

TURBIN AIR

A. TURBIN IMPULS

Turbin impuls adalah turbin dimana bergerak karena adanya impuls dari air. Pada turbin impuls, air dari sebuah bendungan dialirkan melalui pipa, dan kemudian melewati mekanisme pengarah dan akhirnya melewati nosel. Pada proses tersebut energi yang tersedia dikonversikan ke energi kinetik, dengan melewatkannya pada nosel, yang dekat sekali dengan *runner*. Air memasuki roda yang bergerak dalam bentuk semburan yang menumbuk mangkok, yang terpasang pada lingkaran luar roda turbin.

Semburan air menumbuk mangkok dengan kecepatan tinggi, dan setelah mengalir pada sudu (*vane*), keluar dengan kecepatan rendah. Tekanan air pada sisi masuk dan keluar adalah tekanan atmosfer. Contoh turbin impuls yang paling umum adalah **Roda Pelton** yang akan dibicarakan berikut ini.

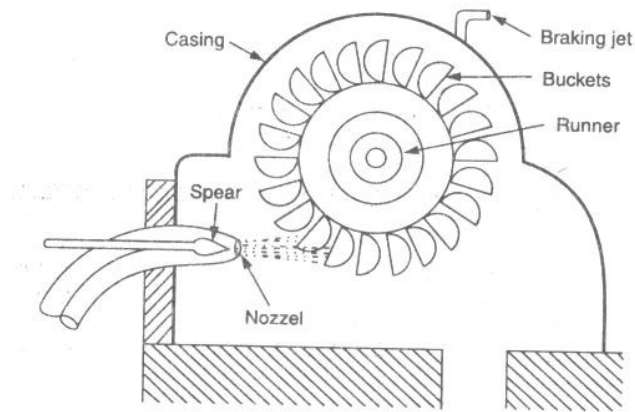
Roda Pelton

Turbin/Roda Pelton adalah turbin impuls yang digunakan untuk tekanan *head* yang tinggi dari air. Komponen-komponen utamanya adalah :

1. Nosel.
2. *Runner* dan mangkok.
3. Semburan pengerem.

Nosel

Adalah mekanisme pengarah lingkaran, yang mengarahkan air supaya mengalir ke arah yang diinginkan, dan juga untuk mengatur aliran air. Air ini dalam bentuk semburan akan menumbuk mangkok (*bucket*). Jarum konis atau tombak (*spear*) bekerja di dalam nosel dalam arah aksial. Tujuan utama jarum ini adalah untuk mengatur jumlah air yang mengalir pada nosel seperti yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Komponen-komponen Roda Pelton

Jika jarum didorong ke depan, akan mengurangi luas semburan. Akibatnya, jumlah air yang mengalir pada semburan juga akan berkurang. Demikian juga, jika jarum bergerak ke belakang akan memperbesar jumlah air ke semburan. Nosel dibuat sedemikian dekat dengan mangkok, untuk meminimalkan kerugian karena angin.

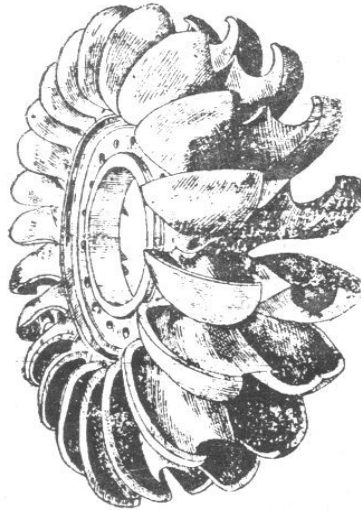
Runner dan Mangkok

Runner pada roda Pelton pada prinsipnya terdiri dari pringan berbentuk lingkaran yang dipasang pada poros horisontal. Pada lingkaran luar *runner* dipasang mangkok secara merata. Gambar *runner* bisa dilihat pada gambar 2.

Permukaan mangkok dibuat sangat halus. Untuk *head* rendah, mangkok dibuat dari besi tuang, Untuk *head* tinggi, mangkok dibuat dari perunggu, baja tahan karat atau paduan lainnya. Jika air secara kimia tidak murni, mangkok dibuat dari paduan khusus. Mangkok umumnya dibuat ke *runner*, tetapi kadang-kadang mangkok dan piringan dibuat dalam bentuk tunggal

Rumah Turbin (casing)

Rumah roda Pelton tidak mempunyai fungsi hidrolik. Tetapi diperlukan untuk melindungi *runner* dari kecelakaan, dan juga mencegah cipratan air serta mengarahkan air ke pembuangan.



