B A B I I I
TURBIN AIR ELEMEN SISTEM TENAGA

3.1. Elemen Sistem Tenaga

Salah satu cara yang paling ekonomis dan mudah untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Pada pusat pembangkit sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, batu bara, dan sebagainya), hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa.

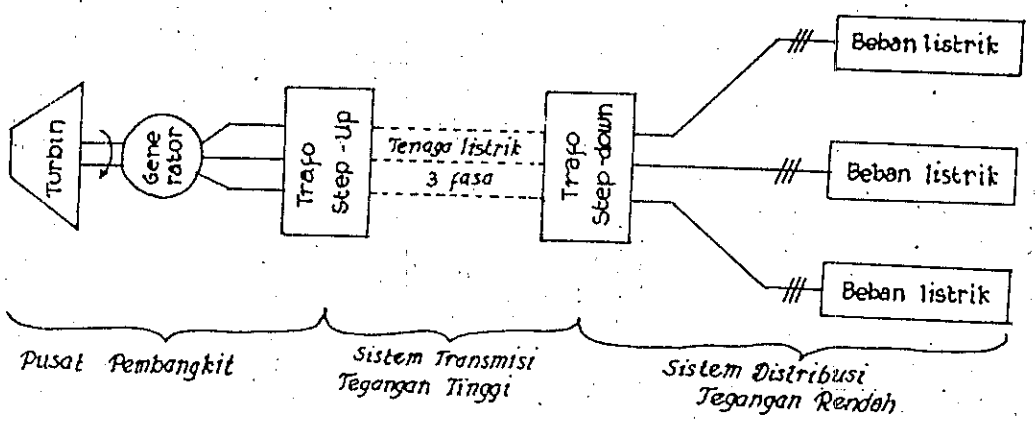
Melalui transformator penaik tegangan (step-up transformator) energi listrik ini kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan berarti mengurangi rugi panas I^2R yang menyertainya.

Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah, melalui transformator penurun tegangan (step-down transformator).

Di pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah lagi menjadi bentuk-bentuk energi terpakai lainnya seperti energi

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

mekanis (motor), penerangan, pemanas, pendingin, dan sebagainya. Elemen pokok sistem tenaga dapat dilihat pada gambar 3.1. di bawah



Gambar 3.1. Elemen Pokok Sistem Tenaga

3.2. Definisi Turbin Air

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja dimana air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Air yang mengalir memiliki energi tempat, energi kecepatan, dan energi tekanan yang menghasilkan daya apabila air ini mengenai turbin. Gaya yang terjadi pada sudu-sudu turbin berasal dari perubahan momentum dari fluida yang mengalir. Atau dengan definisi lain turbin air adalah suatu alat yang mengambil energi dari fluida dan mengubahnya ke dalam energi mekanik.

3.3. Jenis jenis Turbin Air

Turbin air dapat dikelompokkan menurut :

3.3.1 Tinggi Tekan (head) dan jumlah air yang diperlukan :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

a. Turbin Impuls

Turbin air yang memerlukan tinggi tekan yang besar dan jumlah air yang kecil.

b. Turbin Reaksi

Turbin air yang memerlukan tinggi tekan dan jumlah air yang besar.

3.3.2 Pengelompokan Berdasarkan Nama Penemunya :

a. Turbin Pelton

Dinamakan demikian sebagai penghargaan bagi Foster Allen Pelton (1824-1908) dari California USA.

b. Turbin Francis

Dinamakan sebagai penghargaan bagi Junes Francis Bicheus (1815-1892) yang lahir di Inggris dan kemudian pindah ke USA.

