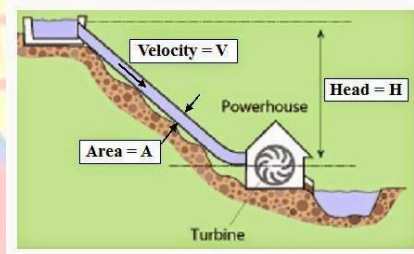
(Pengujian Untuk Kerja Turbin Pelton Tunggal Hasil Perancangan).

Turbin Pelton ditemukan pada tahun 1870an oleh Lester Allan Pelton. Jenis Turbin ini memiliki satu atau beberapa jet penyemprot air untuk memutar piringan. Tak seperti turbin jenis reaksi, turbin ini tidak memerlukan tabung diffuser. Ketinggian air (head) = 200 s.d 2000 meter. Debit air = 4 s.d 15 m³/s. Turbin pelton digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau nosel. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Turbin Pelton yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada sudu roda jalan. Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh yang besar . Tinggi air jatuh dihitung mulai dari permukaan atas sampai tengah tengah pancaran air. Bentuk sudu terbelah menjadi dua bagian yang simetris, dengan maksud adalah agar dapat membalikan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping.



Gambar 2. 4 Turbin Pelton (SlideShare.Turbinair)

Tidak semua sudu menerima pancaran air, hanya sebagian – jarum katup air tekanan tinggi bagaikan saja secara bergantian bergantung posisi sudut tersebut. Jumlah noselnya bergantung kepada besarnya kapasitas air, tiap roda turbin dapat dilengkapi dengan nosel 1 sampai 6. Ukuran-ukuran utama turbin pelton adalah diameter lingkaran sudu yang kena pancaran air, disingkat diameter lingkaran pancar dan diameter pancaran air. Pengaturan nosel akan menentukan kecepatan dari turbin. Untuk turbin-turbin yang bekerja pada kecepatan tinggi jumlah nosel diperbanyak.



Gambar 2. 5 Instalasi Turbin Pelton dalam bentuk gambar 2d.

(Pengujian Untuk Kerja Turbin Pelton Tunggal Hasil Perancangan).

Keuntungan turbin pelton adalah;

- (1) Daya yang dihasilkan besar.
- (2) Konstruksi yang sederhana,
- (3) Mudah dalam perawatan dan
- (4) Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

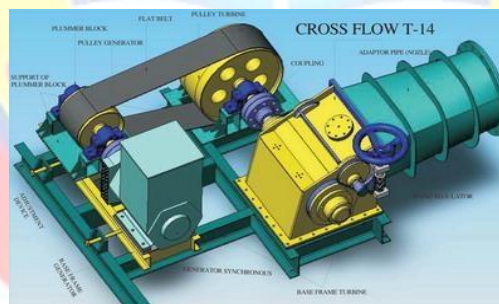
Sedangkan kekurangan turbin pelton adalah karena aliran air berasal dari atas

maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.

Turbin pelton bekerja berdasar pada prinsip impuls, seluruh energi potensial air dengan tekanan tinggi ketiga menumbuk ke sudu-sudu turbin di rubah menjadi energi kecepatan pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada sudu roda jalan turbin kecepatan air yang keluar dari nozel dapat di ketahui dengan persamaan sebagai berikut:

b. Turbin Cross-Flow

Turbin Cross-Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell Ossberger.



Gambar 2. 6 Turbin Banki/Cross-Flow dalam bentuk gambar 2d.

(Pengujian Untuk Kerja Turbin Pelton Tunggal Hasil Perancangan).

Pemakaian jenis Turbin Cross-Flow lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin Cross-Flow lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter Turbin Cross-Flow dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa

lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin Cross-Flow mencapai 82 %. Tingginya efisiensi Turbin Cross-Flow ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari runner.

Turbin Cross Flow juga disebut Turbin Banki-Mitchel atau Turbin Ossbeger, dikarenakan jenis turbin ini disebut-sebut ditemukan oleh ilmuwan Australia Anthony Michell, Ilmuwan Australia Donat Banki, Ilmuwan Jerman Fritz Ossberger. Mereka masing-masing memiliki paten atas jenis turbin ini. Tak seperti kebanyakan turbin yang berputar dikarenakan aliran air secara axial maupun radial, pada turbin Cross Flow air mengalir secara melintang atau memotong blade turbin, Turbin Cross Flow didesain untuk mengakomodasi debit air yang lebih besar dan head yang lebih rendah dibanding Pelton. Headnya kurang dari 200 meter.

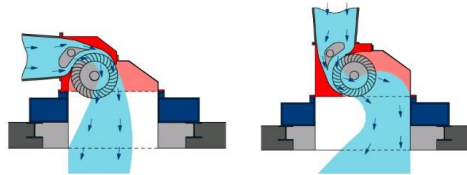
Tinggi jatuh (head): $H = 5-200 \text{ m}$

Debit: $Q = 0,03-13 \text{ m}^3/\text{s}$

Kapasitas: $N = 10-3 \text{ 500 KW}$

Turbin jenis ini cocok untuk pemanfaatan sumber daya hidroelektrik skala kecil hingga menengah, khususnya di daerah yang memiliki sumber air dengan aliran yang tidak konsisten atau memiliki tinggi jatuh air yang tidak terlalu besar. Pemanfaatan Turbin Cross-Flow mendukung pengembangan pembangkit listrik tenaga air yang berkelanjutan dengan memanfaatkan potensi lokal tanpa memerlukan infrastruktur besar atau investasi yang berat. Turbin ini menjadi solusi yang efektif untuk menghasilkan energi listrik di daerah terpencil atau sebagai bagian dari sistem pembangkit listrik terdistribusi.

Dalam aplikasinya, turbin Cross-Flow banyak digunakan dalam skala kecil hingga menengah untuk pembangkit listrik mikro-hidro, sistem pompa air tenaga air, dan aplikasi lain yang memanfaatkan energi air secara lokal. Keunggulan turbin Cross-Flow dalam hal efisiensi dan fleksibilitas membuatnya menjadi pilihan yang populer untuk memanfaatkan potensi energi air di berbagai lokasi.



Gambar 2.9 Inlet Horizontal dan Vertikal Cross-Flow (wrper.org)

Turbin Cross Flow terbuat dari komponen standar yang dikonfigurasi sesuai dengan kebutuhan pelanggan – yaitu diperhitungkan secara menyeluruh potensi dari air dan Ketinggian (head) dilokasi ditempat tertentu. Seperti sistem modular yang menyediakan dan merancang semua fungsi dengan harga yang baik pada waktu yang bersamaan.

Turbin crossflow memiliki purna jual yang panjang dan bebas perawatan. Selama pengoperasian, tidak diperlukan suku cadang yang mahal atau kompleks, maupun dapat di perbaiki langsung dilapangan. Keuntungan tertentu turbin crossflow adalah dapat digunakan dalam sistem air bersih gravitasi, bahkan di saluran yang sangat panjang, ataupun tidak menyebabkan dampak yang tidak diinginkan secara hidrolis dan dengan demikian tidak mempengaruhi kualitas air minum selama pengoperasian.

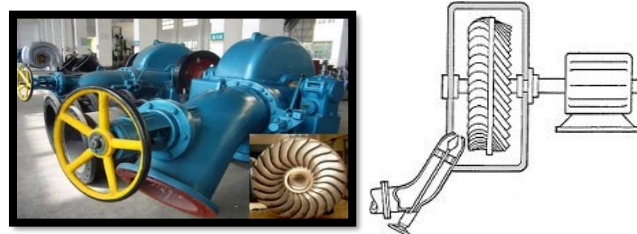
Turbin Cross-Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Pemakaian jenis Turbin Cross-Flow lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin Cross-Flow lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air.

c. Turbin Turgo

Turbin Turgo merupakan salah satu jenis turbin impuls yang dirancang untuk bekerja efektif pada rentang head (tinggi jatuh air) yang lebar, yakni antara 30 hingga 300 meter. Ini memberikan keleluasaan dalam penggunaannya di berbagai lokasi dengan tinggi jatuh air yang bervariasi. Keunikan dari turbin Turgo terletak pada desain sudunya yang memungkinkan pancaran air dari nozzle mengenai sudu pada sudut sekitar 20 derajat. Sudut serangan ini memaksimalkan pemanfaatan energi kinetik dari air, yang berbeda dengan sudu pada turbin Pelton yang biasanya menghadapi aliran air secara lebih langsung.