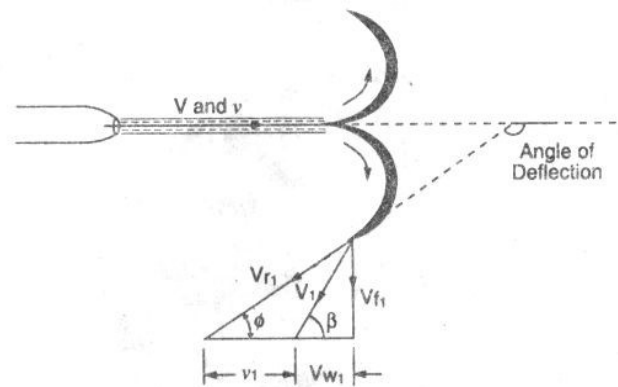
Gambar 2. Runner roda Pelton.

Semburan Pengerem

Ketika turbin ingin dihentikan, nosel ditutup. Namun *runner* tidak langsung berhenti melainkan akan berputar beberapa waktu karena pengaruh kelembaman. Supaya *runner* berhenti dalam waktu sesingkatnya, nosel kecil dipasang sedemikian sehingga akan menyemburkan air pada sisi belakang mangkok. Semburan ini berfungsi sebagai pengerem yang akan mengurangi kecepatan *runner*.

Kerja Pada Turbin Impuls

Semburan air yang keluar dari nosel, menabrak mangkok pada bagian pemecahnya (splitter). Pemecah kemudian membagi aliran menjadi dua bagian, Satu semburan akan mengalir dipermukaan dalam bagian sudu pertama dan keluar pada sisi ekstrimnya. Bagian yang lain akan mengalir di bagian sudu yang kedua dan keluar pada sisi ekstrim sudu tersebut seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Segitiga Kecepatan.

Dari gambar terlihat, bahwa titik tengah mangkok, dimana semburan menabrak pemecah dan terbagi dua, terdiri dari satu sisi masuk dan dua sisi keluar sehingga semburan terbagi menjadi dua.

Segitiga Kecepatan

Pertama-tama gambarkan segitiga kecepatan pada pemecah (yang hanya berupa garis lurus) dan pada salah satu sisi ujung keluar seperti diperlihatkan gambar 3, dimana:

V = kecepatan absolut air masuk

V_r = kecepatan relatif air dan mangkok pada sisi masuk

V_f = Kecepatan aliran pada sisi masuk

V_w = kecepatan pusar pada sisi masuk

v = kecepatan tangensial sudu

V_1, V_{r1}, V_{f1} = notasi yang sama untuk sisi keluar

D = diameter roda

d = diameter nosel

N = putaran roda, rpm

ϕ = sudut ujung sudu pada sisi keluar

H = head total air

Karena segitiga kecepatan pada sisi masuk berupa garis lurus, sehingga kecepatan pusar pada sisi masuk:

$$V_w = V \quad \text{dan} \quad V_r = V - v$$

Roda pelton mempunyai aliran aksial, sehingga :

$$v = v_1 \quad \text{atau} \quad V_{r1} = V_r = V - v$$

Dari segitiga sisi keluar, kita dapatkan kecepatan pusar:

$$V_{w1} = V_{r1} \cos \phi - v = (V - v) \cos \phi - v$$

Gaya per kg air:

$$= \frac{1}{g}(V_w - V_{w1})$$

Pada kondisi ini V_{w1} adalah negatif karena arahnya berlawanan dengan V_w . Karena itu gaya per kg air menjadi:

$$= \frac{1}{g}(V_w + V_{w1})$$

Dan kerja yang dilakukan per kg air:

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{g}(V_w v + V_{w1} v_1) \\ &= \frac{V_w v}{g} + \frac{V_{w1} v}{g} \\ &= \frac{V_w v}{g} + \frac{(V_{r1} \cos \phi - v)v}{g} \\ &= \frac{v}{g} \{V_w + [(V - v) \cos \phi - v]\} \\ &= \frac{v}{g}(V + V \cos \phi - v \cos \phi - v) \\ &= \frac{v}{g}[V(1 + \cos \phi) - v(1 + \cos \phi)] \\ &= \frac{v(V - v)(1 + \cos \phi)}{g} \end{aligned}$$