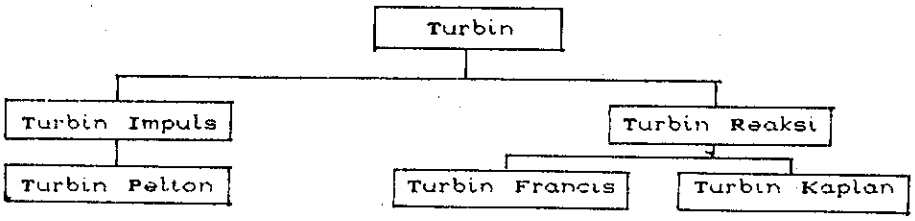
Turbin Francis ini jenis turbin reaksi yang sesuai dengan tinggi tekan dan laju air yang medium.

c. Turbin Kaplan

Dinamakan demikian untuk penghargaan pada Dr. Victor Kaplan (1876-1934) dari Bruenn (Jerman).

Turbin ini merupakan turbin reaksi yang sesuai untuk tinggi angkat dan laju air yang rendah.

3.3.3 Pengelompokan Berdasarkan Gerakan Air pada Sudu Gerak :



This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

3.3.4 Pengelompokan berdasarkan Letak dari Poros

a. Diletakkan secara vertikal.

b. Diletakkan secara horizontal.

3.4. Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, air masuk ke jaringan dalam keadaan bertekanan dan mengalir ke sudu. Pada waktu air bertekanan mengalir ke sekeliling sudu piringan, turbin akan berputar penuh dan saluran belakang (tail race) akan terendam air seluruhnya. Tinggi tekan karena air sewaktu mengalir di sekeliling sudu akan diubah menjadi tinggi angkat kecepatan dan akhirnya berkurang hingga tekanan atmosfer sebelum meninggalkan piringan turbin.

Klasifikasi Turbin Reaksi.

Turbin Reaksi dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok menurut arah aliran air yang melalui piringan, yaitu :

3.4.1. Turbin aliran radial.

Turbin aliran radial adalah turbin dengan arah aliran air radial (sepanjang piringan).

Turbin ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu :

a. Turbin aliran ke dalam.

   Adalah turbin dimana air masuk piringan dari lingkaran luar (peripheri luar) dan mengalir ke arah dalam (ke arah pusat piringan).

