

**ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN AIR KAPASITAS
3×6 MW PADA BEBAN NORMAL DAN BEBAN
PUNCAK DI UNIT PLTA PAKKAT
PT.ENERGY SAKTI SENTOSA**

TUGAS AKHIR

Oleh:

ANDREW LEONARD LUMBANTOBING

NPM: 18330029

Tugas akhir ini diajukan untuk melengkapi syarat menyelesaikan
Program Strata-1 pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen
Medan



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN MEDAN
2024**

PENGESAHAN

**ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN AIR KAPASITAS 3 X 6 MW PADA
BEBAN NORMAL DAN BEBAN PUNCAK DI UNIT PLTA PAKKAT PT.
ENERGY SAKTI SENTOSA**

TUGAS AKHIR

Oleh:

ANDREW LEONARD LUMBANTOBING

NPM: 18330029

Lulus Sidang Tugas Akhir Tanggal 03 April 2024

Periode Semester GENAP T.A 2023/2024

Disahkan dan disetujui oleh:

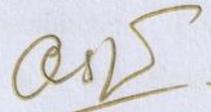
Pembimbing I



Ir. Jonner Manihuruk, S.T., M.T., I.P.M., ASEAN Eng

NIDN:0122047302

Pembimbing II

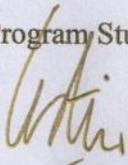


Libianko Sianturi, ST., M.T.

NIDN: 0120067701

Diketahui oleh:

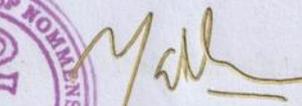
Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Lestina Siagian, M.Si

NIDN: 0120125901

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Yetty Riris R. Saragi, ST., MT., IPU., ACPE

NIDN: 0103017503

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan kasih dan karunia-Nya kepada Saya, sehingga saya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Setelah sekian lama duduk di bangku perkuliahan dan telah mendapatkan begitu banyak ilmu pengetahuan di dalam proses perkuliahan, saatnya saya membuat tugas akhir ini sebagai kewajiban akhir dalam menyelesaikan studi di bangku kuliah untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas HKBP Nommensen Medan.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis menghadapi berbagai kesulitan-kesulitan, akan tetapi, atas berkat bantuan berbagai pihak maka kesulitan itu terasa lebih mudah diselesaikan. Untuk itu dalam kesempatan dan waktu ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Ir. Jonner Manihuruk, S.T., M.T., I.P.M., ASEAN Eng** selaku pembimbing I yang memberikan banyak waktu dan tenaganya untuk memberikan masukan dan nasehat-nasehat agar saya dapat bersemangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak **Libianko Sianturi, ST., M.T.** sebagai pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bantuan agar saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Timbang Pangaribuan, MT** sebagai penguji/pembanding I atas bantuannya dan arahannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak **Ir. Fiktor Sihombing, MT** sebagai penguji/pembanding II yang telah memberikan bantuan dan pengarahan agar saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen Teknik yang sudah memberikan Pendidikan dan Motivasi yang begitu berharga bagi penulis dalam proses perkuliahan.
6. Teristimewa Orang tua penulis Bapak **Sofian Manutur Lumbantobing** dan Ibu **Rosmeriani Hutagalung** yang telah memberikan motivasi, bimbingan, kasih sayang, tenaga dalam mencari uang untuk membuat saya kuliah dan doa kepada penulis.

7. Kepada bapak dan ibu pengawai TU (tata usaha) Fakultas Teknik yang telah bersedia untuk menbatu kelancaran perkuliahan ataupun penulisan Tugas Akhir ini.
8. Kepada yang terkasih **Niken Sitorus, S.Pd** yang selalu mendukung dan berperan membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun yang lebih baik untuk generasi penerus kita.

Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini berguna bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca umumnya. Semoga Tuhan memberikan berkatnya yang berlimpah kepada kita semua. Sekian dan terima kasih.

Medan, Maret 2024

Andrew Leonard Lumbantobing

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN.....	v
-------------------------------	----------

1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Penulisan	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	5
2.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	6
2.3. Bagian-bagian pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)...	7
2.4 Pengertian Turbin Air	9
2.5 Klasifikasi Turbin Air.....	10
2.6 Pengertian Turbin Francis	16
2.6.1 Bagian-bagian Turbin Francis	17
2.6.2 Prinsip Kerja Turbin Francis	20
2.7 Perhitungan Kapasitas Turbin Air	21
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Pendahuluan	28
3.2. Metode Penelitian.....	28
3.2.1 Studi literatur.....	28
3.2.2 Observasi Lapangan	28
3.2.3. Analisa Data	31
3.3 PLTA Pakkat.....	32
3.3.1 Spesifikasi Turbin Air pada PLTA Pakkat	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Hasil.....	Error! Bookmark not defined.
4.2 Perhitungan Pengaruh Debit Terhadap Daya yang dihasilkan	Error! Bookmark not defined.
4.3 Penyimpangan Daya (Error)	Error! Bookmark not defined.
4.4 Diagram perbandingan debit air terhadap daya yang dihasilkan	Error! Bookmark not defined.
4.5 Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.

5.2 Saran.....**Error! Bookmark not defined.**
DAFTAR PUSTAKA**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.3 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Putaran Nominal dan Run-away Speed Turbin	16
Tabel 3.1 Tabel Data Pada Turbin Generator	31
Tabel 4.1 data logsheet pada kondisi beban normal PLTA PAKKAT Unit 1 . Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4.2 data logsheet pada kondisi beban puncak PLTA PAKKAT Unit 1 . Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4.3 hasil perhitungan Debit terhadap keluaran Daya PLTA Pakkat Pada Beban Normal.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 hasil perhitungan Debit terhadap keluaran Daya PLTA Pakkat Pada Beban Puncak	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5: Hasil perhitungan penyimpangan daya pada beban normal PLTA Pakkat	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 hasil perhitungan Penyimpangan Pada Beban Puncak Error! Bookmark not defined.	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran pada PLTA	6
Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTA	7
Gambar 2.3 bendungan	8
Gambar 2.4. Turbin & Generator	9
Gambar 2.5 Jalur transmisi	9
Gambar 2.6 Turbin Pelton	11
Gambar 2.7 Turbin Michell-Banki	12
Gambar 2.8 (a) Kincir Air Overshot, (b) Kincir Air Under-shot, (c) Kincir Air Breast-shot	14
Gambar 2.9 turbin Francis.....	14
Gambar Turbin Kaplan.....	15
Gambar 2.11 Skema Instalasi Turbin Francis	17
Gambar 2.12 Runner pada turbin Francis	18
Gambar 2.13 Casing pada Turbin Francis.....	18
Gambar 2.14 Guide Vane pada Turbin Francis	19
Gambar 2.15 Inlet Pipe pada Turbin Francis	19
Gambar 2.16 Draft Tube pada Turbin Francis	20
Gambar 2.17 Jalannya Tekanan dan Kecepatan Air di Dalam Suatu Turbin Tekanan Lebih.....	21
Gambar 3.1 Turbin Francis	29
Gambar 3.2 PLTA Pakkat	31
Gambar 4.1 diagram pada beban normal	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2: Diagram pada beban puncak	Error! Bookmark not defined.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi suatu energi yaitu energi kinetik, lalu energi kinetik ini kemudian diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dapat secara langsung ataupun dengan bantuan alat yang lainnya dihubungkan menggunakan mekanisme yang digerakkan, tergantung jenis mekanisme yang digerakkan oleh turbin uap dan bisa digunakan pada bermacam sektor industri, misalnya untuk pembangkit listrik. Bagian yang berputar di dalam turbin disebut dengan rotor ataupun roda turbin dan bagian turbin yang tidak berputar disebut dengan stator ataupun rumah turbin.

Secara umum unjuk kerja suatu turbin air pada beban puncak akan berbeda dengan unjuk kerja saat dioperasikan atau digunakan secara normal. Seiring waktu, unjuk kerja turbin air akan mengalami penurunan secara signifikan jika tidak dilakukan perawatan dengan baik.

PLTA memanfaatkan energi potensial serta energi kinetik melalui air, baik itu air dari bendungan, air terjun maupun air aliran sungai. Energi potensial serta energi kinetik dari air akan diubah menjadi sebuah energi yang disebut energi mekanik oleh turbin air lalu energi mekanik diubah dan membentuk energi listrik oleh generator.