Efisiensi hidrolis:

$$\eta_h = \frac{v(V-v)(1+\cos\phi)}{\frac{g}{V^2}}$$

$$= \frac{2v(V-v)(1+\cos\phi)}{V^2}$$

Untuk efisiensi maksimum bisa dicari dengan mendiferensialkan persamaan di atas terhadap v dan menyamakannya dengan nol, maka didapatkan efisiensi maksimum didapatkan pada kondisi:

$$v = \frac{V}{2}$$

Kerja maksimum/kg air menjadi:

$$= \frac{V^2}{4g}(1+\cos\phi)$$

Efisiensi hidrolis maksimum:

$$\eta_{h\max} = \frac{\frac{V^2}{4g}(1+\cos\phi)}{\frac{V^2}{2g}} = \frac{(1+\cos\phi)}{2}$$

Catatan : 1. Perlu dicatat bahwa efisiensi maksimum pada harga $\cos\phi = 1$ yaitu $\phi = 180^\circ$. Tetapi pada kondisi nyata, semburan dibelokkan hanya pada sudut 160° hingga 165° . Sebab, jika semburan dibuat pada sudut 180° , air keluar dari satu mangkok akan menghasilkan impak pada mangkok didepannya.

2. Pada kondisi nyata, efisiensi maksimum terjadi jika kecepatan roda 0,46 kali kecepatan semburan.

Daya Yang Dihasilkan Turbin Impuls

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

Dalam SI:

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

Dimana : H = head air

Efisiensi Keseluruhan

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

Contoh soal

Sebuah roda Pelton menghasilkan daya 2000 kW pada head 100 meter dan efisiensi keseluruhan 85%. Carilah diameter nosel, jika koefisien kecepatan nosel 0,98.

Jawab

Diketahui: $P = 2000 \text{ kW}$

$$H = 100 \text{ m}$$

$$\eta_o = 85\% = 0,85$$

$$C_v = 0,98$$

Kecepatan jet:

$$V = C_v \sqrt{2gH} = 0,98 \sqrt{2 \times 9,81 \times 100} = 43,3 \text{ m/s}$$

Efisiensi keseluruhan, η_o :

$$0,85 = \frac{P}{\frac{wQH}{9,81 \cdot Q \cdot 100}} = \frac{2000}{\frac{2,04}{Q}}$$

$$Q = 2,04 / 0,85 = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit total harus sama dengan debit yang melalui jet, maka:

$$Q = V \times \frac{\pi}{4} \times (d)^2$$

$$2,4 = 43,3 \frac{\pi}{4} \times (d)^2 = 34,1 d^2$$

$$d^2 = 2,4/34,1 = 0,0704 \quad \text{atau} \quad d = 0,265 \text{ m} = 265 \text{ mm}$$

Contoh soal

Sebuah roda Pelton bekerja pada head 500 m, menghasilkan daya 13.000 kW pada 430 rpm. Jika efisiensi roda 85%, carilah (a) Debit turbin, (b) diameter roda, dan (c) diameter nozel. Asumsikan data-data yang diperlukan.

Jawab

Diketahui: $H = 500 \text{ m}$; $P = 13.000 \text{ kW}$; $N = 430 \text{ rpm}$ dan $\eta_o = 85\% = 0,85$

(a) Debit turbin,

$$\eta_o = \frac{P}{\rho Q H} = \frac{13.000}{9,81 \times Q \times 500} = \frac{2,65}{Q}$$

$$Q = 2,65 / 0,85 = 3,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

(b) Diameter roda,

Diasumsikan koefisien kecepatan, $C_v = 0,98$ dan kecepatan tangensial roda, $v = 0,46V$ (V adalah kecepatan jet).

