

Gambar 9. Segitiga kecepatan untuk turbin reaksi aliran ke luar.

**Contoh soal**

Sebuah turbin reaksi aliran keluar mempunyai diameter dalam dan diameter luar berturut-turut 1 meter dan 2 meter. Air memasuki sudu pada sudut 20° dan meninggalkan sudu secara radial. Jika kecepatan aliran tetap konstan sebesar 10 m/s dan kecepatan roda 300 rpm, carilah sudut sudu pada sisi masuk dan keluar.

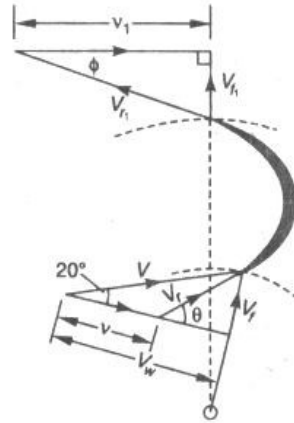
Jawab

Diketahui:  $D = 1$  m;  $D_1 = 2$  m;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $V_f = V_{f1} = 10$  m/s dan  $N = 300$  rpm.

Sudut sudu sisi masuk.

Kecepatan keliling pada sisi masuk:

$$v = \frac{\pi D N}{60} = \frac{\pi \times 1 \times 300}{60} = 15,71 \text{ m/s}$$



Dari segitiga kecepatan:

$$V_w = \frac{V_f}{\tan 20^\circ} = \frac{10}{0,364} = 27,5 \quad \text{m/s}$$

dan

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{V_f}{V_w - v} = \frac{10}{27,5 - 15,71} \\ &= 0,8482 \quad \text{atau} \quad \theta = 40,3^\circ \end{aligned}$$

*Sudut sisi keluar*

$$v_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} = \frac{\pi \times 2 \times 300}{60} = 31,42 \quad \text{m/s}$$

dari segitiga kecepatan

$$\tan \phi = \frac{V_{fi}}{v_1} = \frac{10}{31,42} = 0,3183 \quad \text{atau} \quad \phi = 17,7^\circ$$

### Debit Pada Turbin Reaksi

Debit pada turbin reaksi bisa dicari dari energi yang disuplai atau dari kecepatan aktual aliran pada sisi masuk atau keluar, seperti akan dibicarakan berikut ini.

1. Dari energi yang diberikan ke turbin.

Jika :  $H$  = head air yang diberikan dalam meter

$Q$  = debit air melalui turbin dalam kg/s atau l/s

Maka Daya yang diberikan ke turbin:

$$= \frac{wQH}{75} \text{ hp}$$

Dalam SI:

$$\text{Daya} = wQH \text{ kW}$$

$Q$  dalam  $\text{m}^3/\text{s}$

2. Dari kecepatan aliran

Jika  $V_f$  = kecepatan aliran pada sisi masuk

$D$  = diameter roda pada sisi masuk

$b$  = lebar roda pada sisi masuk

Air memasuki roda :

$$Q = \pi D b V_f$$

Dengan cara yang sama, air keluar dari roda :

$$Q = \pi D_1 b_1 V_{f1}$$

Catatan : karena debit air memasuki roda sama dengan debit air meninggalkan roda sehingga:

$$D b V_f = D_1 b_1 V_{f1}$$

**Daya Yang Dihasilkan Turbin Reaksi**

Daya turbin :

$$P = \frac{wQH}{75} \text{ (hp)}$$

Dalam SI :

$$P = wQH = 9,81 QH \text{ (kW)}$$

$$w = 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

**Efisiensi Turbin Reaksi**

Secara umum, istilah efisiensi didefinisikan sebagai rasio kerja terhadap energi. Berikut ini adalah tiga jenis efisiensi turbin :

1. Efisiensi hidrolis.
  2. Efisiensi mekanik.
  3. Efisiensi keseluruhan.
1. Efisiensi hidrolis dirumuskan

$$\eta_h = \frac{\frac{V_w \cdot v}{g} - \frac{V_{w1} \cdot v_1}{g}}{H}$$

Jika debit melalui roda adalah radial, maka kecepatan pusar pada sisi keluar adalah nol.

$$V_{w1} = 0$$

$$\eta_h = \frac{V_w \cdot v}{gH}$$

2. Efisiensi mekanik

Energi yang diberikan ke roda adalah :

$$= \frac{V_w \cdot v}{g} wQ$$

dimana  $Q$  = debit turbin dalam  $m^3/s$

Daya yang diberikan ke sudu :

$$= \frac{V_w \cdot v}{g} \times \frac{wQ}{75}$$

Jika  $P$  = daya yang tersedia pada turbin.

Sehingga :

$$\eta_m = \frac{P}{\frac{V_w \cdot v}{g} \times \frac{wQ}{75}} \quad P \text{ dalam hp}$$

dalam SI:

$$\eta_m = \frac{P}{\frac{V_w \cdot v}{g} wQ} \quad P \text{ dalam kW}$$

### 3. Efisiensi keseluruhan

$$\eta_o = \eta_h \times \eta_m = \frac{V_w \cdot v}{gH} \times \frac{P}{\frac{V_w \cdot v}{g} \times \frac{wQ}{75}}$$

$$\eta_o = \frac{P}{\frac{wQH}{75}}$$

dalam SI:

$$\eta_o = \frac{P}{wQH}$$

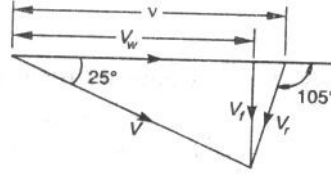
### Contoh soal

Sebuah turbin reaksi aliran ke dalam, bekerja pada head 8 meter, mempunyai sudu pengarah dengan sudut  $25^\circ$  dan sudut sudu sisi masuk sebesar  $105^\circ$ .