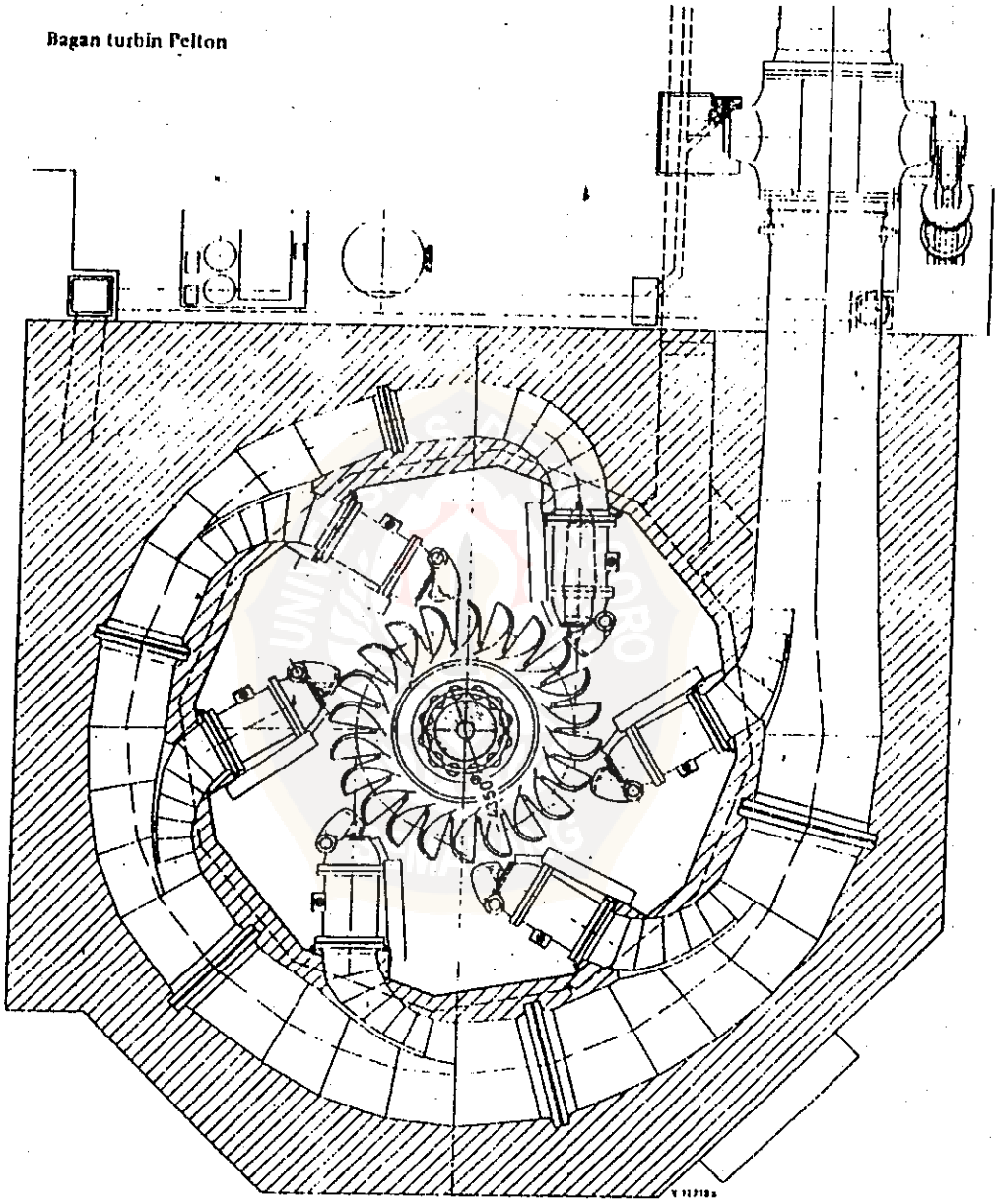
b. Turbin aliran ke luar.

   Adalah turbin dimana air masuk pada pusat piringan dan mengalir ke arah luar secara radial.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

