

## POMPA

Pompa bisa diklasifikasikan dengan berbagai cara. Jika pompa diklasifikasikan berdasarkan cara energi dipindahkan maka pompa bisa dikelompokkan sebagai berikut::

1. Pompa dinamik (Dynamic)
2. Pompa perpindahan (Displacement)

### **Pompa Dinamik**

Energi secara kontinu diberikan untuk menaikkan kecepatan cairan/fluida. Selanjutnya akan terjadi penurunan kecepatan pada sisi keluar pompa. Pengelompokkan pompa dinamik secara skematik bisa dilihat pada gambar 1.

### **Pompa Perpindahan**

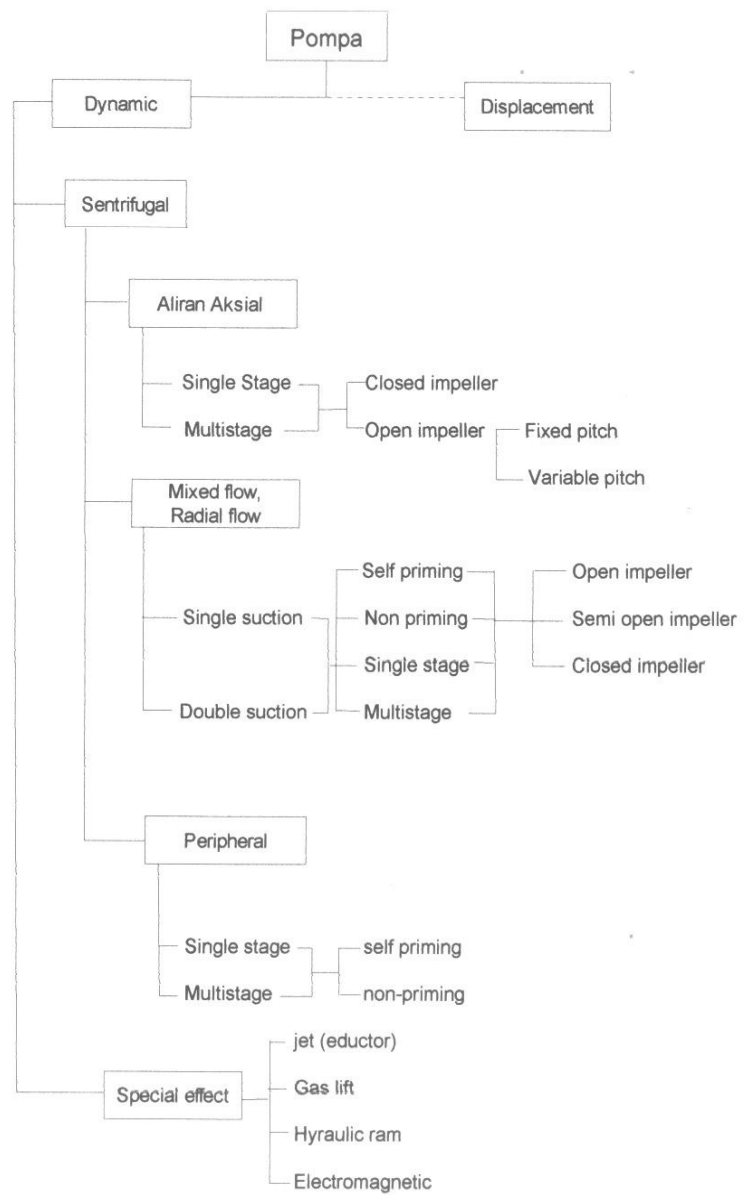
Energi secara periodik ditambahkan berupa gaya yang diberikan ke fluida. Selanjutnya akan dihasilkan penambahan tekanan secara langsung hingga fluida bisa dipindahkan. Pengelompokkan pompa dinamik secara skematik bisa dilihat pada gambar 2.

Untuk pembahasan selanjutnya akan dibatasi hanya untuk pompa sentrifugal dan pompa resiprokal/torak.

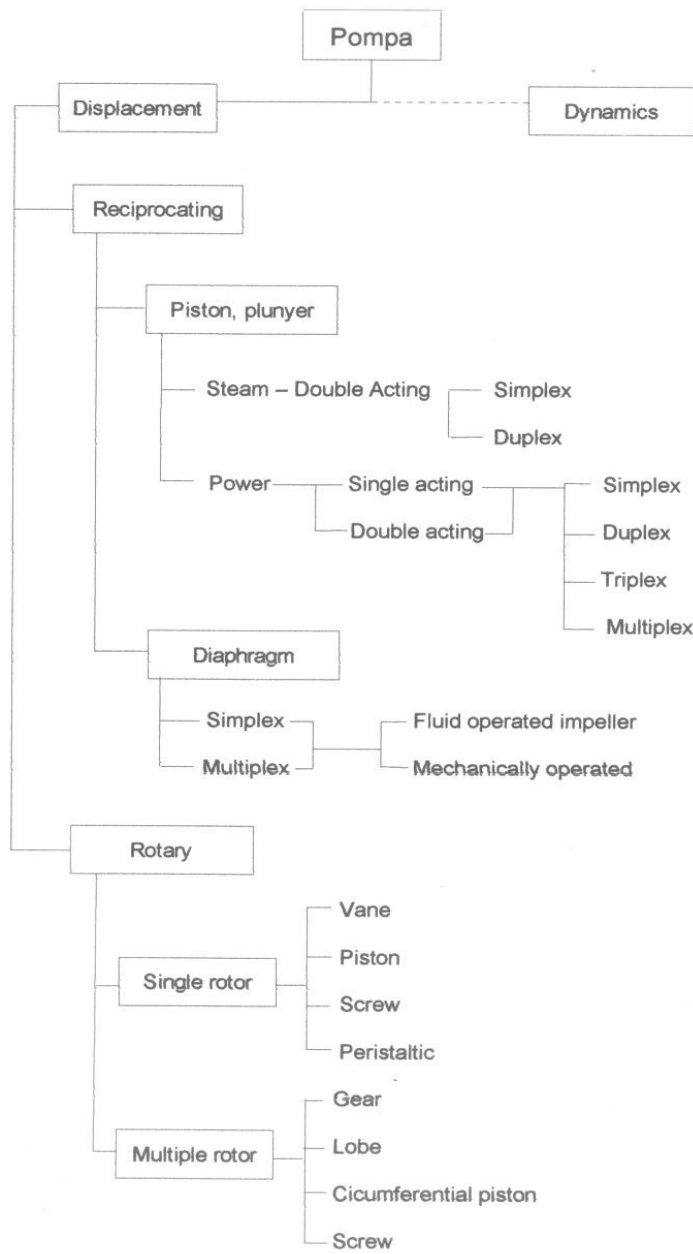
### **A. POMPA SENTRIFUGAL**

Pompa bisa didefinisikan sebagai sebuah mesin, jika digerakkan oleh sumber daya dari luar, akan mengangkat air atau fluida lainnya dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Atau dengan kata lain, pompa adalah sebuah mesin yang merubah energi mekanik menjadi energi tekanan.

*Pompa sentrifugal* adalah pompa dimana proses menaikkan air dilakukan dengan aksi gaya sentrifugal.



Gambar 1. Klasifikasi pompa dinamik.



Gambar 2. Klasifikasi pompa perpindahan.

### Sistem Pemipaan Pada Pompa Sentrifugal

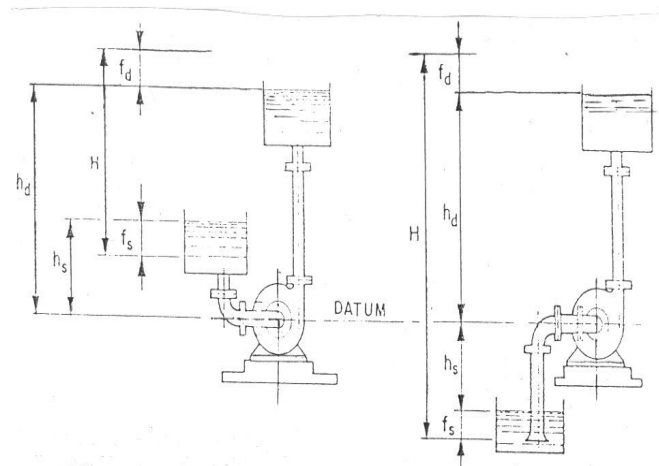
Bagus tidaknya kerja pompa sentrifugal bergantung pada pemilihan dan tata-letak yang benar sistem pemipaannya. Pada umumnya pompa mempunyai pipa hisap dan pipa hantar/buang.

