

# **MESIN FLUIDA**

## **(POMPA DAN KOMPRESOR)**



**Oleh:**

**Drs. C A R S O N I, S.T., M.T.**  
**NIP: 195712061983031002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA**  
**UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**  
**2017**

## PRAKATA

Dalam dunia pendidikan, buku/diktat Pompa dan Kompresor dirasakan masih dibutuhkan. Untuk itulah pembuatan diktat ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam menyelesaikan studinya.

Isi diktat ini meliputi pembahasan yang mencakup pokok-pokok kuliah Pompa dan Kompresor yang terdiri dari Pompa Sentrifugal, Pompa Torak, Kompresor Torak serta Kompresor Sentrifugal.

Penulis menyadari masih banyak kekurangannya, untuk itu mengharapkan saran serta kritiknya demi perbaikan diktat ini.

Akhirnya penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah bersedia membantu dalam pembuatan diktat ini.

Semarang,

Penulis,

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PRAKATA .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Prinsi-prinsip Aliran Fluida .....	1
1.1.1. Specific Weight, Density dan Specific Gravity .....	1
1.1.2. Aliran .....	2
1.1.3. Viskositas .....	2
1.1.4. Angka Reynolds .....	3
1.1.5. Persamaan Kontinuitas .....	3
1.1.6. Head (Tinggi Tekan) .....	4
1.1.7. Hukum Bernoulli .....	5
BAB II. POMPA	
2.1. Klasifikasi Pompa .....	7
2.1.1. Pompa Dinamik .....	7
2.1.2. Pompa Perpindahan .....	23
BAB III KOMPRESOR.	
3.1. Klasifikasi Kompresor.....	27
3.1.1. Kompresor Torak .....	28
3.1.2. Kompresor Rotary .....	31
DAFTAR PUSTAKA .....	33

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Prinsip-prinsip Aliran Fluida.

#### 1.1.1. Specific weight, density dan specific gravity.

Specific weight ( $\gamma$ ) suatu zat adalah berat dari suatu unit volume dan dinyatakan dengan:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

G = berat fluida

V = volume fluida

Specific weight gas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikenal dengan "Equation of State", yaitu:

$$p \cdot v = R \cdot T$$

p = tekanan absolut gas  $(\text{kg/m}^2)$

v = specific volume gas  $(\text{m}^3/\text{kg})$

T = temperatur absolut gas  $(^\circ\text{K})$

R = 0,2870 = konstanta gas  $(\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K})$

Specific weight untuk gas:  $\gamma = \frac{1}{v} \quad (\text{kg/m}^3)$

Density ( $\rho$ ) atau mass density adalah massa zat per satuan volume, karena itu melibatkan gravitasi.

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

$$\text{Untuk air: } \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1000}{9,81} = 102 \frac{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

Specific gravity dari suatu zat padat atau cair adalah perbandingan berat suatu volume tertentu zat padat atau cairan terhadap volume yang sama dari air murni pada temperatur  $4^{\circ}\text{C}$ . Karena suatu perbandingan, maka Specific gravity tidak mempunyai satuan. Apabila dipakai untuk gas, specific gravity adalah perbandingan dari berat gas dengan suatu volume tertentu terhadap volume yang sama dari udara yang mempunyai tekanan dan temperatur yang sama.

#### 1.1.2. Aliran.

Jika kecepatan aliran fluida melalui suatu pipa adalah rendah, partikel-partikel bergerak dalam lapisan yang sejajar dan kecepatan pada setiap titik adalah konstan dalam besaran dan arahnya. Jenis aliran ini disebut laminar.

Apabila kecepatan alirannya tinggi, gerakan partikel tidak steady tetapi berbeda-beda baik dalam besaran maupun arahnya pada setiap titik. Jenis aliran ini dinamakan turbulent, dan selalu terjadi pada pompa dan kompresor.

#### 1.1.3. Viskositas ( $\mu$ ).

Viskositas adalah ukuran dari tahanan aliran fluida, atau dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan tegangan geser antara lapisan fluida yang didekatnya terhadap laju perubahan kecepatan yang tegak lurus terhadap arah gerakan.

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{\delta v}{\delta y}}$$

$\tau$  = gaya atau tegangan geser

$v$  = kecepatan fluida

$y$  = jarak tegak lurus terhadap aliran fluida

$\mu$  = viskositas absolut

Unit untuk viskositas diukur dalam satuan gram massa per centimeter second atau  $\text{kg.sec/m}^2$

$$1 \text{ poise} = \frac{1}{9,81} \text{ kg.sec/m}^2$$

Biasanya lebih sering digunakan satuan viskositas kinematik ( $\nu$ ), yaitu viskositas absolut dibagi dengan massa densitas.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} \quad (\text{Cm}^2/\text{sec} \text{ atau Stokes})$$

#### 1.1.4. Angka Reynolds.

Adalah suatu hal yang diperlukan untuk dapat membandingkan aliran fluida pada kondisi kecepatan, kekentalan, densitas dan ukuran laluan yang berbeda untuk saluran (channel) yang bentuknya sama. Telah diketahui bahwa tahanan terhadap aliran fluida, atau sesuatu yang bergerak didalam fluida adalah suatu fungsi tanpa dimensi dan disebut **Angka Reynolds ( $N_R$ )**.

$$N_R = \frac{\gamma \cdot v \cdot d}{\mu \cdot g} = \frac{\rho \cdot g \cdot v \cdot d}{\mu \cdot g}$$

$$N_R = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

$\gamma$  = berat spesifik fluida;       $\mu$  = viskositas absolut fluida

$v$  = kecepatan fluida;       $\nu$  = viskositas kinematik fluida

$d$  = dimensi laluan (misalnya diameter)

#### 1.1.5. Persamaan Kontinuitas.

Setelah kondisi steady tercapai, maka berat fluida per satuan waktu yang mengalir pada setiap titik adalah konstan. Berat fluida per satuan waktu sebanding dengan  $\gamma \cdot A \cdot v$ , dengan  $v$  adalah kecepatan rata-rata melalui penampang  $A$ .



Untuk dua penampang a dan b:

$$\gamma_a \cdot A_a \cdot v_a = \gamma_b \cdot A_b \cdot v_b$$

Untuk setiap penampang berlaku:

$$\gamma \cdot A \cdot v = \text{konstan} = \text{berat aliran} \quad (\text{kg/sec})$$

Persamaan ini dikenal sebagai persamaan kontinuitas dan sangat berguna dalam perhitungan aliran fluida.