Kecepatan putar yang lebih besar pada turbin Turgo dibandingkan dengan turbin Pelton merupakan salah satu keuntungan utama dari desain ini. Kecepatan putar yang lebih tinggi ini memungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator, menghilangkan kebutuhan akan gearbox atau sistem transmisi mekanik lainnya yang bisa menambah kompleksitas dan biaya perawatan. Dengan demikian, turbin Turgo menawarkan efisiensi total yang lebih tinggi dan biaya perawatan yang lebih rendah, menjadikannya pilihan yang menarik untuk proyek pembangkit listrik tenaga air, terutama di lokasi yang memungkinkan pemanfaatan head dalam rentang yang luas.

Penggunaan turbin Turgo sangat sesuai untuk proyek-proyek pembangkit listrik tenaga air skala menengah hingga besar, dimana efisiensi dan keandalan menjadi pertimbangan utama. Kombinasi antara fleksibilitas operasional pada berbagai tinggi jatuh air, efisiensi energi yang tinggi, dan pengurangan biaya operasional dan perawatan menjadikan turbin Turgo sebagai solusi yang efektif dan ekonomis dalam pemanfaatan energi hidro.



Gambar 2. 10 Kontruksi Turbin Turgo (eprints.polsri.ac.id)

d. Turbin Reaksi

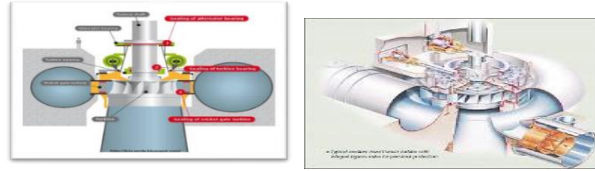
Turbin Reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin reaksi terdiri dari turbin *Francis dan Kaplan*, berikut ini adalah macam-macam turbin reaksi.

A. Turbin Francis

Turbin Francis adalah turbin reaksi dengan desain yang memungkinkan air mengalir masuk secara radial ke sudu-sudunya dan keluar secara aksial. Ini adalah turbin yang sangat fleksibel dan dapat digunakan pada berbagai tingkat head, dari rendah hingga sangat tinggi. Keunikannya terletak pada desain sudu yang memfasilitasi perubahan arah aliran air, yang menghasilkan penurunan tekanan secara efektif. Penurunan tekanan ini yang menghasilkan gaya yang mendorong runner turbin untuk berputar. Turbin Francis sangat cocok untuk pembangkitan listrik pada tinggi jatuh air menengah hingga tinggi..

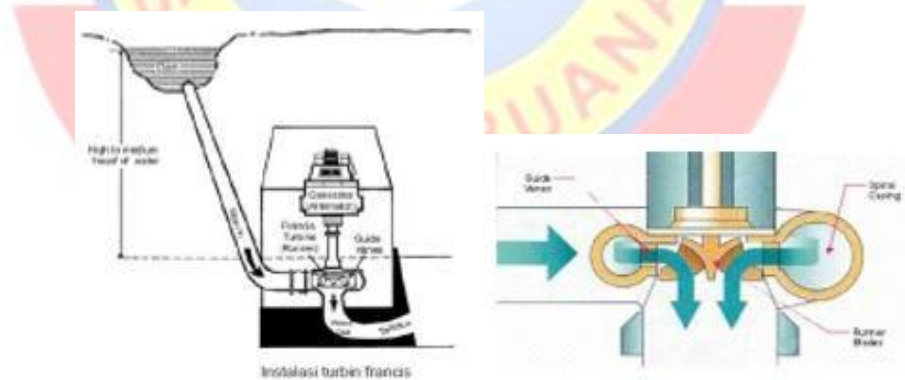
Kedua jenis turbin reaksi ini memiliki karakteristik yang memungkinkan mereka untuk beroperasi dengan efisiensi yang tinggi dalam kondisi yang berbeda. Turbin Francis lebih serbaguna untuk rentang head yang lebih luas, sedangkan Turbin Kaplan menawarkan efisiensi maksimal pada tinggi jatuh air yang lebih rendah dengan kemampuan penyesuaian sudu yang memberikan kontrol yang lebih baik terhadap kinerja. Kedua turbin ini dirancang untuk beroperasi sepenuhnya tercelup dalam air dan ditempatkan dalam rumah turbin, yang membantu melindungi komponen-komponen turbin dan memaksimalkan konversi energi air menjadi energi mekanik..

Turbin francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial.



Gambar 2. 11 Kontruksi Turbin Francis (<http://its.ac.id>)

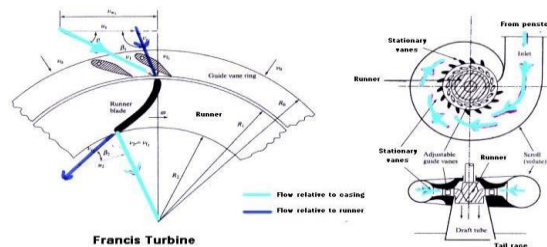
Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Pada waktu air masuk ke roda jalan, sebagian dari enrgi tinggi jatuh telah bekerja di dalam sudu pengarah diubah sebagai kecepatan air masuk. Sisa energi tinggi jatuh dimanfaatkan dalam sudu jalan, dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja di sudu jalan dengan semaksimum mungkin. Turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam dalam air. Air yang masuk kedalam turbin dialirkan melalui pengisian air dari atas turbin atau melalui sebuah rumah yang berbentuk spiral (rumah keong). Semua roda jalan selalu bekerja.



Gambar 2. 12 Sistem Kerja Turbin Francis (eprints.polsri.ac.id)

Saat air melewati sudu pengarah, sebagian dari energi potensial air yang berasal dari tinggi jatuh dikonversi menjadi energi kinetik. Ini berarti kecepatan air saat memasuki sudu jalan (runner) meningkat. Sudu pengarah ini juga berfungsi untuk mengarahkan aliran air ke sudu jalan dengan sudut yang optimal untuk memaksimalkan efisiensi turbin.

Ketika air mengenai sudu jalan, sisa energi potensial yang belum dikonversi oleh sudu pengarah kemudian dimanfaatkan. Desain sudu jalan pada turbin Francis memungkinkan untuk konversi energi kinetik air menjadi energi mekanik dengan efisien. Aliran air melalui sudu jalan menghasilkan tekanan yang lebih rendah di sisi keluar dari pada sisi masuk, menciptakan perbedaan tekanan yang mendorong sudu jalan untuk berputar.



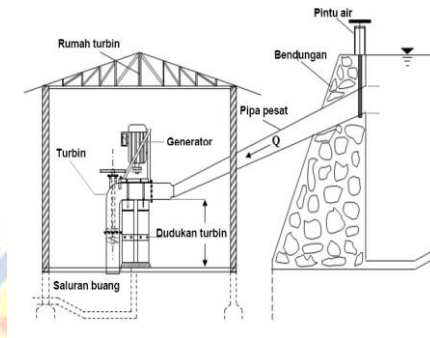
Gambar 2. 13 Runner Turbin Francis (Water Turbin | Yokeajauza).

Turbin francis mempunyai poros tegak dengan ukuran yang besar, sedangkan dengan ukuran yang kecil dengan ukuran mendatar. Turbin francis memakai roda propeller atau runner yang dapat berputar secara bebas. Konstruksi turbin terdiri dari dari sudu pengarah dan sudu jalan, dan kedua sudu tersebut, semuanya terendam di dalam aliran air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk rumah keong. Perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Aliran air masuk ke sudu pengarah dengan kecepatan semakin naik dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai di bawah 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan harus dinaikan sampai 1 atm dengan cara pemasangan pipa hisap. 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.

2. Turbin Kaplan/Propeller

Turbin Kaplan adalah versi lebih lanjut dari konsep turbin reaksi yang sangat efisien pada tinggi jatuh air rendah hingga menengah. Salah satu ciri khas turbin Kaplan adalah sudunya yang dapat diatur sudutnya (adjustable blades), yang memungkinkan optimalisasi kinerja turbin sesuai dengan perubahan kondisi aliran

air. Seperti Turbin Francis, air mengalir secara aksial melalui sudu-sudu, tetapi desain sudu yang dapat diatur membedakannya, menyediakan adaptasi yang lebih baik untuk variasi aliran air. Turbin Kaplan sangat sesuai untuk aplikasi dimana aliran air dan tinggi jatuh air cenderung berubah-ubah.