#### (a). Pipa hisap.

Pipa hisap dari suatu pompa sentrifugal mempunyai peranan penting dalam keberhasilan kerja dari pompa tersebut. Rancangan yang buruk dari suatu pipa hisap akan menyebabkan “Net Positive Suction Head” (NPSH) yang tidak mencukupi, timbul getaran, suara berisik akibat pukulan air (water hammer), keausan dan sebagainya. Mengingat tekanan pada bagian masuk pompa adalah hisapan (negatif) dan katupnya harus dibatasi untuk menghindari kavitasi, maka harus diusahakan agar kerugian pada pipa hisap sekecil mungkin. Untuk maksud ini diusahakan agar diameter pipa hisap cukup besar dan dihindarkan adanya belokan.

#### (b) Pipa Hantar

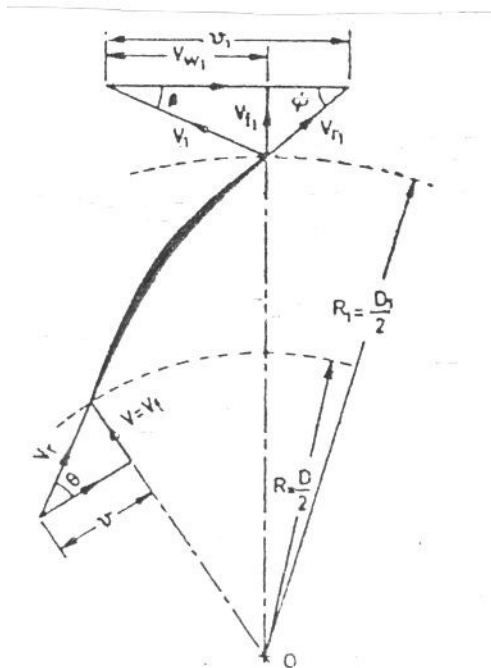
Sebuah katup searah (check valve) harus dipasang pada pipa hantar dalam posisi dekat dengan pompa dengan maksud untuk menghindari *water hammer* dan mengatur pengeluaran pompa. Ukuran dan panjang pipa hantar tergantung dari kebutuhan.



Gambar 3. Sistem pipa suatu pompa sentrifugal.

### 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. Untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. segitiga kecepatan pada sisi masuk dan sisi keluar.

Keterangan gambar:

$V$  = kecepatan absolut/mutlak air masuk sudu

$D$  = diameter sudu pada sisi masuk

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

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

$V_f$  = kecepatan aliran pada sisi masuk

$V_1, D_1, v_1, V_{r1}, V_{f1}$  = besaran yang berlaku untuk sisi keluar

$N$  = kecepatan sudu dalam rpm

$\theta$  = sudut sudu pada sisi masuk

$\beta$  = sudut pada saat air meninggalkan sudu

$\phi$  = sudut sudu pada sisi keluar

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

$V_{w1}$  = kecepatan pusaran air pada sisi keluar

- Kerja yang dilakukan per kg air adalah:

$$= \frac{V_{w1} \cdot v_1}{g} \text{ kg.m}$$

Dalam satuan SI, kerja yang dilakukan per kg air:

$$= V_{w1} \cdot v_1 \text{ Nm}$$

dimana:

$V_{w1}$  dan  $v_1$  dalam m/s.

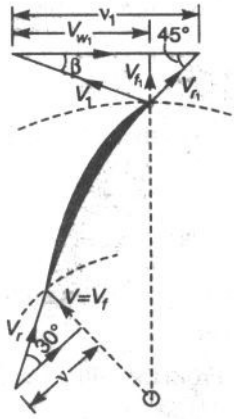
### Contoh soal

Sebuah pompa sentrifugal mempunyai diameter impeller luar dan dalam masing-masing adalah 600 mm dan 300 mm. Sudut sudu sisi masuk dan sisi keluar masing-masing adalah  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Jika air memasuki impeller pada kecepatan 2,5 m/s, carilah (a) kecepatan impeller, (b) kerja per kN air.

Jawab

Diketahui:  $D_1 = 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m}$ ;  $D = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$ ;  $\theta = 30^\circ$ ;  $\phi = 45^\circ$  dan  $V = 2,5 \text{ m/s}$

(a) Kecepatan impeller



$$v = \frac{V}{\tan 30^\circ} = \frac{2,5}{0,5774} = 4,33 \text{ m/s}$$

$$4,33 = \frac{\pi D N}{60} = \frac{\pi \times 0,3 N}{60} = 0,0157 N$$

$$N = 4,33 / 0,0157 = 275,8 \text{ rpm}$$

(b) Kerja per kN air

Dari segitiga kecepatan:

$$v_1 = v \times \frac{D_1}{D} = 4,33 \times \frac{0,6}{0,3} = 8,66 \text{ m/s}$$

dan

$$V_{w1} = v_1 - \frac{V_{fl}}{\tan 45^\circ} = 8,66 - \frac{2,5}{1} = 6,16 \text{ m/s}$$

maka

$$W = \frac{V_{w1} \cdot v_1}{g} = \frac{6,16 \times 8,66}{9,81} = 5,44 \text{ kN-m} = 5,44 \text{ kJ}$$

### Tinggi Tekan Manometrik

Istilah Tinggi-tekan Manometrik atau Manometric Head merupakan hal yang penting dalam pembahasan pompa sentrifugal. Manometrik head adalah tinggi-tekan yang nyata/sebenarnya (actual head) yang harus diatasi pompa.

Manometrik head:

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

dimana :  $H_s$  = tinggi hisap

$H_{fs}$  = kerugian tinggi tekan (loss of head) pada pipa hisap (suction pipe) akibat gesekan

$H_d$  = tinggi hantar (delivery lift)

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

$V_d$  = kecepatan air dalam pipa hantar

$g$  = gravitasi

Manometrik head dapat juga diartikan sebagai:

$H_m$  = work done/kg air - losses dalam sudu

$$= \frac{V_{w1} \cdot v_1}{g} - \text{impeller losses}$$

atau :

$H_m$  = energi/kg pada sisi keluar sudu – energi/kg pada sisi masuk sudu

### Efisiensi Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal mempunyai tiga macam efisiensi sebagai berikut:

1. Efisiensi manometrik.
2. Efisiensi mekanik.
3. Efisiensi keseluruhan.



Efisiensi manometrik

Adalah rasio antara manometric head dengan energi sudu/kg air, yang secara matematik dapat dinyatakan sebagai :

$$\eta = \frac{H_m}{\frac{V_{w1} \cdot v_1}{g}}$$

Efisiensi mekanik

Adalah rasio antara energi tersedia pada sudu dengan energi yang diberikan pada sudu oleh penggerak mula.

Efisiensi keseluruhan,  $\eta_o$ 

Adalah rasio antara kerja sebenarnya yang dilakukan oleh pompa dengan energi yang diberikan pada pompa oleh penggerak mula.

**Kapasitas Pompa Sentrifugal**

Kapasitas atau discharge dari suatu pompa sentrifugal dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

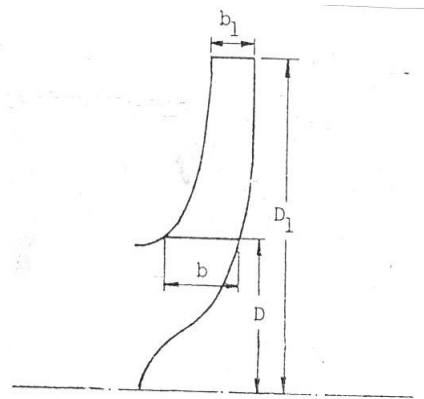
$$Q = \pi D b V_f = \pi D_1 b_1 V_{f1}$$

Dimana :  $D$  = diameter sudu pada sisi masuk

$V_f$  = kecepatan aliran pada sisi masuk

$b$  = lebar sudu pada sisi masuk

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



Gambar 5. Sudu pompa.