Untuk cairan seperti air,  $\gamma$  adalah konstan sehingga persamaannya  $Q = A \cdot v$

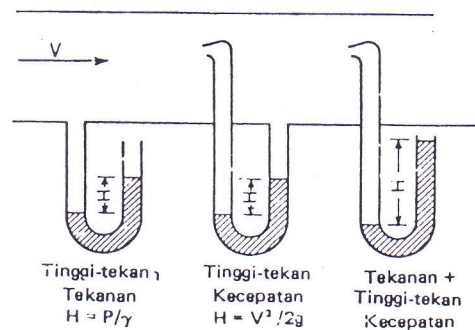
Apabila luas penampang pipa mengecil, maka kecepatan akan bertambah, sedangkan jika luas penampang membesar maka kecepatannya akan berkurang.

#### 1.1.6. Head (tinggi tekan).

Dalam mekanika ffluida telah dikenal tiga macam bentuk head yaitu:

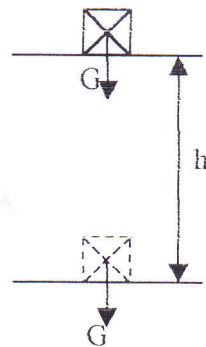
- Potensial atau actual head
- Kinetik atau velocity head
- Pressure head

Untuk jelasnya lihat gambar dibawah ini.



Gb.1.2. Metode pengukuran berbagai bentuk head.

### 1.1.7. Hukum Bernoulli.



$$E_{\text{potensial}} = G.h$$

$$E_p = \gamma \cdot \text{Volume} \cdot h$$

$$E_p = \rho \cdot g \cdot \text{Vol} \cdot h$$

$$E_p = p \cdot \text{Vol}.$$

Gb.1.3. Energi potensial dan kinetik

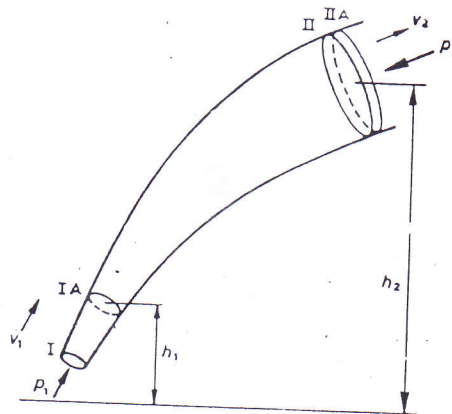
$$E_{\text{kinetik}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \text{Volume} \cdot v^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot v^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{v^2}{g}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot G \cdot h$$



Gb.1.4. Bukti hukum Bernoulli

$$p \cdot \text{Vol} = E_p + E_k$$

$$p \cdot \text{Vol} = \text{Vol} \cdot \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \rho \cdot \text{Vol} \cdot v^2$$

$$(p_1 - p_2) \text{Vol} = \text{Vol} \cdot \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \rho \cdot \text{Vol} \cdot v^2$$

$$E_{\text{energi II}} = E_{pII} + E_{kII}$$

$$E_{\text{energi II}} = \Delta \text{Vol} \cdot \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot \Delta \text{Vol} \cdot v_2^2$$

$$E_{\text{energi I}} = E_{pI} + E_{kI}$$

$$E_{\text{energi I}} = \Delta \text{Vol} \cdot \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot \Delta \text{Vol} \cdot v_1^2$$



Oleh karena perpindahan itu, energi zat cair bertambah:

$$E_{II} - E_I = \left( \Delta Vol. \rho. g. h_2 + \frac{1}{2} \rho. \Delta Vol. v_2^2 \right) - \left( \Delta Vol. \rho. g. h_1 + \frac{1}{2} \rho. \Delta Vol. v_1^2 \right)$$

Pertambahan energi itu sama dengan pertambahan energi karena beda tekanan dari luar pipa  $p_1$  dan  $p_2$  pada  $\Delta Vol.$

$$(p_1 - p_2) \Delta Vol = \left( \Delta Vol. \rho. g. h_2 + \frac{1}{2} \rho. \Delta Vol. v_2^2 \right) - \left( \Delta Vol. \rho. g. h_1 + \frac{1}{2} \rho. \Delta Vol. v_1^2 \right)$$

$$(p_1 - p_2) = \left( \rho. g. h_2 + \frac{1}{2} \rho. v_2^2 \right) - \left( \rho. g. h_1 + \frac{1}{2} \rho. v_1^2 \right)$$

$$p_1 + \rho. g. h_1 + \frac{1}{2} \rho. v_1^2 = p_2 + \rho. g. h_2 + \frac{1}{2} \rho. v_2^2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{p}{\gamma} = \text{tinggi tekanan}$$

$$h = \text{tinggi tempat}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{tinggi kecepatan}$$

Ketiganya mempunyai dimensi yang sama yaitu satuan panjang.

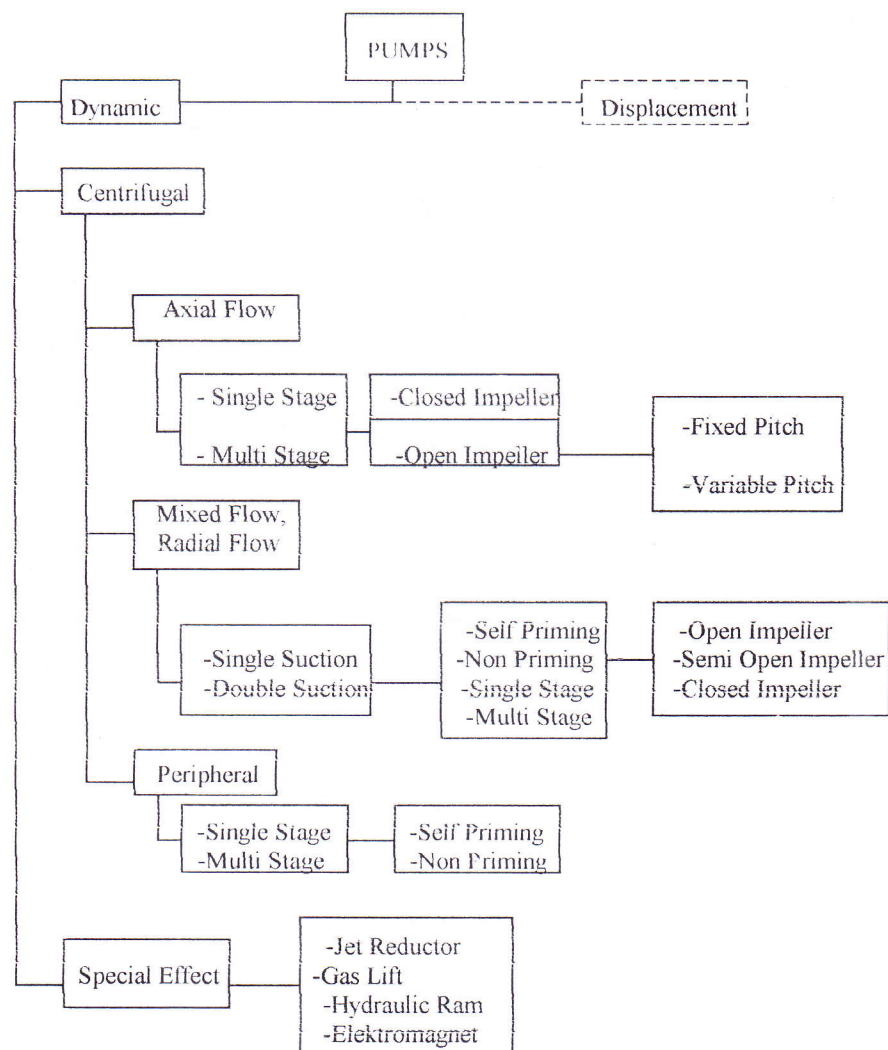
Dari persamaan diatas terlihat bahwa didalam suatu pipa dimana zat cair mengalir secara stasioner, maka jumlah tekanan dalam tiap titik adalah sama besar.

