

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Dasar Teori Pompa

2.1.1. Definisi Pompa

Pompa merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan - hambatan pengaliran. Hambatan - hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek. Klasifikasi pompa secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*).

1. Pompa pemindah positif (*positive displacement pump*)

Pompa jenis ini merupakan pompa dengan ruangan kerja yang secara periodik berubah dari besar ke kecil atau sebaliknya, selama pompa bekerja. Energi yang diberikan kepada cairan ialah energi potensial, sehingga cairan berpindah volume per volume.

Yang termasuk dalam kelompok pompa pemindah positif antara lain:

- a. Pompa *Reciprocating*
 - Pompa torak
- b. Pompa *Diaphragma*

c. Pompa Rotari

- Pompa *vane*
- Pompa *screw*
- Pompa roda gigi

2. Pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*)

Pompa jenis ini adalah suatu pompa dengan volume ruang yang tidak berubah pada saat pompa bekerja. Energi yang diberikan pada cairan adalah energi kecepatan, sehingga cairan berpindah karena adanya perubahan energi kecepatan yang kemudian dirubah menjadi energi dinamis di dalam rumah pompa itu sendiri.

Yang termasuk dalam kelompok pompa kerja dinamis antara lain:

a. Pompa kerja khusus

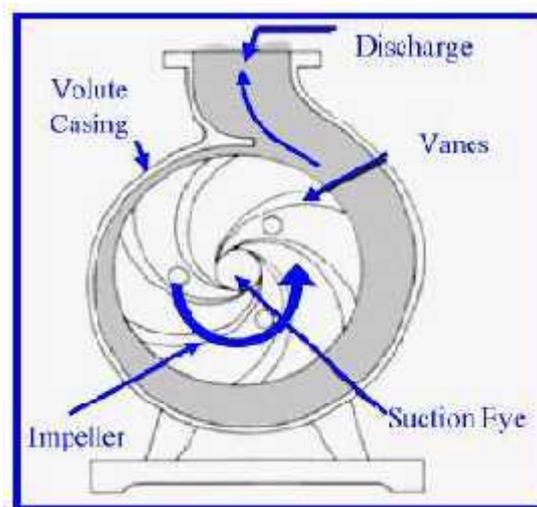
- Pompa Jet
- Pompa Hidran
- Pompa Elektromagnetik

b. Pompa sentrifugal (*Centrifugal Pumps*)

Salah satu jenis pompa kerja dinamis adalah pompa sentrifugal yang prinsip kerjanya mengubah energi kinetik (kecepatan) cairan menjadi energi potensial melalui suatu impeller yang berputar dalam *casing*. Gaya sentrifugal yang timbul karena adanya gerakan sebuah benda atau partikel melalui lintasan lengkung (melingkar).

Pompa sentrifugal merupakan pompa kerja dinamis yang paling banyak digunakan karena mempunyai bentuk yang sederhana dan harga yang relatif murah. Keuntungan pompa sentrifugal dibandingkan jenis

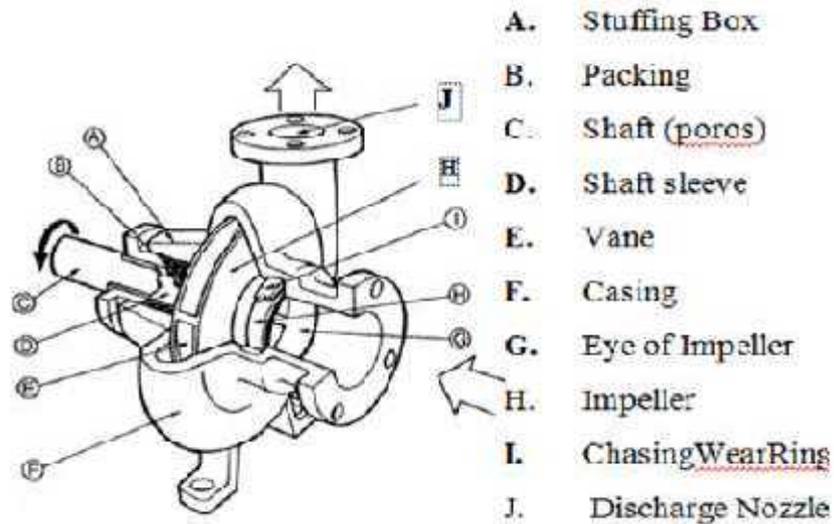
pompa perpindahan positif adalah gerakan impeler yang kontinyu menyebabkan aliran tunak dan tidak berputar, keandalan operasi tinggi disebabkan gerakan elemen yang sederhana dan tidak adanya katup-katup, kemampuan untuk beroperasi pada putaran tinggi, yang dapat dikopel dengan motor listrik, motor bakar atau turbin uap ukuran kecil sehingga hanya membutuhkan ruang yang kecil, lebih ringan dan biaya instalasi ringan, harga murah dan biaya perawatan murah.