Dengan mengasumsikan kecepatan aliran konstan dan keluaran radial, carilah efisiensi hidrolis turbin.

Jawab

Diketahui:  $H = 8 \text{ m}$ ;  $\alpha = 25^\circ$ ;  $\theta = 105^\circ$  dan  $V_f = V_{f1}$



$$V_w = V \cos 25^\circ = 0,9063 V$$

dan  $V_f = V \sin 25^\circ = 0,4226 V$

kecepatan tangensial:

$$v = V_w + \frac{V_f}{\tan 75^\circ} = 0,9063 V + \frac{0,4226 V}{3,7321} = 1,0195 V$$

karena aliran keluar adalah radial, maka kecepatan pusat adalah nol.

$$\frac{V_w \cdot v}{g} = H - \frac{V_f^2}{2g}$$

$$\frac{0,9063 V \times 1,0195 V}{9,81} = H - \frac{V_f^2}{2g}$$

$$\frac{0,924 V^2}{9,81} = H - \frac{V_f^2}{2g} = 8 - \frac{(0,4226)^2}{2 \times 9,81}$$

$$\frac{1,013 V^2}{9,81} = 8 \quad \text{atau} \quad V = \sqrt{\frac{8 \times 9,81}{1,013}} = 8,8 \text{ m/s}$$

Dengan mensubstitusikan harga  $V$ , kita peroleh kecepatan pusar pada sisi masuk:

$$V_w = 0,9063 V = 0,9063 \times 8,8 = 7,98 \text{ m/s}$$

dan kecepatan tangensial pada sisi masuk:

$$v = 1,0195 V = 1,0195 \times 8,8 = 8,97 \text{ m/s}$$

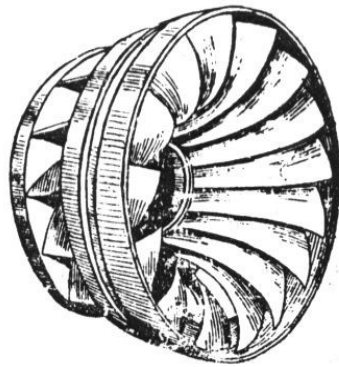
efisiensi hidrolik:

$$\eta_h = \frac{V_w \cdot v}{gH} = \frac{7,98 \times 8,97}{9,81 \times 8} = 0,912 = 91,2 \%$$

### Turbin Francis

Turbin Francis adalah jenis turbin reaksi aliran ke dalam, mempunyai pembuangan radial pada sisi keluar. Ini adalah turbin yang pertama-tama (jenis turbin reaksi aliran ke dalam) yang didesain oleh Francis. Turbin ini menghasilkan daya pada head medium.

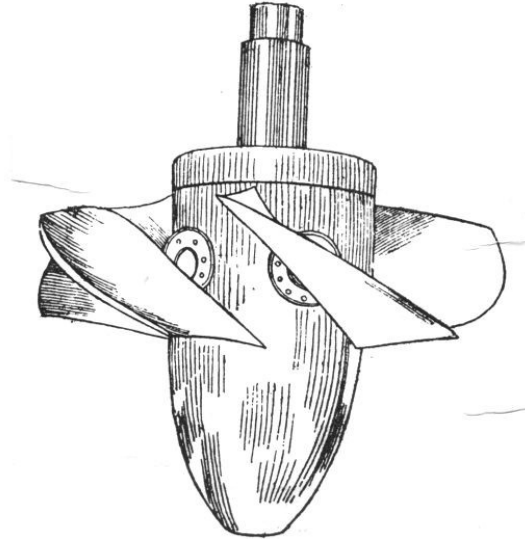
Turbin modern Francis mempunyai aliran campuran (yaitu kombinasi radial dan aksial). Turbin ini mempunyai bentuk *runner* seperti gambar 10.



Gambar 10. Runner turbin Francis.

### Turbin Kaplan

Turbin Kaplan adalah turbin reaksi aliran aksial, dimana aliran air sejajar dengan poros. Turbin Kaplan digunakan untuk *head* rendah. *Runner* turbin Kaplan bisa dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Runner turbin Kaplan.

### Draft Tube

*Draft tube* adalah penghubung turbin ke *tail race* atau kanal keluaran, dimana di dalamnya mengalir air yang keluar dari *runner* menuju ke kanal keluaran. *Draft tube* mempunyai dua fungsi penting yaitu:

1. Membuat turbin bisa ditempatkan diatas kanal keluaran, sehingga memudahkan pekerjaan inspeksi turbin.
2. Merubah energi kinetik air  $\left( \frac{V_1^2}{2g} \right)$  yang keluar dari *runner* menjadi energi tekanan pada *tube*.