## BAB II POMPA

### 2.1. Klasifikasi Pompa.

Secara skematik kalsifikasi pompa dibedakan menjadi dua yaitu:

2.1.1. **Pompa dinamik (dynamik).** Energi secara kontinu ditambahkan untuk menaikkan kecepatan fluida didalam pompa yang akhirnya akan terjadi penurunan kecepatan pada bagian keluar pompa yang mengakibatkan kenaikan tekanan.



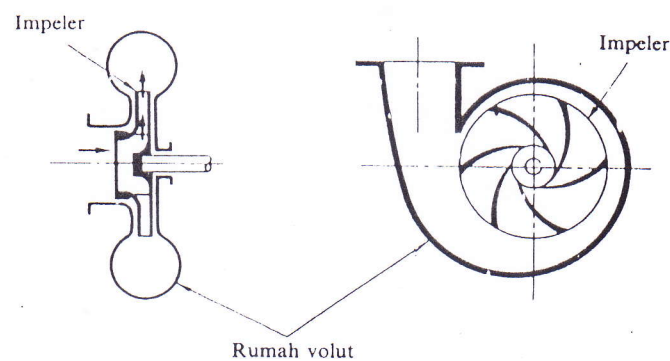
Gb.2.1. Klasifikasi pompa dinamik

Salah satu jenis dari pompa dinamik adalah pompa sentrifugal dan banyak dipakai untuk memompa fluida cair.

### **Pompa Sentrifugal.**

Adalah suatu pompa yang memindahkan cairan dengan gaya sentrifugal.

Energi mekanik masuk kedalam pompa melalui poros pompa yang selanjutnya bekerja pada cairan yang masuk pada impeller dan akan mengakibatkan kenaikan energi tekanan pada cairan yang keluar dari pompa. Cairan masuk kedalam pompa dalam arah aksial dan meninggalkan impeller pompa dalam arah radial.



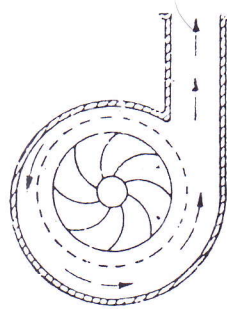
Gb.2.2. Pompa Sentrifugal

### **Tipe Rumah Pompa.**

Rumah pompa sentrifugal ada tiga tipe yaitu:

#### **a. Volute casing**

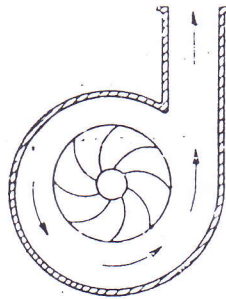
Pada tipe ini luas penampang casing bertambah besar sedikit demi sedikit sesuai dengan arah aliran, yang mengakibatkan penurunan kecepatan dan akan menaikkan tekanan cairan, pada tipe ini ada kerugian akibat pusaran cairan.



Gb.2.3. Volute Casing

## b. Vortex Casing.

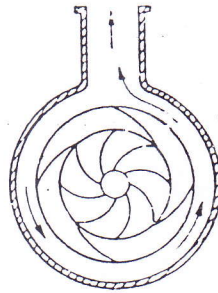
Bentuk casing ini merupakan perbaikan dari bentuk volute casing. Casing dirancang dengan suatu kombinasi antara volute casing dengan circular chamber. Pada tipe ini kerugian akibat pusaran dapat dikurangi sehingga efisiensi pompa dapat ditingkatkan.



Gb.2.4. Vortex Casing

## c. Volute Casing dengan Guide Blade.

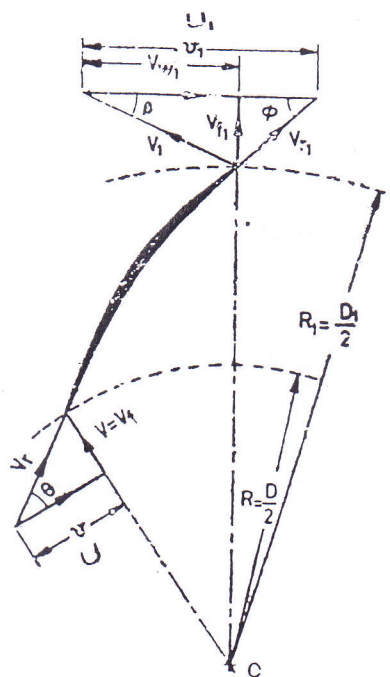
Pada tipe ini dibuat suatu guide blade di sekeliling sudu. Guide blade ini disusun dengan sudut tertentu dengan maksud untuk mengurangi kejutan pada aliran cairan melalui casing. Susunan guide blade ini disebut juga diffuser.



Gb.2.5. Volute Casing With Guide Blade

### Kerja Pompa Sentrifugal.

Kerja yang dilakukan atau daya yang diperlukan oleh pompa dapat diketahui dengan cara menggambar segitiga kecepatan pada sisi masuk dan pada sisi keluar sudu pompa. Lihat gambar berikut ini:



Gb.2.6. Segitiga kecepatan pompa sentrifugal

Keterangan.

$V$  = kecepatan absolut air masuk sudu

$D$  = Diameter sudu pada sisi masuk

$U$  = Kecepatan tangensial sudu pada sisi masuk. Biasa disebut juga kecepatan keliling (peripheral velocity) pada sisi masuk

$V_r$  = Kecepatan relatif air terhadap roda sudu pada sisi masuk

$V_f$  = Kecepatan aliran pada sisi masuk

$V_1, D_1, U_1, V_{r1}, V_{f1}$  = besaran yang berlaku pada sisi keluar.

$N$  = Kecepatan sudu dalam r.p.m.