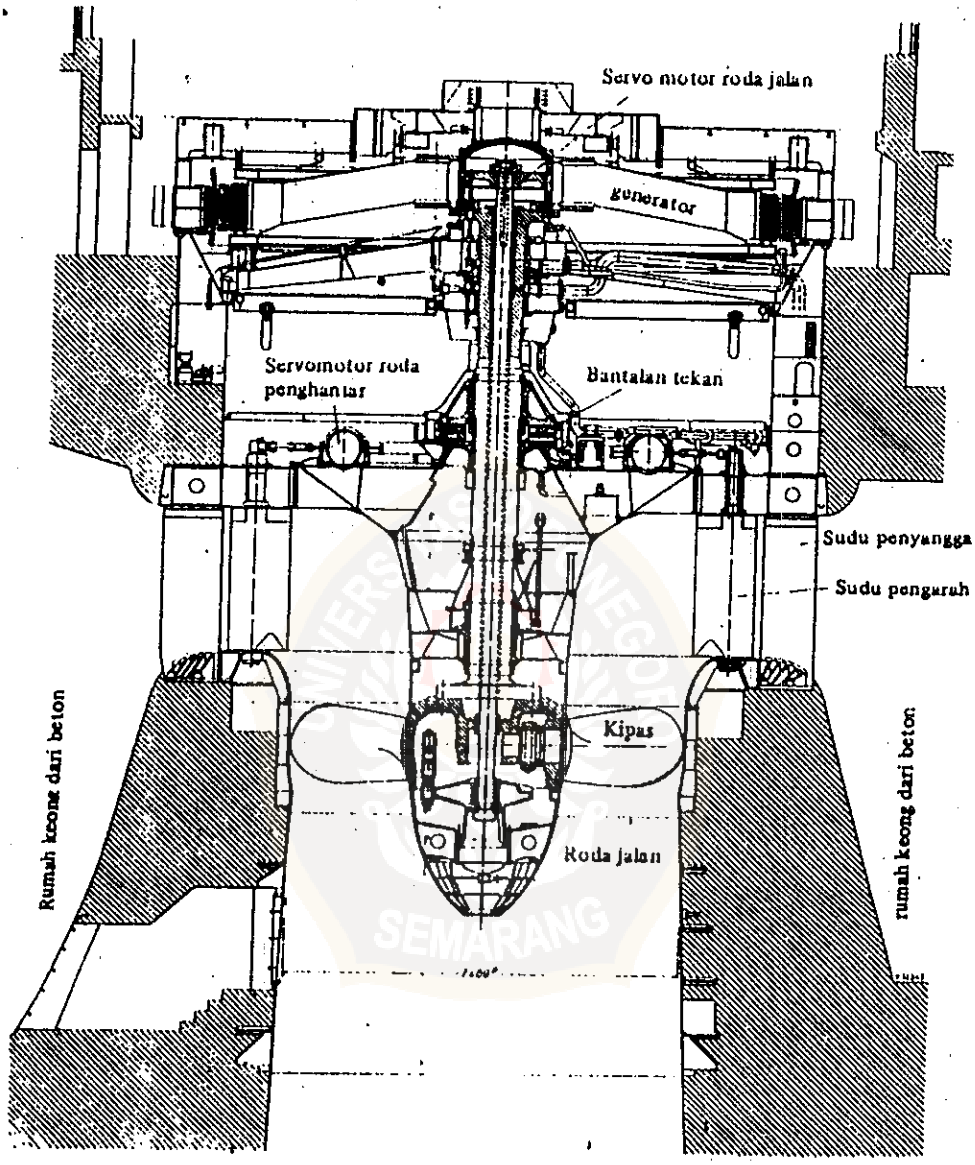
3.4.2. Turbin Aliran Aksial.

Turbin aliran aksial adalah turbin dimana air mengalir sejajar sumbu piringan. Turbin yang demikian juga dinamakan turbin aliran paralel.