Gambar 2.1 Lintasan Aliran Cairan Pompa Sentrifugal.

- Bagian-bagian pompa sentrifugal

Secara umum bagian-bagian utama pompa sentrifugal dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 2.2 Komponen Utama Pompa Sentrifugal.

a) *Stuffing Box*

Stuffing Box berfungsi untuk menerima kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.

b) *Packing*

Digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros.

c) *Shaft (poros)*

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.

d) *Shaft sleeve*

Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*.

e) *Vane*

Sudu dari impeler sebagai tempat berlalunya cairan pada impeler.

f) *Casing*

Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffuser (*guidevane*), *inlet* dan *outlet* nozel serta tempat memberikan arah aliran dari impeler dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*).

g) *Eye of Impeller*

Bagian sisi masuk pada arah isap impeler.

h) *Impeler*

Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

i) *Chasing Wear Ring*

Chasing Wear Ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeller.

j) *Discharge Nozzle*

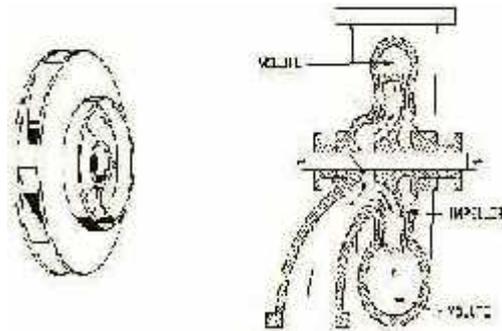
Discharge Nozzle berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari impeller. Didalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan.

- Klasifikasi Pompa Sentrifugal

- a) Menurut jenis aliran dalam impeler

- Pompa aliran radial

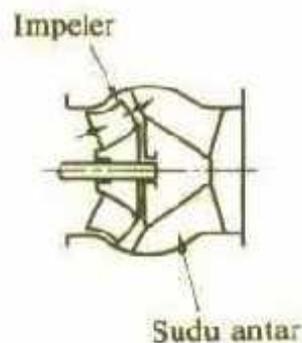
Pompa ini mempunyai konstruksi sedemikian sehingga aliran zat cair yang keluar dari impeler akan tegak lurus poros pompa (arah radial).



Gambar 2.3 Pompa sentrifugal aliran radial

- Pompa aliran campur

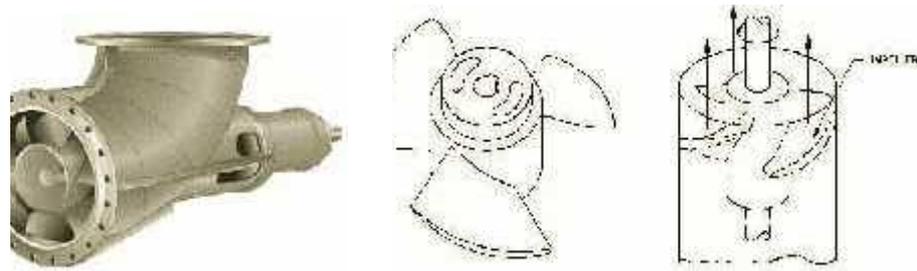
Aliran zat cair di dalam pompa waktu meninggalkan impeler akan bergerak sepanjang permukaan kerucut (miring) sehingga komponen kecepataannya berarah radial dan aksial.