Gambar 2. 14 Instalasi Turbin Kaplan/Propeller (pdf.coffe.com)

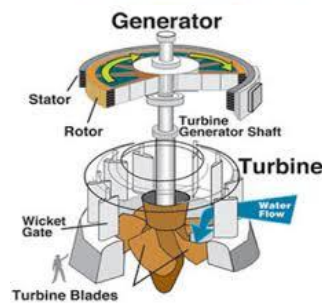
Turbin Kaplan dan propeller merupakan turbin rekasi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu. Tidak berbeda dengan turbin francis, turbin kaplan cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada francis,



Gambar 2. 15 Kontruksi Turbin Kaplan/Propeller (pdf.coffe.com)

Turbin kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin kaplan dapat beroperasi pada kecepatan

tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi pada beban tidak penuh turbin kaplan mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu-sudu turbin kaplan dapat diatur menyesuaikan dengan beban yang ada. Turbin kaplan adalah turbin yang beroperasi pada head yang rendah dengan kapasitas aliran air yang tinggi atau bahkan beroperasi pada kapasitas yang sangat rendah. Hal ini karena sudu-sudu turbin kaplan dapat diatur secara manual atau otomatis untuk merespon perubahan kapasitas.



Gambar 2. 16 Turbin Kaplan/Propeller (hydro power plant STT-PLN)

Pada turbin energi fluida kerja dimanfaatkan secara langsung untuk memutar roda turbin. Fluida kerja turbin dapat berupa gas, uap dan air. Bagian turbin yang berputar dinamakan rotor atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak bergerak/ berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya. Di dalam fluida kerja mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan dan mengalir secara kontinu.

2.4 Rumus Dasar

PLTA Jatiluhur dalam penggunaannya memanfaatkan aliran Sungai Citarum. Sungai Citarum merupakan sungai terbesar di Pulau Jawa dengan panjang 300 km. Di sekitar PLTA Jatiluhur terdapat dua PLTA besar lainnya diantaranya PLTA Saguling dan PLTA Cirata yang sama-sama memanfaatkan aliran Sungai Citarum.

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air harus melalui beberapa tahapan perubahan energi, yaitu:

2.4.1 Energi Potensial

Energi Potensial adalah energi yang terjadi akibat adanya beda potensial. Akibat adanya perbedaan ketinggian. Besarnya Energi Potensial yaitu:

$$E_p = m.g.h \text{ (Wijaya agung, dkk.2008 Ipa Terpadu)}$$

Dimana:

E_p : Energi Potensial (*joule*)

m : massa (*kg*)

g : gravitasi (*9.8 kg/m²*)

h : head (*m*)

2.4.2 Energi Kinetis

Energi kinetis adalah energi yang dihasilkan akibat adanya aliran air sehingga timbul air dengan kecepatan tertentu, yang dirumuskan:

$$E_k = \frac{1}{2} m.v^2 \text{ (Brainly.co.id)}$$

Dimana:

E_k : Energi kinetis (*joule*)

m : massa (*kg*)

v : Kecepatan (*m/s*)

2.4.3 Energi Mekanis

Energi Mekanis adalah energi yang timbul akibat adanya pergerakan turbin. Besarnya energi mekanis tergantung dari besarnya Energi Potensial dan Energi Kinetis. Besarnya Energi Mekanis dirumuskan:

$$E_m = T.\omega.t \text{ (Brainly.co.id)}$$

Dimana:

E_m : Energi mekanis (*joule*)

T : torsi (*Nm*)

ω : sudut putar (*rad/s*)

t : waktu (*s*)

2.4.4 Energi Listrik

Ketika turbin berputar maka rotor juga berputar sehingga menghasilkan Energi Listrik sesuai persamaan:

$$E_l = V.i.t \text{ (Brainly.co.id)}$$

Dimana:

E_l : Energi Listrik (*joule*)

- V** : Tegangan (*Volt*)
i : Arus (*Ampere*)
t : waktu (*s*)

2.4.5 a. Gaya Turbin

$$F = 2\rho.Q.V \text{ out (http://its.ac.id)}$$

- Dimana ;
F = Gaya (*N*)
 ρ = Rapat masa air (*m/ s*)
Q = Debit (*m³/s*)
V = Kecepatan air jenis (*m/s*)

b. Daya Hidrolik

Daya hidrolik merupakan hasil dari air yang keluar dari pompa sampai ketinggian (*head*).

$$N_p = \rho . g . Q . H \text{ (watt) (http://its.ac.id)}$$

- Dimana ;
 N_p = Daya pompa
Q = Debit air (*m³/s*)
G = Gravitasi bumi (*9.8 m/s²*)
H = Panjang head (*meter*)
 ρ = Rapat masa air (*1000 kg/m³*)

c. Torsi Poros

$$T = m . l . g \text{ (Newton) (http://its.ac.id)}$$

- Dimana ;
m = Masa (*kg*)
l = Panjang (*meter*)
g = Gravitasi bumi (*9.8 m/s²*)

d. Daya Poros turbin dengan; N_t

- Dimana;
 ω = Kecepatan angular (*Rad/secon*)
T = Torsi poros tubin (*N/m*)
n = Putaran Tubin (*Rpm*)

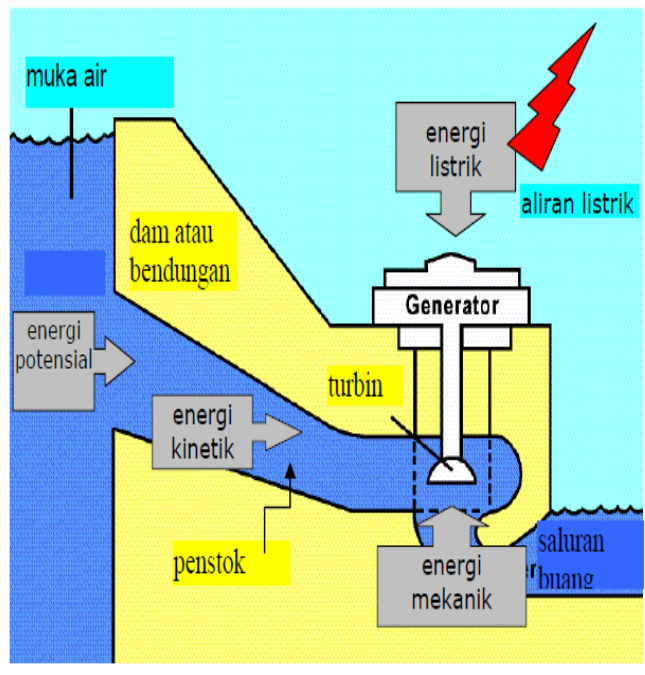
e. Efisiensi turbin

$$\eta = \frac{N_t}{N_p} \times 100\% \text{ (http://its.ac.id)}$$

Air waduk yang masuk melalui pintu utama (intake gate) menuju pipa pesat (penstock) sepanjang 65 m mengalir menuju rumah keong (spiral casing) untuk didistribusikan ke seluruh keliling runner. Aliran tersebut masuk kedalam sudu antar (guide vane) kemudian diarahkan menuju runner dan wicket gate akan mengatur debit air yang masuk tersebut dari mulai bukaan minimum 0% sampai bukaan maksimum 100% yaitu 46,6 m³/s. Energi Kinetik yang terdapat dalam aliran air tersebut kemudian diubah menjadi energi mekanik berupa putaran yang terjadi putaran atau gerak putar yang menggerakkan runner itu sendiri, untuk turbin Francis sendiri memiliki data dengan kecepatan putaran (n) 272,7 rpm. Putaran ini lah yang membuat terjadinya atau sebab yang digunakan untuk membangkit energi Listrik.

Energi listrik yang dihasilkan dari generator yaitu daya 32 MW dan tegangan bolak balik sebesar 6,3 KV. Kemudian tegangan bolak balik sebesar 6,3 KV tersebut dinaikkan tegangannya oleh sebuah transformator sehingga tegangannya menjadi 150 KV untuk dikirim dengan menggunakan kabel minyak 150 KV menuju switch Yard yang akan menampung dan mendistribusikan dengan media melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi atau biasa orang bilang Sutt (SUTT) 150 KV dengan perincian sebagai berikut:

- 150 KV untuk Padalarang I dan Padalarang II.
- 70 KV untuk Kosambi I dan Kosambi II.
- 70 KV untuk pemakaian sendiri.



Gambar 2. 17 Flow Diagram PLTA (Doc PJT II).

BAB III

DATA TEKNIS YANG DITINJAU

3.1 Turbin Francis

Turbin air yang digunakan di PLTA Ir.H. Djuanda Jati luhur adalah turbin Francis yang merupakan masuk ke turbin reaksi. Turbin Francis adalah turbin dimana air mengalir ke rotor dengan arah radial dan keluar dengan arah aksial, perubahan arah terjadi sambil melewati rotor. Turbin Francis dipakai untuk berbagai keperluan dengan tinggi terjun menengah atau medium Head sedangkan rumah siput (scroll case) dibuat dengan pelat baja, baja cor atau besi cor sesuai tinggi terjun (Head) dan kapasitas, bertugas menahan bagian terbesar dari beban tekanan hidrolik yang diterima oleh turbin. Tekanan selebihnya ditahan oleh sudu kukuh (guide vane) dan diatur di sekeliling luar rotor (runner) dan mengatur daya keluar/ output turbin dengan mengubah bukaan sesuai dengan perubahan beban melalui mekanisme pengatur dengan menggunakan lengan servo dan dilakukan oleh mekanisme governor.