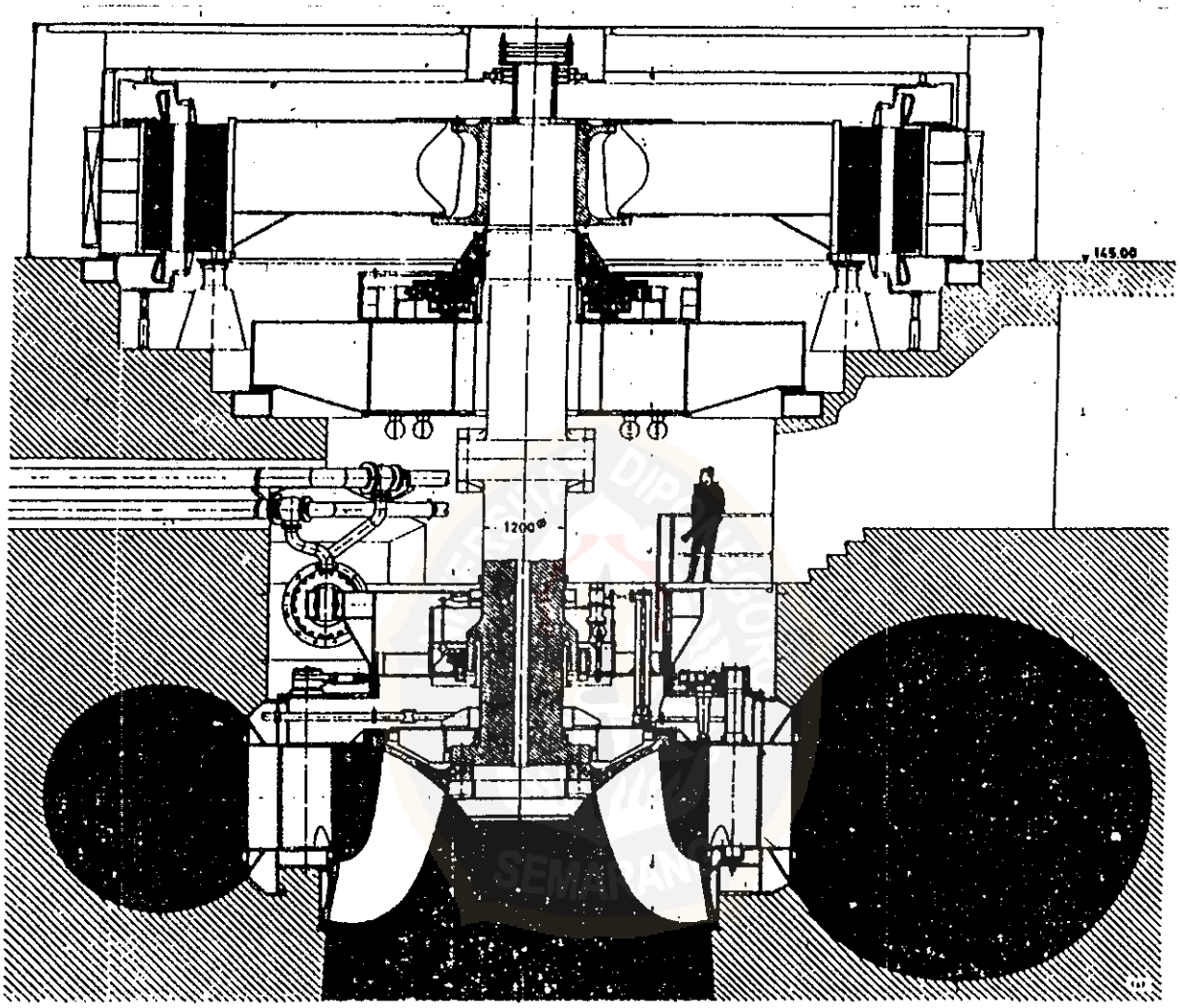
Gambar 3.2. Bagan Turbin Pelton

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 3.3. Bagan turbin Kaplan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



