

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 (η_{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 (η_{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 (η_{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:

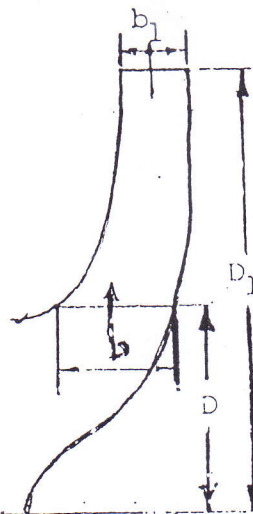
$$Q = \pi.D.b.V_f = \pi.D_1.b_1.V_{f1}$$

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:

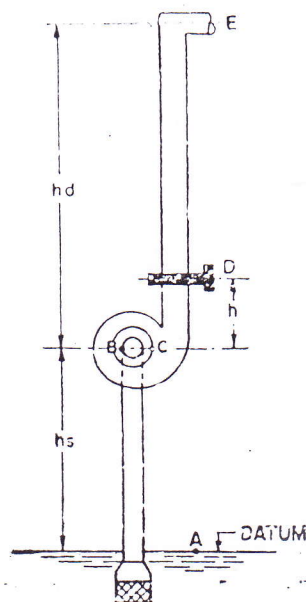
$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \frac{V_{w1} \cdot U_1}{g}$$

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

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 100^0C . Tetapi jika tekanannya lebih rendah dari 1 atmosfer maka air tersebut akan mendidih pada suhu yang lebih rendah dari 100^0C . 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:

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

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

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

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.

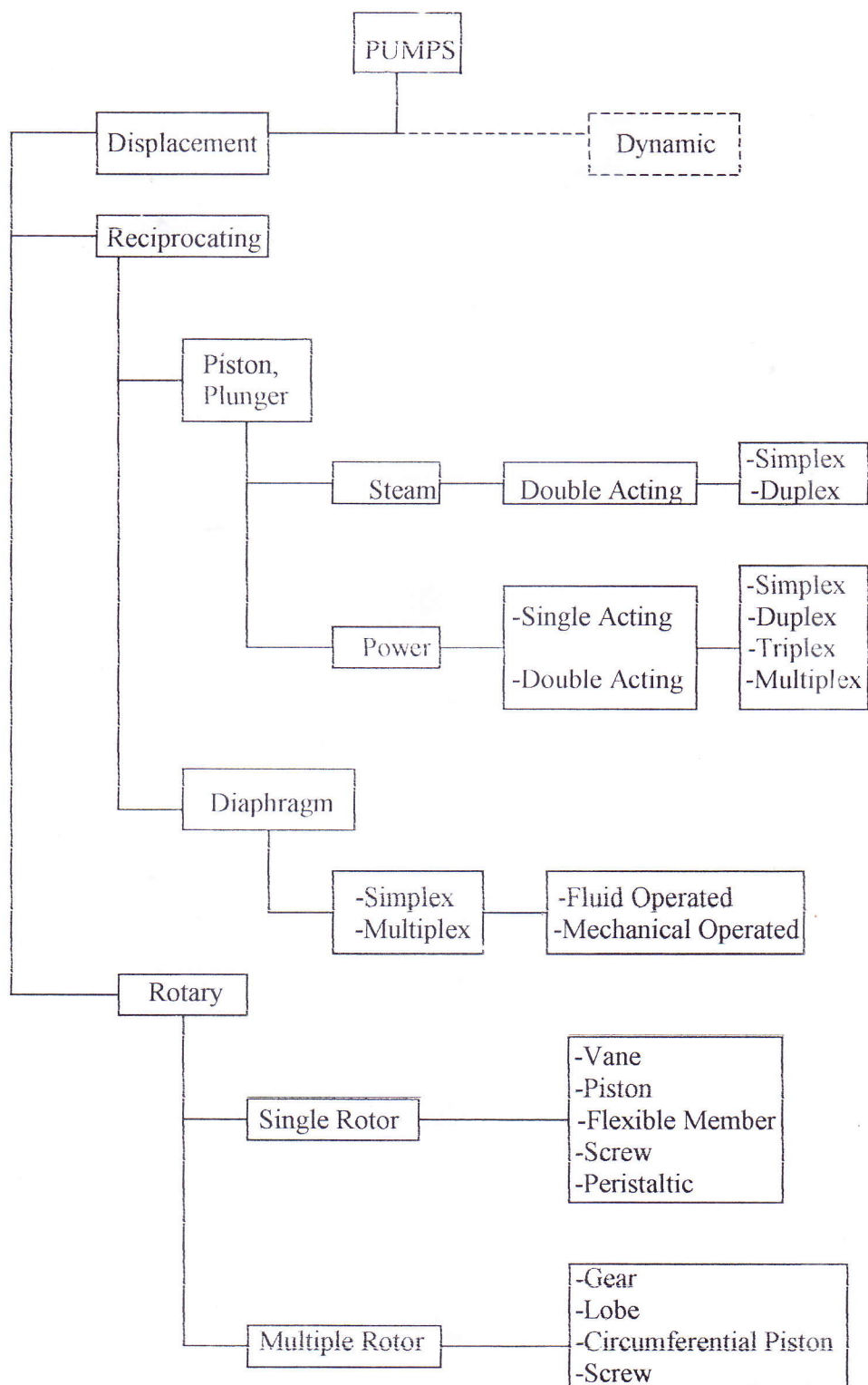
H_d = tekanan uap jenuh

n = putaran pompa

Q = debit pompa

s = factor yang tergantung dari konstruksi pompa

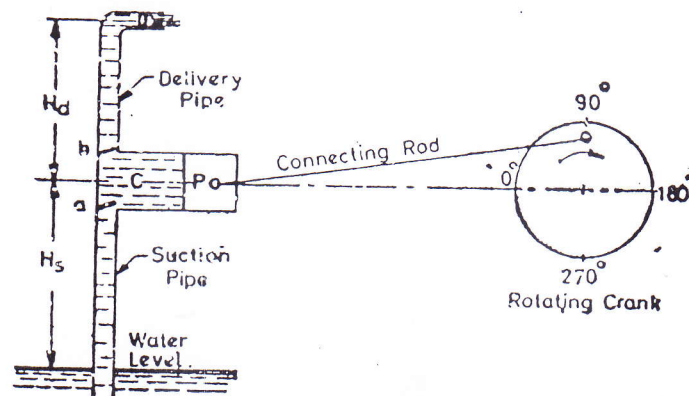
2.1.2. **Pompa perpindahan (displacement).** Energi secara periodeik ditambahkan dengan memberikan suatu gaya terhadap fluida didalam ruang pompa. Selanjutnya akan didapat penambahan tekanan secara langsung sampai suatu nilai yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida melalui katup buang yang diteruskan ke saluran 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:

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