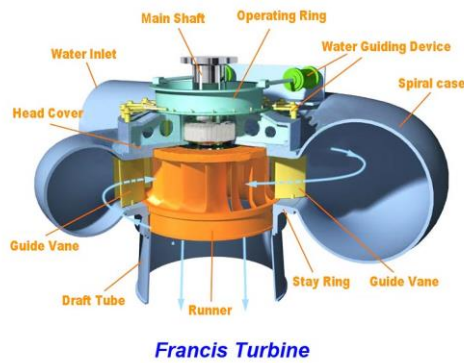
3.2 Data Teknik Turbin Francis

- Merk : NEYRPIC
- Tipe : Francis Turbines
- Kapasitas : 32,3 MW
- Kecepatan Putar : 272,7 rpm
- Kapasitas Maksimum (discharge) : 46,7 m³/s
- Rated Head : 77 m
- Jumlah : 6 unit

- Generator output : 36000 KVA



Gambar 3.1 Turbin Francis (Doc. Pribadi).



Gambar 3. 2 Bagian Turbin Francis (<http://its.ac.id>)

3.3 Bagian - Bagian Turbin Francis

3.3.1 Pipa Pesat (Penstock)

a. Data Teknik Pipa Pesat (Penstok)

Nama pabrik	: NEYRPIIC
Diameter dalam	: 3250 mm
Panjang bagian vertikal dan horizontal	: 47,30 m
Bahan	: Baja AQ UNI 815 Open
heart	
Tebal	: 20 mm
Cat pelindung satuan 1	: Bituseulac
Tebal can pelindung (minimum)	: 700 mikron
Daya oprasional normal	
Daya maksimum	: 45m ³

Kecepatan air maksimum(ketahanan cat) : 5 m/s

b. Fungsi pipa Pesat (Penstok)

Pipa pesat adalah sebuah pipa atau saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari waduk melalui pintu pengambilan ke turbin melalui rumah keong atau spiral casing.

Struktur pipa pesat terdiri dari 21 elemen pipa yang di buat dari pelat baja AQ UNI 815 Open Heart tebal 20 mm yang sudah di bentuk di pabrik. Pipa pesat terdiri dari bagian vertikal dengan ujung vertikal dengan ujung atas elevasi 58,70 dan sumbu horizontal dengan sumbu elevasi 20,50 seluruh bagian pipa pesat terletak pada beton dinding bangunan menara(bagian vertikal)dan di bawah lantai elevasi 22,50 (bagian yang horizontal).

Untuk menghindari debit air dalam pipa pesat melebihi besar yang di tentukan di pasang alat detektor tekanan diferensial kecepatan lebih (over speed diferensial pressure device) . Pada elevasi 40,0 alat ini termasuk pada rangkaian kendali (sistem pengamat) untuk menutup pengambilan .

Cara kerja detector kecepatan air lebih dimana alat itu terdiri dari timbangan air raksa yang ke dua sisinya masing-masing di beri tekanan statis dan dinamis air dalam pipa pesat dan meneruskannya pada timbangan air raksa dalam keadaan normal timbangan iri berada dalam keadaan seimbang.

3.3.2 Servo Motor (Lengan Servo)

Nama pabrik	: NEYRPIC
Jumlah	: 6
Jenis governor head	
Sistem	
- Satuan I,II,III,IV, V	: Mekanik
- Satuan I	: VI Elektronik
Pusat tenaga hidrolik	
- Jumlah pompa	: 2
- Jenis pompa	: Sekrup
Tekanan kerja sistem	: 27kg/cm ²
Tekanan minyak pada actuator	: 16 bar
Alat penggerak	

- Motor : Asinkron
- Fasa : 3
- Daya : 29,4 KW

Minyak hidrolik

- Jenis
- Volume
- Viskositas : 50°C, 4 - 5° Engler
: 20°C, 24-32° Engler

Sistem pendingin minyak hidrolik

- Medium pendingin : Air (Air Bersih)
- Debit air pendingin : 2,5 liter/s
- Siklus : Tertutup

a. Fungsi Servomotor

Servomotor merupakan alat penggerak cincin sudu (Gate ring), gerak cincin sudu selanjutnya menggerakkan (membuka atau menutup)sudu pengantar. Setiap satuan dilengkapi dengan dua buah servomotor yang dikendalikan oleh katup distribusi (distribusi valve/ lengan vius). Yang mengalirkan oleh katup pilot (vilot valve) berdasarkan sinyal hasil olahan governur head

Sebuah sistem umpan balik ,mekanik mengumpan balik semua gerakan sudu kepada hubungan (kam) gerak kembali sementara dan hubungan speeddroop dalam governur head

b. Cara Kerja

Motor pendahuluan yang di hubungkan dengan alternator pilot berputar mengikuti dan sesuai dengan puteran alternator pilot. Setiap alat perubahan alternator pilot(lebih atau kurang dari puteran nominal) akan mengakibatkan gerakan poros sitem pendahulu.

Kelebihan/kekurangan kecepatan mengakibatkan pendahuluan mengalami penambahan /pengurangan gaya sentri pugal sehingga akan pergerakan ke arah luar /dalam dan menyebabkan poros sistem penduluan naik/turun.

Melalui sistem tuas gerak naik/turun poros system pendahuluan secara mekanis di teruskan sehingga mengakibatkan poros katup pilot bergerak pembongkaran atau pemasangan kembali bantalan radial.



Gambar 3. 3 Servo Motor (Doc. Pribadi)

3.3.3 Rumah Keong (Spiral Casing)

a. Fungsi

Rumah berfungsi untuk mengalirkan dan membagi atau mendistribusikan air yang berasal dari pipa pesat dan di salurkan melalui sekeliling runner dengan arah tangensial dan aksial arah keluar melalui trail race.

b. Stuktur

Stuktur rumah keong terdiri dari 2×21 buah pelat baja tebal 12 – 20 mm yang sudah di bentuk di pabrik , di las satu sama lain di tempat sehingga secara keseluruhan berbentuk spiral plat- plat lengkung rumah keong di las pada stayling dimana terdapat sudu-sudu antar .

Diameter di tempat sambung rumah keong dengan pipa pesat adalah 2550 mm diameter radius minimum 3200 mm. Rumah keong dilenglapi dengan lubang orang (diameter 600 mm) yang terdapat pada elevasi 22,50 untuk keperluan pemeriksaan rumah keong dan pipa pesat. Permukaan dalam rumah keong di beri lapisan cat pelindung yang terdiri dari primaere Neoprene dan Hypalon dengan tebal total minimum 700 mikron Hypalon yang merupakan lapisan luar yang tahan kecepatan air sampai maksimum 10 m/detik.

c. Cara kerja

Rumah keong yang berbentur melingkardi sekelilingi luar runner dengan menampang melintas dan air akan berangsur makin kecil yang selanjutnya membuat air bergerak melingkar di seluruh keliling runner dan selanjutnya di arahkan oleh sudu-sudu antar menuju runner. Permukaan dengan cat terkelupas atau menggelembung setelah cat di buang harus di beri lapisan cat pelindung baru yang sejenis.