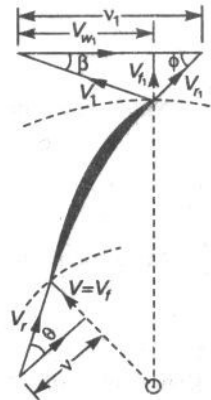
**Contoh soal**

Sebuah pompa sentrifugal mengeluarkan air pada kecepatan 110 liter/s pada kecepatan 1450 rpm dengan head 23 meter. Diameter impeller adalah 250 mm dengan lebar 50 mm. Jika efisiensi manometrik 75%, carilah sudut sudu pada sisi keluar.

**Jawab**

Diketahui:  $Q = 110 \text{ liter/s} = 0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $N = 1450 \text{ rpm}$ ;  $H_m = 23 \text{ m}$ ;  $D_1 = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$ ;  $b = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$  dan  $\eta_{man} = 75\% = 0,75$

Tanya:  $\phi = \dots\dots ?$



$$v_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} = \frac{\pi \times 0,25 \times 1450}{60} = 19 \text{ m/s}$$

Debit pompa:

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

$$0,11 = \pi \times 0,25 \times 0,05 \times V_f$$

$$= 0,039 V_f$$

$$V_f = 0,11 / 0,039 = 2,8 \text{ m/s}$$

Dari efisiensi manometrik:

$$\eta = \frac{H_m}{\frac{V_{w1} \cdot v_1}{g}}$$

$$0,75 = \frac{H_m}{\frac{V_{w1} \cdot v_1}{g}} = \frac{23}{\frac{V_{w1} \cdot 19}{9,81}} = \frac{11,9}{V_{w1}}$$

$$V_{w1} = 11,9 / 0,75 = 15,9 \text{ m/s}$$

Dari segitiga kecepatan diperoleh:

$$\tan \phi = \frac{V_{f1}}{v_1 - V_{w1}} = \frac{2,8}{19 - 15,9} = 0,9032 \text{ atau}$$

$$\phi = 42,1^\circ$$

### Daya Penggerak Pompa Sentrifugal

Daya atau *horse power* yang diperlukan untuk menggerakkan suatu pompa sentrifugal, besarnya dapat dihitung dari manometric head atau dengan cara menggambar segitiga kecepatan. Besar daya yang diperlukan oleh pompa dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{wQH_m}{75\eta_o} \text{ HP}$$

$$\text{SI: } P = \frac{wQH_m}{\eta_o} \text{ kW}$$

dimana :  $H_m$  = manometric head dalam meter

$Q$  = kapasitas pompa dalam m<sup>3</sup>/detik

$\eta_o$  = efisiensi keseluruhan pompa

atau dapat juga dengan menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{\text{Discharge dalam kg} \times \text{Work done/kg air}}{75}$$

$$P = \frac{wQ \cdot V_{w1} \cdot v_1}{gx75} \text{ HP}$$

atau:

$$P = \frac{wQ \cdot V_{w1} \cdot v_1}{g} \text{ kW}$$

#### Contoh soal

Sebuah pompa sentrifugal diharuskan memompa air sampai head total 40 meter dengan debit 50 liter/s. Carilah daya yang diperlukan pompa, jika efisiensi keseluruhan 62%.

Jawab

Diketahui:  $H_m = 40$  m;  $Q = 50$  liter/s = 0,5 m<sup>3</sup>/s;  $\eta_o = 62\% = 0,62$

Daya yang diperlukan pompa:

$$P = \frac{wQH_m}{\eta_o} = \frac{9,81 \times 0,05 \times 40}{0,62} = 31,6 \text{ kW}$$

#### Contoh soal

Sebuah pompa sentrifugal memompa 30 liter air per detik ke ketinggian 18 meter melalui pipa sepanjang 90 meter dan diameter 100 mm. Jika efisiensi

pompa 75%, carilah daya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa. Ambil  $f = 0,012$ .

**Jawab**

Diketahui:  $Q = 30$  liter/s =  $0,03$  m<sup>3</sup>/s;  $H = 18$  m;  $l = 90$  m;  $d = 100$  mm =  $0,1$  m;  $\eta_o = 75\% = 0,75$ ; dan  $f = 0,012$

- luas penampang pipa:

$$a = \frac{\pi}{4} \times (d)^2 = \frac{\pi}{4} \times (0,1)^2 = 7,854 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- dan kecepatan air:

$$v = \frac{Q}{a} = \frac{0,03}{7,854 \times 10^{-3}} = 3,82 \text{ m/s}$$

- head manometrik:

$H_m = H +$  kerugian dalam pipa + kerugian head pada sisi keluar

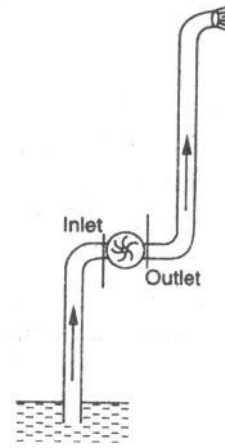
$$\begin{aligned} &= 18 + \frac{4fv^2}{2gd} + \frac{v^2}{2g} \\ &= 18 + \frac{4 \times 0,012 \times 90 \times (3,82)^2}{2 \times 9,81 \times 0,1} + \frac{(3,82)^2}{2 \times 9,81} \\ &= 18 + 32,1 + 0,74 = 50,84 \text{ m} \end{aligned}$$

- daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa:

$$P = \frac{wQH_m}{\eta_o} = \frac{9,81 \times 0,03 \times 50,84}{0,75} = 19,9 \text{ kW}$$

### Kenaikan Tekanan Air

Air yang mengalir dalam sudu suatu pompa sentrifugal akan mengalami kenaikan tekanan. Hal ini terjadi karena pompa mengubah energi mekanis menjadi energi tekanan. Energi tekanan ini diberikan oleh sudu kepada air yang mengalir melalui sudu.



Berdasarkan persamaan Bernoulli untuk sisi masuk dan sisi keluar sudu pompa, dapat ditulis bahwa:

$$\text{Energi pada sisi keluar} = \text{Energi pada sisi masuk} + \text{Kerja yg dilakukan sudu}$$

Atau :

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P}{w} + \frac{V^2}{2g} + \frac{V_{wl} \cdot v}{g} \quad (\text{diambil } Z_1 = Z)$$

$$\frac{P_1}{w} - \frac{P}{w} = \frac{V^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_{wl} \cdot v}{g}$$

Persamaan ini menunjukkan adanya kenaikan tekanan air sebesar:

$$\left( \frac{P_1}{w} - \frac{P}{w} \right)$$

pada saat mengalir melalui sudu pompa sentrifugal.

### Contoh soal

Sebuah pompa sentrifugal mempunyai impeller dengan diameter dalam dan luar masing-masing 150 mm dan 250 mm. Pompa memompa air sebesar 50 liter per detik pada 1500 rpm. Kecepatan aliran melalui impeller adalah

konstan pada 2,5 m/s. Sudu berbentuk kurva melengkung ke belakang dengan sudut  $30^\circ$  terhadap tangen sisi keluar. Diameter pipa hisap dan hantar masing-masing adalah 150 mm dan 100 mm. Head tekanan pada sisi hisap 4 m dibawah atmosfer dan sisi hantar 18 m di atas atmosfer. Daya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa adalah 18 kW. Carilah (i) sudut sudu sisi masuk, (ii) efisiensi keseluruhan, dan (iii) efisiensi manometrik.

