

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengertian Dasar Tentang Turbin Air

Kata turbin ditemukan oleh seorang insinyur yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa latin dari kata *whirling* (putaran) atau *vortex* (pusaran air). Turbin air ini biasanya digunakan untuk tenaga industri untuk jaringan listrik. Sekarang lebih umum dipakai untuk tenaga listrik. Turbin kini dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharukan. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator.

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak "*assembly rotor-blade*". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air. Perkembangan yang dilakukan dalam waktu revolusi industri menggunakan metode dan prinsip ilmiah. Mereka juga mengembangkan teknologi material dan metode produksi baru pada saat itu. Perbedaan antara turbin air awal dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Komponen tambahan ini memungkinkan turbin dapat memberikan daya yang lebih besar dan komponen yang lebih kecil. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran yang lebih cepat dan memanfaatkan head yang lebih tinggi.

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik pada generator. Komponen - komponen turbin yang penting adalah sebagai berikut :

1. Sudu pengarah

Biasanya dapat diatur untuk mengontrol kapasitas aliran yang masuk turbin.

2. Roda jalan atau runner turbin

Pada bagian ini terjadi peralihan energi potensial fluida menjadi energi mekanik.

3. Poros turbin

Pada poros turbin terdapat runner dan ditumpu dengan bantalan radial dan bantalan axial.

4. Rumah turbin

Biasanya berbentuk keong atau spiral, berfungsi untuk mengarahkan aliran masuk sudu pengarah.

5. Pipa hisap

Mengalirkan air yang ke luar turbin ke saluran luar.

Adapun perbandingan karakteristik turbin dapat kita lihat pada grafik net head dibawah ini:

Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan tinggi head yang didapatkan adalah sebagai berikut ini :

1. Turbin Kaplan :  $2 < H < 100$  meter
2. Turbin Francis :  $5 < H < 500$  meter
3. Turbin Pelton :  $H > 30$  meter
4. Turbin Banki :  $2 < H < 200$  meter

## 2.2. Jenis-Jenis Turbin Air

Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

### a) Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

## b) Turbin Impuls

Turbin Impuls adalah Turbin yang memanfaatkan energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dengan nozel. Air keluar nozel 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 memiliki tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozzle tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya.

Adapun contoh – contoh turbin reaksi dan turbin impuls yaitu :

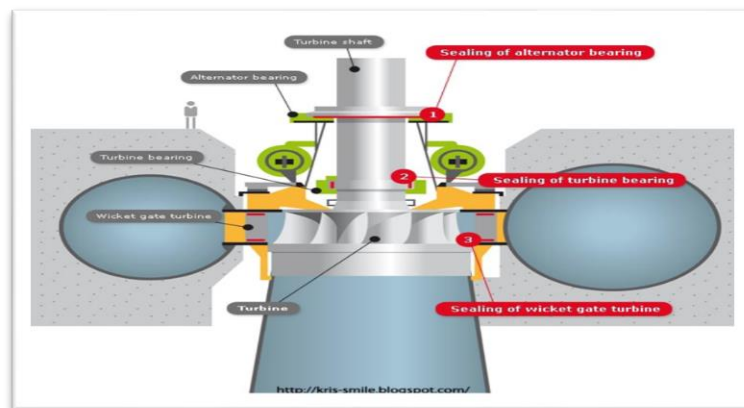
### a) Turbin reaksi

- Francis
- Kaplan
- Kincir air

### b) Turbin Impuls

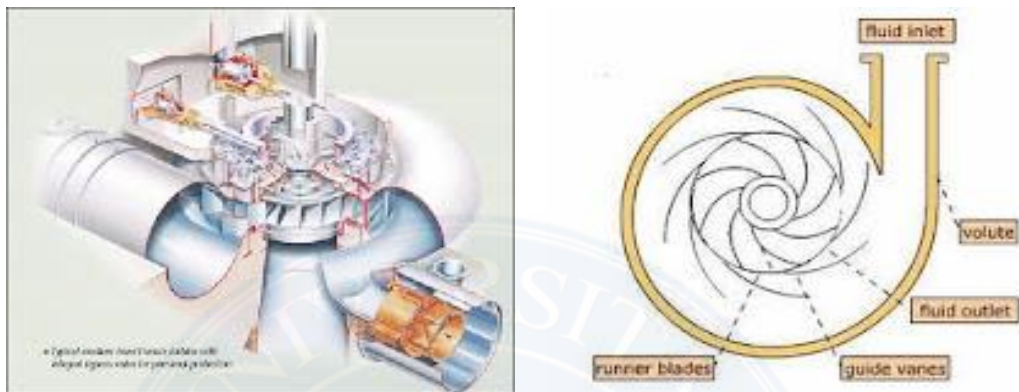
- Pelton
- Turgo
- Michell-Banki (juga dikenal sebagai turbin crossflow atau ossberger)

## 2.2.1 Turbin Francis



Gambar 2.1 Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial.