3.3.4 Sudu Pengantar (Wicket Gate/Guide vane)

Nama pabrik	: NEYPRIC
Jumlah sudu (satuan)	: 20
Ukuran sudu	
Tebal	: 85 mm
Tinggi	: 680 mm
Lebar	: 500 mm
Bahan baja tuang	: ASTN A643 Grade A
Penampang laluan air antara dua sudu (Posisi terbuka penuh)	
Tinggi	: 680 mm
Lebar	: 210 mm
Luas laluan air maksimum antara sudu	: 1428 cm ²
Data batasan operasional	
Kecepatan air maksimum	: 10 m/s
Kebocoran air maksimum	: 20 liter/s

a. Fungsi

Sudu pengatur itu berfungsi untuk mengatur banyaknya air dari rumah keong ke runner, dari mulai debit nol (posisi sudu tertutup) sampai maksimum (sudu terbuka penuh) guna mengatur kecepatan putar (rpm) runner sesuai dengan beban yang di pikul (sesuai yang di inginkan / di tentukan) .

b. Stuktur

Sudu pengantar terdiri dari 20 sudu berporos terbuat dari baja tuang, seluruhnya di pasang vertikal di sekeliling runner setelah atas dan bawah masing-masing terpasang pada bantalan (bushing) distributor ring atas dan bawah pada distributor ring juga di pasang pada cincin aus (vius) ke 20 sudu- sudu pengatur yang terpasang pada distributor ring dapat berputar untuk mencapai posisi tertutup sampai terbuka penuh. Masing ujung atas poros sudu pengatur di hubungkan dengan gate ring sebuah lengan dengan sheat ring gate, ring di gerakan (sehingga di peroleh gerak putar/ pembukaan) oleh servomotor kerja ganda berdasarkan kendali yang di lakukan oleh governor.

c. Cara Kerja

Mengikuti pergerakan oleh governor (untuk mencapai kecepatan putar 272,2 Rpm atau frekuensi 50 Hz). Dua servo motor kerja ganda yang bergerak dengan arah berlawanan yang menggerakkan (memutar gate ring) gerak putar gate ring selanjutnya menggerakkan share ring dan lengan yang digerakan/di hubungkan dengan poros sebelah atas masing-masing sudu pengantar mengakibatkan gerak putar poros sudu dan seluruh sudu-sudu bergerak memperbesar dan memperkecil luas laluan air dengan batas gerakan antara tertutup dan terbuka penuh.

Ring yang terbuat dari baja tuang dan mempunyai bagian tengah dengan luas penampang lebih kecil berfungsi sebagai pengaman : dalam hal suatu barang terjepit antara dua sudu pengatur pada saat sudu-sudu pengatur tertutup rapat maka maka sharering akan patah pada penampang yang lebih kecil tersebut.

d. Cara Pelumasan

Bantalan poros ke 20 sudu pengatur sebelah atas dan bawah (terdapat pada distributor ring atas dan bawah) di lumasi dengan gemuk yang berasal dari dua pompa gemuk (masing- masing untuk kelompok satuan I, II, III dan IV, V, VI)

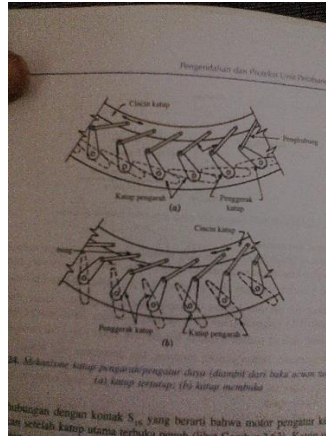


Gambar 3. 4 Sudu Pengantar (Guide Vane) (Doc Pribadi).



Gambar 3. 5 Gerak Sudu (Doc Pribadi)

Adalah merupakan bagian dari turbin Francis yang berfungsi sebagai pintu masuk angin dari spiral casing menuju runner blade, selain itu guide vane juga berfungsi sebagai distributor agar air dikelilingi runner mempunyai debit yang sama rata (uniform), serta sebagai pengaman turbin pada saat gangguan.



Gambar 3. 6 Sketsa Gerak Sudu (Aris mundur).

3.3.5 Runner

Nama pabrik	: NEYPRIC
Jenis	: francis
Terpasang	: 6
Cadangan	: 1
Daya nominal (tinggi hidrolis 66 put 272,7 rpm)	: 3500 DK
Daya maksimal	: 44000 DK
Kecepatan putar	: 272,7 Rpm
Ukuran	
Diameter bagian bawah	: 2420 mm
Diameter bagian atas	: 1830 mm
Tinggi	: 1290 mm
Jumlah sudu	: 17
Berat	: 6800 kg
Kecepatanan lebih / max	: 360 Rpm (57 Hz)

a. Fungsi

Runner berfungsi mengambil energi kecepatan dan tekanan air yang mengalir secara tangensial pada sekeliling runner dan mengubahnya menjadi energi mekanis berupa gerak putar yang memutar poros satuan.

b. Stuktur

Runner (jenis francis) memiliki 17 sudu, terdapat dua macam runner dengan yang sam tetapi bahan berbeda .

c. Baja karbon tuang dengan permukaan sisi punggung (Ektados) dari sudu – sudu dekat sisi keluar di perkuat dengan 5 mm baja tahan karat.

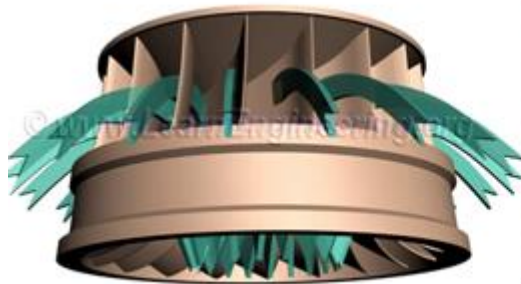
d. Seluruhnya di buat dari baja tahan karat tuang 2 buah .

Runner di pasang pada poros dengan menggunakan 12 buah baut tanam (pada plens poros) dan mur diameter M 80 (momen pengunci 500 kg/m) sepotong berisi strip (panjang 5 m) di las pda setiap mur baut .Disebelah bawah runner konsentris terhadap titik pusat runner di pasang pada runner dengan baut untuk memperoleh alur air yang laminar dan menghilangkan .

e. Cara Kerja .

Pada saat air mengalir melalui runner, energi potensialnya telah berubah sebagian besarnya menjadi energi kinetik. Rumah keong mengalirkan (mendistribusikan) air ke seluruh keliling runner dan membuat air mengalir secara horizontal dengan arah tangensial terhadap runner.

Aliran air tersebut diatas mengalir diantara sudu-sudu dan mengakibatkan runner berputar setekah menjadi penyerapan energi kinetik. Air oleh raner dan diubah menjadi energi mekanik. Mengikuti bentuk kontur sudu raner aliran air selanjutnya membelok 90° vertikal ke bawah (longitudional terhadap poros) masuk ke dalam draftube.



Gambar 3. 7 Runner (Documen Pribadi)

3.3.6 Poros Utama (Shaft)

Berfungsi mentransmisikan energi mekanik rotor kepada generator. Terbuat dari dua bagian utama yaitu bagian atas generator shaft yang dikopling dengan kopling tetap (mur dan baut). Pada bagian bawah berlapis yaitu inner shaft sehingga berfungsi sebagai penggerak runner blade dan main shaft.



Gambar 3. 8 Poros Utama (Doc Pribadi)

3.3.7 Bantalan Turbin (Bearing)

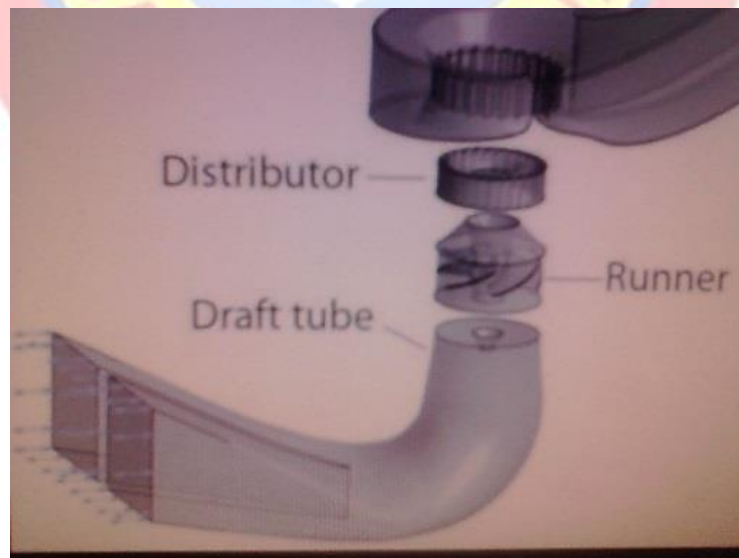
Bantalan turbin memainkan peran kritis dalam operasi dan kinerja turbin, termasuk turbin air, turbin gas, dan turbin uap. Bantalan adalah komponen yang mendukung dan memposisikan rotor turbin, memungkinkan rotasi yang lancar dan stabil dengan gesekan yang minimal.



Gambar 3. 9 Bantalan (Bearing)Doc. Pribadi).

3.3.8 Pipa Pelepas Air / Pembuangan Air (Tail Race / Dra프트tube)

Bagian ini sebagai tempat mengalirnya air keluar dari runner dalam spiral casing menuju saluran pembuangan (tail race). Fungsi utama dari draft tube adalah untuk mengurangi kecepatan air yang dibuang untuk meminimalkan kehilangan energi kinetik di outlet. Draft tube/ tail race berperan sebagai saluran pembuangan untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin kemudian di buang ke sungai, saluran irigasi atau ke laut .



Gambar 3. 10 Dra프트tube/Tailrace (Pembuangan / Pelepas Air) (SpringerLink)

3.3.9 Generator

a. Data Teknik Generator .