$\theta$  = Sudut sudu pada sisi masuk

$\beta$  = Sudut pada saat air meninggalkan impeller

$\phi$  = Sudut sudu pada sisi keluar

Karena memasuki sudu dalam arah radial, maka kecepatan pusaran air pada sisi masuk  $V_w = 0$ , sehingga moment of momentum pada sisi masuk = 0.

$$\text{Moment of momentum pada sisi keluar} = \frac{W}{g} (V_{w1} \cdot R_1) = \text{Torsi}$$

Kerja pompa setiap detik = Torsi x kecepatan sudut

$$\text{Kerja pompa setiap detik} = \frac{W}{g} (V_{w1} \cdot R_1) \times \omega$$

$$\text{Kerja pompa setiap detik} = \frac{W}{g} (V_{w1} \cdot U_1)$$

$$\text{Kerja pompa setiap detik setiap kg cairan} = \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

Dalam satuan S I, kerja yang dilakukan per kg cairan =  $V_{w1} \cdot U_1$  (N.m)



### Manometric Head (Tinggi Tekan Manometric ).

Manometric head pada pompa sentrifugal didefinisikan sbb:

- Manometric head adalah head sesungguhnya setelah pompa bekerja.
- Manometric head ( $H_m$ ):

$$H_m = H_s + H_{fs} + H_d + H_{fd} + \frac{V_d^2}{2g}$$

$H_s$  = tinggi isap (suction lift)

$H_{fs}$  = kerugian tinggi tekan pada pipa isap akibat gesekan

$H_d$  = tinggi hantar (delivery lift)

$H_{fd}$  = kerugian tinggi tekan pada pipa hantar/pipa tekan akibat gesekan

$V_d$  = kecepatan cairan didalam pipa hantar/pipa tekan

- $H_m$  = Work done/kg cairan – kerugian didalam impeller.

$$= \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g} - (h_{li} + h_{lc})$$

- $H_m$  = Energi/kg pada sisi keluar impeller – Energi/kg pada sisi masuk impeller.

### Effisiensi Pompa Sentrifugal:

Pompa sentrifugal mempunyai tiga macam effisiensi yaitu:

- Effisiensi Manometrik ( $\eta_{man}$ )

Adalah perbandingan antara manometric head dengan energi yang diberikan impeller/kg cairan. Secara matematik dapat ditulis:

$$\eta_{man} = \frac{H_m}{\frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}}$$

b. Effisiensi Mekanik ( $\eta_{mek}$ )

Adalah perbandingan energi yang tersedia pada impeller dengan energi yang diberikan pada impeller oleh penggerak mula.

$$\eta_{mek} = \frac{\text{Energi yang tersedia pada impeller}}{\text{Energi penggerak mula}}$$

c. Effisiensi Keseluruhan ( $\eta_{ov}$ )

$$\eta_{ov} = \frac{\text{Kerja sesungguhnya yang dilakukan pompa}}{\text{Energi penggerak mula}}$$

**Kapasitas Pompa Sentrifugal.**

Kapasitas atau discharge dari pompa sentrifugal dapat dinyatakan dengan rumus:

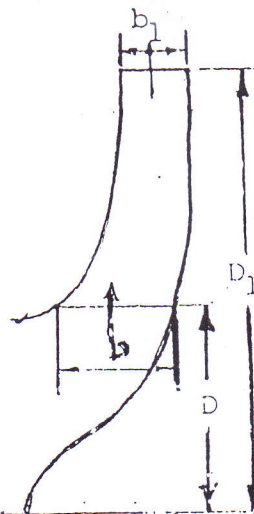
$$Q = \pi \cdot D \cdot b \cdot V_f = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot V_{f1}$$

D = diameter impeller pada sisi masuk

$V_f$  = kecepatan aliran pada sisi masuk

b = lebar impeller pada sisi masuk

$D_1, V_{f1}, b_1$  = besaran yang berlaku pada sisi keluar.



Gb.2.7. Ukuran utama ukuran impeller

### Daya Penggerak Pompa Sentrifugal.

Besarnya daya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa sentrifugal dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_{ov}} \quad (\text{HP})$$

Dalam satuan SI dinyatakan dengan rumus:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta_{ov}} \quad (\text{Watt})$$

### Kenaikan Tekanan Air.

Air yang mengalir dalam impeller pompa sentrifugal akan mengalami kenaikan tekanan. Hal ini terjadi karena pompa merubah energi mekanik menjadi energi tekanan. Energi tekanan ini diberikan oleh impeller kepada air yang mengalir melalui impeller tersebut. Berdasarkan persamaan Bernoulli untuk sisi masuk dan sisi keluar impeller pompa, dapat dinyatakan bahwa:

Energi pada sisi keluar = Energi pada sisi masuk + Kerja yang dilakukan oleh

impeller.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h + \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

Jika diambil  $h_1 = h$ , maka:

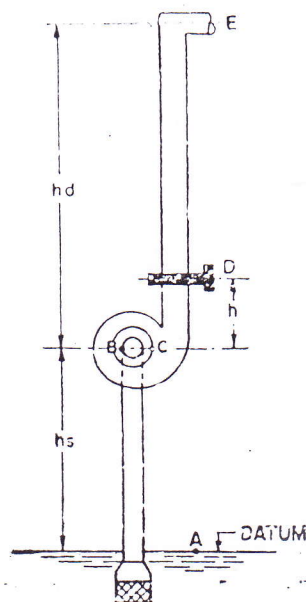
$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

Persamaan ini menunjukkan adanya kenaikan tekanan air sebesar  $(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P}{\gamma})$  pada saat mengalir melalui impeller.

### Perubahan Tekanan Pada Pompa Sentrifugal.

Perhatikan gambar dibawah ini:



Titik A adalah permukaan air

Titik B adalah sisi masuk impeller

Titik C adalah sisi keluar impeller

Titik D adalah katup hantar/katup tekan

Titik E adalah pipa hantar/pipa tekan reservoir

### Gb.2.8. Perubahan tekanan

(i) Berdasarkan Bernoulli pada titik A – B dengan datum permukaan cairan:

$$\frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + h_s + h_{fs} = 0$$

$p_s$  = tekanan pada titik B

$V_s$  = kecepatan pada pipa isap

$h_s$  = tinggi isap

$h_{fs}$  = kerugian pada pipa isap

(ii). Berdasarkan Bernoulli pada titik B – C dengan datum sumbu pompa:

$$\frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + \frac{V_{wt} \cdot U_1}{g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{li}$$

$p_1$  = tekanan pada sisi keluar impeller

$V_1$  = kecepatan absolut pada sisi keluar pompa

$h_{li}$  = kerugian didalam impeller

(iii). Berdasarkan Bernoulli pada titik C – D dengan datum sumbu pompa:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h_{lc} + h$$

$p_d, V_d$  = tekanan dan kecepatan pada titik D

$h_{lc}$  = kerugian pada casing.