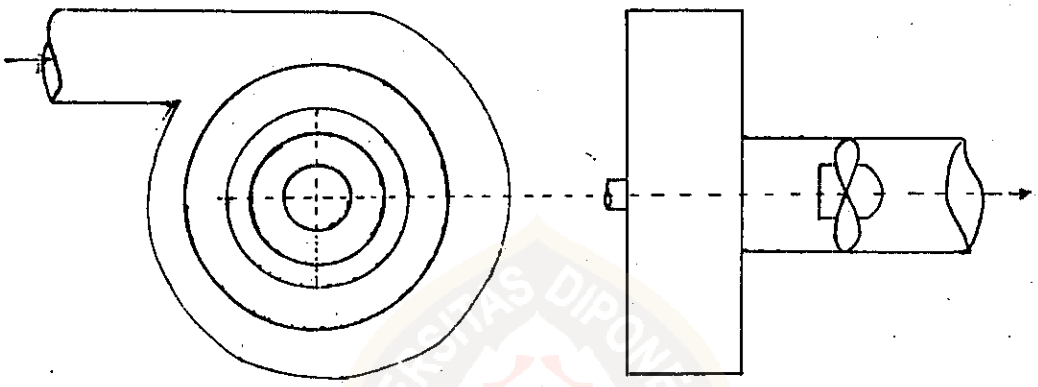
Gambar 3.4. Bagan Turbin Francis

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

3.5. Prinsip Kerja Turbin Air

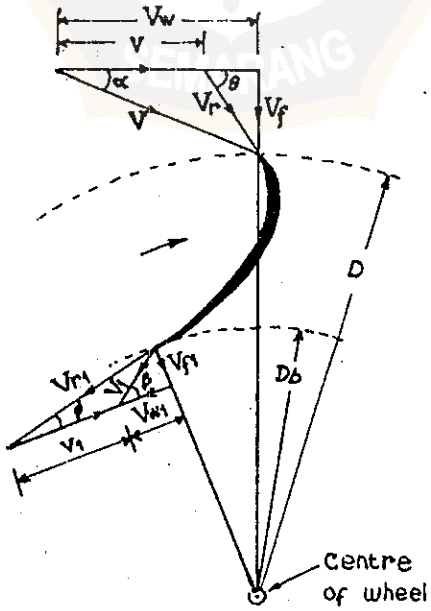
3.5.1. Diagram Kecepatan

Turbin Kaplan adalah turbin reaksi aliran aksial dan sesuai dengan namanya berarti suatu turbin reaksi dimana air masuk piringan kemudian mengalir ke arah luar sejajar poros lewat sudu jalan.



Gambar 3.5. Arah aliran air pada Turbin Kaplan poros horisontal

Kerja yang dilakukan oleh turbin dapat diperoleh melalui gambar berikut :



Gambar 3.6. Diagram kecepatan Turbin Reaksi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Keterangan gambar :

V = kecepatan absolut air masuk (m/s)

D = Diameter luar sudu (m)

V = kecepatan tangensial piringan pada sisi masuk (m/s)

V_w = kecepatan pusaran pada sisi masuk (m/s)

V_f = kecepatan aliran air pada sisi masuk (m/s)

V_r = kecepatan relatif air masuk terhadap piringan pada sisi masuk (m/s)

D*b* = Diameter Bosch (naf) (m)

α = Sudut air masuk piringan (sudut sudu pengarah)

θ = Sudut ujung sudu pada sisi masuk (sudut sudu)

β = Sudut air keluar meninggalkan sudu

ϕ = Sudut ujung sudu pada sisi keluar (sudut sudu)

V_1, D_1, v_1, V_r, V_f, V_{w1}, adalah harga-harga pada sisi keluar.

Dari segitiga kecepatan pada sisi masuk air dapat ditunjukkan :

$$V_w = V \cos \alpha \quad \text{.....(3.1)}$$

$$V_f = V \sin \alpha \quad \text{.....(3.2)}$$

Dan dari segitiga kecepatan pada sisi air keluar :

$$V_{w1} = V_1 \cos \beta \quad \text{.....(3.3)}$$

$$V_{f1} = V_1 \sin \beta \quad \text{.....(3.4)}$$

gaya yang dilakukan untuk per kilogram air adalah

$$F_h = \frac{1}{g} \cdot \text{perubahan kecepatan pusaran}$$

$$F_h = \frac{1}{g} \cdot (V_w + V_{w1}) \quad \text{.....(3.5)}$$

Harga V_{w1} negatif (-) karena berlawanan arah dengan V_1.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Sehingga kerja per kilogram air adalah :

$$W = \text{gaya} \cdot \text{jarak}$$

Dimana jarak tersebut adalah perubahan energi spesifik yang masuk sudu turbin, yaitu :

= (kecepatan pusaran pada sisi masuk x kecepatan tangensial piringan pada sisi masuk) - (kecepatan pusaran pada sisi keluar x kecepatan tangensialpiringan keluar)

$$= (V_w \cdot v - V_{w1} \cdot v_1) \cdot \frac{1}{g} \quad \text{.....(3.6)}$$

Jika bagian keluar dari turbin adalah radial maka β = 90°, $V_{w1} = 0$, $V_f = V_{f1}$.