- Merk : GEC ALSTHOM JEUMONT
- Tahun pembuatan : 1992
- Standard : IEC
- Tipe : AC Sinkron 3 Phase
- Kapasitas : 35 MVA
- Kecepatan Putar : 272,3 rpm
- Frekuensi : 50 Hz
- Jumlah generator : 6 unit
- Tegangan : 6,3 kV
- PF : 0.93 lagging
- Tipe Pendingin : Udara



Gambar 3. 11 Generator (Doc. Pribadi)

Adalah sebuah alat yang berfungsi untuk merubah energi Mekanik putaran poros turbin menjadi energi Listrik, PLTA Ir. Juanda menggunakan generator 3 fassa yang di kopel dengan turbin dan di dinginkan dengan pendingin udara sirkulasi tertutup. Generator akan akan menghasilkan energi listrik boalak balik sebesar 6.3 KV, ketika turbin berputar dengan putaran 272.3 rpm mengkopel

terhadap generator. Putaran generator tersebut akan menghasilkan perpotongan gaya gerak magnetik yang menghasilkan energi listrik. Sedangkan rotor adalah bagian bergerak (berputar) terletak satu poros dengan turbin, sehingga jika turbin berputar maka rotor juga ikut berputar. Magnet yang berputar memproduksi tegangan di kawat setiap kali sebuah kutub melewati "koil" yang terletak di stator. Lalu tegangan inilah yang menjadi listrik.

3.4 Komponen Utama Pembangkitan

PLTA Ir.H Djuanda memiliki beberapa komponen yang peranannya sangat penting dan saling berkaitan untuk menunjang proses pengkonversian energi potensial menjadi energi listrik. Berikut ini adalah peralatan utama pada PLTA Ir.H Djuanda :

3.4.1 Bendungan

Data Bendungan :

A. Hydrologi

Luas Daerah Aliran Sungai Citarum : 4500 km^2

Debit rata-rata setahun : $175 \text{ m}^3/\text{s}$

Aliran rata-rata setahun : 5,5 Miliar m^3

B. Bendungan Utama Jatiluhur

Lebar puncak : 10 m

Lebar dasar : 600 m

Tinggi : 100 m

Panjang : 1200 m

Volume : $9.100.000 \text{ m}^3$

C. Waduk Djuanda

Waduk berfungsi untuk mengumpulkan air dari aliran sungai, mengumpulkan air pada musim hujan untuk persediaan dan untuk pemakaian air pada musim kemarau berikut data Teknik dari waduk di bawah;

TMA Normal	: + 107 m
TMA Maksimum	: + 111,5 m
TMA Minimum	: + 75,00 m
Volume pada TMA Normal	: 3 Miliar m^3
Volume pada TMA minimum	: 960 juta m^3



Gambar 3. 12 Waduk Jatiluhur (Doc PJT II).

D. Menara (*Morning Glory*)

Berfungsi untuk mengeluarkan air waduk dengan tinggi menara 100 m (114 m dari pondasi), diameter atas 90 m, diameter bawah 70 m, dan tebal 3,5 m.



Gambar 3. 13 Menara (*Morning Glory*) (Doc. PJT II).

Ada dua cara pengeluaran air dari waduk, yaitu melalui :

1. Pelimpas (*Spillway*)

Pelimpas air dari waduk apabila sedang pasang dengan ketinggian air 107 m-111,5 m. Terdiri atas 14 jendela dengan kapasitas maksimum 3000 m³/s.



Gambar 3. 14 Pelimpas (*Spillway*) (Doc. Pribadi).

2. *Hollow Jet Katup*

Ditempatkan pada area bendungan 49 m, diameter 3,85 m, kapasitas 270 m³/s untuk keperluan selain PLTA.



Gambar 3. 15 Hollow Jet Katup ((Doc PJT II).

3.42 Turbin

PLTA Ir.H Djuanda menggunakan turbin air jenis Francis dimana turbin tersebut termasuk turbin reaksi. Runner pada turbin Francis memiliki tiga belas buah sudu unit 1 sampai unit 5 dan tujuh belas sudu untuk 6, seluruhnya terbuat dari baja tahan karat tuang.

3.4.2 Generator

adalah sebuah alat yang berfungsi untuk merubah energi mekanik atau putaran poros turbin menjadi energi Listrik. PLTA Ir.H Djuanda menggunakan generator sinkron 3 fasa yang dikopel dengan turbin dan didinginkan dengan pendingin udara sirkulasi tertutup. Generator akan menghasilkan energi listrik bolak balik sebesar 6,3 kV, ketika turbin yang berputar dengan putaran 272,7 rpm mengkopel terhadap generator. Perputaran pada generator tersebut akan menghasilkan perpotongan gaya gerak magnet yang menghasilkan energi listrik.



Gambar 3. 16 Generator (Doc. Pribadi).

Data Teknik Generator

- Merk : GECALSTHOM JEUMONT
- Tahun pembuatan : 1992
- Standard : IEC
- Tipe : AC Sinkron 3 Phase
- Kapasitas : 35 MVA
- Kecepatan Putar : 272,3 rpm
- Frekuensi : 50 Hz
- Jumlah generator : 6 unit
- Tegangan : 6,3 kV
- PF : 0.93 lagging
- Tipe Pendingin : Udara

3.4.3 Transformator Utama

Fungsi Transformator Utama adalah untuk menaikkan tegangan dari daya yang dihasilkan generator yaitu dari 6,3 kV (tegangan menengah) menjadi 150 kV (tegangan tinggi). Tegangan tinggi diperlukan untuk efisiensi penyaluran daya apabila daya yang disalurkan besar dan jarak penyaluran jauh. Disamping itu operasi unit pembangkit merupakan operasi paralel dengan jaringan 150 kV dari sistem interkoneksi pusat listrik se-Jawa Madura dan Bali. Generator diparalel dengan jaringan 150 kV melalui Transformator Utama.

Data Teknik Transformator

- Merk : UNINDO
- *Rated power* : 35 MVA
- *Phase* : 3(three)
- *Rated frequency* : 50 Hz
- *Rated Voltage*
 - High Voltage* : 150 kV
 - Low Voltage* : 6,3 kV
- *Tap Voltage* : $150 \text{ kV} \pm 1 \times 7.5 \%$
- *Cooling method* : OFWF
- *Winding Connection* : YNd5

3.4.4 Switchyard

Switchyard adalah perangkat yang berfungsi sebagai pemutus dan penghubung aliran listrik yang berada di wilayah PLTA maupun daerah yang akan di distribusikan melalui system interkoneksi Jawa Madura dan Bali (JAMALI) pendistribusian energi listrik yaitu melalui SUTET 150 KV.



Gambar 3. 17 Switchyard (Doc. PJT II).

3.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Kerja Praktik dilaksanakan 3 Oktober sampai dengan 3 Desember di Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta II Divisi PLTA Ir.H Djuanda, Jatiluhur Purwakarta, Jawa Barat 41152.

Nama Perusahaan	: Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta PLTA Ir.H Djuanda Jatiluhur
Tahun Berdiri	: 1967
Sektor Usaha	: Pengelolaan Tenaga Listrik
Alamat kantor	: Jalan Rasamala Jatiluhur – Purwakarta
No Telepon	: +62 264 200525, 200565
Faksimile	: +62 264 200060
Kapasitas Terpasang	: PLTA Ir.H Djuanda 6 unit = 187 MW

3.6 Metode Penelitian

Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Interview atau Wawancara

Teknik pengumpulan data dengan sistem tatap muka secara langsung dengan sumber atau pihak yang berkompeten, untuk meminta penjelasan mengenai masalah yang dibahas dalam penelitian.

2. Studi Pustaka

Teknik pengumpulan data melalui buku-buku, makalah dan literasi yang relevan dengan permasalahan yang dibahas.

3. Observasi atau Pengamatan

Penelitian yang secara langsung melihat kelengkapan atau objek yang di bahas/diteliti.