PLTA atau yang disebut pembangkit listrik yang menggunakan atau memakai energi potensial dan juga energi kinetik air (air terjun) sehingga membentuk energi listrik. Proses dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dalam menghasilkan suatu energi listrik dimulai dengan proses air yang ditampung di bendungan, selanjutnya akan dialirkan ke dalam pintu tempat pengambilan air (*intake gate*), kemudian air akan mengalir dan masuk ke dalam sebuah terowongan (*tunnel*). Saat sebelum air akan dialirkan ke dalam sebuah pipa pesat (*penstock*), air harus lebih dahulu melewati tangki peredam (*surge tank*). *Surge tank* ini berguna sebagai sistem proteksi jika terdapat tekanan ataupun pukulan air (*water hammer*) di saat katup utama (*main inlet valve*) ditutup

secara tiba-tiba. Ketika air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*), air akan mendapatkan kenaikan tekanan yang disebabkan oleh pipa pesat (*penstock*) memiliki sudut kemiringan dan akan menambah tekanan air tersebut. Kemudian air yang akan masuk ke tempat atau ke dalam katup utama (*main inlet valve*). Di saat katup utama (*main inlet valve*) dibuka, aliran air akan masuk ke dalam turbin, kemudian air akan menggerakkan sudu-sudu turbin. Kemudian melalui turbin air akan mengalir keluar dan melewati pipa lepas (*draft tube*), lalu kemudian air dialirkan kembali ke tempat aliran sungai. Poros turbin berputar dikopel atau tempat dengan poros generator akan menghasilkan energi listrik. Menggunakan trafo utama maka energi listrik disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Menengah atau (SUTM) langsung ke konsumen melalui Gardu Induk PT. Energi Sakti Sentosa.

Energi Sakti Sentosa (ESS) adalah anak perusahaan Kencana Energy, yang memiliki dan menjalankan PLTA Pakkat di Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatra Utara. Pembangkit ini bisa menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar 125.000.000 KWH jam/tahun dengan tingkat utilisasi 79,27% serta menjaga dan melestarikan lingkungan alam sekitarnya. PLTA Pakkat juga bekerja sama dengan PLN yang dimana PLTA Pakkat melayani berdasarkan permintaan PLN yaitu sebanyak 98.000.000 KWH pertahunnya.

Adapun jumlah besar daya yang dihasilkan merupakan pengaruh dari efisiensi kerja turbin PLTA DI UNIT PLTA PAKKAT PT. ENERGY SAKTI SANTOSA pada beban kerja yang berbeda. Oleh karena itu penulis berkesempatan untuk melakukan penelitian yang berkaitan tentang “*Analisis Unjuk Kerja Turbin Air 3x6 mw Pada Beban Normal dan Beban Puncak di Unit PLTA PAKKAT PT. Energi Sakti Sentosa*”.

1.2. Rumusan Masalah

Yang menjadi permasalahan yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini adalah bagaimana Analisis Unjuk Kerja Turbin Air 3x6 mw Pada Beban Normal dan Beban Puncak di Unit PLTA PAKKAT PT. Energi Sakti Sentosa.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penulisan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengetahui Unjuk Kerja Turbin Air 3x6 mw Pada Beban Normal dan Beban Puncak di Unit PLTA PAKKAT PT. Energi Sakti Sentosa.

Berkeenaan dengan kegunaan dari penulisan ini diharapkan bisa digunakan sebagai referensi dan literatur bagi peneliti selanjutnya yang berkaitan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di PLTA PAKKAT.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang dibahas dibatasi dalam hal berikut:

1. Menganalisis unjuk kerja turbin pada beban normal.
2. menganalisis unjuk kerja turbin pada beban puncak.

1.5. Metode penelitian

Dalam menyelesaikan penelitian ini, maka saya meneliti secara langsung di tempat, untuk melakukan penelitian. yang berkaitan tentang “Analisis Unjuk Kerja Turbin Air 3x6 mw Pada Beban Normal dan Beban Puncak di Unit PLTA PAKKAT PT. Energi Sakti Sentosa”. Yang terdiri dari beberapa tahap:

- Studi literatur, yaitu mempelajari literatur-literatur dari jurnal-jurnal dan buku- buku teks yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.
- Pengumpulan data dengan cara mengadakan penelitian secara langsung
- Melakukan pengukuran pada daya kerja turbin berdasarkan beban yang berbeda.
- Mengklasifikasikan data pengukuran yang telah didapat dari pengukuran di lapangan.
- Menganalisis hasil dari pengukuran dan membandingkan perhitung efisiensi unjuk kerja turbin.

1.6. Sistematika penulisan

Sistematika Pembahasan laporan tugas akhir ini dibagi dalam lima bab. Isi

masing-masing bab diuraikan sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang Latar Belakang, Perumusan Masalah, Tujuan dan Manfaat, Batasan Masalah, Metode Penelitian, dan Sistematika Penulisan Laporan.

BAB II: LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang teori dasar yang mendukung penelitian.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah dalam melakukan penelitian dan bagaimana cara yang ditempuh dalam kegiatan penelitian.

BAB IV: HASIL DAN ANALISA

Di dalam bab ini membahas cara mencari efisiensi menggunakan metode pengukuran dan membandingkan efisiensi pada kerja turbin.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan secara keseluruhan dari benda kerja, dan menjelaskan mengenai hal hal yang dianggap penting yang dirangkum dalam tulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

PLTA ialah pusat pembangkit tenaga listrik yang merubah energi potensial air sehingga menjadi energi listrik. Mesin penggerak yang dipakai ialah turbin air sehingga merubah energi potensial air lalu menjadi kinerja mekanis poros lalu memutar rotor pada generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Air sebagai bahan utama PLTA bisa didapatkan melalui bermacam cara, contohnya melalui sungai dan secara langsung dapat disalurkan sebagai alat memutar turbin, ataupun dengan cara lainnya seperti ditampung dahulu dengan menggunakan kolam tandon air ataupun waduk saat sebelum disalurkan untuk memutar turbin (Sutarno, 2016). PLTA dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu (Ditjeng Marsudi, 2016):

1. PLTA *run off river*
2. PLTA dengan kolam tandom (*reservoir*)

Pada PLTA Pakkat digolongkan memakai sebuah metode yaitu *run off river*, yang dimana air sungai tersebut dialihkan dengan cara menggunakan dam yang dibangun dengan memotong aliran sungai. Air sungai yang kemudian dapat disalurkan secara langsung ke bangunan air PLTA. Pada PLTA *run off river*, daya yang bisa dihasilkan tergantung debit air sungai. Namun PLTA *run off river* memiliki biaya Pembangunan yang lebih murah dibandingkan dengan PLTA dengan kolam tandom (*reservoir*), disebabkan oleh kolam tandom membutuhkan bendungan atau tampungan yang lebih besar dan juga membutuhkan tempat genangan yang luas (Sutarno, 2016, Ditjeng Marsudi, 2016).

Kapasitas daya yang dihasilkan PLTA diseluruh dunia sekitar 675.000 MW atau setara dengan 3,6 milyar barrel minyak atau sama dengan 24% kebutuhan Listrik di dunia yang digunakan oleh lebih dari 1 milyar orang. Bagian-bagian dasar pada PLTA seperti halnya bendungan (*dam*), turbin, generator serta transmisi. PLTA dapat mengubah energi yang disebabkan oleh gaya jatuh air sehingga menghasilkan sebuah energi listrik. Turbin mengubah tenaga gerak jatuh air menjadi daya mekanik. Kemudian generator mentransformasi daya mekanik

yang dimaksud dari sebuah turbin menjadi tenaga elektrik. Jenis PLTA berbagai variasi mulai dari yang berbentuk “mikro-hidro” dengan kemampuan mensuplai hanya untuk beberapa rumah saja hingga berbentuk raksasa seperti Bendungan Karangates yang menyediakan listrik untuk berjuta - juta orang. Gambar berikut ini menunjukkan keadaan PLTA di Sungai Wisconsin, yang merupakan salah satu jenis PLTA tingkat menengah yang dapat memenuhi listrik untuk jumlah 8.000 orang.

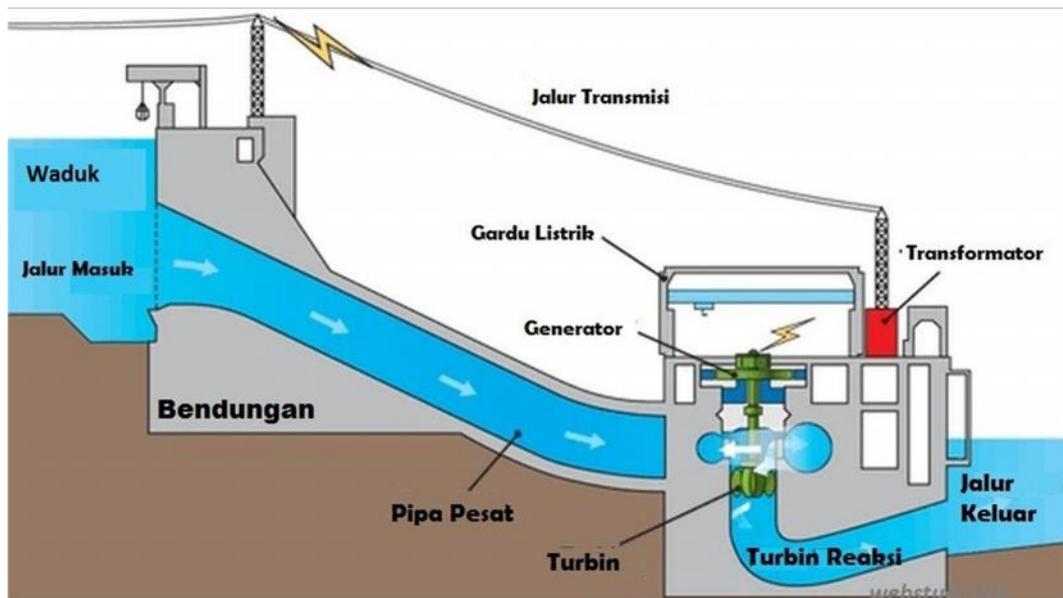


Gambar 2.1 Aliran pada PLTA

2.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang memakai air sebagai sumber utama energi. Energi potensial serta energi kinetik dari air diubah menjadi sebuah energi yaitu energi mekanik oleh turbin lalu energi mekanik diubah menjadi sebuah energi yaitu energi listrik oleh generator (Basori, dkk., 2016). Proses Pembangkit Listrik Tenaga Air saat menghasilkan energi listrik dimulai dari tahap air yang ditampung di bendungan lalu kemudian dialirkan ke dalam pintu tempat pengambilan air (*intake gate*), selanjutnya air akan memasuki terowongan (*tunnel*). Sebelum air akan dialirkan atau dimasukkan ke dalam pipa pesat (*penstock*), air harus terlebih dahulu melewati