Jawab

Diketahui:  $D = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$ ;  $D_1 = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$ ;  $Q = 50 \text{ liter/s} = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $N = 1500 \text{ rpm}$ ;  $V_f = V_{f1} = 2,5 \text{ m/s}$ ;  $\phi = 30^\circ$ ;  $d_s = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$ ;  $d_a = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$ ;

$$p/w = H_{atm} - 4 = 10,3 - 4 = 6,3 \text{ m}$$

$$p1/w = H_{atm} + 18 = 10,3 + 18 = 28,3 \text{ m}$$

$$P = 18 \text{ kW}$$

(i) sudut sudu sisi masuk:

$$v = \frac{\pi D N}{60} = \frac{\pi \times 0,15 \times 1500}{60} = 11,8 \text{ m/s}$$

dari segitiga kecepatan:

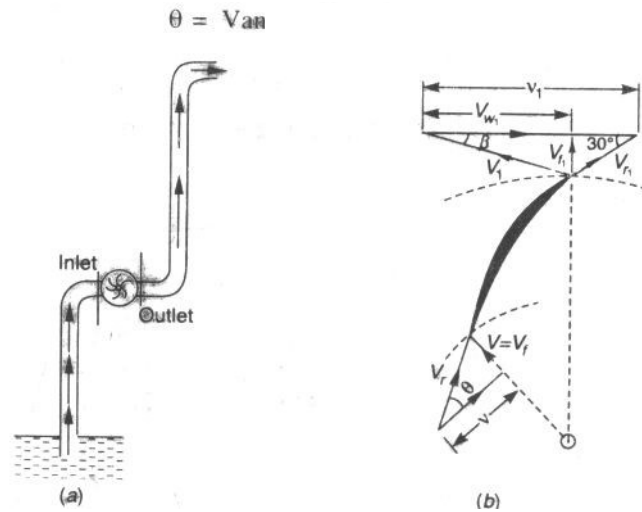
$$\tan \theta = \frac{V_f}{v} = \frac{2,5}{11,8} = 0,2119 \quad \text{atau } \theta = 12^\circ$$

(ii) efisiensi keseluruhan:

pipa hisap:

$$a_s = \frac{\pi}{4} (d_s)^2 = \frac{\pi}{4} (0,15)^2 = 17,67 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{a} = \frac{0,05}{17,67 \times 10^{-3}} = 2,83 \text{ m/s}$$



pipa hantar:

$$a_d = \frac{\pi}{4} (d_d)^2 = \frac{\pi}{4} (0,1)^2 = 7,854 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{a_d} = \frac{0,05}{7,854 \times 10^{-3}} = 6,37 \text{ m/s}$$

dengan menggunakan persamaan Bernoulli:

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p}{w} + \frac{V^2}{2g} + H_m$$

$$H_m = \left( \frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{p}{w} + \frac{V^2}{2g} \right)$$

$$= \left( 28,3 + \frac{(6,37)^2}{2 \times 9,81} \right) - \left( 6,3 + \frac{(2,83)^2}{2 \times 9,81} \right)$$



$$= 30,4 - 6,7 = 23,7 \text{ m}$$

(iii) efisiensi manometrik:

dari segitiga kecepatan:

$$v_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} = \frac{\pi \times 0,25 \times 1500}{60} = 19,6 \text{ m/s}$$

$$V_{wl} = v_1 - \frac{V_{fl}}{\tan \theta} = 19,6 - \frac{2,5}{\tan 30^\circ} = 19,6 - \frac{2,5}{0,5774} \text{ m/s}$$

$$= 15,3 \text{ m/s}$$

$$\eta_{man} = \frac{H_m}{\frac{V_{wl} \cdot v_1}{g}} = \frac{23,7}{\frac{15,3 \times 19,6}{9,81}} = 0,772$$

$$= 77,2\%$$

### Kecepatan Start Minimum

Suatu pompa sentrifugal akan mulai mengalirkan cairan apabila head yang dibangkitkan sama besarnya dengan manometric head. Pada saat start, kecepatan cairan adalah sama dengan nol, maka *pressure head* yang diakibatkan oleh gaya sentrifugal adalah:

$$= \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v^2}{2g}$$

$$= \frac{v_1^2 - v^2}{2g}$$

Pressure head ini harus sama dengan manometric head yang diminta. Sehingga:

$$\frac{v_1^2 - v^2}{2g} = H_m$$

sedangkan:

$$\eta_{man} = \frac{H_m}{\frac{V_{w1} \cdot v_1}{g}}$$

maka:

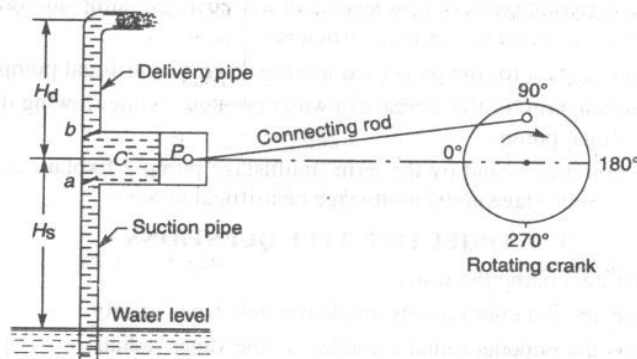
$$\frac{v_1^2 - v^2}{2g} = \eta_m \frac{V_{w1} \cdot v_1}{g}$$

### Pompa Sentrifugal Bertingkat Ganda

Untuk menaikkan head pompa sentrifugal, dapat dibuat konstruksi bertingkat ganda atau biasa disebut sebagai *Multistage pump*. Dalam suatu multistage pump, sudu-sudu dipasang pada satu poros dan diletakkan dalam rumah pompa yang sama. Head yang dibangkitkan oleh tiap sudu adalah sama dengan Total Head dibagi dengan jumlah sudu (atau tingkatnya).

### POMPA TORAK

Pompa torak dalam bentuknya yang sederhana, terdiri dari beberapa bagian seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 6. Komponen-komponen pompa torak.

Keterangan gambar:

- Silinder  $C$ , didalamnya ada torak  $P$ . Gerakan torak diperoleh dengan adanya batang penghubung yang menghubungkan torak dengan engkol berputar.
- Pipa hisap, menghubungkan sumber air dengan silinder.
- Pipa hantar untuk mengalirkan air keluar dari pompa.
- Katup (valve)  $a$ , mengatur aliran ke dalam silinder.
- Katup  $b$ , mengatur aliran keluar dari silinder.

Pompa torak juga dinamakan pompa perpindahan positif (positive displacement pump), karena mengalirkan/memompakan sejumlah volume yang tertentu dari suatu cairan selama langkah toraknya.

### Jenis-jenis Pompa Torak

Pompa torak dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan gerakan air.
  - a. Pompa aksi tunggal (single acting pump).
  - b. Pompa aksi ganda (double acting pump).
2. Berdasarkan jumlah silinder.
  - a. Pompa silinder tunggal.
  - b. Pompa silinder ganda.
  - c. Pompa silinder tiga, dsbnya.
3. Berdasarkan penggunaan bejana udara (air vessel).
  - a. Dengan bejana udara.
  - b. Tanpa bejana udara.

### Kapasitas Pompa Torak

Dalam pembahasan berikut dianggap bahwa pompa adalah suatu pompa torak aksi tunggal.

Jika ditentukan:

$A$  = luas penampang torak

$L$  = panjang langkah torak

$N$  = jumlah putaran engkol per menit

Maka kapasitas pompa (discharge of pump) adalah:

$$Q = \frac{LAN}{60} \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk pompa torak aksi ganda, maka kapasitasnya adalah:

$$Q = \frac{2LAN}{60} \text{ m}^3/\text{s}$$

### Slip Pada Pompa

Perbedaan antara kapasitas pompa teoritik dengan kapasitas pompa sebenarnya disebut dengan *slip pompa*. Suatu saat kapasitas pompa sebenarnya lebih besar daripada kapasitas pompa teoritik. Jika hal ini terjadi, maka slip pompa disebut sebagai slip negatif.

### Contoh soal

Sebuah pompa torak aksi tunggal mempunyai diameter torak 300 mm dan langkah 200 mm. Jika kecepatan pompa 30 rpm dan mengeluarkan air 6,5 liter/s, carilah koefisien buang dan persen slip pompa.

#### Jawab

Diketahui:  $D = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$ ;  $L = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$ ;  $N = 30 \text{ rpm}$ ; dan  $Q_{act} = 6,5 \text{ liter/s} = 0,0065 \text{ m}^3/\text{s}$ , dimana  $Q_{act}$  = debit aktual

- Koefisien buang/hantar,  $C_d$ :

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D)^2 = \frac{\pi}{4} (0,3)^2 = 0,0707 \text{ m}^2$$

$Q_{th}$  = debit teoritis

$$Q_{th} = \frac{LAN}{60} = \frac{0,2 \times 0,0707 \times 30}{60} = 0,0071 \text{ m}^3/\text{s}$$

maka:

$$C_d = \frac{Q_{ac}}{Q_{th}} = \frac{0,0065}{0,0071} = 0,92$$

- persentase slip:

$$= \frac{Q_{th} - Q_{ac}}{Q_{th}} = \frac{0,0071 - 0,0065}{0,0071} = 0,085 = 8,5 \%$$

### Daya Penggerak Pompa Torak

Suatu pompa torak bila bekerja, mula-mula menghisap cairan melalui pipa hisap dan kemudian memompa cairan tersebut keluar melalui pipa hantar.

