

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **Pengertian Turbin Air**

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

#### **A Turbin Impuls**

Turbin impuls adalah turbin air yang bekerja dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari potensial, tekanan dan kecepatan) menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi punter contoh turbin pelton

#### **B. Turbin Reaksi**

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya mengubah energi air menjadi energi puntir turbin reaksi puntir dibagi menjadi dua jenis yaitu

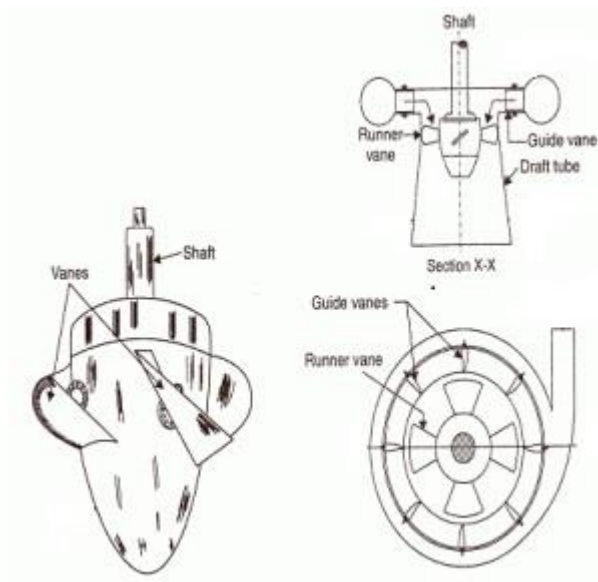
1. Turbin Francis
2. Turbin Kaplan

#### **Turbin Kaplan**

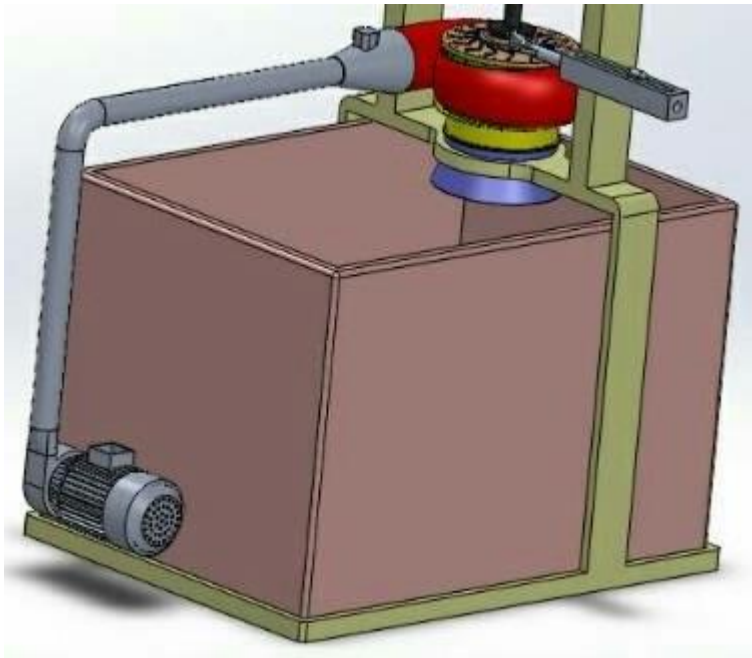
Turbin Kaplan adalah turbin air jenis baling-baling yang memiliki pisau/sirip yang dapat disesuaikan, pada turbin reaksi air masuk kedalam jaringan dalam keadaan bertekanan dan kemudian mengalir ke sudu, dengan bertambahnya kapasitas air yang masuk ke dalam turbin maka akan bertambah besar pula luas penampang saluran yang dilalui air dan selain itu kecepatan putar yang demikian bisa ditentukan lebih tinggi kecepatan spesifik bertambah, kelengkungan sudu, jumlah sudu dan belokan air di dalam sudu berkurang.

### Keuntungan turbin kaplan

1. Baling baling turbin *Runner* yang dapat disesuaikan
2. Hanya membutuhkan head dengan skala yang rendah
3. Memiliki jumlah head yang sangat kecil dari 3 pisau sampai 8



Gambar rumah keong , sudu pengarah dan sudut sudu



Gambar mesin turbin kaplan

## 2.1 Pengertian Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

## 2.2 Fungsi Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.

## **2.3 Komponen Turbin Air**

- a. Rotor, yaitu bagian yang berputar pada sistem yang terdiri dari :
- Sudu-sudu, berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh nozzle.
  - Poros, berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
  - Bantalan, berfungsi sebagai perapat-perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.
- b. Stator, yaitu bagian yang diam pada sistem yang terdiri dari :
- Pipa pengarah / nozzle yang berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan fluida yang digunakan didalam sistem besar.
  - Rumah turbin, berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen turbin.

## **2.4 Prinsip kerja turbin air**

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh nozzle. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

## 2.5 Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

### a. Turbin Impuls

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. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton.