3.7 Diagram Alur Penelitian

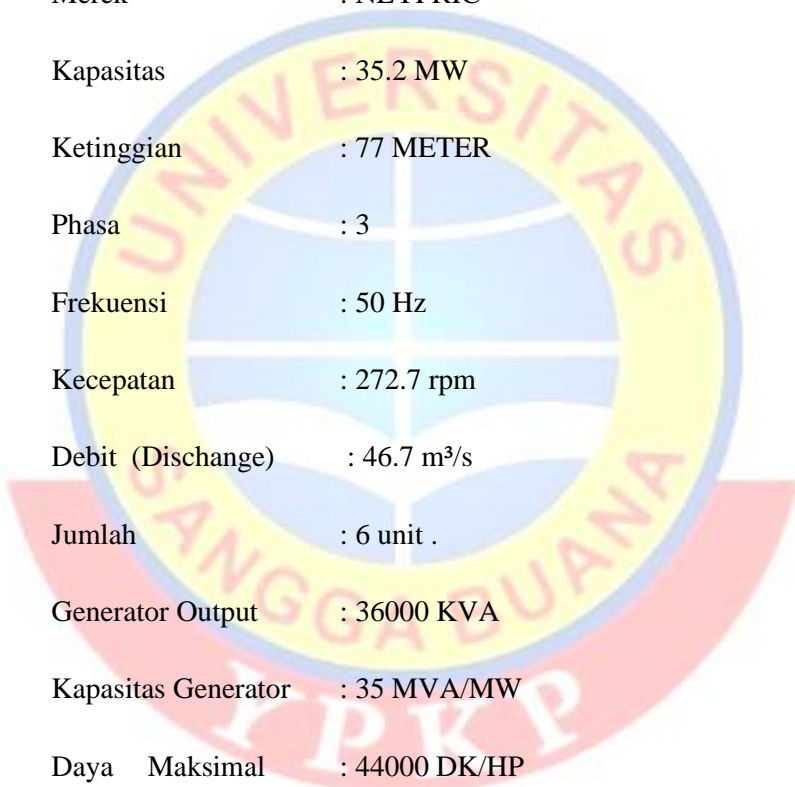


BAB IV

DATA DAN ANALISIS

4.1 Data Teknik Turbin Francis

PLTA IR. JHUANDA menggunakan turbin air jenis francis dimana turbin tersebut termasuk turbin reaksi. Runner pada turbin francis memiliki 17 buah sudu unit ,seluruhnya terbuat dari baja tahan karat tuang dengan spesifikasi :



Merek	: NEYPRIC
Kapasitas	: 35.2 MW
Ketinggian	: 77 METER
Phasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Kecepatan	: 272.7 rpm
Debit (Discharge)	: 46.7 m ³ /s
Jumlah	: 6 unit .
Generator Output	: 36000 KVA
Kapasitas Generator	: 35 MVA/MW
Daya Maksimal	: 44000 DK/HP
	: 32.810,79 VA = 32,8 MW

4.2 Daya Turbin

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \text{ (watt)}$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 46.7 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 77 \text{ m}$$

$$= 35 \cdot 239 \cdot 820 \text{ watt}$$

$$= 35.2 \text{ MW}$$

$$35.239 \text{ KW}$$

Keterangan :

P : Tenaga yang keluar (KW)

H : Ketinggian (Head) (m)

Q : Debit (m³/s)

ρ : Rapat masa air (1000 Kg/m³)

g : Gravitasi (9.8 m/s²)

4.3 Kecepatan Jenis Turbin (N_s)

$$N_s = \frac{N \cdot p^{\frac{1}{2}}}{H \cdot \frac{5}{4}}$$
$$N_s = \frac{272,7 \text{ Rpm} \cdot 32,3 \cdot \frac{1}{2}}{77 \cdot \frac{5}{4}}$$
$$= \frac{272,7 \times 16,15}{96,25}$$
$$= 272,7 \times 0,17$$
$$= 46,35 \text{ m}^3/\text{s} = 46,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4 Kecepatan Turbin (n)

$$n = \frac{ns \cdot H^{\frac{5}{4}}}{P \cdot \frac{1}{2}} \quad (\text{Hal 65 buku DR.A.ARISMUNANDAR})$$

$$n = \frac{46,7 \cdot 77 \cdot \frac{5}{4}}{32,3 \cdot \frac{1}{2}} \quad (\text{DR.S. KUWAHARA rumus . 45) TEKNIK TENAGA$$

LISTRİK

$$n = \frac{46,7 \cdot 96,5}{16,5}$$

$$n = 46,7 \times 5,8$$

Kecepatan Turbin adalah 268.5 rpm = 272.7 rpm

a. Gaya Turbin Dimana ; F = Gaya (N)

$$F = 2 \rho \cdot Q \cdot V \text{ (Newton)}$$

$$= 2 \cdot 1000 \times 46.7 \text{ m}^3/\text{s} \times 6,28$$

$$= 586.552 \text{ N}$$

$\rho = \text{Rapat masa air}$
 $Q = \text{Debit (m}^3/\text{s)}$
 $V = \text{Kecepatan air}$

b. Daya Hidrolik

$$N_p = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (Watt)}$$

$$N_p = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 46.7 \text{ m}^3/\text{s} \times 77 \text{ meter}$$

$$= 35.239.820 \text{ watt}$$

Dimana ; $N_p = \text{Daya pompa (watt)}$

$g = \text{Gravitasi bumi (9.8 m/s}^2\text{)}$

$Q = \text{Debit m}^3/\text{s}$

$h = \text{ketinggian /Head (meter)}$

c. Torsi Poros

$$T = m \cdot l \cdot g \text{ (Newton)}$$

$$T = 6800 \text{ kg} \times 1 \text{ m} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$= 66.640 \text{ N}$$

Dimana , $T = \text{Torsi (N)}$

$m = \text{Masa (kg)}$

$l = \text{Panjang (m)}$

$g = \text{Gravitasi bumi (9.8 m/s}^2\text{)}$

4.5 Daya Turbin (N_t)

$$N_t = T\omega = 32.3 \text{ MW}$$

Dimana ;

$N_t =$ Daya turbin (watt)

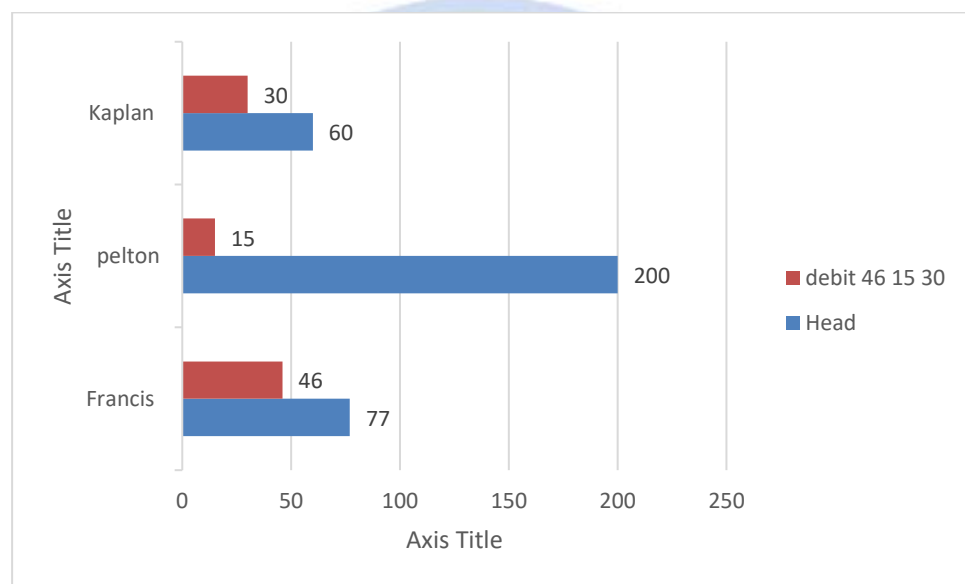
T = Torsi

$\Omega =$ kecepatan angular

$\pi = 3.14$

n = kecepatan putar (rpm)

Berikut beberapa grafik untuk tipe turbin itu sendiri seperti di bawah,



Gambar. 4. 1 Head dan Debit (Doc. Pribadi).

4.6 Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{N_t}{N_p} 100 \%$$

$$\eta = \frac{32.3 \text{ MW}}{35.2 \text{ MW}} 100\%$$

$$\eta = 91.76 \%$$

Dimana ;

$\eta =$ efisiensi turbin

$N_t =$ Daya turbin

$N_p =$ Daya hidrolis

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Beberapa bagian Turbin PLTA di antaranya, menara ,pipa penstock , turbin (generator), pelimpas(spill way) , hollow jet katup dan Switchyard.
2. Akhirnya hasil amati dan perhitungan turbin francis tersebut dapat di simpulkan sebagai berikut di antaranya adalah daya turbin maksimal yang tercapai sebesar 35,2 MW yaitu pada debit $46.7\text{m}^3/\text{s}$ dan ketinggian 77 m dan pada putaran 272.7 rpm , torsi maksimum yang tercapai 66.640 N dengan frekuensi 50 Hz dan Efisien turbin mencapai 91.7 %.
3. Tipe turbin francis ini memiliki 10-200 m untuk head dan debit air range 0.5- 50 m^3/s sedangkan untuk tipe Turbin pelton memiliki range 50-1000 meter untuk head dan debit 4 - 15 m^3/s dan untuk Kaplan memiliki 0-50 untuk Head dan debit 0-50 m^3/s .