Jika:  $H_s$  = head hisap pompa dalam meter

$H_d$  = head hantar/buang pompa dalam meter

$w$  = berat spesifik cairan

$Q$  = debit cairan,  $m^3/s$

Gaya pada torak pada langkah pemompaan/maju adalah:

$$= w \cdot H_d \cdot A \quad \text{kg (SI : kN)}$$

dan gaya torak pada langkah penghisapan/mundur adalah:

$$= w \cdot H_s \cdot A \quad \text{kg (SI : kN)}$$

Kerja yang dilakukan oleh pompa adalah:

$$= w \cdot Q (H_s + H_d) \quad \text{kg.m (SI : kN-m)}$$

Daya teoritik yang diperlukan untuk menggerakkan pompa adalah sebesar:

$$= \frac{wQ(H_s + H_d)}{75} \quad \text{HP}$$

Dalam SI:

$$P = w Q (H_s + H_d) \quad \text{kW}$$

Daya sebenarnya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa selalu lebih besar daripada gaya teoritis, karena adanya bermacam-macam kerugian (losses).

### Contoh soal

Sebuah pompa torak aksi ganda mempunyai langkah 300 mm dan diameter piston 150 mm. Head hantar dan hisap masing-masing adalah 26m dan 4m, termasuk head gesekan. Jika pompa bekerja pada 60 rpm, carilah daya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa dengan efisiensi 80%

#### Jawab

Diketahui:  $L = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$ ;  $D = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$ ;  $H_d = 26 \text{ m}$ ;  $H_s = 4 \text{ m}$ ;  $N = 60 \text{ rpm}$  dan  $\eta = 80\% = 0,8$

Luas penampang piston:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D)^2 = \frac{\pi}{4} (0,15)^2 = 0,0177 \text{ m}^2$$

Debit teoritis:

$$Q = \frac{2LAN}{60} = \frac{2 \times 0,3 \times 0,0177 \times 60}{60} = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daya teoritis untuk menggerakkan pompa:

$$= wQ(H_s + H_d) = 9,81 \times 0,011 \times (4 + 26) = 3,24 \text{ kW}$$

Daya sebenarnya:

$$= \frac{3,24}{0,8} = 4,05 \text{ kW}$$

### Diagram Indikator Pompa Torak

Sebagai akibat gerakan torak dalam langkah penghisapan, maka tekanan di dalam silinder menjadi lebih kecil daripada tekanan atmosfer. Sedangkan dalam langkah pemompaan tekanan di dalam silinder akan naik melebihi tekanan atmosfer.

Gambar 7 menunjukkan diagram indikator suatu pompa torak dengan aksi tunggal.

Keterangan gambar:

$H_s$  = head hisap pompa

$H_d$  = head hantar pompa

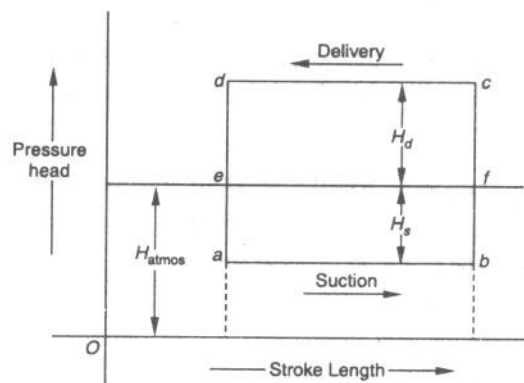
$L$  = panjang langkah

Kerja yang dilakukan pompa adalah:

$$= w \cdot Q (H_s + H_d)$$

$$= \frac{wLAN}{60} (H_s + H_d)$$

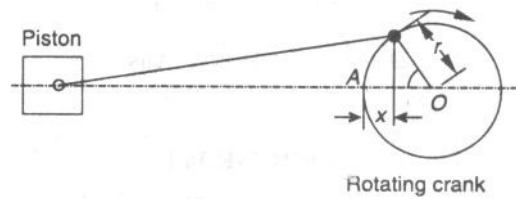
Dengan demikian dapat terlihat bahwa indikator diagram dapat menunjukkan kerja yang dilakukan oleh pompa torak.



Gambar 7. Diagram indikator.

### Perubahan Tekanan Akibat Percepatan Torak

Torak dihubungkan dengan poros engkol oleh suatu batang penghubung. Akibat konstruksi ini, gerakan torak akan merupakan suatu gerakan harmonik yang sederhana (simple harmonic motion). Pada titik matinya, kecepatan torak akan sama dengan nol, dan pada pertengahan gerakannya, kecepatan torak akan mencapai maksimum. Pada awal gerakannya torak akan mendapat percepatan, dan pada akhir gerakannya torak akan mengalami perlambatan. Percepatan dan perlambatan pada torak akan mengakibatkan perubahan tekanan pada pipa masuk dan pipa keluar.



Gambar 8. Piston dan engkol.

Jika ditentukan:

$A$  = luas penampang silinder

$a$  = luas penampang pipa

$\omega$  = kecepatan sudut dari poros engkol dalam radian/s

$r$  = jari-jari engkol

$l$  = panjang pipa

Bila ditentukan bahwa engkol berputar dimulai dari titik A. Setelah  $t$  detik, engkol telah berputar  $\theta$  radian.

$$\theta = \omega t$$

Perpindahan torak dalam  $t$  detik adalah:

$$x = r - r \cos \theta = r - r \cos \omega t$$

Diketahui kecepatan torak adalah:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega r \sin \omega t$$

dan percepatan torak adalah:

$$= \frac{dv}{dt} = \omega^2 r \cos \omega t$$

Karena aliran air di dalam pipa adalah sama dengan aliran air di dalam silinder, maka kecepatan air di dalam pipa:

$$= \frac{A}{a} \times \text{kecepatan torak} = \frac{A}{a} \times \omega r \sin \omega t$$



Percepatan air dalam pipa:

$$= \frac{A}{a} \times \omega^2 r \cos \omega t$$

Berat air dalam pipa adalah:

$$= w a l$$

dan massa air dalam pipa adalah:

$$= \frac{w a l}{g}$$

Jadi:

Gaya percepatan = massa x percepatan

$$= \frac{w a l}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \omega t$$

dan intensitas tekanan akibat percepatan adalah:

$$= \frac{\text{gaya percepatan}}{\text{luas}}$$

$$= \frac{w l}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \omega t$$

dan tinggi tekan akibat percepatan adalah:

$$H_a = \frac{\text{intensitas tekanan}}{\text{Berat spesifik cairan}}$$

$$= \frac{l}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \omega t$$

$$= \frac{l}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \theta$$

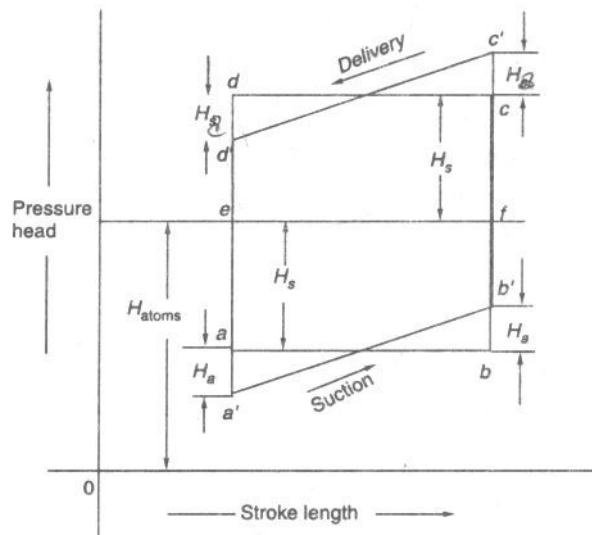
Catatan :

1. Pada saat  $\theta = 0^\circ$  ;  $H_a = \frac{L}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r$
2. Pada saat  $\theta = 90^\circ$  ;  $H_a = 0$
3. Pada saat  $\theta = 180^\circ$  ;  $H_a = -\frac{L}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r$

### Pengaruh Percepatan Torak Terhadap Diagram Indikator

Dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya bahwa perubahan tinggi tekan akibat percepatan disebabkan oleh percepatan torak.