tangki peredam (*surge tank*). *Surge tank* ini memiliki fungsi sebagai sistem proteksi jika terjadi adanya tekanan kejut ataupun pukulan air (*water hammer*) ketika katup utama (*main inlet valve*) ditutup dengan cepat. Ketika air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*), air akan mengalami kenaikan tekanan, disebabkan oleh pipa pesat (*penstock*) mempunyai sudut kemiringan, Dimana hal ini akan menambah tekanan air itu sendiri. Selanjutnya air tersebut akan masuk ke dalam katup utama (*main inlet valve*). Saat katup utama (*main inlet valve*) di buka, aliran air akan mengalir atau masuk ke turbin, lalu air akan menggerakkan sudu-sudu turbin. Selanjutnya melalui turbin, air akan mengalir keluar melewati pipa lepas (*draft tube*), selanjutnya air dialirkan kembali ke daerah aliran sungai (DAS) (Kurniady dkk., 2019). Poros turbin yang dapat berputar dipasangkan dengan sebuah poros generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTA

2.3. Bagian-bagian pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Berikut merupakan bagian-bagian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) beserta dengan fungsinya:

1. Bendungan

Bendungan memiliki kegunaan untuk menaikkan sebuah permukaan air sungai sehingga menciptakan atau adanya tinggi jatuh air. Di lain sisi,

bendungan dapat menyimpan air dan bendungan juga dibangun dengan maksud untuk menyimpan energi.



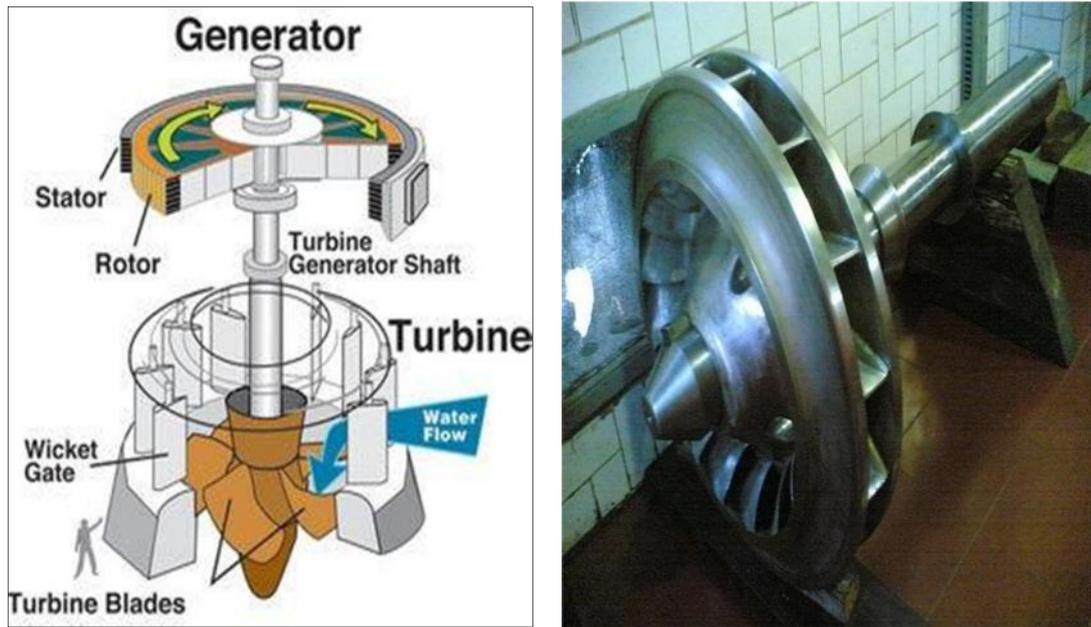
Gambar 2.3 bendungan

2. Turbin

Gaya jatuh air yang dapat mendorong sudu turbin membuat sebuah turbin berputar. Turbin air banyak yang seperti kincir angin yang dimana kegunaan dorong anginnya untuk memutar baling-baling digantikan menjadi air untuk memutar turbin. Selanjutnya, turbin dapat mengubah energi kinetik yang disebabkan oleh gaya jatuh air menjadi sebuah energi mekanik.

3. Generator

Generator disambungkan dengan turbin menggunakan gigi-gigi putar sehingga saat baling-baling turbin berputar sehingga generator otomatis ikut berputar. Generator berikutnya mengubah energi mekanik melalui sebuah turbin menjadi energi elektrik. Generator pada PLTA dapat bekerja seperti generator pembangkit listrik pada umumnya.



Gambar 2.4. Turbin & Generator

4. Jalur Transmisi

Jalur transmisi memiliki fungsi mengalirkan energi listrik dari PLTA menuju rumah-rumah serta pusat industri.



Gambar 2.5 Jalur transmisi

2.4 Pengertian Turbin Air

Turbin air pada umumnya bisa disebut sebagai mesin penggerak mula

dimana energi fluida kerja yang dipakai secara langsung memutar roda turbin. Kinerja fluida dapat berupa air, uap air dan gas. Oleh karena itu, turbin air bisa diartikan sebagai sebuah mesin penggerak awal yang fluida kerjanya ialah air. Turbin memiliki fungsi mengubah energi potensial fluida menjadi sebuah energi mekanik yang selanjutnya diganti lagi menjadi energi listrik pada generator.

Jika dilihat dari daya yang dapat dihasilkan oleh turbin air, sehingga dapat dikenal istilah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro (PLTMH) yang artinya ialah turbin air dapat menghasilkan daya kurang dari 100 Kw dan sumber airnya relatif kecil.

2.5 Klasifikasi Turbin Air

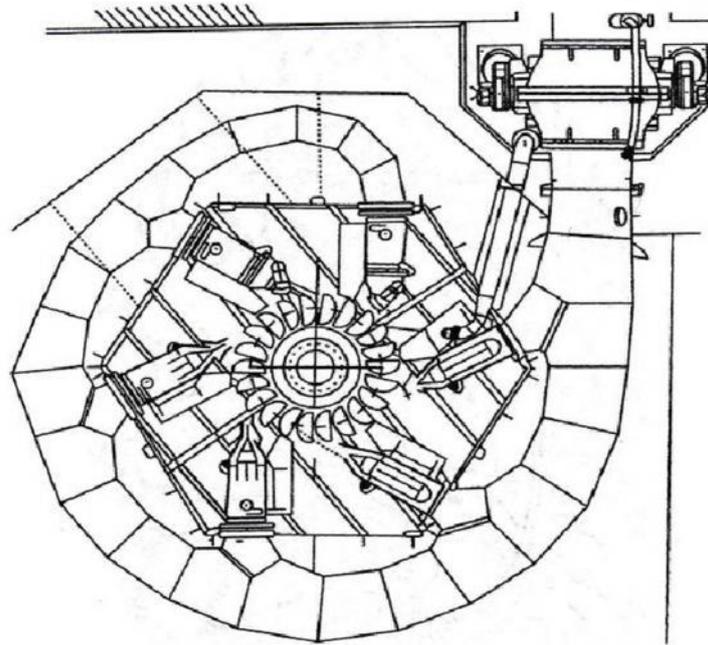
Menurut prinsip kerja turbin perihal mengganti energi potensial air menjadi sebuah energi yang disebut dengan energi mekanik, turbin air dikategorikan menjadi dua bagian yaitu turbin impuls dan juga turbin reaksi.

1. Turbin Impuls

Turbin Impuls merupakan turbin air yang dimana cara kerjanya mengganti energi potensial air (yaitu terdiri atas energi potensial, energi tekanan dan energi kecepatan) yang ada menjadi sebuah energi mekanik dan memutar turbin. Energi potensial air diganti menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Air keluar *nozzle* yang memiliki kecepatan tinggi membentur sudu turbin dan tekanannya pun tidak berubah ketika melalui *runner* dan keluar dari *runner* (konstan). Sesudah membentur sudu, maka arah kecepatan aliran akan berubah dan terjadi suatu perubahan momentum (*impulse*) sehingga mengakibatkan roda turbin akan berputar.