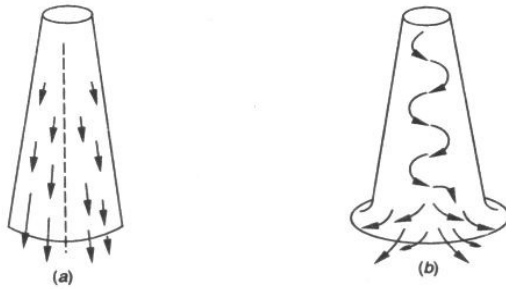
### Jenis-jenis Draft Tube

Ada banyak jenis *draft tube*, namun berikut ini adalah jenis yang paling banyak dipakai:

1. *Draft tube* kerucut.
2. *Draft tube* siku.

#### Draft Tube Kerucut

Pada jenis kerucut, diameter tube secara bertahap meningkat dari sisi keluar *runner* menuju kanal seperti yang diperlihatkan gambar 12.

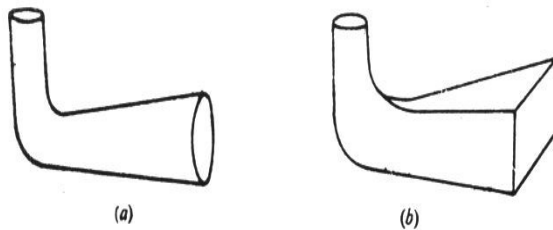


Gambar 12. Draft tube kerucut.

Draft tube kerucut banyak digunakan pada turbin Francis. Gambar 12(b) yang mempunyai bentuk keluaran seperti Lonceng sangat cocok untuk turbin dengan aliran masuk atau keluar, mempunyai aliran helikal yang disebabkan oleh kecepatan pusar pada sisi keluar *runner*. Efisiensi draft tube kerucut maksimum 90%.

#### Draft Tube Siku

Pada draft tube jenis siku, belokan umumnya  $90^\circ$  dan luas penampang tube secara bertahap meningkat mulai dari sisi keluar *runner* menuju ke kanal seperti yang ditunjukkan gambar 13.



Gambar 13. Draft tube siku.

Draft tube jenis siku umumnya digunakan pada turbin Kaplan. Efisiensi draft tube siku umumnya berkisar antara 60% hingga 70%.

#### Efisiensi Draft Tube

Efisiensi draft tube bisa dicari dengan persamaan berikut:

$$\eta_t = \frac{\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_3^2}{2g}}{\frac{V_2^2}{2g}} = \frac{V_2^2 - V_3^2}{V_2^2}$$

dimana :  $V_2$  = kecepatan air memasuki draft tube

$V_3$  = kecepatan air keluar draft tube

#### **Turbin Reaksi Lainnya**

Telah banyak dilakukan menemukan jenis turbin yang mempunyai unjuk kerja lebih baik. Beberapa ilmuwan dan sarjana teknik telah menemukan turbin reaksi baru, diantaranya:

1. Turbin Fourneyron.
2. Turbin Jonval.
3. Turbin Thompson

#### Turbin Fourneyron

Merupakan jenis turbin reaksi aliran keluar. Turbin ini dilengkapi dengan gerbang yang bisa diatur, yang bisa dkecilkan atau dibesarkan dengan menggunakan mekanisme governor. Roda dibagi ke sejumlah kompartemen (biasanya empat) dengan diafragma horisontal sehingga ketika turbin bekerja dengan beban sebagian, hanya efisiensi kompartemen tersebut yang terpengaruh. Turbin ini bisa digunakan untuk head 1 hingga 100 m dengan efisiensi 75%.

#### Turbin Jonval

Merupakan jenis turbin reaksi aliran ke dalam dimana pengaturan kecepatan diperoleh dari menutup suplai air pada satu atau lebih saluran pengarah dengan menggunakan gerbang melingkar. Hal menarik dari turbin Jonval adalah membagi roda ke sejumlah kompartemen konsentrik sedemikian sehingga setiap kompartemen membentuk turbin sendiri. Turbin

Jonval digunakan untuk head dari 1 hingga 50 m dan kecepatan dari 20 hingga 400 rpm.

### Turbin Thompson

Adalah turbin reaksi aliran kedalam dimana roda dikelilingi oleh ruang vorteks besar. Air memasuki bagian terbesar ruang dan diarahkan ke sudu bergerak. Diameter luar roda biasanya dua kali diameter dalam. Aliran air diatur oleh suplai ke keseluruhan lingkaran luar roda. Efisiensi beban sebagian sama dengan efisiensi beban penuh.

### **Karakteristik Turbin**

Kadang-kadang kita harus memperbandingkan prestasi turbin-turbin yang mempunyai output dan kecepatan yang berbeda dan bekerja dibawah *head* yang berbeda. Perbandingan akan lebih mudah jika kita menghitung output turbin jika head diturunkan menjadi satu, yaitu 1 meter. Berikut ini kita akan mempelajari tiga karakteristik turbin pada head satu satuan:

1. Daya satuan.
2. Kecepatan satuan.
3. Debit satuan.

### **Daya Satuan**

Daya yang dihasilkan oleh turbin yang bekerja pada head 1 meter disebut sebagai *daya satuan*. Kita tahu bahwa kecepatan air dirumuskan:

$$V = \sqrt{2gH}$$

dan debit:

$$Q = aV = a\sqrt{2gH}$$

sedangkan daya yang dihasilkan turbin:

$$P = wQH = w(a\sqrt{2gH})H = \sqrt{2g}waH^{3/2}$$

$$\propto H^{3/2}$$

$$= P_u H^{3/2}$$

$$\text{atau } P_u = P / H^{3/2}$$

dimana:  $P_u$  = daya yang dihasilkan turbin pada head satu satuan.