### b. Turbin Reaksi

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

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

untuk mengeluarkan air ke saluran pembuangan. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan antara lain, turbin francis, turbin propeler atau kaplan. (Fritz Dietzel, 1988:17).

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

a. Turbin Aliran Radial

Turbin aliran radial adalah turbin yang arah alirannya tegak lurus dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran radial digunakan untuk laju alir ( aliran working fluid ) rendah dan dengan perbedaan tekanan ( difference pressure ) tinggi.

b. Turbin Aliran Aksial

Turbin yang sejajar dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran aksial digunakan untuk laju alir tinggi dan dengan perbedaan tekanan rendah ( 1 – 40 bar ). Axial-flow turbines kebanyakan digunakan dalam aplikasi yang melibatkan fluida kompresibel. Dalam banyak penggunaan, efisiensi Axial-flow turbines lebih tinggi dibandingkan radial-inflow turbines.

Adapun macam-macam turbin air antara lain :

a. Turbin Pelton

Turbin Pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan didalam nozzle dimana air yang semula mempunyai energi potensial yang tinggi diubah menjadi energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari nozzle akan menumbuk bucket yang dipasang tetap sekeliling runner dan garis pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat bucket. Kecepatan keliling dari bucket akibat tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air di atas nozzle serta effisiensinya.

Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan oleh nozzle. Turbin pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.

Bentuk sudu turbin terdiri dari 2 bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping.

Keuntungan turbin pelton :

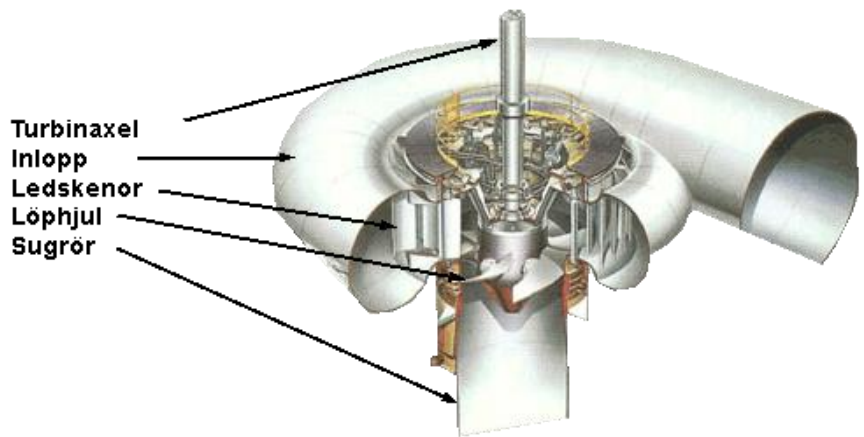
1. Daya yang dihasilkan besar.
2. Konstruksi yang sederhana.
3. Mudah dalam perawatan.
4. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian turbin pelton :

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.

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. 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.



**Gambar 2.6.1** Pengenalan Turbin Kaplan

Turbin Kaplan adalah turbin air jenis propeller yang memiliki blade yang dapat disesuaikan. Turbin ini dikembangkan pada tahun 1913 oleh profesor Austria Viktor Kaplan, yang mengkombinasikan secara otomatis baling-baling yang dapat diadjust dengan otomatis disesuaikan gerbang gawang (wicket gates) untuk mencapai efisiensi melalui berbagai tingkat dan aliran air. Turbin Kaplan merupakan evolusi dari turbin Francis. Penemuannya menyebabkan listrik dapat diproduksi secara efisien dengan menggunakan head yang rendah yang tidak

mungkin dapat dicapai dengan turbin Francis. Tinggi head berkisar 10-70 meter dan output daya 5-200 MW. Diameter Runner adalah antara 2 dan 11 meter. Kisaran rotasi turbin adalah 79-429 rpm. Instalasi turbin Kaplan dipercaya untuk menghasilkan kekuatan yang paling optimal jika head nominalnya adalah 34.65m adalah seperti Tocoma Power Plant (Venezuela) Kaplan pembangkit turbin 235MW dengan masing-masing diameter runnernya adalah 4.8m. Turbin Kaplan saat ini sudah banyak digunakan di seluruh dunia dalam high-flow, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan head rendah. Turbin Kaplan adalah turbin reaksi aliran ke dalam, yang berarti bahwa fluida perubahan tekanan bekerja ketika bergerak melalui turbin dan memberikan energi nya. Power dipulihkan dari kedua kepala hidrostatis dan