2. Turbin Pelton

Turbin ini memiliki 2 bagian utama, yaitu *runner* dan *nozzle*. *Runner* terdiri dari poros satu tangki, piringan dan beberapa mangkuk turbin pelton khususnya dipakai untuk menggunakan potensi hidro tinggi dengan aliran kecil.

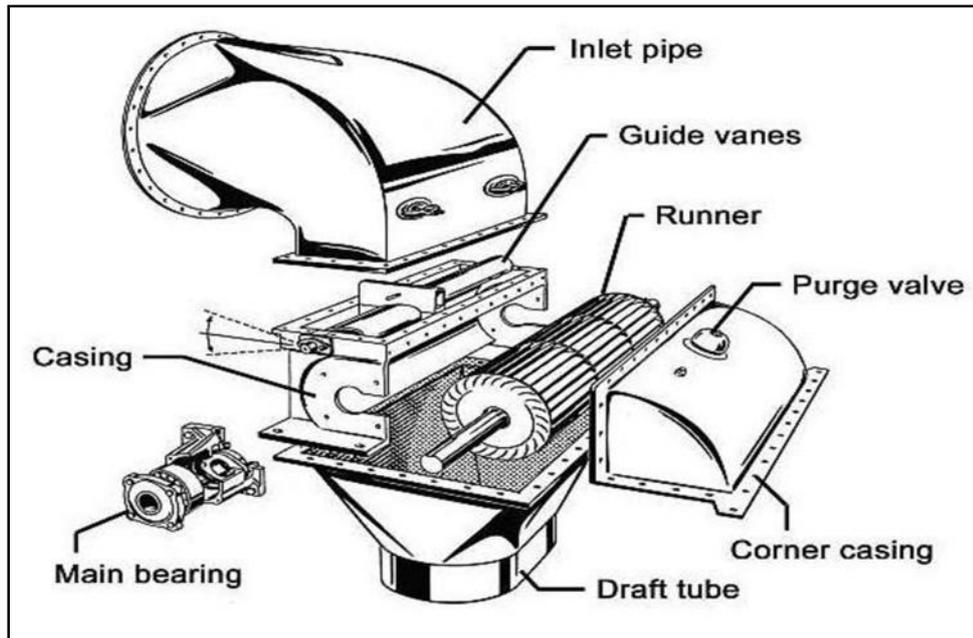


Gambar 2.6 Turbin Pelton

3. Turbin Michell-Banki

Turbin Michell-Banki atau biasa disebut dengan turbin arus lintang (*cross flow*), karena fluida yaitu air menggerakkan sudu *runner* melalui pengarah sehingga seakan-akan ditemukan fluida yang datang dari aliran yang berbeda.

Turbin Michell-Banki tersusun atas *runner* dan *nozzle*. Prinsip kerja dari turbin ini ialah, air yang keluar melalui *nozzle* dibenturkan ke *runner* dan oleh karena hal itu terjadi perubahan energi, yaitu yang semula energi kinetik air berubah menjadi energi mekanik di poros *runner*. Turbin seperti ini banyak dipakai pada head rendah sampai menengah dengan kapasitas mencapai 5 m³/s. Kelebihan desain yang cukup mudah, putaran operasi cukup tinggi serta efisiensi yang stabil dan berada pada perubahan beban sampai 40% dari beban maksimal.



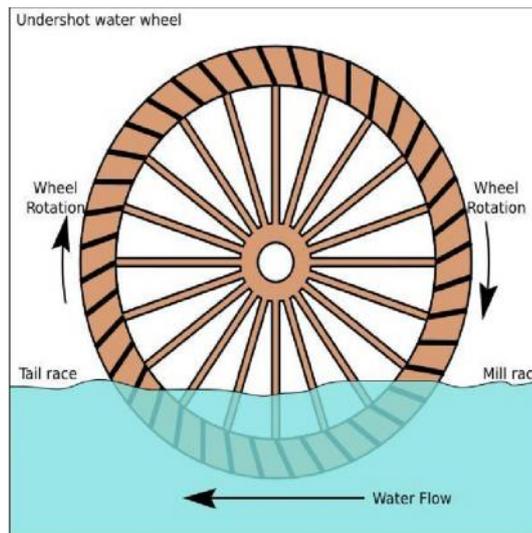
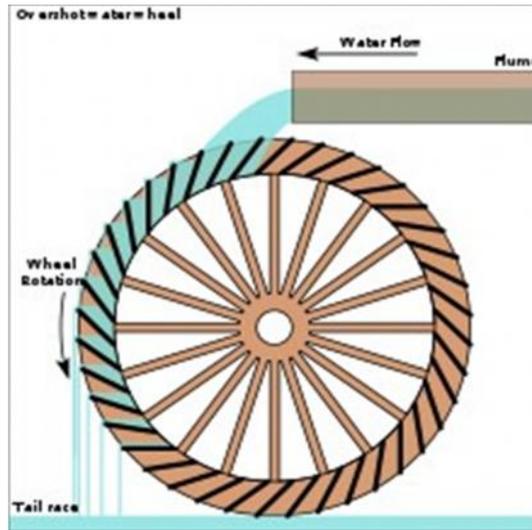
Gambar 2.7 Turbin Michell-Banki

4. Kincir Air

Pada kincir air, air ditumbukkan ke mangkuk-mangkuk yang telah dihubungkan dengan piringan motor (roda berputar) yang mengakibatkan terjadinya suatu perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik. Kincir air dapat bekerja pada saat putaran rendah dan oleh karena hal itu memerlukan bantuan percepatan putaran dengan perbandingan percepatan putaran yang cukup tinggi sehingga dapat mencapai putaran generator. Kincir air mempunyai ciri desain sederhana dan dengan diameter besar. Saat penggunaan kincir air banyak difungsikan sebagai head dan juga kapasitas kecil, disebabkan oleh diameter yang besar bekerja di putaran rendah. Penggunaan energi air pada skala kecil dapat berbentuk penerapan atau pelaksanaan kincir air dan turbin. Diketahui, ada tiga macam kincir air menurut sistem aliran airnya, yaitu: *overshot*, *breast-shot*, dan *under-shot*.

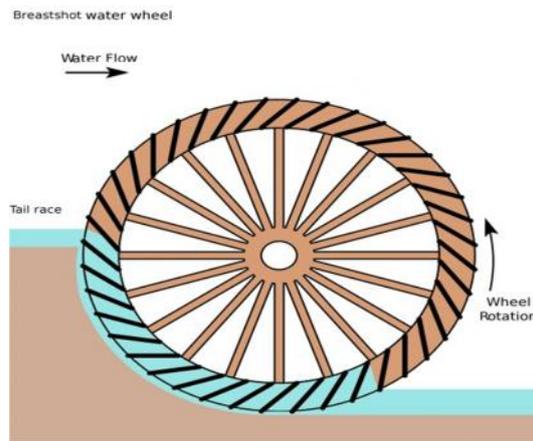
Pada kincir *overshot*, air akan lewat dari atas sebuah kincir dan kincir tersebut berada pada bagian bawah aliran air. Air akan memutar kincir sehingga air akan jatuh ke dasar yang lebih rendah. Kincir akan berputar searah dengan jarum jam. Pada kincir *breast-shot*, kincir diposisikan paralel atau sejajar dengan aliran airnya, sehingga air yang mengalir akan melewati tengah-

tengah kincir. Air yang memutar kincir arahnya akan berlawanan dengan arah jarum jam. Pada kincir *under-shot*, letak kincir air berada sedikit lebih ke atas serta kincirnya sedikit menyentuh air. Aliran airnya yang menyentuh kincir serta menggerakkan kincir sehingga dapat berlawanan arah dengan arah jarum jam.