### Kecepatan Satuan

Kecepatan turbin yang bekerja pada head 1 meter disebut sebagai *kecepatan satuan*. Kita tahu bahwa kecepatan air dirumuskan (dengan mengasumsikan  $C_v$  satu):

$$V = \sqrt{2gH}$$

dan kecepatan tangensial runner:

$$v \propto \text{kecepatan air } (V)$$

$$\propto \sqrt{H}$$

putaran runner turbin:

$$N = \frac{60v}{\pi D}$$

$$\propto v$$

$$\propto \sqrt{H}$$

$$= N_u H^{1/2}$$

$$\text{atau } N_u = \frac{N}{\sqrt{H}}$$

dimana:  $N_u$  = putaran turbin pada head satu satuan.

### Debit Satuan

Debit turbin yang bekerja pada head 1 meter disebut sebagai *debit satuan*. Kita tahu bahwa kecepatan air dirumuskan (dengan mengasumsikan  $C_v$  satu):

$$V = \sqrt{2gH}$$

dan debit:

$$Q = aV = a\sqrt{2gH}$$

$$\propto \sqrt{H}$$

$$= Q_u \sqrt{H}$$

atau  $Q_u = \frac{Q}{\sqrt{H}}$

dimana:  $Q_u$  = debit yang dihasilkan turbin pada head satu satuan.

### Contoh soal

Sebuah turbin Pelton menghasilkan daya 1750 kW pada head 100 meter ketika turbin beroperasi pada 200 rpm dan mengeluarkan debit air sebesar 2500 liter/s. Carilah daya satuan, kecepatan satuan dan debit satuannya dari turbin.

#### Jawab

Diketahui:  $P = 1750$  kW;  $H = 100$  m;  $N = 200$  rpm; dan  $Q = 2500$  lt/s =  $2,5$  m<sup>3</sup>/s

Daya satuan:

$$P_u = \frac{P}{H^{3/2}} = \frac{1750}{(100)^{3/2}} = \frac{1750}{1000} = 1,75 \text{ kW}$$

Kecepatan satuan:

$$N_u = \frac{N}{\sqrt{H}} = \frac{200}{\sqrt{100}} = \frac{200}{10} = 20 \text{ rpm}$$

Debit satuan:

$$Q_u = \frac{Q}{\sqrt{H}} = \frac{2,5}{\sqrt{100}} = \frac{2,5}{10} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Pentingnya Daya Satuan, Kecepatan Satuan dan Debit Satuan**

## 1. Pentingnya daya satuan

Jika:  $H$  = head air, dimana turbin berjalan

$P$  = daya yang dihasilkan turbin pada head  $H$

$P_1$  = daya yang dihasilkan turbin pada head  $H_1$

dari bagian sebelumnya:

$$P \propto H^{3/2}$$

maka  $P_1 \propto H_1^{3/2}$

atau  $\frac{P}{P_1} = \frac{H^{3/2}}{H_1^{3/2}}$

$$P_1 = P \times \left( \frac{H_1}{H} \right)^{3/2}$$

## 2. Pentingnya kecepatan satuan

Jika:  $H$  = head air, dimana turbin berjalan

$N$  = kecepatan yang dihasilkan turbin pada head  $H$

$N_1$  = kecepatan yang dihasilkan turbin pada head  $H_1$

dari bagian sebelumnya:

$$N \propto \sqrt{H}$$

maka  $N_1 \propto \sqrt{H_1}$

atau  $\frac{N}{N_1} = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{H_1}} = \left( \frac{H}{H_1} \right)^{1/2}$

$$N_1 = N \times \left( \frac{H_1}{H} \right)^{1/2}$$

## 3. Pentingnya debit satuan.

Jika:  $H$  = head air, dimana turbin berjalan

$Q$  = debit yang dihasilkan turbin pada head  $H$

$Q_1$  = debit yang dihasilkan turbin pada head  $H_1$

dari bagian sebelumnya:

$$Q \propto \sqrt{H}$$

maka  $Q_1 \propto \sqrt{H_1}$

atau  $\frac{Q}{Q_1} = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{H_1}} = \left(\frac{H}{H_1}\right)^{1/2}$

$$Q_1 = Q \times \left(\frac{H_1}{H}\right)^{1/2}$$

#### Contoh soal

Sebuah turbin impuls menghasilkan daya 4500 kW pada head 200 meter. Runner turbin mempunyai kecepatan 200 rpm dan debit 0,8 meter kubik per detik. Jika head pada turbin yang sama turun menjadi 184,3 meter, carilah debit, dayadan kecepatan turbinnya.