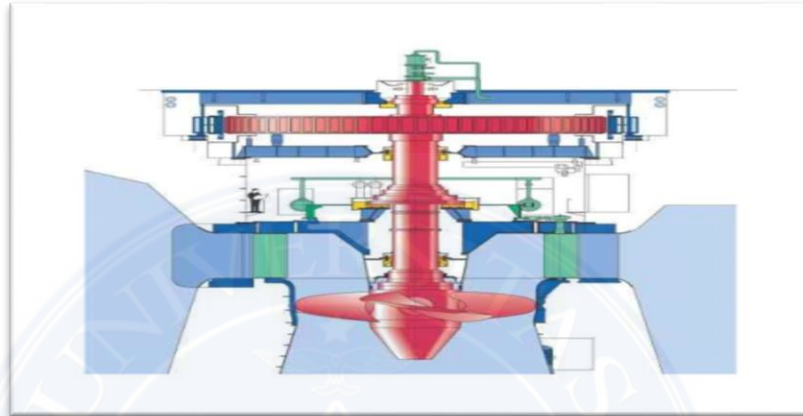


**Gambar 2.2** Sudu Pengarah

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 semaksimal mungkin. Turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam dalam air. Air yang masuk kedalam turbin dialirkan melalui pengisian air dari atas turbin (schact) atau melalui sebuah rumah yang berbentuk spiral (rumah keong). Semua roda jalan selalu bekerja. Daya yang dihasilkan turbin diatur dengan cara mengubah posisi pembukaan sudu pengarah. Pembukaan sudu pengarah dapat dilakukan dengan tangan atau dengan pengatur dari oli tekan(governor tekanan oli), dengan demikian kapasitas air yang masuk ke dalam roda turbin bisa diperbesar atau diperkecil. Pada sisi sebelah luar roda jalan terdapat tekanan kerendahan (kurang dari 1 atmosfer) dan kecepatan aliran yang tinggi. Di dalam pipa isap kecepatan

alirannya akan berkurang dan tekanannya akan kembali naik sehingga air bisa dialirkan keluar lewat saluran air di bawah dengan tekanan seperti keadaan sekitarnya.

### 2.2.2 Turbin Kaplan



**Gambar 2.3** Turbin kaplan

Turbin Kaplan adalah turbin reaksi aliran ke dalam, yang berarti bahwa fluida perubahan tekanan bekerja ketika bergerak melalui turbin dan memberikan energinya. Power dipulihkan dari kedua kepala hidrostatik dan dari energi kinetik dari air yang mengalir. Desain menggabungkan fitur radial dan aksial turbin. Inlet adalah tabung berbentuk scroll yang membungkus di sekitar gerbang gawang turbin. Air diarahkan tangensial melalui gerbang gawang dan spiral ke baling-baling berbentuk runner, menyebabkan ia berputar. Outlet berbentuk draft tube yang membantu mengurangi kecepatan air dan memulihkan energi kinetik.

Kincir air overshot adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

Keuntungan :

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, memerlukan investasi yang :

1. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%
2. Tidak membutuhkan aliran yang deras
3. Konstruksi yang sederhana
4. Mudah dalam perawatan
5. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir

Kerugian :

1. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, memerlukan investasi yang lebih banyak
2. Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi
3. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan
4. Daya yang dihasilkan relatif kecil

#### **2.2.3.2 Kincir Air Undershot**

Kincir air undershot bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe undershot tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head.

Keuntungan :

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

Kekurangan :

1. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak
2. 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 nozzle
3. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Pada waktu melewati roda turbin, energi kinetik dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi terlepas dan sebagian lagi digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin

### 2.2.5 Turbin Turgo

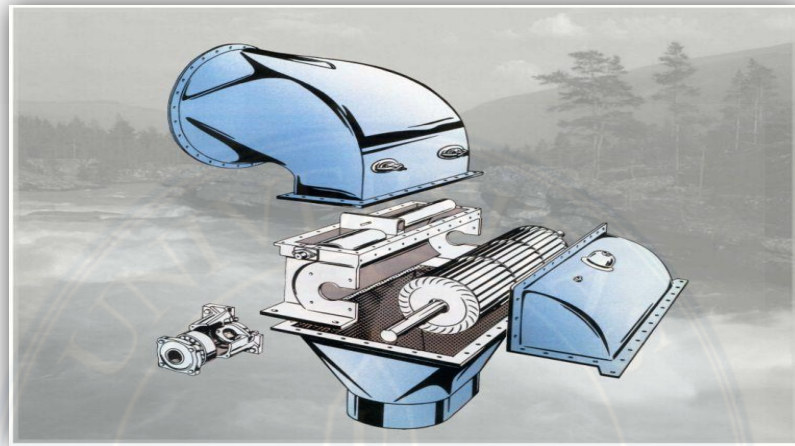


**Gambar 2.10** Turbin *Turgo*



Turbin turgo Dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impulse, tetapi sudunya berbeda keuntungan kerugian juga sama.