(a)

(b)



(c)

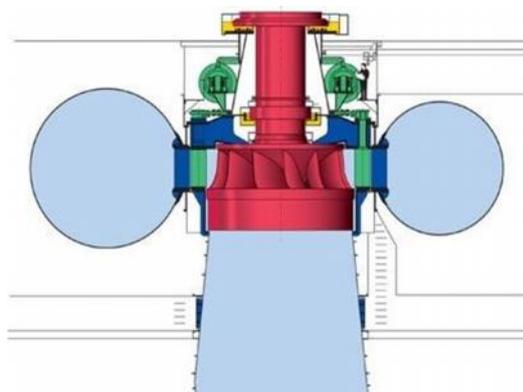
Gambar 2.8 (a) Kincir Air Overshot, (b) Kincir Air Under-shot, (c) Kincir Air Breast-shot

5. Turbin Reaksi

Turbin reaksi yaitu turbin yang proses pengembangan fluida kerjanya terjadi di sudu tetap dan sudu geraknya. Berikut jenis-jenis turbin reaksi:

a. Turbin Francis

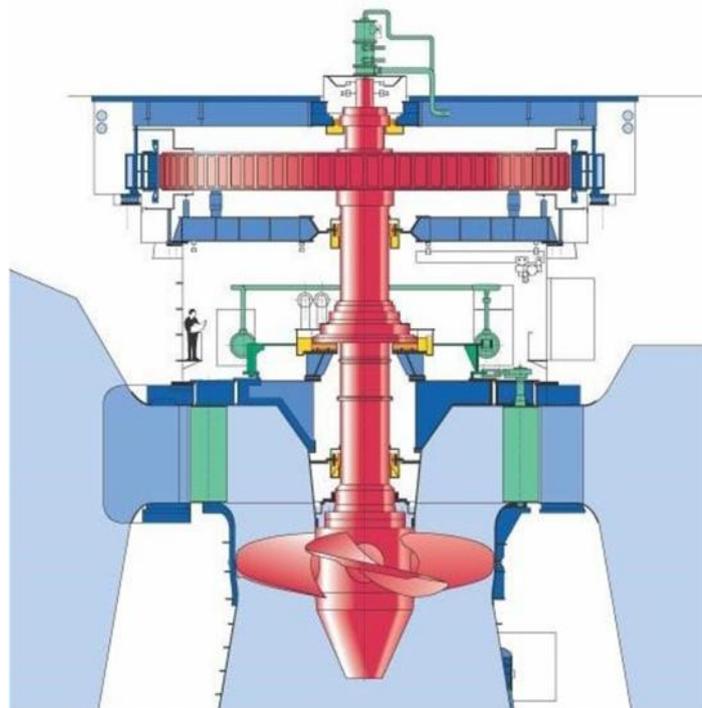
Turbin Francis adalah turbin yang dikelilingi oleh sudu pengarah dan seluruhnya tertanam ke dalam air. Turbin francis memiliki fungsi yaitu untuk penggunaan potensi menengah. Turbin francis sudah bisa dibangun dengan suatu kecepatan putar yang cukup tinggi.



Gambar 2.9 turbin Francis

b. Turbin Kaplan

Turbin kaplan atau dikenal dengan turbin baling-baling yang dikembangkan dengan sangat baik sehingga turbin bisa berputar di dalam suatu yang lahar panas. Di lain sisi, sudu-sudu juga dapat diatur serupa dengan keadaan kegiatan saat itu. Kelebihan memilih turbin kaplan, yaitu memiliki kecepatan putarannya dapat diatur lebih tinggi serta ukurannya yang lebih kecil dikarenakan oleh roda turbin dapat dipasangkan secara langsung ke generator. Harganya juga relatif murah jika digunakan pada pembangkit yang lebih besar.



2.10 Gambar Turbin Kaplan

6. Berdasarkan Daerah Operasi Turbin

Tabel 2.1 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Daerah Operasi Turbin

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Turbin kaplan dan turbin propeller	$2 < H < 20$
Turbin francis	$10 < H < 350$
Turbin pelton	$50 < H < 1000$
Turbin crossflow	$6 < H < 100$
Turgo	$50 H < 250$

7. Berdasarkan Kecepatan Spesifik

Tabel 2.2 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Kecepatan Spesifik

Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik (rpm)
Turbon pelton	12 Ns 25
Turbin francis	60 Ns 300
Turbin crossflow	40 Ns 200
Turbin propeller	250 Ns 1000

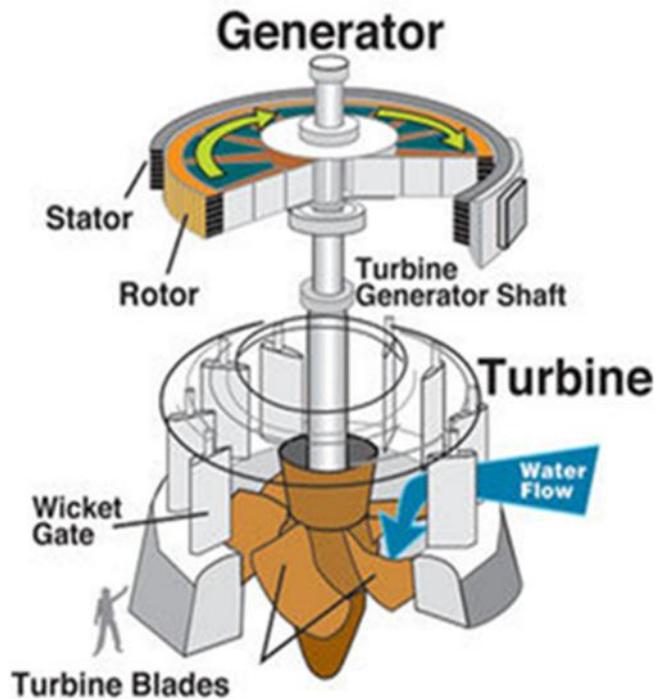
8. Berdasarkan Putaran Nominal dan *Run-away Speed* Turbin

Tabel 2.3 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Putaran Nominal dan *Run-away Speed* Turbin

Jenis Turbin	Putaran Nominal, N (rpm)	<i>Run-away Speed</i>
Turbin semi kaplan (single regulated)	75-100	2-2.4
Turbin kaplan (double regulated)	75-150	2.8-3.2
Turbin small-medium Kaplan	250-700	2.8-3.2
Turbin francis (medium & high head)	500-1500	1.8-2.2
Turbin francis (low head)	250-500	1.8-2.2
Turbin pelton	500-1500	1.8-2
Turbin crossflow	100-1000	1.8-2
Turbin turgo	600-1000	2

2.6 Pengertian Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu jenis turbin yang mempunyai tekanan yang lebih. Sudunya terdiri dari sudu pengarah dan juga sudu jalan, yang dimana keduanya terbenam di dalam air. Perubahan sebuah energi semuanya terjadi pada sudu pengarah dan juga sudu gerak, melalui cara yaitu mengalirkan air ke dalam terusan ataupun dilewatkan ke dalam sebuah cincin yang bentuknya spiral ataupun bentuknya rumah keong.



Gambar 2.11 Skema Instalasi Turbin Francis

2.6.1 Bagian-bagian Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu bagian dari jenis turbin reaksi. Turbin ini, dihubungkan di antara bagian sumber air dengan tekanan yang tinggi pada bagian masuknya dan juga air yang bertekanan rendah pada bagian keluar. Turbin francis mempunyai 3 bagian yang penting, yaitu *runner*, *guide vane* atau (sudu pengarah), serta *casing* (rumah turbin).

a. Runner

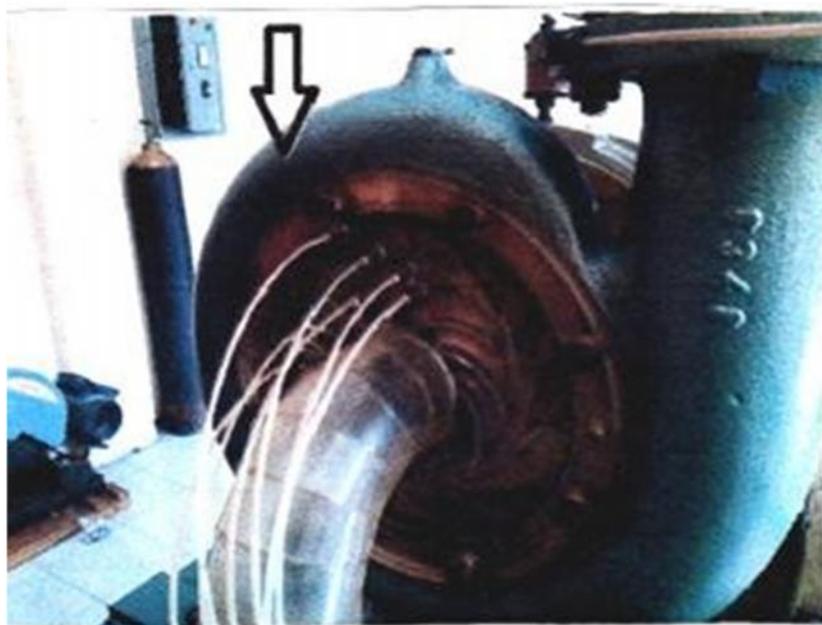
Runner merupakan salah satu bagian dari turbin francis yang bisa atau dapat berputar dan terdiri atas, poros dan juga sudu turbin yang mempunyai fungsi yaitu untuk menggantikan energi kinetik menjadi sebuah energi mekanik. Runner atau yang juga disebut sebagai pusat penghantar fluida yang dapat menghasilkan suatu torsi pada poros turbin. Oleh karena hal itu, pada runner dilakukan atau diadakannya maintenance dan inspection, sehingga hal ini dapat menjaga kondisi runner yang diamana nantinya runner bisa berfungsi pada kondisi yang optimal.