(iv). Berdasarkan Bernoulli pada titik D – E dengan datum sumbu pompa:

$$h + \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} = h_d + h_{fd} + \frac{V_d^2}{2g}$$

$$\frac{p_d}{\gamma} = h_d + h_{fd} - h$$

atau :

$$h_d + h_{fd} + \frac{V_d^2}{2g} = \text{deliveryhead / headtekan}$$

Dari persamaan (ii) dan (iii) didapat:

$$\frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + \frac{V_{wt} \cdot U_1}{g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{li}$$

$$\frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + \frac{V_{wt} \cdot U_1}{g} = \left( \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h_{lc} + h \right) + h_{li}$$

$$\begin{aligned} \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g} &= \left( \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h_{lc} + h \right) + h_{li} \\ \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g} - (h_{lc} + h_{li}) &= \left( \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h \right) - \left( \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} \right) \\ H_m &= \left( \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h \right) - \left( \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} \right) \end{aligned}$$

$$H_m = \text{Total energi pada titik D} - \left( \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} \right)$$

Jika  $h=0$ , maka:

$$H_m = \left( \frac{p_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} \right) - \left( \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} \right)$$

Jika ada pipa isap dan pipa tekan berlaku  $V_s = V_d$ , maka:

$$H_m = \left( \frac{p_d}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} \right)$$

### Kecepatan Start Minimum ( $n_s$ ).

Suatu pompa sentrifugal akan mulai memindahkan zat cair apabila head yang dihasilkan sebanding dengan manometric head. Pada saat start kecepatan zat cair

adalah nol, maka pressure head yang diakibatkan oleh gaya sentrifugal  $= \left( \frac{V_1^2 - V^2}{2g} \right)$ .

Pressure head ini harus sama dengan manometric head, sehingga:

$$\left( \frac{V_1^2 - V^2}{2g} \right) = H_m$$

$$\frac{1}{2g} (U_1^2 - U^2) = \eta_{man} \cdot \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$$



$$\begin{aligned}
\frac{\left(\frac{\pi D_1 n}{60}\right)^2 - \left(\frac{\pi D n}{60}\right)^2}{2g} &= \eta_{man} \cdot \frac{V_{w1} \cdot \pi D_1 n}{g \cdot 60} \\
\frac{\pi^2 D_1^2 n^2 - \pi^2 D^2 n^2}{3600 \cdot 2g} &= \frac{\eta_{man} V_{w1} \pi D_1 n}{g \cdot 60} \\
\frac{(\pi n)^2 (D_1^2 - D^2)}{3600 \cdot 2g} \cdot \frac{60}{\pi D_1 n} &= \frac{\eta_{man} V_{w1}}{g} \\
\frac{\pi n (D_1^2 - D^2)}{120 \cdot g D_1} &= \frac{\eta_{man} V_{w1}}{g} \\
n &= \frac{\eta_{man} V_{w1} \cdot 120 \cdot g D_1}{\pi (D_1^2 - D^2)}
\end{aligned}$$

Jadi :

$$\eta_{man} = \frac{120 \cdot \eta_{man} V_{w1} D_1}{\pi (D_1^2 - D^2)}$$

### Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik pompa sentrifugal dapat diartikan sebagai kecepatan suatu pompa imajinasi yang dapat memompa satu liter air per detik dengan head sebesar satu meter.

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

$$Q \propto b_1 D_1 V_{f1}$$

$$b_1 \propto D_1 \text{ dan } V_{f1} \propto \sqrt{H_m}$$

$$Q \propto D_1^2 \sqrt{H_m}$$

$$\frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H_m}} = C_1 \dots \dots \dots (a)$$

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$$

$$D_1 \propto \frac{U_1}{n}$$

$$U_1 \propto \sqrt{H_m}$$

$$D_1 \propto \frac{\sqrt{H_m}}{n}$$

$$\frac{\sqrt{H_m}}{D_1 \cdot n} = C_2 \dots\dots\dots (b)$$

Substitusikan persamaan (b) ke persamaan (a) akan didapat:

$$\frac{Q}{\left(\sqrt{H_m}\right)^2 \cdot C_2^2 \cdot n^2} = C_1$$

$$\frac{C_2^2 \cdot Q \cdot n^2}{H_m \cdot \sqrt{H_m}} = C_1$$

$$\frac{Q \cdot n^2}{H_m^{3/2}} = \frac{C_1}{C_2^2}$$

$$\frac{n \cdot \sqrt{Q}}{\sqrt{H_m^{3/2}}} = \frac{\sqrt{C_1}}{C_2}$$

$$\frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H_m^{3/4}} = \frac{\sqrt{C_1}}{C_2}$$

Telah disebutkan bahwa  $Q = 1$  l/sec dan  $H_m = 1$  m, maka:

$$\frac{n \cdot \sqrt{1}}{1} = C \text{ atau } C = n_s$$

$$\text{Jadi: } n_s = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H_m^{3/4}}$$

### Pengaruh Variasi Kecepatan:

Pada pompa sentrifugal bahwa kecepatan akan mempengaruhi kondisi lainnya.

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$$U \propto n$$

$$U_1 \propto n$$

$$V_w \propto n$$

$$V_f \propto U$$

$$V_f \propto n$$

$$\text{Kapasitas: } Q = \pi \cdot D \cdot b \cdot V_f$$

$$Q \propto V_f$$

$$Q \propto n$$

$$Q_1 \propto n_1$$

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}$$

Head manometris:

$$H_{man} = \frac{\eta_{man} \cdot V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

$$H \propto V_{w1} \cdot U_1$$

$$H \propto n \cdot n$$

$$\frac{H}{H_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^2$$

Daya penggerak pompa:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot V_w \cdot U_1}{\eta \cdot 75}$$

$$P \propto Q \cdot V_{w1} \cdot U_1$$

$$P \propto n \cdot n \cdot n$$

$$\frac{P}{P_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^3$$

### **Pengaruh Variasi Diameter:**

Ada kalanya dalam praktek dijumpai adanya perubahan kecepatan, head serta kapasitas dari yang direncanakan. Untuk mendapatkan kondisi yang baru ditempuh dengan jalan merubah:

- putaran impeller pompa
- diameter impeller pompa

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$$U \propto D$$

$$V_f \propto U$$

$$V_f \propto D$$

Kapasitas pompa:

$$Q = \pi \cdot D \cdot b \cdot V_f$$

$$Q \propto D \cdot D$$

Jadi:

$$\frac{Q}{Q_1} = \left( \frac{D}{D_1} \right)^2$$

Head:

$$H = \frac{\eta \cdot V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

$$H \propto V_{w1} \cdot U_1$$

$$H \propto n \cdot n$$

Jadi:

$$\frac{H}{H_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^2$$

Daya penggerak pompa:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot V_{w1} \cdot U_1}{g \cdot 75}$$

$$P \propto Q \cdot V_{w1} \cdot U_1$$

$$P \propto D^2 \cdot D \cdot D$$

Jadi:

$$\frac{P}{P_1} = \left( \frac{D}{D_1} \right)^4$$

### Kavitasi.

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Sebagai contoh bahwa air pada tekanan 1 atmosfer akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada suhu  $100^0\text{C}$ . Tetapi jika tekanannya lebih rendah dari 1 atmosfer maka air tersebut akan mendidih pada suhu yang lebih rendah dari  $100^0\text{C}$ . Jika tekanannya sangat rendah, maka pada temperatur kamarpun air dapat mendidih. Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir didalam pompa maupun didalam pipa. Tempat-tempat yang lebih rendah dan berkecepatan tinggi di dalam aliran sangat rawan terhadap terjadinya kavitasi. Pada pompa misalnya bagian yang mudah mengalami kavitasi pada sisi isap. Jika pompa mengalami kavitasi, maka akan menimbulkan korosi, erosi dan suara bising.