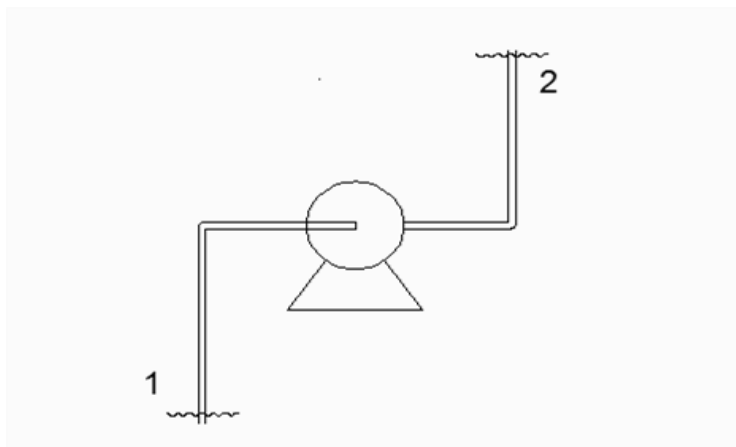


dari energi kinetik dari air yang mengalir. Desain menggabungkan fitur radial dan aksial turbin. Inlet adalah tabung berbentuk scroll yang membungkus di sekitar gerbang gawang turbin. Air diarahkan tangensial melalui gerbang gawang dan spiral ke baling-baling berbentuk runner, menyebabkan ia berputar. Outlet berbentuk draft tube yang membantu mengurangi kecepatan air dan memulihkan energi kinetik.

## 2.7 Perencanaan Turbin Kaplan

### 2.7.1 Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam [mekanika fluida](#) yang menyatakan bahwa pada suatu aliran [fluida](#), peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut.



**Gambar 2.7.1.** Prinsip Bernoulli

Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam

suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama *Daniel Bernoulli*. Persamaan di atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1\right) = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2\right)$$

- Dimana :
- $P_1$  dan  $P_2$  : tekanan pada titik 1 dan 2 (N/m<sup>2</sup>)
  - $V_1$  dan  $V_2$  : kecepatan aliran pada titik 1 dan 2 (m/s<sup>2</sup>)
  - $Z_1$  dan  $Z_2$  : perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2 (m)
  - $\gamma$  : berat jenis fluida (N/m<sup>3</sup>)
  - $g$  : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### Persamaan 2.7.1 Prinsip Bernoulli

Persamaan di atas digunakan jika diasumsikan tidak ada kehilangan energi antara dua titik yang terdapat dalam aliran fluida, namun biasanya beberapa head losses terjadi diantara dua titik. Jika head losses tidak diperhitungkan maka akan menjadi masalah dalam penerapannya di lapangan. Jika head losses dinotasikan dengan “hl” maka persamaan Bernoulli di atas dapat ditulis menjadi persamaan baru, dirumuskan sebagai :

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1\right) + H_p = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2\right) + H_{ls} \dots \dots \dots (2.7.1)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menyelesaikan banyak permasalahan tipe aliran, biasanya untuk fluida inkompresibel tanpa adanya penambahan panas atau energi yang diambil dari fluida. Namun, persamaan ini tidak dapat digunakan

untuk menyelesaikan aliran fluida yang mengalami penambahan energi untuk menggerakkan fluida oleh peralatan mekanik, misalnya pompa, turbin dan peralatan lainnya.

## 2.8 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin ditentukan oleh perbandingan daya output yang dihasilkan putaran sudu turbin dengan daya input turbin. Dalam bentuk persamaan adalah sebagai berikut :

$$\eta_t = \frac{T \cdot \omega}{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q} \times 100\%$$

Dimana : T : Torsi poros = F . r (N.m)

r : Jari-jari *runner* (m)

$\omega$  : Kecepatan keliling =  $2 \cdot \pi \cdot n_t / 60$  (rad/s)

$n_t$  : Putaran poros (rpm)

### Persamaan 2.8.1 Efisiensi Turbin

### **Dimensi Runner**

Untuk menentukan dimensi *runner* rata – rata dapat dicari dari kecepatan keliling :

$$D = \frac{60 u}{\pi n}$$

Dimana :  $u$  = kecepatan keliling ( m/s )

$n$  = kecepatan poros generator ( rpm )

Untuk kecepatan keliling ( $u$ ), dapat dicari melalui persamaan :

$$u = \phi \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Dimana :

$\phi$  = Konstanta gesekan ( 0,43 – 0,48 ) ( *Finnemore and Franzini, 2006* )

$g$  = Percepatan gravitasi ( m/s<sup>2</sup> )

$H$  = head ( m )

### **Kecepatan relative**

Air dengan kecepatan  $V_1$  membentur double cupped buckets yang mana memisahkan aliran dan membelokkan kecepatan relatifnya ( $V_r$ ) melalui sudut  $\beta_2$ , sehingga menimbulkan suatu gaya pada permukaan

sudu. Oleh karena itu, menghasilkan momen gaya untuk memutar turbin.

Kecepatan relative ( $V_r$ ) sendiri mempunyai persamaan :

$$V_r = V_1 - u$$

Dimana:

$V_1$  : Kecepatan pancaran *nozzle*

$u$  : Kecepatan keliling *runner*