Gambar 2.12 Runner pada turbin Francis

b. Casing

casing atau yang disebut dengan saluran yang hampir sama atau mirip dengan rumah siput yang dimana bentuk dari penampangnya yaitu melintang lingkaran. Casing ini juga memiliki fungsi yaitu untuk menampung sebuah fluida yang letaknya keluar dari *guide vane* dan dapat memaksimalkan energi tekanan.



Gambar 2.13 Casing pada Turbin Francis

c. Guide Vane

Guide vane merupakan bagian dari turbin francis yang mana mempunyai fungsi, seperti halnya sebagai pengarah aliran air dari tempat katup pengatur kapasitas, melalui atau melewati *casing* lalu *runner* dan mempunyai fungsi lainnya yaitu untuk meningkatkan kecepatan aliran air sebelum menuju ke *runner*.



Gambar 2.14 Guide Vane pada Turbin Francis

d. Inlet Pipe

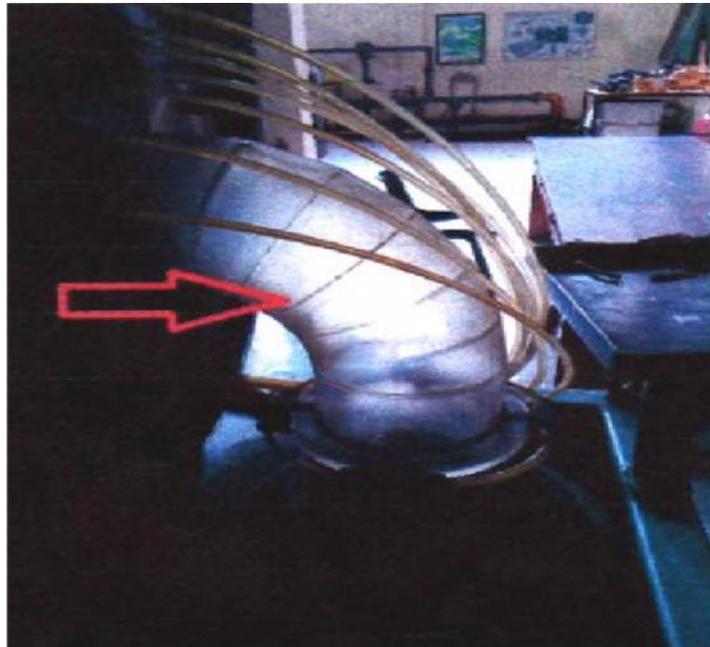
Inlet pipe adalah salah satu bagian yang ada pada turbin francis dan bagian ini mempunyai fungsi yaitu untuk melanjutkan atau meneruskan air yang masuk ke dalam *casing*.



Gambar 2.15 Inlet Pipe pada Turbin Francis

e. Draft Tube

Draft tube merupakan salah satu bagian dari turbin francis yang dimana bagian ini mempunyai fungsi sebagai alat untuk melanjutkan ataupun meneruskan air yang dari turbin menuju ke saluran pembuangan dengan memakai atau menggunakan tinggi jatuh air. Draft tube merupakan perangkat atau komponen paling akhir dari laluan air di hydropower plant dan juga menjadi hal yang sangat penting di dalam mengalirkan air yang keluar dari roda turbin hingga ke tempat trailrace yang mana air tersebut akan dikumpulkan di receiving body of water.



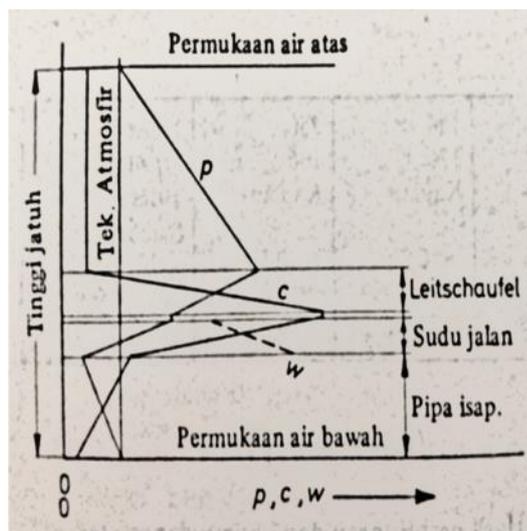
Gambar 2.16 Draft Tube pada Turbin Francis

2.6.2 Prinsip Kerja Turbin Francis

Turbin francis dapat bekerja menggunakan ataupun memakai proses tekanan lebih. Pada saat air akan masuk atau lewat ke roda jalan sebagai sebuah energi tinggi jatuh (*head drop*) dan dapat menyimpan energi potensial, sebagian dari energi potensial tersebut, sudah bekerja di sudu pengarah dan juga diganti menjadi sebuah energi kinetik, dengan demikian, kecepatan air yang melewati sudu pengarah akan menjadi lebih cepat lagi dan hal tersebut dapat memutar sudu jalan. Dari sebuah putaran sudu jalan tersebut, hal itulah yang akan mengubah

energi kinetik tersebut menjadi sebuah energi mekanik, dan juga akan menghasilkan daya. Sisa dari sebuah energi tinggi jatuh yang sudah bekerja di sudu jalan akan difungsikan atau digunakan menggunakan sebuah pipa isap yang dimana hal ini mengharuskan energi tinggi jatuh bekerja di sudu jalan dengan semaksimal mungkin.

Pada bagian atau tempat sebelah keluar roda jalan, ada sebuah tekanan yang lebih rendah (kurang dari 1 atm) dan juga kecepatan aliran air yang cukup tinggi. Pada bagian pipa isap ini, kecepatan aliran dapat berkurang dan juga tekanannya dapat kembali naik, oleh karena itu, air bisa dialirkan keluar melalui saluran air bagian bawah dengan memfungsikan tekanan sesuai dengan keadaan sekitarnya. Pipa isap turbin francis ini dapat berfungsi untuk menggantikan energi kecepatan menjadi sebuah energi tekanan. Jalan tekanan dan juga kecepatan air di saat melewati dan berproses di dalam turbin secara informatif ada pada gambar berikut.



Gambar 2.17 Jalannya Tekanan dan Kecepatan Air di Dalam Suatu Turbin Tekanan Lebih

2.7 pengertian unjuk kerja turbin

Unjuk kerja turbin air mengacu atau mengarah pada kemampuan sebuah turbin air untuk mengubah unjuk kerja turbin air dapat dijelaskan sebagai karakteristik ataupun sifat dan kemampuan operasional dari turbin air dalam menghasilkan daya listrik. Beberapa bagian penting dalam unjuk kerja turbin air yaitu:

1. Daya output:

- Daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin air biasanya dalam jumlah satuan kilowatt (KW) ataupun megawatt (MW).
- Daya output akan bervariasi atau bermacam-macam tergantung pada kondisi beban turbin tersebut (normal atau puncak).

2. Efisiensi:

Rasio atau perbandingan antara daya listrik yang bisa dihasilkan dengan daya air yang akan masuk ke turbin. Efisiensi dari turbin air biasanya dapat berkisar antara 80-95% pada keadaan optimal.

3. Debit air:

Debit air atau jumlah volume sebuah air per satuan waktu yang dapat melewati atau melalui turbin. Debit air akan mempengaruhi atau memberikan efek terhadap daya output dan efisiensi turbin.

4. Tinggi jatuh air (head):

Perbedaan ketinggian antara permukaan air di atas sebuah turbin dan juga permukaan air di bawah turbin. Head yang lebih tinggi dapat meningkatkan daya output turbin.

5. Kecepatan putar:

Kecepatan rotasi turbin, pada umumnya dalam satuan rpm (revolutions per minute). Kecepatan putar dapat disesuaikan untuk mencapai efisiensi maksimal.

6. Kavitasi:

Fenomena terbentuknya gelembung uap yang terdapat pada aliran air yang bisa merusak komponen turbin. Kavitasi harus diminimalisirkan sehingga dapat menjaga unjuk kerja dan umur turbin.

7. Getaran dan kebisingan:

Getaran dan juga kebisingan yang bisa dihasilkan oleh sebuah turbin air saat beroperasi. Hal ini harus dijaga atau dirawat pada level yang cukup rendah untuk menjaga kenyamanan dan keamanan.

Unjuk kerja turbin air secara keseluruhannya menggambarkan kemampuan turbin dalam merubah energi air menjadi sebuah energi listrik secara efisien dan andal.

a. Unjuk Kerja Turbin Air Beban Normal

Unjuk kerja turbin pada beban normal mengarah pada kondisi ataupun keadaan operasi optimal yang mana turbin bisa bekerja sesuai dengan spesifikasi desain sehingga menghasilkan daya output yang diharapkan secara efisien dan stabil. Pada saat kondisi beban normal, unjuk kerja turbin air bisa dijelaskan sebagai berikut ini:

1. Daya output:

Pada saat beban normal, turbin air dapat menghasilkan daya output yang mendekati kapasitas maksimalnya. Daya output akan stabil dan sesuai dengan kebutuhan sistem yang ditopang oleh turbin air tersebut.