Gambar 2.4 Pompa sentrifugal aliran campur.

➤ Pompa aliran aksial

Aliran zat cair yang meninggalkan impeller akan bergerak sepanjang permukaan silinder (arah aksial)

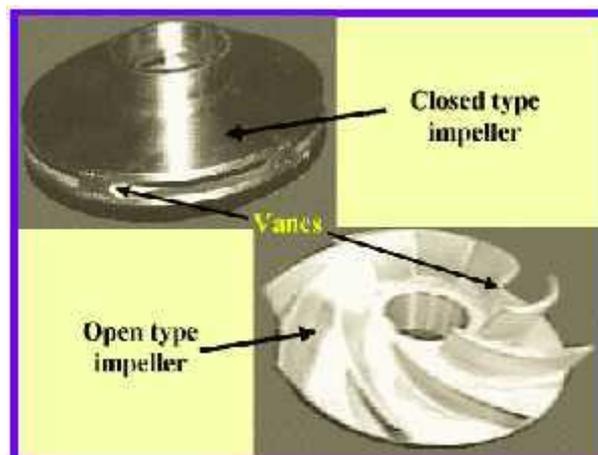


Gambar 2.5 Pompa aliran aksial

b) Menurut Jenis Impeler

➤ Impeler Tertutup

Sudu-sudu ditutup oleh dua buah dinding yang merupakan satu kesatuan, digunakan untuk pemompaan zat cair yang bersih atau sedikit mengandung kotoran.



Gambar 2.6 Impeler

➤ Impeler setengah terbuka

Impeler jenis ini terbuka di sebelah sisi masuk (depan) dan tertutup di sebelah belakangnya. Sesuai untuk memompa zat cair yang sedikit mengandung kotoran misalnya : air yang mengandung pasir, zat cair yang mengauskan, *slurry*, dll.

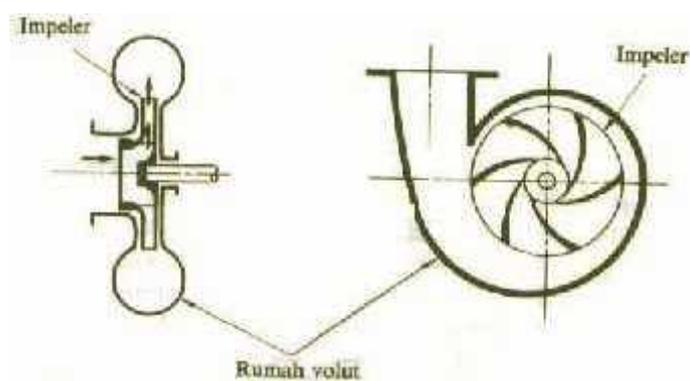
➤ Impeler terbuka

Impeler jenis ini tidak ada dindingnya di depan maupun di belakang. Bagian belakang ada sedikit dinding yang disisakan untuk memperkuat sudu. Jenis ini banyak digunakan untuk pemompaan zat cair yang banyak mengandung kotoran.

c) Menurut Bentuk Rumah

➤ Pompa volut

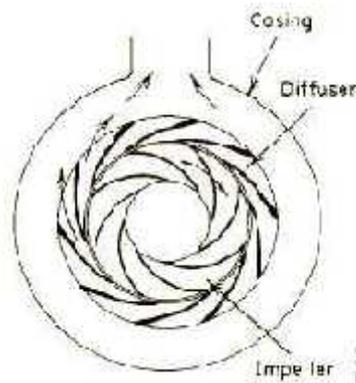
Bentuk rumah pompanya seperti rumah keong/siput (*volute*), sehingga kecepatan aliran keluar bisa dikurangi dan dihasilkan kenaikan tekanan.



Gambar 2.7 Pompa volut

➤ Pompa diffuser

Pada keliling luar impeller dipasang sudu *diffuser* sebagai pengganti rumah keong.



Gambar 2.8 Pompa diffuser

➤ Pompa aliran campur jenis volut

Pompa ini mempunyai impeller jenis aliran campur dan sebuah rumah volut.