5.2 Saran

1. Untuk pengoperasian PLTA yang berkelanjutan dan optimal maka perlu memonitoring sedimentasi dan menjaga area aliran sungai terutama budidaya ikan yang ada di sekitar bendungan.
2. Melakukan penyuluhan kepada masyarakat daerah sekitaran waduk jati Luhur terutama di bagian hulu untuk memelihara daerah aliran sungai.
3. Melakukan penyuluhan kembali terkait penghijauan hutan terutama daerah aliran sungai untuk menjaga konservasi sumber daya air dan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, Kusnandar. 2008. Pengkajian Sumber Tenaga Listrik Alternatif. Arfino Raya. Bandung.
- [2] Djiteng, Marsudi. Pembangkit Energi Listrik. Erlangga. Ciracas Jakarta.
- [3] DR.A.ARISMUNANDAR ,DR.S. KUWAHARA . 1998. Teknik Tenaga Listrik Ikapi. Jakarta 13140
- [4] Creager,Wiliam P.and Justin,Joel D. 1590. Hydroelektrik Hanbook 2nd”.ed.John Willey and Sons.
- [5] Ir.O.F Patty. 1995. Tenaga Air. Erlangga. Ciracas. Jakarta.
- [6] Wisuda , Rahmat. 2014. Pengujian Untuk Kerja Turbin Pelton Tunggal Hasil Perancangan. Jl.Soekarno Hatta No.597. Bandung
- [7] https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_Francis Tanggal lihat 22 Desemberr 2023 jam 11:01 AM.
- [8] [file:///C:/Users/HP/Downloads/21024-Article%20Text-27819-1-10-20180908%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/21024-Article%20Text-27819-1-10-20180908%20(1).pdf) Tanggal Downloud 4 Desember 2023 at 09:09 PM.
- [9] 281503-potensi-pembangkit-listrik-tenaga-mikroh-bfc625bf Tanggal 16 Januari 2024 jam 17:15.



LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Beberapa tipe turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe Turbin	High Head	Medium Head	Low Head
Turbin Impuls	Turbin Pelton	Cros- Flow, Pelton	Cros- Flow, Pelton
Turbin Reaksi		Francis Turbin	Propeller Kaplan

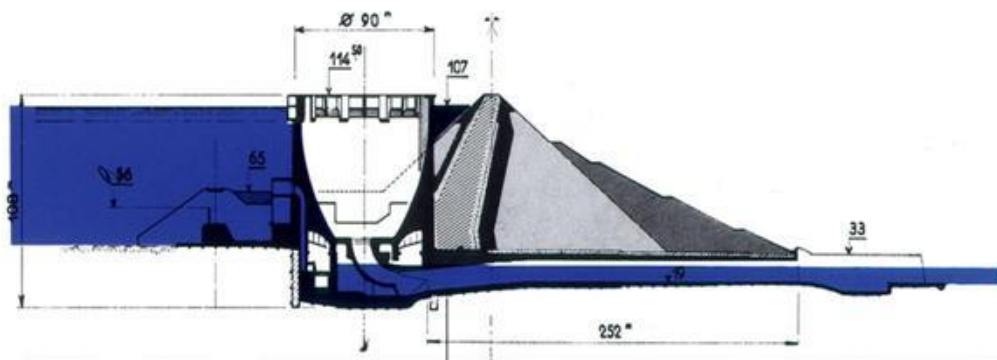
LAMPIRAN B

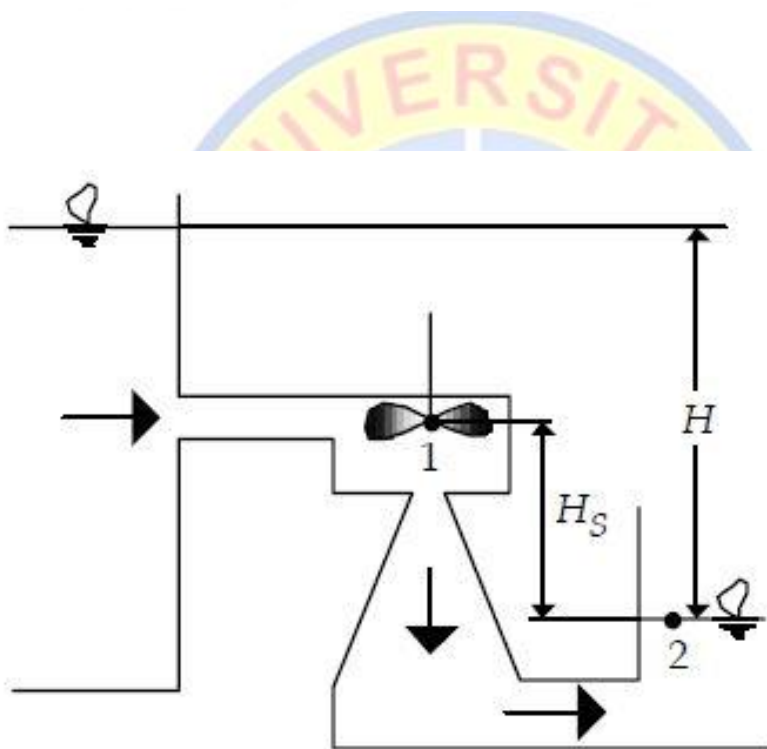
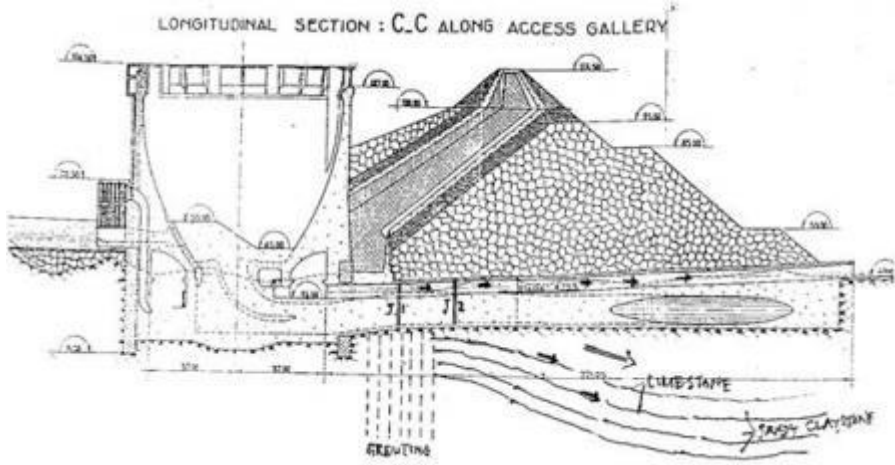
Untuk *Head*, Debit dan Kapasitas untuk Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe Turbin	Head (Tinggi jatuh)	Debit	Kapasitas (Daya)
Francis	77m (10-200 m)	36-46 m ³ /s	0.5-100 Kw (micro)
Pelton	200 m (50-1000 m)	4-15 m ³ /s	100-1000 Kw (rendah)
Kaplan/Propeller	60 (0- 60 m)	30 m ³ /s >	1-100 MW (Sedang) dan > 10 MW (Besar)

LAMPIRAN C

Gambar Teknik dan Documentasi di PLTA Ir. H DJuanda.









DAFTAR KEGIATAN BIMBINGAN INDIVIDUAL

Nama : Irpan Rahmawan
NIM : 2115227005
Program Studi : Teknik Mesin
Program : S1
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Solehudin, S.T., M.T., IPM.
Jenis Bimbingan : Tugas Akhir
Judul : ANALISA KINERJA TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

No.	HARI /TGL	WAKTU	MASALAH YANG DI BAHAS	PARAF
1	4 Desember 2023	20:28	Pengajuan Proposal TA	
2	7 Januari 2024	20:32	Revisi Proposal TA	
3	8 Januari 2024	20:51	Pengajuan Bab I	
4	13 Januari 2024	10:44	Pengajuan BAB II	
5	25 Januari 2024	17.20	Pengajuan BAB III,IV dan V	
6	6 Febuari 2024	18:31	Penyerahan Bab,I,II,III,IV& V	
7	8 Febuari 2024	11:22	Revisi tujuan dan diagram alir metode penelitian	
8	17 February 2024	10:32	Revisi Bab 5 dan tambah saran	
9	18 February 2024	20:35	Penyerahan Bab I-V Approved	

Catatan:

Bandung, 18 Februari 2024

Dosen Pembimbing,



Dr. Ir. Agus Solehudin, S.T., M.T., IPM.