Sehingga kerja yang dilakukan per kg air :

$$W = \frac{1}{g} \cdot V_w \cdot v \quad \text{.....(3.7)}$$

3.5.2. Momen Putar dan Daya Output Turbin

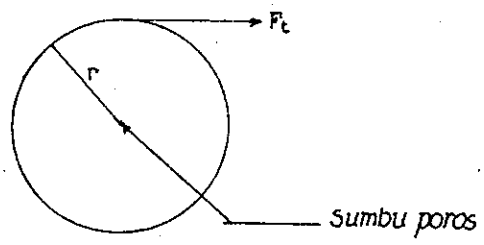
Besarnya momen putar pada poros turbin adalah :

$$T = F_t \cdot r \quad \text{.....(3.8)}$$

dimana T = momen putar poros turbin (Nm)

F_t = momen putar dalam besaran vektor (gaya) (N)

r = jari-jari roda turbin (m)



Gambar 3.7 Momen putar roda turbin

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Maka daya yang dihasilkan turbin adalah :

$$P = T \cdot \frac{\omega}{60} \quad \text{(watt)}$$

dimana $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ (rad/menit)

maka :

$$P = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad \text{(watt)} \quad \ldots\ldots\ldots(3.9)$$

dimana :

P = daya yang dihasilkan oleh turbin (watt)

T = torsi yang terjadi pada poros (Nm)

n = kecepatan putar poros (rpm)

3.4.3. Efisiensi Turbin

Secara umum efisiensi adalah perbandingan antara kerja yang dilakukan dengan energi yang tersedia. Pada sistem ini ada tiga jenis efisiensi yang dapat dijumpai :

1. Efisiensi Hidrolik

   Efisiensi hidrolik adalah perbandingan antara kerja piringan dengan tinggi angkat yang tersedia.

$$\eta h = \frac{\text{kerja yang dilakukan per kilogram air}}{H}$$

$$\eta h = \frac{\frac{Vw \cdot v}{g}}{H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.10)$$

   dimana : ηh = efisiensi hidrolik

   H =tinggi angkat (m)

2. Efisiensi Mekanik

   Efisiensi mekanik adalah perbandingan antara kerja yang sebenarnya dari turbin dengan energi yang diserap piringan. Energi yang diserap piringan adalah perkalian antara energi per Kg per detik dengan jumlah partikel air mengalir per detiknya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$E = \frac{V_w \cdot v}{g} \cdot \rho \cdot g \cdot Q \quad \text{.....(3.11)}$$

dimana :

E = energi yang diserap piringan

ρ = rapat massa air (kg /m^3)

g = grafitasi (m/s^2)

Q = debit air yang tersedia (m^3/s)

Bila P adalah daya yang tersedia pada turbin maka efisiensi mekanik dapat ditulis :

$$\eta m = \frac{P}{\frac{V_w \cdot v}{g} \cdot \rho \cdot g \cdot Q} \quad \text{.....(3.12)}$$

dimana :

ηm = efisiensi mekanik

P = daya turbin (watt)

ρ = rapat massa air (kg/m^3)

g = grafitasi (m/s^2)

Q = debit air yang tersedia (m^3/s)

3. Efisiensi Total

Efisiensi Total adalah perbandingan antara daya yang dapat dihasilkan turbin dengan daya yang diberikan pada turbin. Atau perkalian antara efisiensi hidrolik dan efisiensi mekanik.

Dituliskan persamaan :

$$\eta t = \eta h \cdot \eta m$$

$$\eta t = \frac{\frac{V_w \cdot v}{g}}{H} \cdot \frac{P}{\frac{V_w \cdot v}{g} \cdot \rho \cdot g \cdot Q} \quad \text{.....(3.13)}$$

$$\eta t = \frac{P}{\rho . g . Q . H} \quad \text{.....(3.14)}$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dimana :

ηt = efisiensi total(%)

P = daya yang dapat dikerjakan turbin (watt)

ρ = rapat massa air (kg/m^3)

g = percepatan grafitasi (m/s^2)

Q = debit air yang tersedia (m^3/s) H = total ketinggian (m)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)