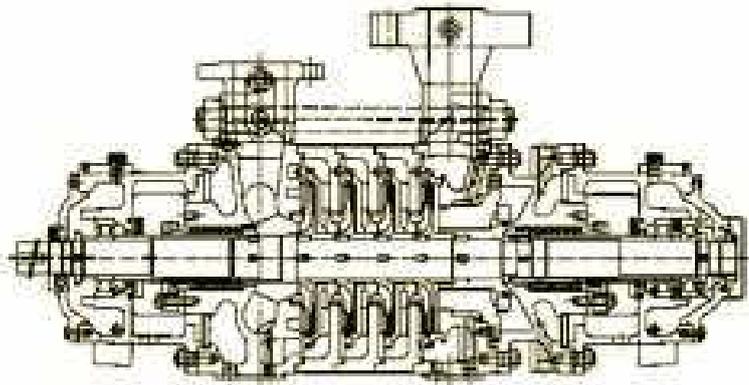
d) Menurut jumlah tingkat

➤ Pompa satu tingkat

Pompa ini hanya mempunyai satu impeler. Head total yang ditimbulkan hanya berasal dari satu impeler, jadi relatif rendah.

➤ Pompa bertingkat banyak

Pompa ini menggunakan beberapa impeler yang dipasang secara berderet (seri) pada satu poros. Zat cair yang keluar dari impeler pertama dimasukkan ke impeler berikutnya dan seterusnya hingga impeler terakhir. *Head* total pompa ini merupakan jumlahan dari head yang ditimbulkan oleh masing masing impeler sehingga relatif tinggi.



Gambar 2.9 Pompa *Multistage*

e) Menurut letak poros

Menurut letak porosnya, pompa dapat dibedakan menjadi poros horizontal dan poros vertikal seperti pada gambar berikut ini:

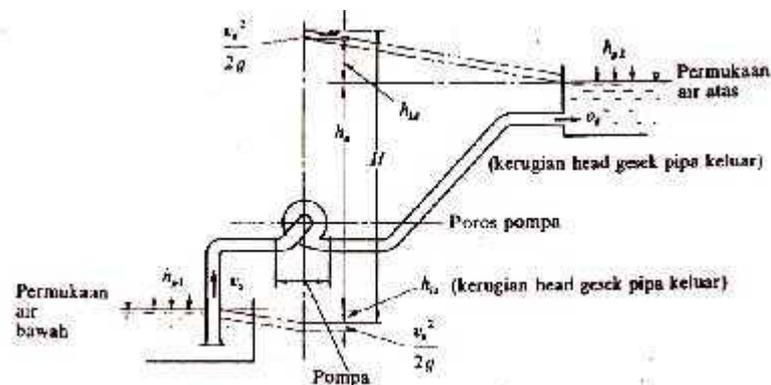


Gambar 2.10 Poros Vertikal dan Horizontal

2.1.2. Head Pompa

2.1.2.1. Head Total Pompa

Dalam memilih suatu pompa untuk maksud tertentu, terlebih dahulu harus diketahui aliran serta *head* yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa. *Head* pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai kondisi instalasi pompa atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. *Head* dapat bervariasi pada penampang yang berbeda, tetapi pada kenyataannya selalu ada rugi energi. *Head* total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.



Gambar 2.11. *Head* Pompa

Dari gambar 2.11 kita dapat menentukan *head* total pompa dengan persamaan dibawah ini :

$$H_{sis} = h_a + h_p + h_l + \frac{vd^2}{2g} \dots\dots\dots 1$$

dimana H_{sis} = Head sistem pompa (m)

h_a = Head statis pompa (m)

h_p = Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua
kedua permukaan (m) $h_p = h_{p2} - h_{p1}$

h_l = kerugian head di pipa, katup, belokan,
sambungan, dll (m) $h_l = h_{ld} + h_{ls}$

$vd^2/2g$ = Head kecepatan keluar (m)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Head total pompa salah satunya dipengaruhi oleh berbagai kerugian pada sistem perpipaan yaitu gesekan dalam pipa, katup, belokan, sambungan, reduser dll. Untuk menentukan *head* total yang harus disediakan pompa, perlu menghitung terlebih dahulu kerugaian-kerugaian pada instalasi. Dimana kerugian-kerugian tersebut akan dijumlahkan untuk mengetahui kerugian *head* yang terjadi dalam instalasi. Berikut akan dihitung kerugian *head* pemipaan dan instalasi pengujian pompa.