Untuk menghindari terjadinya kavitasi harus ditentukan secara seksama **Head Isap Positif Neto** atau **Net Positive Suction Head (NPSH)** dan ditentukan bahwa:

**NPSH** yang tersedia  $\geq$  **NPSH** yang dibutuhkan

$$NPSH_{yangtersedia} = H_m + \frac{V^2}{2g} - H_d$$

$$H_m = H_{atm} \pm H_z - H_w - \frac{V^2}{2g}$$

Jadi:

$$NPSH_{yangterseda} = H_{atm} \pm H_z - H_w - \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} - H_d$$

$$NPSH_{yangterseda} = H_{atm} \pm H_z - H_w - H_d$$

$$NPSH_{yangdibutuhkan} = \sqrt{\left( \frac{n\sqrt{Q \cdot 6,65}}{s} \right)}$$

$H_m$  = tekanan mutlak(dipandang sebagai ukuran tinggi kolom air) diukur pada flens hisap yang diukur dengan vacuum manometer.

$\frac{V^2}{2g}$  = tinggi kecepatan yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dengan kecepatan tertentu.

$H_d$  = tekanan uap jenuh

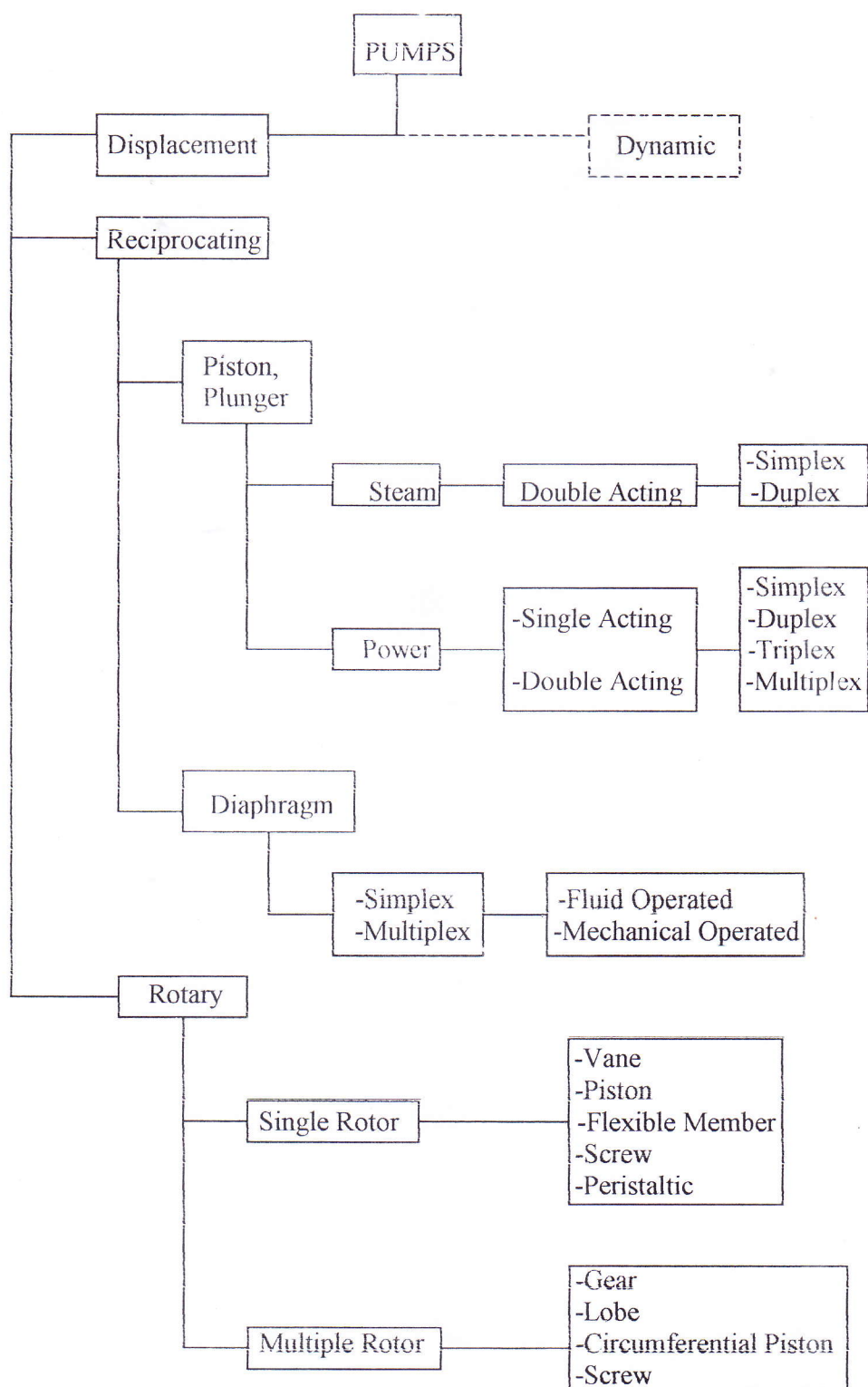
$n$  = putaran pompa

$Q$  = debit pompa

$s$  = factor yang tergantung dari konstruksi pompa

2.1.2. **Pompa perpindahan (displacement).** Energi secara periodeik ditambahkan dengan memberikan suatu gaya terhadap fluida didalam ruang pompa. Selanjutnya akan didapat penambahan tekanan secara langsung sampai suatu nilai yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida melalui katup buang yang diteruskan kesaluran buang. Dua pompa perpindahan yang dikenal adalah Reciprocating Pump dan Rotary Pump. Dari kedua tipe tersebut, yang banyak dipakai adalah tipe reciprocating atau biasa disebut Pompa Torak atau Pompa Plunyer.