#### Jawab

Diketahui:  $P = 4500$  kW;  $H = 200$  m;  $N = 200$  rpm;  $Q = 0,8$  m<sup>3</sup>/s dan  $H_1 = 184,3$  m

*Debit turbin yang baru:*

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q \times \left(\frac{H_1}{H}\right)^{1/2} = 0,8 \times \left(\frac{184,3}{200}\right)^{1/2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,8 \times 0,96 = 0,768 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

*Daya turbin yang baru:*

$$\begin{aligned} P_1 &= P \times \left(\frac{H_1}{H}\right)^{3/2} = 4500 \times \left(\frac{184,3}{200}\right)^{3/2} \\ &= 4500 \times 0,88 = 3960 \text{ kW} \end{aligned}$$

Kecepatan turbin yang baru:

$$N_1 = N \times \left( \frac{H_1}{H} \right)^{1/2} = 200 \times \left( \frac{184,3}{200} \right)^{1/2}$$

$$= 200 \times 0,96 = 192 \text{ rpm}$$

### Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik turbin didefinisikan sebagai kecepatan sebuah turbin imajiner, yang identik dengan turbin sebenarnya, namun hanya menghasilkan daya satu satuan pada head satu satuan.

Misalkan:  $N_s$  = kecepatan spesifik turbin

$D$  = diameter runner turbin

$N$  = kecepatan runner, rpm

$v$  = kecepatan tangensial runner

$V$  = kecepatan absolut air

Kecepatan tangensial turbin:

$$v \propto V$$

$$\propto \sqrt{2gH}$$

$$\propto \sqrt{H}$$

Kecepatan tangensial pada runner:

$$v = \frac{\pi D N}{60}$$

$$D \propto \frac{v}{N}$$

$$\propto \sqrt{H}$$

$$D \propto \frac{\sqrt{H}}{N} \dots\dots\dots (i)$$



misalkan:  $Q$  = debit/discharge turbin

$b$  = lebar runner turbin

$V_f$  = kecepatan aliran

$D$  = diameter runner turbin

$$Q = \pi D b V_f$$

$$b \propto D$$

dan  $V_f \propto \sqrt{2gH}$

$$\propto \sqrt{H}$$

$$Q \propto \pi D \cdot D \sqrt{2gH}$$

$$\propto D^2 \sqrt{H}$$

substitusikan harga  $D^2$  dari persamaan (I) pada persamaan di atas:

$$Q \propto \left( \frac{\sqrt{H}}{N} \right)^2 \times \sqrt{H}$$

$$\propto \frac{H^{3/2}}{N^2} \dots\dots\dots (ii)$$

misalkan  $P$  adalah daya yang dihasilkan turbin.

$$P = wQH$$

$$\propto QH$$

substitusikan harga  $Q$  dari persamaan (ii)

$$P \propto \frac{H^{3/2}}{N^2} \times H$$

$$\propto \frac{H^{3/2}}{N^2}$$

$$N^2 \propto \frac{H^{3/2}}{P}$$

$$N \propto \frac{H^{3/4}}{\sqrt{P}}$$

$$= N_s \times \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Pada persamaan di atas untuk kecepatan spesifik, lebih baik menggunakan  $P$  dalam kW,  $H$  dalam meter dan  $N$  dalam rpm.

Perlunya parameter kecepatan spesifik dari sebuah turbin adalah karena parameter ini tidak bergantung pada dimensi atau ukuran dari turbin aktual atau spesifik. Kita tahu bahwa pada semua turbin, yang secara geometrik adalah sama, apabila mempunyai harga head yang sama dan rasio kecepatan serta rasio aliran yang sama akan mempunyai kecepatan spesifik yang sama.

Dalam prakteknya, kecepatan spesifik paling sering digunakan. Harga kecepatan spesifik akan membantu kita dalam memperkirakan prestasi turbin.

Pemilihan turbin umumnya didasarkan atas dua faktor berikut:

1. Pemilihan berdasarkan kecepatan spesifik.
2. Pemilihan berdasarkan head air.

Berdasarkan kecepatan spesifik, pemilihan turbin bisa dilihat pada tabel berikut:

<i>No.</i>	<i>Kecepatan spesifik</i>	<i>Jenis turbin</i>
1.	8 – 30	Roda Pelton dengan satu nosel
2.	30 – 50	Roda Pelton dengan nosel 2 atau lebih
3.	50 – 250	Turbin Francis
4.	250 - 1000	Turbin Kaplan

Berdasarkan head air, pemilihan turbin bisa dilihat pada tabel berikut:

No.	Head air dalam meter	Jenis turbin
1.	0 – 25	Turbin Kaplan atau Francis (dianjurkan Kaplan)
2.	25 – 50	Turbin Kaplan atau Francis (dianjurkan Francis)
3.	50 – 150	Turbin Francis
4.	150 – 250	Turbin Francis atau Pelton (dianjurkan Francis)
5.	250 – 300	Turbin Francis atau Pelton (dianjurkan Pelton)
6.	di atas 300	Pelton

### Contoh soal

Sebuah turbin reaksi bekerja pada head 9 meter dan debit rata-rata 11.200 ltr/s untuk menggerakkan generator dengan kecepatan 200 rpm. Berapakah kecepatan spesifik turbin? Asumsikan efisiensi keseluruhan turbin = 92%.