2. Efisiensi:

Efisiensi dari turbin air pada beban normal biasanya berada pada titik optimal. Turbin air bisa beroperasi atau bekerja pada kondisi yang paling efisien, sehingga menghasilkan rasio daya output terhadap daya air yang cukup tinggi.

3. Debit air:

Pada saat beban normal, debit air yang melewati atau melalui turbin akan berada di kisaran optimal. Debit air terjaga pada nilai yang memaksimalkan efisiensi turbin.

4. Kecepatan putar:

Kecepatan dari putar turbin air akan berada pada nilai yang sesuai dengan beban normal. Kecepatan ini dapat memungkinkan sebuah turbin beroperasi pada titik optimal efisiensi.

5. Kavitasi:

Pada kondisi beban normal, kavitasi air yang dapat terjadi pada turbin air biasanya minimal. Kondisi operasi turbin dapat terjaga pada nilai yang meminimalkan risiko kavitasi.

6. Getaran dan kebisingan:

Getaran dan juga kebisingan yang dihasilkan oleh turbin air pada beban normal biasanya cukup rendah. Turbin bisa bekerja dengan stabilitas yang cukup baik dan menimbulkan gangguan yang minimal.

b. Unjuk Kerja Turbin Air Beban Puncak

Unjuk kerja turbin pada kondisi beban puncak mengarah pada karakteristik kerja turbin ketika diberikan beban pada kondisi beban yang maksimum atau beban puncak. Dengan adanya demikian, unjuk kerja turbin pada saat beban puncak mengarah pada kondisi kerja dimana sebuah turbin bisa menghasilkan daya output maksimum, walaupun dengan sedikit penurunan efisiensi dan juga stabilitas operasi, namun masih dalam keadaan batas aman dan desain. Pada kondisi beban puncak ini, unjuk kerja dari turbin air dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

1. Daya output:

Pada saat beban puncak, turbin air akan menghasilkan sebuah daya output mendekati ataupun bahkan bisa mencapai kapasitas maksimalnya. Daya output akan berada pada nilai tertinggi yang dapat disuplai oleh turbin air.

2. Efisiensi:

Efisiensi dari turbin air pada beban puncak pada umumnya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan pada saat beban normal. Hal ini disebabkan karena turbin harus beroperasi atau bekerja pada kondisi yang lebih ekstrem untuk memenuhi kebutuhan daya yang cukup tinggi.

3. Debit air:

Pada kondisi beban puncak, debit air yang melewati turbin pun akan berada pada nilai maksimal yang diizinkan. Debit air juga akan berada pada kisaran tertinggi untuk menghasilkan daya output yang maksimal.

4. Kecepatan putar:

Kecepatan putar turbin air pada kondisi beban puncak akan berada di nilai maksimal yang diizinkan. Kecepatan ini dapat memungkinkan turbin beroperasi pada titik daya output tertinggi.

5. Kavitasasi:

Pada kondisi beban puncak, resiko kavitasasi pada turbin air juga akan meningkat. Kondisi operasi yang cukup ekstrem dapat mengakibatkan kavitasasi yang lebih parah.

6. Getaran dan kebisingan:

Getaran dan kebisingan yang dapat dihasilkan turbin air pada saat beban puncak cenderung lebih tinggi. Turbin harus bekerja atau beroperasi lebih keras, sehingga dapat menimbulkan gangguan yang lebih besar.

Secara menyeluruh, pada kondisi beban puncak, turbin air akan beroperasi pada kapasitas maksimalnya untuk dapat memenuhi kebutuhan daya yang tinggi, walaupun dengan adanya sedikit penurunan efisiensi dan juga peningkatan risiko kavitasasi serta getaran atau kebisingan.

2.8 Perhitungan Kapasitas Turbin Air

Total energi yang tersedia dari suatu bendungan merupakan energi potensial air pada persamaan 2.1, yaitu (Khairul, 2013):

$$E_p = m \times g \times \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- E_p = energi potensial (Joule)
- m = massa air (kg/m^3)
- = head (tinggi jatuh air) (m)
- g = percepatan gravitasi (cm/s^2)

Daya merupakan energi tiap satuan waktu ($\frac{E}{t}$) sehingga persamaan (1), dapat dinyatakan persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} \times g \times h \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan mensubsitusikan P terhadap ($\frac{E}{t}$), dan mensubsitusikan Q terhadap ($\frac{m}{t}$), maka persamaan 2.3:

$$P = \rho \times Q \times g \times \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- P = daya potensial air (watt)
- ρ = densitas air ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
- = head (tinggi jatuh air) (meter)
- g = percepatan gravitasi ($\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)
- Q = debit aliran air $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung besar daya turbin yang dihasilkan oleh akibat adanya energi kinetik maka digunakan persamaan 2.4, sebagai berikut (Aris Munandar, 2016):

$$P_t = T \times \omega \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- P_t = daya turbin akibat adanya energi kinetik (watt)
- T = torsi (Nm)
- ω = kecepatan sudut (rad/s)

Kecepatan sudut dapat diperoleh persamaan 2.5 dengan cara:

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

n = jumlah putaran turbin

Efisiensi turbin bisa dihitung dengan persamaan 2.6:

$$\eta_t = \frac{p_t}{p} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

η_t = efisiensi turbin

Daya yang dihasilkan sebenarnya merupakan daya yang dihitung dengan menggunakan perumusan 2.7 sebagai berikut:

$$P = \rho \times g \times Q \times \eta_t \dots\dots\dots(2.7)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan penelitian secara langsung ke lokasi atau tempat penelitian di PLTA Pakkat. Adapun yang menjadi maksud dan tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui unjuk kerja Turbin 3x6 MW pada beban puncak dan beban normal. Peneliti melakukan ataupun melaksanakan penelitian dengan cara mengukur dan menghitung daya yang ada di turbin menggunakan alat yang ada ataupun sudah tersedia dan secara langsung dipantau menggunakan monitor. Penelitian ini nantinya akan menghasilkan data perhitungan daya unjuk kerja turbin pada beban puncak dan beban normal.

3.2. Metode Penelitian

Adapun Metode penelitian merupakan tahapan untuk melaksanakan suatu penelitian. Untuk mendapatkan hasil dari penelitian, peneliti menggunakan sebuah metode perhitungan yang dimana metode tersebut berhubungan dengan unjuk kerja turbin pada beban puncak dan beban normal. Adapun tahapan dari metode penelitian ini, yaitu dimulai dari studi literatur, kemudian observasi lapangan dan analisis data.

3.2.1 Studi literatur

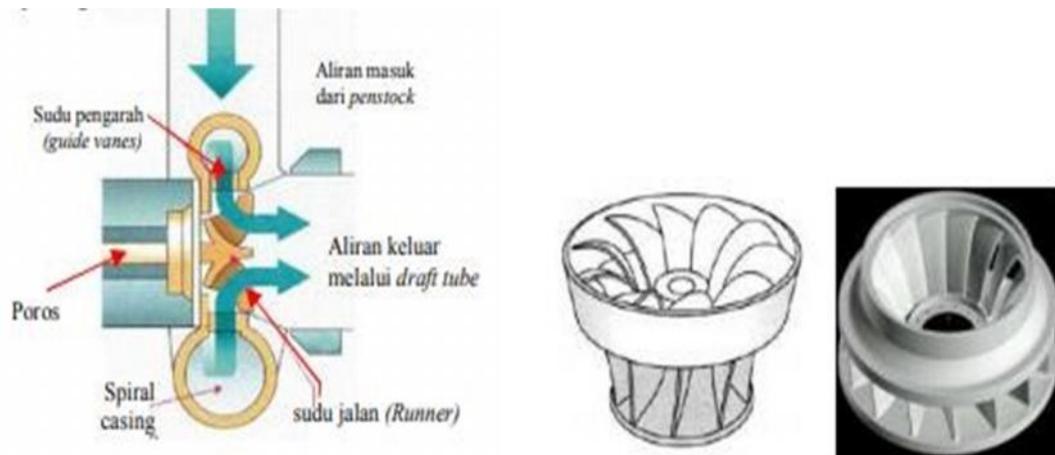
Pertama-tama dilakukan sebuah tahap yaitu studi literatur yang dimana tahap ini sebagai referensi atau bahan pedoman dalam melakukan penelitian tentang pembangkit listrik tenaga air yang akan dilaksanakan oleh peneliti. Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan teori tentang unjuk kerja turbin seperti yang sudah di jelaskan pada bab 2.

3.2.2 Observasi Lapangan

Observasi lapangan adalah tahap lanjutan setelah studi literatur, yang dimana tahapan ini dilaksanakan untuk mendapatkan data yang sesuai dengan yang ada di lapangan. Adapun cara untuk mendapatkan data, dapat dilakukan dengan cara pengukuran.