$$V = C_v \sqrt{2gH} = 0,98 \sqrt{2 \times 9,81 \times 500} = 97,1 \text{ m/s}$$

$$v = 0,46 V = 0,46 \times 97,1 = 44,7 \text{ m/s}$$

Kecepatan tangensial roda (v):

$$v = \frac{\pi DN}{60} = \frac{\pi D \times 430}{60} = 22,5 D$$

$$D = 44,7 / 22,5 = 2,0 \text{ m}$$

(c) diameter nozel:

$$Q = V \frac{\pi}{4} (d)^2$$

$$3,12 = 97,1 \frac{\pi}{4} (d)^2 = 76,3 (d)^2$$

$$d^2 = 3,12 / 76,3 = 0,041 \text{ atau}$$

$$d = 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

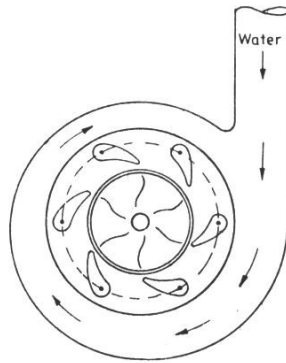
B. TURBIN REAKSI

Komponen-komponen Utama

1. Rumah turbin spiral.
2. Mekanisme pengarah.
3. Runner turbin
4. Draft tube.

Rumah Turbin Spiral

Air dari saluran pipa didistribusikan di sekeliling cincin rumah turbin. Rumah turbin didesain sedemikian sehingga luas penampang melintangnya berkurang secara seragam. Luas penampang melintangnya maksimum pada sisi masuk dan minimum pada ujung seperti diperlihatkan gambar 4. Karenanya bentuk rumah turbin seperti spiral sehingga disebut *rumah turbin spiral* atau *rumah scroll*.



Gambar 4. Rumah turbin reaksi.

Material rumah turbin tergantung pada *head air* :

- Konkrit : ... hingga 30 m
- Pelat baja rol dilas : ... hingga 100 m

- Baja cor : ... lebih dari 100 m

Mekanisme Pengarah

Sudu pengarah (guide vane) terpasang tetap diantara dua cincin dalam bentuk roda. Roda ini dipasang tetap pada rumah turbin spiral. Sudu pengarah didesain untuk:

1. Supaya air masuk ke *runner* tanpa kejut.
2. Supaya air mengalir tanpa membentuk arus Eddy.
3. Supaya sejumlah air bisa memasuki turbin.

Sudu pengarah bisa dibuka dan ditutup dengan memutar poros pengatur, sehingga jumlah air bisa diatur sesuai keperluan. Poros pengatur dioperasikan dengan menggunakan *governor*, yang fungsinya mengatur turbin (yaitu menjaga kecepatan turbin konstan pada beban yang bervariasi).

Runner Turbin

Runner terdiri dari sudu yang terpasang tetap pada poros atau cincin. Sudu didesain supaya air masuk dan meninggalkan turbin tanpa kejut.



Gambar 5. Runner Turbin Reaksi.

Runner terpasang pada poros. Jika porosnya vertikal, disebut turbin vertikal, dan jika poros horisontal maka disebut turbin horisontal. Untuk *head* rendah, *runner* bisa dibuat dari besi tuang, tetapi untuk *head* tinggi, *runner* dibuat dari baja atau paduan. Jika air secara kimia tidak murni, *runner* dibuat dari paduan spesial.

Draft Tube

Air setelah melewati *runner*, mengalir turun melalui pipa yang disebut *draft tube*. *Draft tube* mempunyai fungsi antara lain:

1. Meningkatkan *head* air sebesar tinggi *runner* dari permukaan air.
2. Meningkatkan efisiensi turbin.

Perbedaan Antara Turbin Impuls Dan Turbin Reaksi

Berikut ini beberapa hal tentang perbandingan antara turbin impuls dan turbin reaksi.

No.	Turbin Impuls	Turbin Reaksi
1.	Energi air yang tersedia pertamanya dirubah ke energi kinetik.	Energi air yang tersedia tidak dirubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya.
2.	Air mengalir melalui nosel dan menumbuk sudu bergerak yang terpasang tetap pada sisi lingkaran luar roda.	Air diarahkan oleh sudu pengarah untuk mengalir pada sudu bergerak.
3.	Air menumbuk mangkok dengan energi kinetik.	Air meluncur pada sudu bergerak dengan energi tekanan.
4.	Tekanan air yang mengalir tetap, dan sama dengan tekanan atmosfer.	Tekanan air berubah setelah melalui sudu.
5.	Tidaklah terlalu penting roda berputar penuh. Lebih jauh, harus ada akses bebas udara antara sudu dan roda.	Adalah penting roda selalu berputar penuh, dan penuh dengan air.
6.	Air boleh mengalir di keseluruhan atau hanya disebagian atau di keseluruhan lingkaran roda.	Air mesti mengalir di keseluruhan roda.
7.	Memungkinkan mengatur aliran tanpa adanya kerugian.	Tidak mungkin mengatur aliran tanpa adanya kerugian.
8.	Kerja yang dilakukan hanya oleh perubahan energi kinetik semburan.	Kerja yang dilakukan sebagian karena perubahan head kecepatan, tetapi hampir sebagian besar karena perubahan head tekanan.