Dapat dilihat pula bahwa pada permulaan langkah hisap, tinggi tekan (pressure head) adalah dibawah tinggi tekan atmosfer sebesar  $(H_s + H_a)$ , dimana  $H_a$  adalah *acceleration pressure head*.



Gambar 9. Pengaruh percepatan torak pada diagram indikator.

Pada pertengahan langkah hisap, pressure head berada dibawah pressure head atmosfer sebesar  $H_s$  ( $H_a = 0$ ). Pada akhir langkah hisap, head tekanan berada dibawah atmosfer sebesar  $(H_s - H_a)$ . Dengan demikian kita dapat

mengubah diagram indikator untuk langkah hisap dan langkah tekan seperti gambar 9. Dengan cara yang sama, hal tersebut berlaku pada langkah tekan.

### Contoh soal

Sebuah pompa torak aksi tunggal mempunyai diameter torak 125 mm dan langkah 300 mm menghisap air dari kedalaman 4 meter dari sumbu silinder pada 24 rpm. Panjang dan diameter pipa hisap masing-masing adalah 9 meter dan 75 mm. Carilah head tekanan pada piston pada langkah awal dan akhir jika barometer menunjukkan 10,3 m air.

#### Jawab

Diketahui:  $D = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$ ;  $L = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$ ; jari-jari poros engkol ( $r$ ) =  $0,3/2 = 0,15 \text{ m}$  (karena panjang langkah adalah dua kali jari-jari poros engkol);  $H_s = 4 \text{ m}$ ;  $N = 24 \text{ rpm}$ ;  $l = 9 \text{ m}$ ;  $d = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$ ; bacaan barometer,  $H = 10,3 \text{ m}$ .

luas penampang torak:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D)^2 = \frac{\pi}{4} (0,125)^2 = 0,0123 \text{ m}^2$$

luas penampang pipa hisap:

$$a = \frac{\pi}{4} \times (d)^2 = \frac{\pi}{4} (0,075)^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

kecepatan angular poros:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 24}{60} = 0,8\pi \text{ rad/s}$$

percepatan head tekanan:

$$H_a = \frac{l}{g} \times \frac{A}{a} \omega^2 r = \frac{9}{9,81} \times \frac{0,0123}{0,0044} \times (0,8\pi)^2 \times 0,15$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

head torak pada permulaan langkah torak:

$$H_{\text{torak}} = H - (H_s + H_a) = 10,3 - (4 + 2,4) = 3,9 \text{ m}$$

head tekanan pada akhir langkah torak:

$$H_{\text{torak}} = H - (H_s - H_a) = 10,3 - (4 - 2,4) = 8,7 \text{ m}$$

### Kecepatan Maksimum Poros Engkol

Telah dibahas dimuka bahwa pada saat dimulainya langkah hisap, pressure head berada dibawah tekanan atmosfer sebesar  $(H_s + H_a)$ , dimana  $H_s$  adalah head hisap dan  $H_a$  adalah head akselerasi. Secara eksperimen telah didapat bahwa jika tinggi hisap pompa  $(H_s + H_a)$  mencapai 7,8 meter air atau 2,5 meter absolut  $[H - (H_s + H_a)]$ , maka kontinuitas aliran akan berhenti. Pemisahan/separasi akan terjadi, karena air akan menguap. Kejadian ini disebut *separasi* atau *kavitasi*, dan harus dihindari. Head dimana terjadi separasi atau kavitasi dinamakan head separasi yang dinyatakan dengan:

$$H_{sep} = H - (H_s + H_a) = H - H_s - H_a$$

Biasanya pada suatu pompa torak, head hisap adalah konstan. Untuk menghindari terjadinya kavitasi pada saat awal langkah hisap, maka head akselerasi harus dibatasi. Telah kita ketahui bahwa head akselerasi adalah:

$$H_a = \frac{L}{g} \frac{A}{a} \omega^2 r$$

Untuk membatasi head akselerasi, maka kita harus membatasi nilai  $\omega$ , dengan pengertian bahwa nilai yang lainnya adalah konstan.

Mengingat bahwa kecepatan sudut poros engkol adalah:

$$\omega = \frac{2 \pi N}{60}$$

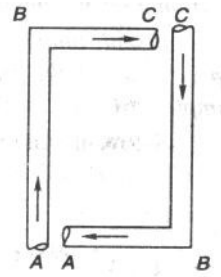
maka bila kita membatasi nilai  $\omega$ , berarti kita membatasi nilai  $N$ , yaitu kecepatan putaran poros engkol. Dengan kata lain, kita dapat menghitung kecepatan maksimum poros engkol untuk menghindari kavitasi.

Dapat kita lihat juga bahwa pressure head maksimum di dalam pipa hantar pada saat akhir langkah tekan adalah sebesar  $(H + H_d - H_a)$ .

Secara eksperimental telah didapat bahwa jika tinggi tekan absolut lebih kecil dari 2,5 meter air, kontinuitas aliran akan berhenti dan akan terjadi kavitasi. Head dimana terjadi kavitasi dinamakan separation head yang dinyatakan dengan:

$$H_{sep} = H + H_d - H_a$$

Pompa torak biasanya dipergunakan untuk memompa air melalui berbagai macam tipe pipa hantar. Dua tipe pipa hantar yang sering dipakai adalah seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 10. Tipikal pipa hantar.

Dalam gambar 10(a) pipa hantar mula-mula keatas, kemudian dibengkokkan kearah mendatar. Delivery head pada titik B ini akan sama dengan nol, dan akan terjadi suatu head akselerasi. Jadi pada titik B akan selalu ada kemungkinan terjadinya separasi atau kavitasi. Sedangkan dalam gambar 10(b) pipa hantar mula-mula diletakkan mendatar, kemudian dibengkokkan kearah vertikal. Dalam keadaan ini tidak ada kemungkinan akan terjadinya kavitasi pada titik B, karena pada titik ini hanya terjadi delivery head.

### Pengaruh Gesekan Terhadap Diagram Indikator

Jika air mengalir melalui suatu pipa, maka selalu terjadi kerugian pada head (loss of head) akibat gesekan dengan pipa, yang menyebabkan hambatan terhadap aliran air.

Demikian pula akan terjadi pada suatu pompa torak, dimana air mengalir melalui pipa hisap dan pipa hantar. Pada kedua pipa tersebut akan terjadi suatu kerugian head akibat gesekan.

Jika ditentukan:

$A$  = luas penampang silinder

$d$  = diameter pipa

$a$  = luas penampang pipa

$\omega$  = kecepatan sudut dari poros engkol dalam radian/s

$r$  = jari-jari engkol

$l$  = panjang pipa

$f$  = koefisien gesekan

$v$  = kecepatan air di dalam pipa

Diketahui bahwa kecepatan torak pada suatu saat adalah :

$$= \omega r \sin \omega t = \omega r \sin \theta$$

Jadi kecepatan air dalam pipa suatu saat adalah:

$$v = \frac{A}{a} \omega r \sin \theta$$

Diketahui bahwa kerugian head akibat gesekan :

$$H_f = \frac{4flv^2}{2gd}$$

$$H_f = \frac{4fl}{2gd} \left( \frac{A}{a} \omega r \sin \theta \right)^2$$

Pengaruh gesekan pipa terhadap diagram indikator dapat diterangkan sebagai berikut:

1. Pada awal langkah,  $\theta = 0^\circ$

Kecepatan air dalam pipa sama dengan nol, berarti tidak ada kerugian akibat gesekan.

2. Pada pertengahan langkah,  $\theta = 90^\circ$ , maka  $\sin \theta = 1$ , kerugian head akibat gesekan:

$$H_f = \frac{4fl}{2gd} \left( \frac{A}{a} \omega r \right)^2$$

3. Pada akhir langkah,  $\theta = 180^\circ$ ,

Kecepatan air dalam pipa sama dengan nol, berarti tidak ada kerugian head akibat gesekan.