1. Pengukuran

Pengukuran secara langsung dilakukan pada bagian turbin. Adapun turbin yang digunakan pada PLTA pakkat ialah turbin francis. Turbin Francis pada Gambar 3, adalah jenis turbin yang paling banyak dipakai atau digunakan di Indonesia. Turbin francis dapat difungsikan pada tinggi terjun sedang, yaitu berkisar antara 20-400 meter. Teknik perubahan energi potensial air menjadi sebuah energi mekanik yang ada pada roda air turbin dikerjakan menggunakan proses reaksi, dengan demikian turbin francis dapat juga dikenal sebagai turbin reaksi.



Gambar 3.1 Turbin Francis

Berdasarkan gambar di atas, bisa disimpulkan bahwa pipa isap yang ada pada turbin ini mempunyai fungsi yang sama seperti halnya sudu hantar yang berada di pompa sentrifugal. Turbin francis terdiri atas sudu pengarah dan juga sudu jalan. Air dialirkan kedalam sebuah cincin yang berbentuk spiral. Air yang masuk ke dalam sebuah turbin dapat dialirkan melewati ataupun melalui pengisian air dari atas atau melewati sebuah rumah yang bentuknya spiral. Roda jalan keseluruhannya selalu beroperasi. Daya yang dapat dihasilkan oleh suatu turbin bisa diatur dengan cara yaitu membuka posisi pembukaan dari sudu pengarah, oleh karena hal itu, kapasitas air yang akan masuk kedalam sebuah roda turbin dapat diperbesar ataupun diperkecil. Turbin francis dijalankan dengan posisi horizontal ataupun vertikal. Pada PLTA Pakkat, yang merupakan bagian sistem pengendaliannya sudah menggunakan sistem kendali dari jarak jauh. Ditinjau dari sistem pengendaliannya, urutan pengoperasiannya secara sederhana adalah sebagai berikut ini (PT. Energy Sakti Sentosa,

2015):

- 1) Buka katup *by-pass* dari katup utama.
- 2) Jika tekanan air yang di depan dan di belakang katup sudah sama, maka katup utama dibuka.
- 3) Kemudian setelah katup utama terbuka secara penuh dan juga tekanan air di depan katup pengatur sudah terlihat cukup, dengan demikian katup pengatur dibuka lalu air pun mulai memutar rotor turbin.
- 4) Selanjutnya, setelah turbin berputar pada kecepatan tertentu, *governor* atau *Hydraulic Power Unit* (HPU) yang selanjutnya akan mengatur kecepatan putar dari turbin sehingga mendekati putaran yang stabil.
- 5) Komponen untuk sinkronisasi akan menyetarakan generator menggunakan sistem, namun harus terlebih dahulu mengatur tegangannya menggunakan sebuah sistem eksitasi dan mengatur frekuensi dan juga fasa melalui *governor* ataupun *Hydraulic Power Unit* (HPU).
- 6) Setelah generator bisa searah dengan sistem, dengan demikian secara telekontrol daya aktif yang diaktifkan dapat diatur yaitu melalui cara dengan mengirim sinyal ke motor pengaturan kecepatan yang ada pada *governor* ataupun *Hydraulic Power Unit* (HPU).
- 7) Seluruhnya besaran yang ada di unit PLTA yang dibutuhkan dapat dilihat atau ditinjau melalui sebuah *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Jika terjadi hal yang tidak normal atau tidak sesuai, dengan demikian harus ada sinyal alarm yang dikirimkan ke SCADA dan jika dibutuhkan, unit PLTA harus dapat diberhentikan secara telekontrol atau otomatis menggunakan sistem proteksi.

Adapun pengukuran dapat dilakukan sesuai dengan jadwal hari dan jam yang sudah di tentukan oleh peneliti. Pada tahap ini saya melakukan pengukuran data sebanyak 2 kali dalam satu hari dan dalam jangkauan hari

selama 14 hari pada pukul 14.00 WIB dan 18.00 WIB.

2. Waktu dan Tempat Penelitian

Peneliti melakukan penelitian ini pada waktu dan tempat sebagai berikut:

Waktu: 3 Oktober – 16 Oktober 2023

Tempat: Unit PLTA PAKKAT PT. Energi Sakti Sentosa



Gambar 3.2 PLTA Pakkat

3. Data

Data yang diambil atau yang digunakan berupa data sekunder yang merupakan hasil unjuk kerja turbin 3x6 mw. Data yang diambil dimulai dari tanggal 03 Oktober hingga dengan 16 Oktober 2023 pada jam 14.00 dan 18.00 WIB. Perhitungan debit air, daya aktif, tegangan, arus dan cos phi generator di ambil dari pengukuran langsung di lapangan. Tabel penyebaran data dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.1 Tabel Data Pada Turbin Generator

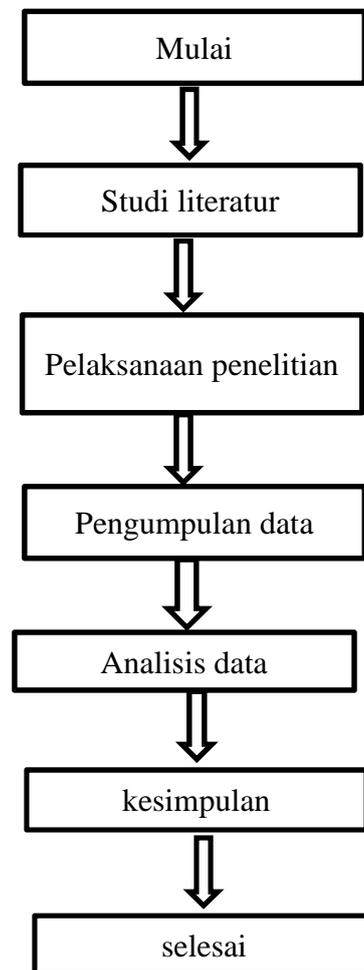
No	Hari	Tanggal	Jam	Debit (m/s)	Daya aktif (MW)	Tegangan (V)	Arus (A)	Cos phi generator

3.2.3. Analisa Data

Analisa data dapat dilakukan setelah pengambilan data pada Unit PLTA

PAKKAT PT. Energi Sakti Sentosa, data-data yang sudah diperoleh selanjutnya diubah kedalam bentuk matematis dan selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan yang ada. Pada saat menganalisis data yang sudah diperoleh, tidak perlu menggunakan metode apapun, karena perhitungan yang digunakan adalah perhitungan biasa.

Diagram tahap penelitian



3.3 PLTA Pakkat

PLTA pakkat merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang letaknya berada di kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatra Utara. Pembangkit listrik ini dapat menghasilkan daya listrik dengan jumlah yang cukup besar sekitar 125,00

gigawatt jam per tahun, yang dimana tingkat utilitasnya 79,27% dan juga menjaga serta melestarikan lingkungan alam yang berada di sekitarnya. Adapun jumlah besar daya yang dapat dihasilkan merupakan hasil dari pengaruh efisiensi kerja turbin PLTA DI UNIT PLTA PAKKAT PT. ENERGY SAKTI SANTOSA pada beban kerja yang berbeda. PLTA Pakkat difasilitasi dengan daerah yang memiliki aliran sungai seluas 25.000 hektar dan dengan daya curah hujan tahunannya bisa mencapai sebesar 4.000 milimeter. Adapun yang menjadi bagian penasihat teknis untuk studi kelayakannya ialah National Research Institute for Rural Electrification (NRIRE), yang merupakan sebuah perusahaan yang berasal dari daerah Hangzhou yang didukung oleh United Nations Development Programme (UNDP) dan oleh pemerintah Tiongkok. PLTA Pakkat memulai pengerjaannya pada tahun 2016, dan sebagai tanda kepercayaan dari pemerintah setempat, di tahun 2017 PLN dapat menaikkan kapasitas totalnya yang dimana awalnya dari 10 MW sehingga menjadi 18 MW seperti saat ini.

3.3.1 Spesifikasi Turbin Air pada PLTA Pakkat



Gambar 3.3 Spesifikasi Turbin PLTA Pakkat

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan spesifikasi turbin di PLTA Pakkat sebagai berikut:

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	Francis, horizontal spiral
Produksi	Strojirny Brno, a.s.
<i>Rate Net Head</i>	143 m
<i>Power</i>	2900 – 7000 kW
Kecepatan	750 rpm
Debit Pada Kondisi Atas	12 m ³ /s
Debit Max. per unit	5,12 m ³ /s
Debit Min. per unit	0,5 m ³ /s
<i>Spiral case Inlet Diameter</i>	1200 mm
<i>Draft Tube Outlet Diameter</i>	795,6 mm
<i>Diameter Runner</i>	1020 mm
Jumlah <i>Runner Blade</i>	20
Jumlah <i>Guide Vane</i>	20
Bukaan Maks. <i>Guide Vane</i>	69%
<i>Runaway Speed</i>	1300 rpm
Tekanan Normal Operasi <i>Guide Vane</i>	14 bar
Tekanan oli max. <i>Guide Vane</i>	113 bar

Berdasarkan tabel di atas, dapat dijelaskan dengan rinci spesifikasi yang berada di PLTA Pakkat mulai dari jenis turbin, kecepatan, debit, jumlah runner blade, guide vane dan lain sebagainya.