Klasifikasi Turbin Reaksi

Turbin reaksi bisa diklasifikasikan kedalam tiga jenis, tergantung pada arah aliran air melewati roda:

1. Turbin aliran radial.
2. Turbin aliran aksial.
3. Turbin aliran campuran.

Turbin Aliran Radial

Pada turbin ini, aliran air adalah radial (yaitu sepanjang jari-jari roda). Turbin aliran radial lebih jauh bisa dibagi atas dua kelas:

1. Turbin aliran ke dalam (*inward*) : Pada turbin ini, air memasuki roda pada lingkaran luar dan mengalir ke dalam (yaitu menuju pusat roda).
2. Turbin aliran keluar (*outward*) : Pada turbin ini, air masuk pada pusat roda, dan kemudian mengalir ke arah luar (yaitu menuju lingkaran luar roda).

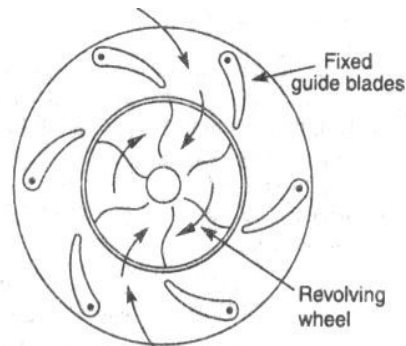
Turbin Aliran Aksial

Pada turbin ini, air mengalir paralel terhadap sumbu roda. Turbin ini disebut juga *turbin aliran paralel*.

Turbin Aliran Campuran

Pada turbin ini, sebagian aliran adalah radial dan sebagian lainnya adalah aksial.

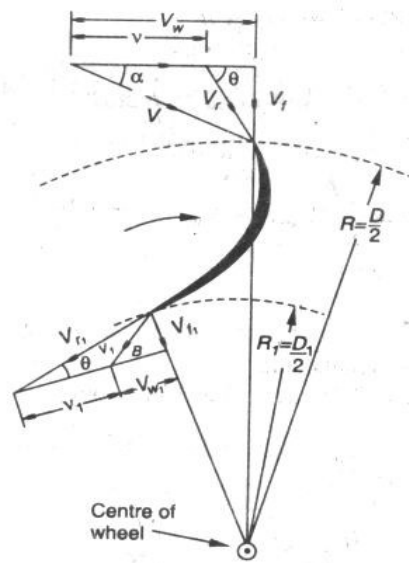
Turbin Reaksi Aliran Ke Dalam



Gambar 6. Turbin reaksi aliran ke dalam.

Turbin reaksi aliran ke dalam (inward), adalah turbin reaksi dimana air memasuki roda pada bagian lingkaran luar dan mengalir menuju kedalam melalui sudu (yaitu menuju pusat roda) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6. Turbin reaksi ini terdiri dari sudu pengarah tetap, yang mengarahkan air ke roda bergerak dengan sudut yang benar. Air ketika mengalir pada sudu/vane, menghasilkan gaya ke roda. Gaya ini menyebabkan roda berputar.

Perlu dicatat bahwa ketika beban turbin turun, akan menyebabkan poros akan berputar lebih cepat. Gaya sentrifugal akan meningkat karena putaran yang lebih tinggi, dan akan menurunkan jumlah air yang mengalir pada sudu, sehingga kecepatan air pada sisi masuk juga menurun. Pada akhirnya daya turbin akan berkurang. Ini adalah keuntungan turbin reaksi aliran *inward*, dimana akan mengatur sendiri sesuai dengan beban yang diperlukan. Efisiensi paling tinggi diperoleh ketika kecepatan air keluar sekecil mungkin.