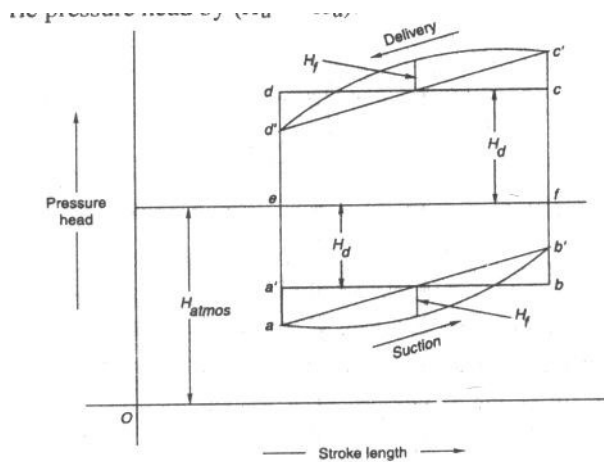
Berdasarkan pengaruh yang disebabkan diatas, maka dapat dipertimbangkan beberapa koreksi terhadap diagram indikator sebagai berikut:

#### Pada Langkah Hisap :

Pada awal langkah hisap, pressure head berada di bawah tekanan atmosfer sebesar  $(H_s + H_a)$ , karena  $H_f$  akan sama dengan nol. Pada pertengahan langkah hisap, pressure head berada dibawah tekanan atmosfer sebesar  $(H_s + H_f)$ , karena  $H_a$  akan sama dengan nol. Pada akhir langkah hisap, pressure

head berada dibawah tekanan atmosfer sebesar  $(H_s - H_a)$ , karena  $H_f$  akan sama dengan nol.

Dengan demikian kita dapat mengubah diagram indikator untuk langkah hisap seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Pengaruh gesekan pada ppa hisa dan hantar pada diagram indikator.

#### Pada Langkah Tekan:

Pada awal langkah tekan, pressure head berada diatas tekanan atmosfer sebesar  $(H_d + H_a)$ , karena  $H_f$  akan sama dengan nol. Pada pertengahan langkah tekan, pressure head berada diatas tekanan atmosfer sebesar  $(H_d + H_f)$ , karena  $H_a$  akan sama dengan nol. Pada akhir langkah tekan, pressure head akan berada diatas tekanan atmosfer sebesar  $(H_d - H_a)$ , karena  $H_f$  akan sama dengan nol.

Dengan demikian kita dapat mengubah diagram indikator untuk langkah tekan seperti pada gambar 11.

#### **Contoh soal**

Sebuah pompa torak aksi tunggal mempunyai piston dengan diameter 200 mm dan panjang langkah 300 mm. Pipa hisap mempunyai diameter 100 mm dan panjang 8 meter. Pompa menghisap air pada 4 level meter dibawah sumbu silinder pada 30 rpm. Carilah tekanan pada torak pada:

- awal langkah hisap.

b. ditengah-tengah langkah hisap.

c. pada akhir langkah hisap.

Ambil harga  $f = 0,01$  dan tekanan atmosfer = 10,3 meter air

Jawab

Diketahui:  $D = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$ ;  $L = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$ ; jari-jari poros engkol ( $r = 0,3/2 = 0,15 \text{ m}$  (karena panjang langkah adalah dua kali jari-jari poros engkol);  $d = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$ ;  $H_s = 4 \text{ m}$ ;  $N = 30 \text{ rpm}$ ;  $l = 8 \text{ m}$ ;  $f = 0,01$ ;  $H = 10,3 \text{ m}$ .

a. Tekanan di awal langkah hisap

luas penampang torak:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D)^2 = \frac{\pi}{4} (0,2)^2 = 0,03142 \text{ m}^2$$

luas penampang pipa hisap:

$$a = \frac{\pi}{4} \times (d)^2 = \frac{\pi}{4} (0,1)^2 = 0,00785 \text{ m}^2$$

kecepatan angular poros:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 30}{60} = \pi \text{ rad/s}$$

percepatan head tekanan:

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{l}{g} \times \frac{A}{a} \omega^2 r = \frac{8}{9,81} \times \frac{0,03142}{0,00785} \times (\pi)^2 \times 0,15 \\ &= 4,8 \text{ m} \end{aligned}$$

head torak pada permulaan langkah torak:

$$H_{torak} = H - (H_s + H_a) = 10,3 - (4 + 4,8) = 1,5 \text{ m}$$

b. Tekanan di tengah-tengah langkah hisap:

kecepatan air pada pipa hisap:

$$v = \frac{A}{a} \times \omega r \sin \theta = \frac{0,03142}{0,00785} \pi \times 0,15 \times 1 = 1,88 \text{ m/s}$$

Kerugian head karena gesekan:



$$H_f = \frac{4 f l v^2}{2 g d} = \frac{4 \times 0,01 \times 8 \times (1,88)^2}{2 \times 9,81 \times 0,1} = 0,6 \text{ m}$$

head tekanan di tengah-tengah langkah torak:

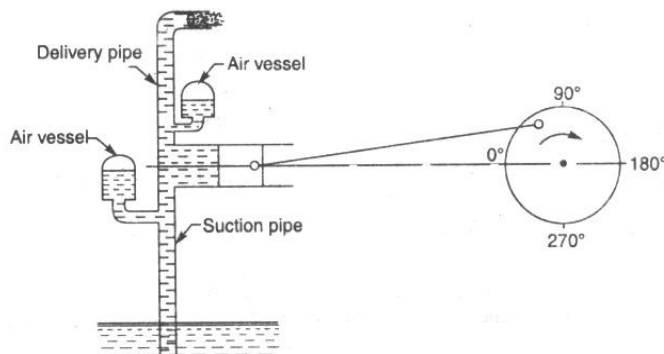
$$H_{\text{torak}} = H - (H_s - H_f) = 10,3 - (4 - 0,6) = 5,7 \text{ m}$$

c. Tekanan di akhir langkah hisap:

$$H_{\text{torak}} = H - (H_s - H_a) = 10,3 - (4 - 4,83) = 11,1 \text{ m}$$

### Bejana Udara

Bejana udara adalah suatu ruangan yang tertutup, terbuat dari besi tuang atau bahan lainnya, mempunyai lubang pada bagian dasarnya, supaya air bisa masuk atau keluar ruang bejana udara. Bejana udara di dalamnya diisi udara. Umumnya pada pompa torak dipasang dua buah bejana udara, masing-masing sebuah pada pipa hisap dan sebuah pada pipa hantar, dan diletakkan sedekat mungkin dengan silinder pompa. (lihat gambar 12).



Gambar 12. Bejana udara dipasang pada pipa hisap dan hantar.

Kegunaan bejana udara pada pompa torak adalah untuk memperoleh suatu aliran yang teratur pada bagian keluar pompa. Bila kita perhatikan gambar 10 di atas, akan terlihat bahwa pada saat awal langkah tekan, torak bergerak dengan suatu percepatan. Ini berarti bahwa air akan didorong ke dalam pipa hantar dengan kecepatan yang melebihi kecepatan rata-rata. Dalam keadaan ini kelebihan air akan mengalir ke dalam bejana udara, dan akan memampatkan udara yang ada di dalam bejana udara tersebut. Selama pertengahan langkah tekan sampai pada akhir langkah tekan, torak akan

mengalami suatu perlambatan, yang akan mengakibatkan air mengalir ke dalam pipa hantar dengan kecepatan dibawah kecepatan rata-rata. Air yang berada di dalam bejana akan segera keluar dan mengalir ke dalam pipa hantar, sehingga akan mengatasi kekurangan aliran di dalam pipa hantar. Dengan demikian kapasitas di dalam pipa hantar lebih kurang menjadi uniform (teratur). Demikian juga yang terjadi pada pipa hisap. Dalam prakteknya, kecepatan air dalam pipa hisap maupun dalam pipa hantar dapat dianggap uniform.

### Kecepatan Maksimum Poros Engkol Dengan Bejana Udara

Menurut penjelasan terdahulu, kecepatan air di dalam pipa hisap sampai di bejana udara (untuk pipa sepanjang  $l_s$ ) adalah uniform. Percepatan dan perlambatan terhadap kecepatan air, akan terjadi di dalam pipa hisap setelah bejana udara (untuk pipa sepanjang  $l_s$ ). Untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 13.