### 2.2.6 Turbin Crossflow



**Gambar 2.11** Turbin *Crossflow*

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.

## 2.2. Turbin Air Aliran Silang (*ossberger*)

Pada turbin impuls pelton beroperasi pada head relatif tinggi, sehingga pada *head* yang rendah operasinya kurang efektif atau efisiensinya rendah. Karena alasan tersebut, turbin pelton jarang dipakai secara luas untuk pembangkit listrik skala kecil. Sebagai alternatif turbin jenis impuls yang dapat beroperasi pada head rendah adalah turbin impuls aliran *ossberger* atau turbin *crossflow*. konstruksi turbin ini terdiri dari komponen utama yaitu;

1. Rumah turbin
2. Alat pengarah
3. Roda jalan
4. Penutup
5. Katup udara
6. Pipa hisap
7. Bagian peralihan

Aliran air dilewatkan melalui sudu sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder ke luar melalui sudu-sudu. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder dan air ke luar silinder. Energi yang diperoleh dari tahap kedua adalah 20% nya dari tahap pertama.

Keterangan :

$\rho$  = massa jenis air [Kg/m<sup>3</sup>]

$A_1$  = luasan penampang masuk [m<sup>2</sup>]

$A_2$  = luasan penampang keluar [m<sup>2</sup>]

$v_1$  = kecepatan aliran masuk [m/s]

$v_2$  = kecepatan aliran keluar [m/s]

$D_1$  = Diameter penampang masuk [m]

$D_2$  = Diameter penampang keluar [m]

## 2.5. Persamaan *Bernoulli*

Persamaan *Bernoulli* menghasilkan persamaan :

$$gz + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{konstan} \quad (2.2)$$

Persamaan *Bernoulli* pada umumnya berubah dari satu garis aliran ke garis aliran lainnya tetapi tetap konstan sepanjang suatu garis aliran dalam aliran *steady* (ajeg), tanpa gesekan, tak mampu mampat.

Bila persamaan (2.2) dibagi dengan g, maka :

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = \text{konstan} \quad (2.3)$$

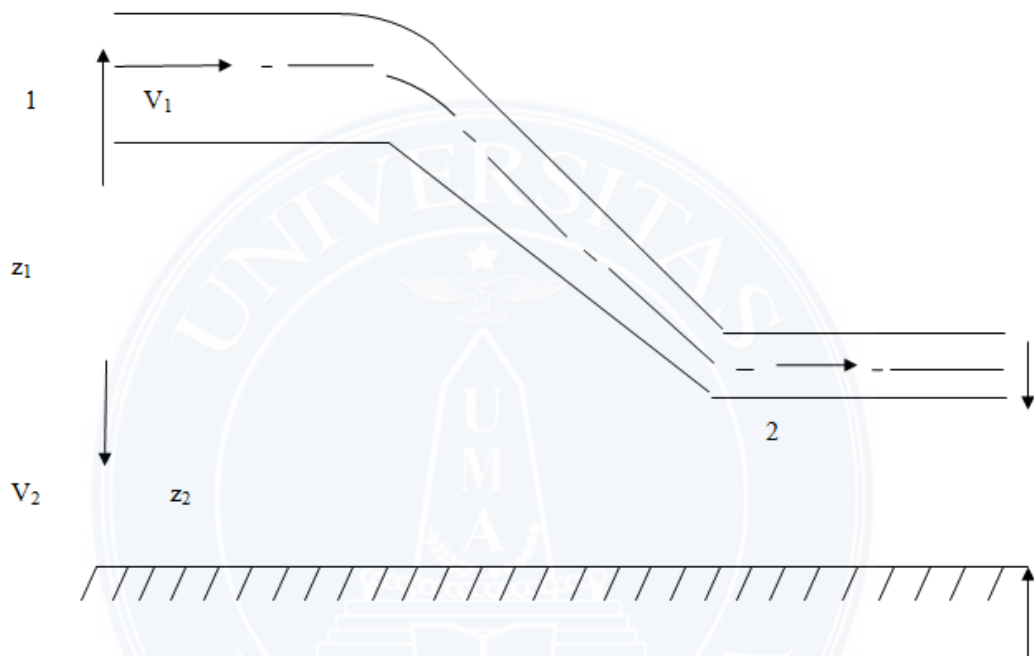
Yang dapat ditafsirkan sebagai energi per berat satuan, meter – newton per newton.