#### Jawab

Diketahui:  $H = 9$  m;  $Q = 11.200$  ltr/s =  $11,2$  m<sup>3</sup>/s;  $N = 200$  rpm; dan  $\eta_o = 92\%$

$$\eta_o = \frac{P}{wQH} = \frac{P}{9,81 \times 11,2 \times 9} = \frac{P}{988,8}$$

$$P = 0,92 \times 988,8 = 909,7 \text{ kW}$$

Kecepatan spesifik turbin:

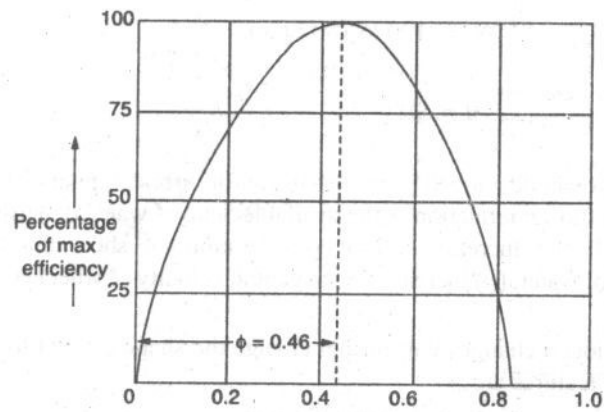
$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H^{5/4}} = \frac{200 \times \sqrt{909,7}}{(9)^{5/4}} = \frac{6032}{15,6} = 386,7 \text{ rpm}$$

### Kurva Karakteristik Turbin Pelton

Berikut ini adalah beberapa contoh kurva karakteristik dari turbin Pelton:

1. Kurva karakteristik pada head konstan.

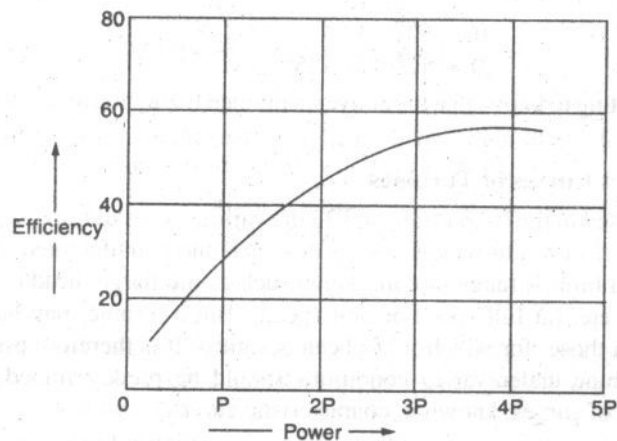
a) Rasio kecepatan vs persen efisiensi maksimum.



Gambar 14. Kuva karakteristik untuk rasio kecepatan vs persen efisiensi maksimum.

Gambar 14 menunjukkan prestasi roda Pelton pada head dan debit konstan. Kurvanya berbentuk parabola, dimana efisiensi naik dari nol dan setelah harga  $\phi = 0,46$  efisiensi menurun.

b) Daya vs efisiensi

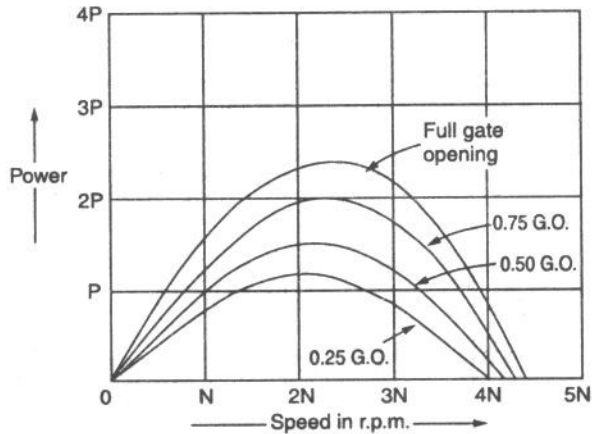


gambar 15. Kuva karakteristik untuk daya vs efisiensi.

Gambar 15 menunjukkan prestasi turbin Pelton pada head dan kecepatan konstan. Kurva berbentuk parabola, dimana terlihat bahwa efisiensi naik dengan naiknya daya.

2. Kurva karakteristik pada berbagai bukaan katup.

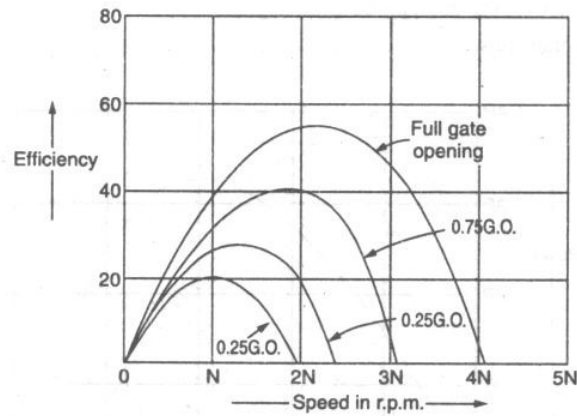
a) Kecepatan vs daya



Gambar 15. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs daya.

Gambar 15 menunjukkan prestasi roda Pelton pada head konstan. Kurva berbentuk parabola, yang menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan meningkat ketika bukaan katup meningkat.

b) Kecepatan vs efisiensi



Gambar 16. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs efisiensi.