Demikian juga akan terjadi percepatan dan perlambatan terhadap kecepatan air di dalam pipa hantar sampai di bejana udara (untuk panjang pipa  $l_d$ ). Kecepatan air di dalam pipa hantar setelah bejana udara (untuk panjang pipa  $l_d$ ) adalah konstan.

Untuk menghitung kecepatan maksimum poros engkol, kita harus membatasi head separasi sebagai berikut:

$$H_{sep} = H - (H_s + H_a \text{ untuk } l_s' + H_f \text{ untuk } l_s).$$

Kecepatan konstan air di dalam pipa hisap dan di dalam pipa hantar, dapat diperoleh dengan jalan membagi kapasitas pompa dengan luas penampang pipa.

Jika ditentukan:

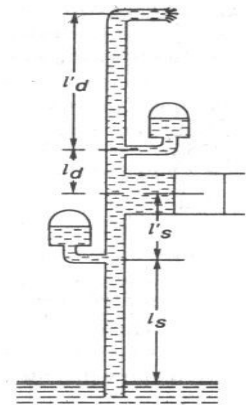
$L$  = panjang langkah

$A$  = luas penampang torak

$N$  = kecepatan pompa dalam rpm

$\omega$  = kecepatan sudut dari poros engkol

$a$  = luas penampang pipa



Gambar 13. bejana udara terpasang pada pipa.

$r$  = jari-jari engkol

$v$  = kecepatan air dalam pipa

Untuk **pompa aksi tunggal** :

$$Q = \frac{LAN}{60}$$

Kecepatan air :  $v = Q/a$

$$= \frac{LAN}{60 \times a}$$

$$= \frac{A}{a} \frac{LN}{60}$$

Sedangkan :  $L = 2r$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \text{atau : } N = \frac{60 \omega}{2\pi}$$

Maka :

$$v = \frac{A}{a} \times \frac{2r \cdot 60 \omega}{2\pi \cdot 60}$$

$$= \frac{A}{a} \times \frac{\omega r}{\pi}$$

Untuk **pompa aksi ganda** :

$$Q = \frac{2LAN}{60}$$

Kecepatan air :  $v = Q/a$

$$= \frac{2LAN}{60 \times a}$$

$$= \frac{2A}{a} \frac{LN}{60}$$

Sedangkan :  $L = 2 r$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi N}{60} \quad \text{atau :} \quad N = \frac{60 \omega}{2 \cdot \pi}$$

Maka :

$$\begin{aligned} v &= \frac{2A}{a} \times \frac{2r \frac{60 \omega}{2 \pi}}{60} \\ &= \frac{2A}{a} \times \frac{\omega r}{\pi} \end{aligned}$$

### Contoh soal

Sebuah pompa torak aksi tunggal mempunyai torak dengan diameter 250 mm dan panjang langkah 450 mm. Pipa hisap mempunyai diameter 125 mm dan panjang 12 meter dengan head 3 meter. Sebuah bejana udara dipasang pada pipa hisap pada jarak 1,5 meter dari silinder dan 10,5 meter dari penampungan air yang dihisap.

Jika penunjukan barometer 10,0 meter dan separasi terjadi pada 2,5 meter vakum, carilah kecepatan dimana poros engkol beroperasi tanpa terjadi separasi. Ambil  $f = 0,01$ .

### Jawab

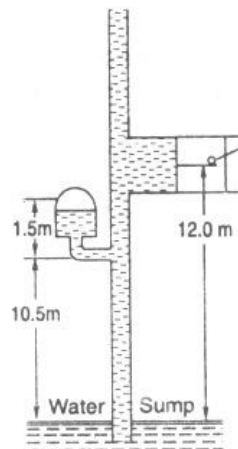
Diketahui:  $D = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$ ;  $L = 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$ ; jari-jari poros engkol,  $r = 0,45/2 = 0,225 \text{ m}$ ;  $d = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$ ;  $l = 12 \text{ m}$ ;  $H_s = 3 \text{ m}$ ;  $l_s' = 1,5 \text{ m}$ ;  $l_s = 10,5 \text{ m}$ ;  $H = 10 \text{ m}$ ;  $H_{sep} = 2,5 \text{ m}$ ; dan  $f = 0,01$ .

Karena bejana udara dipasang pada pipa hisap, maka:

1. Terdapat kerugian head karena gesekan pada pipa hisap sepanjang 10,5 meter.
2. Terdapat percepatan head tekanan pada pipa hisap sepanjang 1,5 meter.

Luas penampang torak:

Asyari D. Yunus



as Darma Persada - Jakarta

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D)^2 = \frac{\pi}{4} (0,25)^2 = 0,0491 \text{ m}^2$$

Luas penampang pipa hisap:

$$a = \frac{\pi}{4} \times (d)^2 = \frac{\pi}{4} (0,125)^2 = 0,0123 \text{ m}^2$$

Kecepatan air pada pipa hisap:

$$v = \frac{A}{a} \times \frac{\omega r}{\pi} = \frac{0,0491}{0,0123} \times \frac{\omega \times 0,225}{\pi} = 0,286 \omega \text{ m/s}$$

Kerugian head karena gesekan:

$$H_f = \frac{4 f l v^2}{2 g d} = \frac{4 \times 0,01 \times 10,5 (0,286 \omega)^2}{2 \times 9,81 \times 0,125} = 0,014 \omega^2$$

percepatan head tekanan pada pipa hisap sepanjang 1,5 meter:

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{l}{g} \times \frac{A}{a} \times \omega^2 r = \frac{1,5}{9,81} \times \frac{0,0491}{0,0123} \times \omega^2 \times 0,225 \\ &= 0,137 \omega^2 \end{aligned}$$

Head separasi:

$$\begin{aligned} 2,5 &= H - (H_s + H_a + H_f) = 10 - (3 + 0,137 \omega^2) \\ &= 7 - 0,151 \omega^2 \end{aligned}$$

$$\omega^2 = \frac{7 - 2,5}{0,151} = 29,8 \quad \text{atau} \quad \omega = 5,46 \text{ rad/s}$$

Kecepatan poros engkol:

$$\omega = \frac{2 \pi N}{60}$$

$$5,46 = \frac{2 \pi N}{60} = 0,105 N$$

$$N = 5,46 / 0,105 = 52 \text{ rpm}$$

**Soal-soal**

1. Apa yang dimaksud dengan pompa sentrifugal, dan bagaimana prinsip kerjanya.
2. Sebutkan jenis-jenis rumah pompa untuk impeller pompa sentrifugal.
3. Terangkan fungsi rumah pompa spiral pada pompa sentrifugal.
4. Sebuah pompa sentrifugal mempunyai diameter luar 30 cm dan diameter dalam 15 cm. Sudut sudu sisi masuk adalah  $25^{\circ}$  dan sisi keluar  $30^{\circ}$  dan pompa beroperasi pada 1450 rpm. Jika kecepatan aliran konstan, carilah kerja yang dilakukan air.
5. Sebuah pompa sentrifugal mempunyai diameter luar 75 cm dan diameter dalam 40 cm, dan beroperasi pada 1000 rpm. Sudu mempunyai kurva ke belakang sebesar  $35^{\circ}$  terhadap sisi keluar. Jika kecepatan aliran konstan pada 6 m/s, carilah:
  - a. Sudut sudu sisi masuk.
  - b. Kerja yang dilakukan per kg air.
6. Mengapa pompa torak disebut pompa perpindahan positif?
7. Jelaskan perbedaan antara *koefisien discharge* dan *slip* pompa torak.
8. Sebuah pompa torak aksi tunggal mempunyai plunyer dengan diameter 15 cm dan langkah 22,5 cm. Jika pompa menghantarkan air 115 liter/min pada 30 rpm, carilah:
  - a. Kapasitas pompa teoritis.
  - b. Koefisien discharge.
  - c. Slip pompa.
9. Sebuah pompa torak aksi ganda mempunyai silinder dengan diameter 15 cm dan langkah 30 cm, digunakan untuk menaikkan air dengan total head 30 m. Carilah daya kuda yang diperlukan untuk menggerakkan pompa, jika engkol berputar pada 60 rpm.