Dengan mengalikan pers (2.2) dengan  $\rho$ , maka:

$$\gamma z = \frac{\rho v^2}{2g} + p = \text{konstan}$$

Karena perubahan ketinggian maka,  $\gamma z$  dapat dihilangkan.

Dimana  $z$  adalah *head* potensial,  $\frac{v^2}{2g}$  adalah *head* kecepatan,  $\frac{P}{\gamma}$  adalah *head* tekanan.



**Gambar 2.18** Persamaan Bernoulli

## 2.6. Daya

### 1. Daya hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang dimiliki oleh aliran suatu fluida (air) yang diakibatkan oleh suatu keadaan tertentu. Dengan persamaan :

$$P_h = \rho g QH \quad (2.4)$$

Keterangan:

$P_h$  = Daya hidrolik [Watt]

$H$  = Head [m]

$Q$  = Debit [ $m^3/s$ ]

## 2. Daya Mekanik

Daya mekanik merupakan daya yang dihasilkan oleh poros turbin.

Persamaan untuk mendapatkan daya mekanik adalah :

$$P_m = \omega T \quad (2.5)$$

Dimana :

$P_m$  = Daya mekanik [Watt]

$\omega$  = Kecepatan Sudut [rad/s]

$T$  = Torsi [Nm]

Dimana besarnya  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ , maka dari persamaan dapat dirumuskan sebagai

berikut :

$$P_m = \frac{2\pi n}{60} T$$

### 3. Daya Listrik (Daya Generator)

Daya listrik yang diperoleh dari keluaran generator AC sinkron berupa tegangan dan arus bolak-balik yang dialirkan ke beban. Persamaan untuk mendapatkan daya listrik adalah :

$$P_g = V I \cos \varphi \quad (2.6)$$

Keterangan

$P_g$  = Daya keluaran generator [watt]

$V$  = Tegangan [volt]

$I$  = Arus yang mengalir pada penghantar [ampere]

$\cos \varphi$  = Faktor Daya

#### 2.7. Efisiensi

Secara umum efisiensi adalah perbandingan kerja yang dihasilkan dan energi masukan. Terdapat beberapa efisiensi yang antara lain :

##### 1. Efisiensi Hidrolik

Efisiensi hidrolik diperoleh dengan membagi daya yang dihasilkan sudu dengan daya hidrolik.

$$\eta_h = \frac{P_s}{P_h} 100\% \quad (2.7)$$

## 2. Efisiensi mekanik

Efisiensi mekanik diperoleh dengan membagi daya mekanik dengan daya sudu.

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_s} 100 \% \quad (2.8)$$

## 3. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin diperoleh dari membagi efisiensi hidrolis dan efisiensi mekanik.

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_h} 100 \% \quad (2.9)$$

## 4. Efisiensi Generator

Efisiensi generator diperoleh dari membagi daya generator dengan daya mekanik.

$$\eta_g = \frac{P_g}{P_m} 100\% \quad (2.10)$$

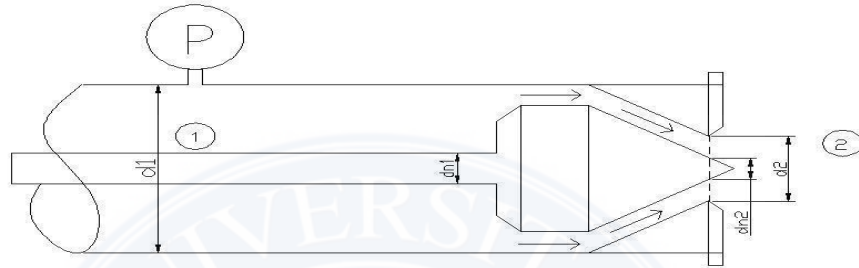
## 5. Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem diperoleh dari membagi daya generator dengan daya hidrolis.

$$\eta_{st} = \frac{P_g}{P_h} 100\% = \eta_t \eta_g \quad (2.11)$$

## 2.8. Nozzle

Nozzle adalah suatu alat yang digunakan untuk mengarahkan aliran agar menumbuk sudu sesuai dengan yang diinginkan dan mengubah energi tekanan menjadi energi kinetik. Dengan menggunakan persamaan *Bernoulli* maka didapatkan energi kinetik pancaran air keluar nozzle.



Gambar 2.19 Nozzle

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.12)$$

$$P_2 = \text{Tekanan lingkungan} = 0$$

$$Z_1 = Z_2 \text{ (datar)}$$

Dari persamaan Kontinuitas,

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$A_1 \gg A_2$ , maka :

$$v_1 \ll v_2, \text{ (maka bisa diabaikan} = 0)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2 = 0$$

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2P}{\rho}}$$



Keterangan:

$P$  = Tekanan pada manometer  $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

$\rho$  = Massa jenis  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$v_2$  = Kecepatan pancaran air keluar nozzle [m/s]