Gambar 7. Segitiga kecepatan untuk turbin reaksi aliran ke dalam.

Gambar 7 menggambarkan segitiga kecepatan air pada sisi masuk dan keluar dimana:

D = diameter luar roda

N = jumlah putaran roda per menit

V = Kecepatan absolut uap memasuki sudu

v = kecepatan tangensial roda pada sisi masuk

$$= \frac{\pi DN}{60} \text{ m/s}$$

V_r = Kecepatan relatif air terhadap roda pada sisi masuk

V_f = Kecepatan aliran memasuki sudu bergerak

V_w = Kecepatan pusar pada sisi masuk sudu bergerak

α = Sudut air memasuki roda (disebut juga sudut sudu pengarah)

β = sudut air meninggalkan roda

θ = Sudut masuk sudu

ϕ = Sudut sudu pada sisi keluar

$V_1, D_1, v_1, V_{r1}, V_{f1}$ = Besaran yang sama untuk sisi keluar sudu.

H = head total air

W = berat air yang memasuki roda, kg/s

Dari segitiga kecepatan pada sisi masuk, diperoleh:

$$V_w = V \cos \alpha$$

Dan $V_f = V \sin \alpha$

Dan dari segitiga kecepatan sisi keluar diperoleh:

$$V_{w1} = V_1 \cos \alpha$$

Dan $V_{f1} = V_1 \sin \alpha$

- Gaya per kg air:

$$= \frac{1}{g} (V_w + V_{w1})$$

dalam hal ini V_{w1} adalah negatif

- Kerja per kg air:

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

Catatan : 1. Jika tidak ada kerugian energi maka:

$$\frac{V_w \cdot v}{g} - \frac{V_{w1} \cdot v}{g} = H - \frac{v_1^2}{2g}$$

2. Jika pembuangan air radial maka:

$$\beta = 90^\circ; \quad V_{w1} = 0 \quad \text{dan} \quad V_1 = V_{f1}$$

kerja yang dilakukan per kg air :

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

dan :

$$\frac{V_w \cdot v}{g} = H - \frac{v_1^2}{2g} = H - \frac{V_{f1}^2}{2g}$$

3. Jika sudu adalah radial pada sisi masuk, sisi keluar atau keduanya, kemudian kecepatan pusar pada ujung dusu adalah nol.

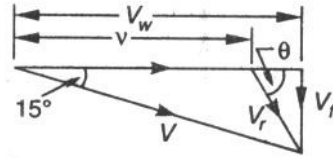
Contoh soal

Sebuah turbin reaksi aliran ke dalam, mempunyai diameter eksternal sebesar 1,5 meter dan bekerja pada 400 rpm. Kecepatan aliran pada sisi masuk adalah 10 m/s. Jika sudut sudu pengarah 15° , carilah (a) kecepatan absolut air, (b) kecepatan pusar pada sisi masuk, (c) sudut sudu sisi masuk runner, dan (d) kecepatan relatif pada sisi masuk.

Jawab

Diketahui: $D = 1,5 \text{ m}$; $N = 400 \text{ rpm}$; $V_f = 10 \text{ m/s}$; dan $\alpha = 15^\circ$

(a) Kecepatan absolut air:



Dari segitiga kecepatan, diperoleh kecepatan absolut air:

$$V = \frac{V_f}{\sin 15^\circ} = \frac{10}{0,2588} = 38,64 \text{ m/s}$$

(b) kecepatan pusar pada sisi masuk:

Dari segitiga kecepatan, diperoleh kecepatan pusar sisi masuk:

$$V_w = V \cos 15^\circ = 38,64 \times 0,9659 = 37,32 \text{ m/s}$$

(c) Sudut sudu runner sisi masuk:

$$v = \frac{\pi DN}{60} = \frac{\pi \times 1,5 \times 400}{60} = 31,42 \text{ m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{V_f}{V_w - v} = \frac{10}{37,32 - 31,42} = 1,695 \quad \text{atau} \quad \theta = 59,5^\circ$$

(d) Kecepatan relatif pada sisi masuk:

Dari segitiga kecepatan, bisa dicari kecepatan relatif pada sisi masuk:

$$V_r = \frac{V_f}{\sin 59,5^\circ} = \frac{10}{0,8616} = 11,61 \text{ m/s}$$

Contoh soal

Sebuah turbin reaksi aliran ke dalam mendapat suplai air dengan laju 600 lt/s dengan kecepatan aliran 6 m/s. Kecepatan keliling dan kecepatan pusar pada sisi masuk masing-masing adalah 24 m/s dan 18 m/s. Diasumsikan sisi keluar aliran adalah radial, dan kecepatan aliran konstan, carilah:

(1) sudut sudu sisi masuk

(2) head air pada turbin

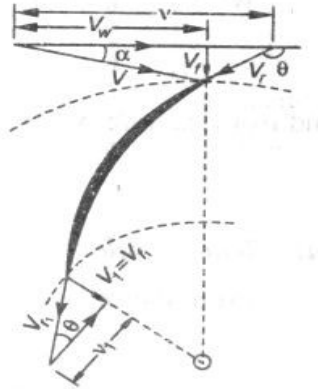
Jawab

Diketahui: $Q = 600 \text{ lt/s} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$; $V_f = 6 \text{ m/s}$; $v = 24 \text{ m/s}$; $V_w = 18 \text{ m/s}$ dan $V_{fl} = V_f$

(1) Sudut sudu sisi masuk:

$$\tan(180^\circ - \theta) = \frac{V_f}{v - V_w} = \frac{6}{24 - 18} = 1,0$$

$$180^\circ - \theta = 45^\circ \text{ atau } \theta = 135^\circ$$



(2) Head air pada turbin:

$$\frac{V_w \cdot v}{g} = H - \frac{V_1^2}{2g}$$

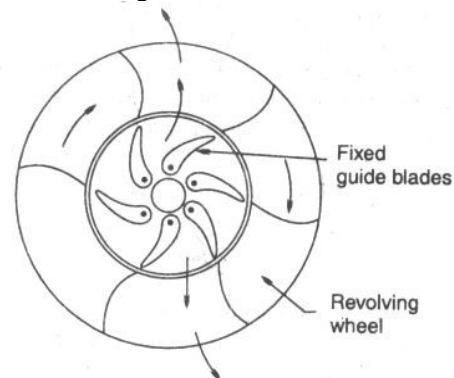
$$\frac{18 \times 24}{9,81} = H - \frac{V_{fl}^2}{2g}$$

$$44,0 = H - \frac{V_f^2}{2g} = H - \frac{(6)^2}{2 \times 9,81} = H - 1,8$$

$$H = 44 + 1,8 = 45,8 \text{ m}$$

Turbin Reaksi Aliran Ke Luar

Turbin reaksi aliran keluar adalah turbin reaksi dimana air masuk di tengah roda dan kemudian mengalir ke arah luar melalui sudu (gambar 8).



Gambar 8. Turbin reaksi aliran ke luar.

Turbin reaksi aliran ke luar terdiri dari sudu pengarah tetap, yang mengarahkan air ke roda berputar dengan sudut tertentu tanpa menimbulkan kejutan. Air ketika menggelinding pada sudu akan menghasilkan gaya pada roda sehingga membuat roda berputar. Perbedaan antara turbin aliran ke dalam dan aliran ke luar adalah : pada aliran ke dalam, roda yang berputar berada di dalam sudu pengarah tetap, sedangkan pada turbin aliran ke luar, roda berada di luar sudu pengarah tetap.

Perlu dicatat bahwa ketika beban turbin turun, akan menyebabkan poros akan berputar lebih cepat. Gaya sentrifugal akan meningkat karena putaran yang lebih tinggi, dan akan menaikkan jumlah air yang mengalir pada sudu, sehingga roda akan berputar makin cepat dan makin cepat. Ini adalah kerugian yang dipunyai oleh turbin reaksi aliran keluar. Karena itu turbin ini harus diatur dengan menggunakan *governor* turbin.

Semua notasi pada turbin aliran keluar sama dengan turbin reaksi aliran ke dalam. Diameter dalam roda dilambangkan dengan D (diameter pada sisi masuk) dan diameter luar dinyatakan dengan D_1 (diameter pada sisi ke luar).

Efisiensi atau daya yang dihasilkan turbin bisa dicari dengan menggambar segitiga kecepatan sisi masuk dan sisi keluar seperti yang ditunjukkan oleh gambar 9.