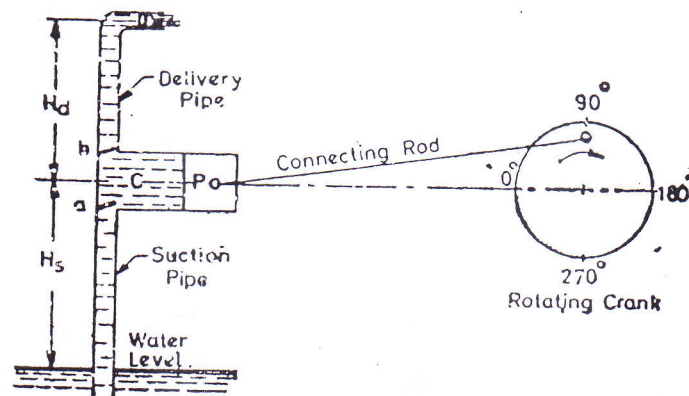




Gb. 2.9. Klasifikasi pompa perpindahan

a. Pompa Torak.

Pompa torak dengan bentuk yang sederhana seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gb.2.10. Pompa Torak

Kapasitas Pompa Torak.

Pembahasan berikut ini dianggap bahwa pompa adalah kerja tunggal.

Debit pompa (Q):

$$Q = \frac{L \cdot A \cdot n}{60}$$

L = panjang langkah torak

A = luas penampang torak

n = putaran poros engkol

Daya penggerak pompa (P):

Pompa torak pada saat bekerja, mula-mula mengisap cairan kemudian cairan tersebut ditekan keluar melalui pipa tekan.

Gaya pada torak pada saat pemompaan:

$$P = \gamma \cdot H_s \cdot A \quad (\text{kg})$$

Gaya pada torak pada saat pengisapan:

$$P = \gamma \cdot H_d \cdot A \quad (\text{kg})$$

Kerja yang dilakukan pompa:

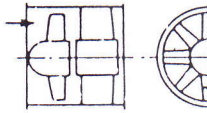
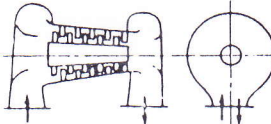
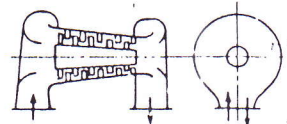
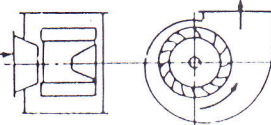
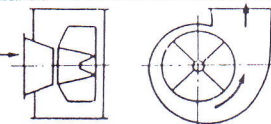
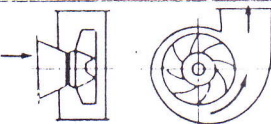
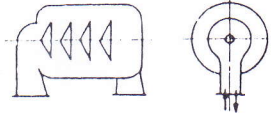
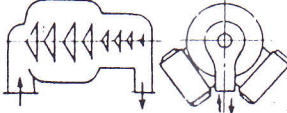
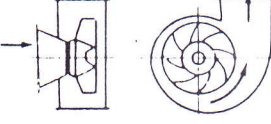
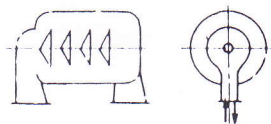
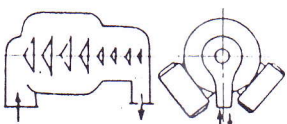
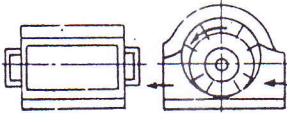
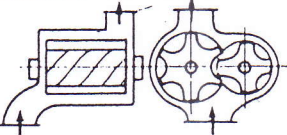
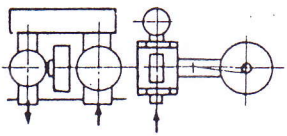
$$P = \gamma \cdot Q (H_s + H_d) \quad (\text{kg.m})$$

Daya teoritik yang diperlukan pompa:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q (H_s + H_d)}{75} \quad (\text{HP})$$

## BAB III KOMPRESOR

### 3.1. Klasifikasi Kompresor.

Nama		Fan dan blower		Kompresor
		Fan (kipas)	Blower (peniup)	
Jenis	Tekanan	Kurang dari 1000 mm Air (9800 Pa)	1 - 10 m Air (9800 Pa - 98 kPa)	Lebih dari 1 kg/cm <sup>2</sup> (9.8 kPa)
	Jenis aksial			
Jenis turbo	Sudu banyak		/	
	Jenis sentrifugal			
	Radial			
	Turbo			
Jenis perpindahan (displacement)	Roots	/		/
	Jenis putar (rotary)			
	Sudu lurus	/		
	Sekrup			
Jenis bolak-balik	Bolak-balik	/		

Gb.3.1. Klasifikasi kompresor

Kompresor udara digerakkan oleh penggerak mula dan menghasilkan udara tekan (compressed air) pada tekanan tinggi.

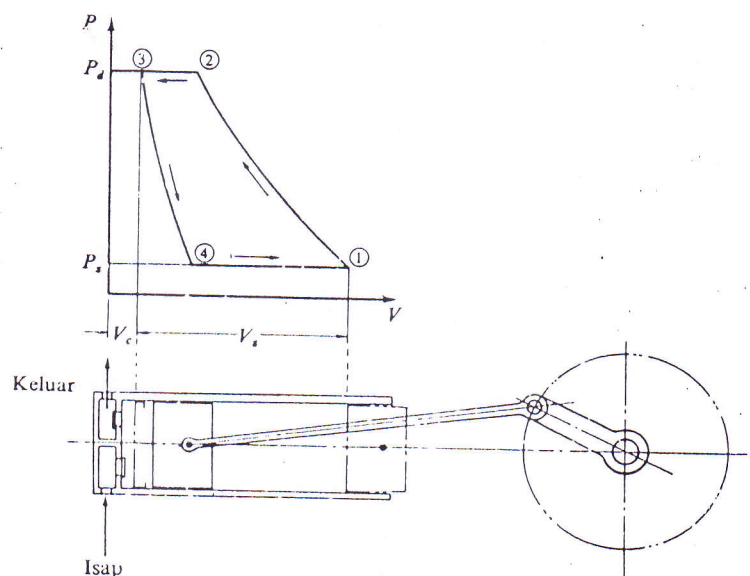
Dari gambar diatas terlihat bahwa kompresor udara dibedakan menjadi dua:

- Kompresor torak (reciprocating compressor)
- Kompresor rotary (rotary compressor)

Jika udara dimampatkan didalam satu silinder, maka disebut kompresor satu tingkat (single stage compressor) dan jika udara dimampatkan didalam lebih dari satu silinder yang disusun secara seri, maka disebut kompresor bertingkat jama'k (multi stage pump). Dalam hal ini udara didinginkan diantara tingkatnya dengan menggunakan intercooler.