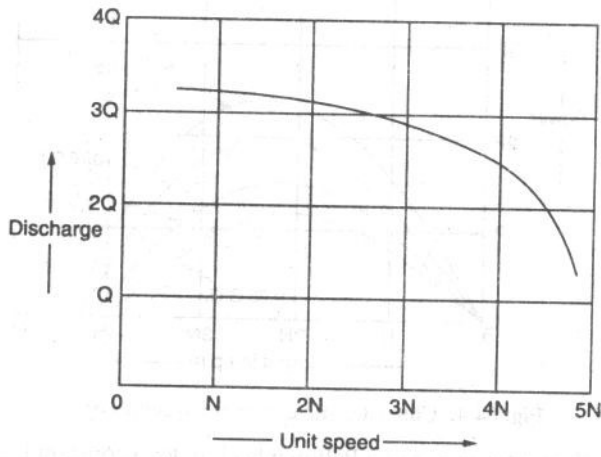
Gambar 16 menunjukkan prestasi roda Pelton pada head konstan. Kurvanya berbentuk parabola, dimana efisiensi naik dengan naiknya bukaan katup.

### Kurva Karakteristik Turbin Francis

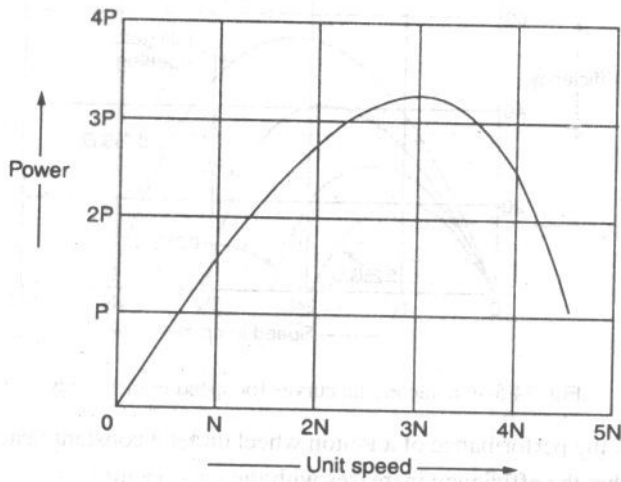
Kurva karakteristik Turbin Francis bisa dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kurva karakteristik untuk kecepatan satuan.
2. Kurva karakteristik untuk kecepatan.
3. Kurva karakteristik untuk variasi bukaan katup.

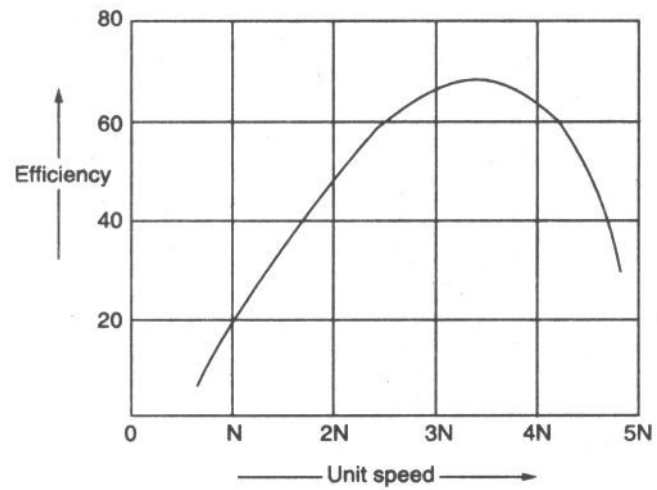
Berikut ini beberapa kurva karakteristik turbin Francis.



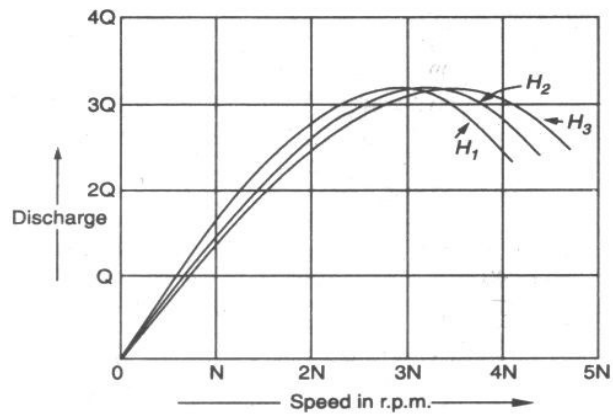
Gambar 17. Kurva karakteristik untuk kecepatan satuan vs debit/discharge.



Gambar 18. Kurva karakteristik untuk kecepatan satuan vs daya

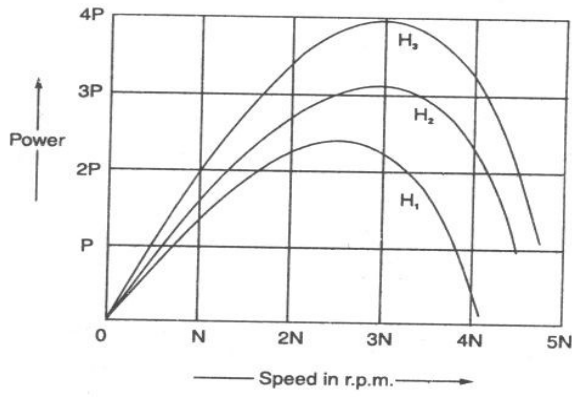


Gambar 19. Kurva karakteristik untuk kecepatan satuan vs efisiensi.