### 3.1.1. Kompresor Torak

**Kompresor satu tingkat**. Operasi kompresor dapat dilihat gambar berikut ini dan dianggap tanpa celah.



Gb.3.2. Diagram PV kompresor

Dari gambar diatas terlihat bahwa kerja yang dilakukan tiap siklus (W):

$$W = \int_{p_1}^{p_2} V \cdot dp$$

$$W = \int_{p_1}^{p_2} \frac{(p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1}{(p)^{\frac{1}{n}}} \cdot dp$$

$$W = (p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 \cdot \int_{p_1}^{p_2} (p)^{-\frac{1}{n}} \cdot dp$$

$$W = (p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{n}} (p)^{1 - \frac{1}{n}} \cdot dp$$

$$W = (p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 \cdot \frac{n}{n-1} \left\{ (p_2)^{\frac{n-1}{n}} - (p_1)^{\frac{n-1}{n}} \right\}$$

$$W = (p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 \cdot \frac{n}{n-1} \cdot (p_1)^{\frac{n-1}{n}} \left\{ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

$$W = (p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 \cdot \frac{n}{n-1} \cdot (p_1)^{\frac{n-1}{n}} \left\{ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

$$W = p_1 \cdot V_1 \cdot \frac{n}{n-1} \left\{ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

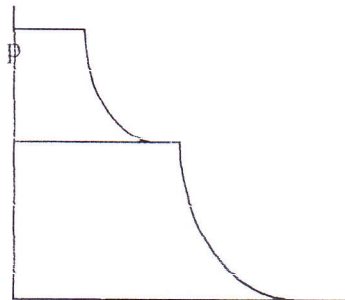
$$W = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot V_1 \left\{ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

$$p \cdot V^n = p_1 \cdot V_1^n$$

$$\frac{V}{V_1} = \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$V = \frac{(p_1)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1}{(p)^{\frac{1}{n}}}$$

### Kompresor bertingkat jamak.



Gb.3.3. Kerja kompresor bertingkat

Dalam kompresor ini mula-mula udara masuk kedalam silinder tekanan rendah untuk dimampatkan. Kemudian udara tersebut masuk kedalam silinder tekanan tinggi untuk dikompresikan lagi dan akhirnya dikeluarkan.



Dengan mengabaikan celah dan menggunakan hukum kompresi:  $p \cdot V^n = C$ , kita dapat menentukan kerja yang dilakukan oleh kompresor dua tingkat sbb:

$$W = W_I + W_{II}$$

$$W = \frac{n}{n-1} \left[ p_1 \cdot V_1 \left\{ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\} + p_2 \cdot V_2 \left\{ \left( \frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\} \right]$$

Jika  $p_2$  adalah intermediate pressure, maka:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_2}{p_3} \quad \text{atau} \quad p_2 = \sqrt{p_1 \cdot p_3}$$

Untuk tiga tingkat:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_2}{p_3} = \frac{p_3}{p_4}$$

Jadi untuk x tingkat:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_2}{p_3} = \dots = \frac{p_x}{p_{(x+1)}}$$

Kerja minimum dengan intercooling:

Untuk dua tingkat:

$$W = \frac{2 \cdot n}{n-1} p_1 \cdot V_1 \left\{ \left( \frac{p_3}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right\}$$

Untuk tiga tingkat:

$$W = \frac{3 \cdot n}{n-1} p_1 \cdot V_1 \left\{ \left( \frac{p_4}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{3n}} - 1 \right\}$$

Untuk x tingkat:

$$W = \frac{x.n}{n-1} p_1 V_1 \left\{ \left( \frac{P_{(x+1)}}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{x.n}} - 1 \right\}$$

### 3.1.2. Kompresor Rotary (Rotary Compressor).

Seperti yang tertera pada gambar klasifikasi kompresor, bahwa kompresor rotary dibedakan menjadi tiga yaitu:

#### a. Fan.

Fan dipakai bilamana dibutuhkan tekanan yang rendah dan pengaliran volume yang agak besar dan bekerja pada kecepatan spesifik yang rendah.

#### b. Blower.

Blower adalah sebuah alat yang memampatkan udara atau gas oleh gaya sentrifugal ke tekanan akhir yang tidak melebihi 35 psig.

#### c. Kompresor.

Kompresor sentrifugal adalah suatu alat yang dipakai untuk memampatkan udara atau gas ke tekanan akhir di atas 35 psig. Kompresor jenis ini biasanya didinginkan dengan air.

### Tinggi Tekan Blower dan Kompresor (H).

Untuk blower yang tidak didinginkan, tinggi tekannya didasarkan pada pemampatan adiabatic, sedangkan bila dilakukan dengan pendinginan, sering digunakan pemampatan dengan proses isothermal. Tinggi tekan ini umumnya didasarkan pada tekanan statis yang dihasilkan. Tinggi tekan akibat kecepatan (velocity head) dapat diabaikan dibandingkan dengan tinggi tekan akibat tekanan untuk blower dan kompresor.

Perumusan berikut ini adalah untuk tinggi tekan yang didasarkan pada pemampatan secara adiabatic.

$$H = \frac{\Delta p}{\gamma} = \Delta p \cdot v = \frac{p}{\gamma}$$

$$H = \frac{p_0 \cdot v_0}{k} \left[ \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$H = \frac{R \cdot T_0}{k} \left[ \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$H = K \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g} \quad K : \text{koefisien tekan overall}$$

$$\text{Daya yang dibutuhkan } N = \frac{\text{Laju aliran bobot} \times \text{Head}}{75} = \frac{w \cdot H}{75} \quad (\text{HP})$$

Karena tinggi tekan  $H = K \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$ , tinggi tekan ini haruslah sebanding dengan

$$\text{kwadrat kecepatannya sebagaimana halnya dengan pompa. } \frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2.$$

Jika kecepatan blower konstan, perubahan specific weight gas yang masuk dari  $\gamma_1$

menjadi  $\gamma_2$ , maka laju aliran  $w_2 = w_1 \left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)$  sehingga:

$$\text{Aliran volume: } Q_2 = Q_1 \left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)$$

$$\text{Aliran bobot: } w_2 = w_1 \left[ \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \left( \frac{p_2}{p_0} \right) \left( \frac{T_{01}}{T_{02}} \right) \right]$$

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arora, K. R., 1980, *Fluid Mechanics Hydraulics and Hidraulycs Machines*, Standard Publishers Distributors, Nai Sarak, Delhi.
- Harahap, Z., Church, A. H., 1986, *Pompa dan Blower Sentrifugal*, Erlangga, Jakarta.
- Kurmi, R. S., 1984, *Hydraulics Machines*, S. Chand & Company Ltd., Ram Nagar, New Delhi.
- Nouwen, A., 1981, *Pompa*, Bhratara Karya Aksara, Jakarta.
- Sularso, Tahara, H., 1985, *Pompa & Kompresor*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sriyono, Dietzel, F., 1992, *Turbin Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.