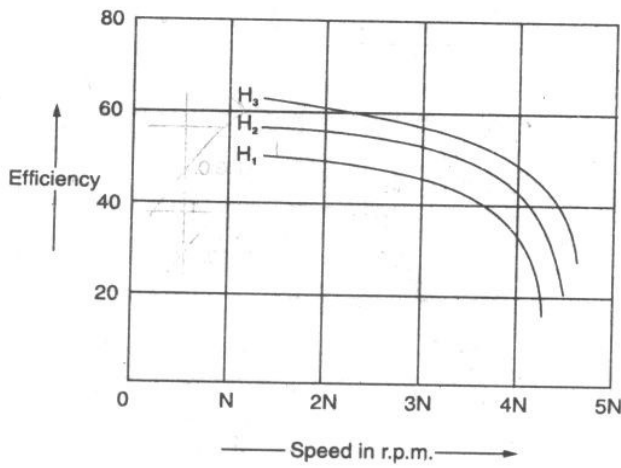


Gambar 20. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs debit pada berbagai head dan debit konstan..

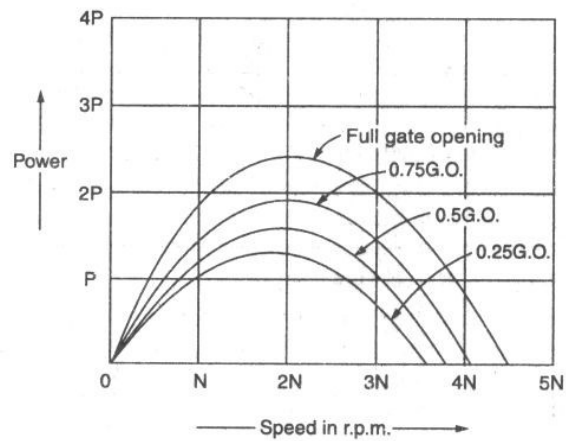




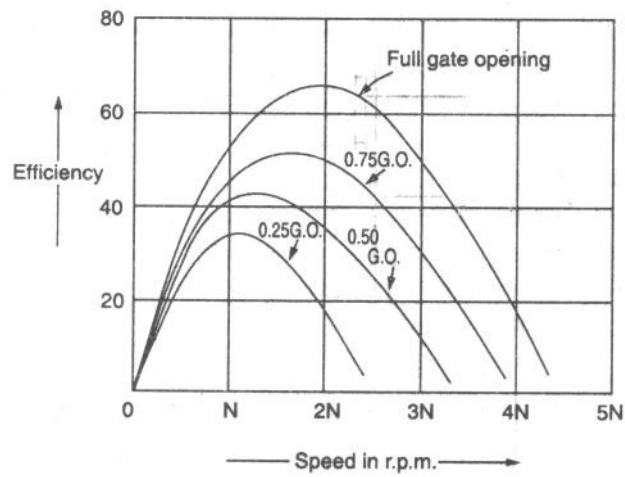
Gambar 21. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs daya pada berbagai head dan debit konstan.



Gambar 22. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs efisiensi pada berbagai head dan debit konstan.



Gambar 23. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs daya pada head konstan.



Gambar 24. Kurva karakteristik untuk kecepatan vs efisiensi pada head konstan.

**Soal-soal**

1. Apa yang dimaksud dengan turbin impuls.
2. Sebutkanlah perbedaan antara turbin impuls dengan turbin reaksi.
3. Turunkanlah persamaan efisiensi hidrolis roda Pelton.
4. Sebuah roda Pelton dengan diameter 1 meter bekerja dengan head 550 m. Carilah kecepatan *runner*, jika koefisien kecepatan dan rasio kecepatan masing-masingnya adalah 0,98 dan 0,47.
5. Sebuah roda Pelton, bekerja dengan head 40 meter, menghasilkan daya 100 hp, dengan kecepatan 250 rpm. Efisiensi keseluruhan adalah 80% dan koefisien kecepatan adalah 0,98, carilah diameter roda dan semburan.
6. Jelaskan perbedaan antara turbin aliran aksial dan aliran radial.
7. Sebutkan perbedaan antara turbin aliran ke dalam dan turbin aliran ke luar.
8. Sebuah turbin reaksi aliran ke dalam mempunyai diameter luar 1 meter, berjalan dengan kecepatan 180 rpm. Sudut sudu pengarah adalah  $15^\circ$ . Jika kecepatan aliran pada sisi masuk adalah 3 m/s, carilah:
  - a. Kecepatan periperal pada sisi masuk.
  - b. Kecepatan pusat pada sisi masuk.
  - c. Kecepatan absolut air pada sisi masuk.
  - d. Sudut sudu pada sisi masuk.
9. Sebuah turbin Francis mempunyai diameter luar 90 cm beroperasi pada 200 rpm. Head air pada turbin adalah 9,5 m. Kecepatan aliran melalui *runner* konstan pada 3 m/s. Jika ujung sisi masuk sudu adalah radial dan lebar *runner* pada sisi masuk adalah 15 cm, carilah:
  - a. Kerja yang dilakukan per kg air.
  - b. Efisiensi hidrolis turbin.
  - c. Daya hp yang dihasilkan turbin.