2.1.2.2. Kerugian Head

Berikut ini adalah macam-macam kerugian dalam instalasi pompa antara lain :

1. *Head* kerugian gesek dalam pipa lurus, dirumuskan sebagai berikut:

$$h_f = \frac{10,666 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \times L \dots\dots\dots 2$$

¹Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 26

²Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 31

dimana h_f = Head kerugian gesek (m)

Q = Kapasitas pompa (m³/s)

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

C = Koefisien pipa

2. Kerugian belokan dirumuskan sebagai berikut :

$$h_f = f \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots 3$$

dimana: h_f = Head kerugian belokan (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

G = Gaya gravitasi (m/s²)

D = Diameter dalam pipa (m)

F = Koefisien kerugian

3. Kerugian katup isap dengan saringan

$$h_f = f \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots 4$$

dimana h_f = Head kerugian katup isap (m)

f = Koefisien kerugian katup isap

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

³Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 32

⁴Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 38

4. Kerugian karena pengecilan penampang pipa secara mendadak

$$h_f = \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots 5$$

dimana h_f = Head kerugian katup isap (m)

v_2 = Kecepatan aliran sisi keluar (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

2.1.3. Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik merupakan indeks jenis pompa yang memakai kapasitas, putaran pompa dan tinggi tekan yang diperoleh pada titik efisiensi maksimum pompa, kecepatan spesifik digunakan untuk menentukan bentuk umum impeler.

Kecepatan spesifik dapat didefinisikan seperti persamaan berikut :

$$n_s = n \frac{Q^{0.5}}{H^{0.75}} \dots\dots\dots 6$$

n_s = Putaran spesifik (rpm)

Q = Kapasitas spesifik (m/s)

H = Head pompa (m)

n = Putaran pompa (rpm)

dimana dalam persamaan diatas digunakan untuk pompa-pompa yang sebangun bentuk impelernya, meskipun ukuran dan putarannya berbeda. Dengan kata lain harga n_s dapat dipakai sebagai parameter untuk menyatakan jenis pompa. Dalam menghitung n_s untuk pompa sentrifugal jenis isapan ganda (*double suction*) nilai Q dari persamaan adalah $Q/2$.n.

⁵Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 36

⁶Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 5

2.1.4. Penentuan Daya

Dari instalasi pengujian pompa ini dapat diketahui besarnya daya hidrolis yang dibangkitkan dan daya motor penggerak yang diperlukan untuk menggerakkannya, sehingga besarnya efisiensi dari pompa dan efisiensi sistem instalasi pengujian pompa dapat diketahui. Besarnya daya dan besarnya efisiensi tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Daya Hidrolis

Daya hidrolis (daya pompa teoritis) adalah daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_h = \gamma \times h_{tot} \times Q \dots\dots\dots 7$$

dimana,

- P_h = Daya Hidrolis (kW)
- γ = Berat jenis air (kN/m³)
- Q = Debit (m³/s)
- h_{tot} = Head Total (m)

Daya Motor

Daya motor pompa 1 phasa dapat dihitung dengan cara menggunakan data voltase dan arus listrik dengan rumus berikut ini:

$$P_s = V \times I \times \text{FD} \dots\dots\dots 8$$

⁷Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 53

⁸_____, Bahan Ajar Mesin-Mesin Listrik, PSD III Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, 2013, hal. 181

dimana P_s = Daya Motor (W)
 V = Tegangan Listrik (volt)
 I = Arus Listrik (Ampere)
 FD = Faktor Daya

Faktor Daya

Faktor daya merupakan daya aktif (kW) terhadap daya semu (kVA) = *cosines* yang terbentuk diantara kedua vektor daya tersebut. Faktor daya dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Power\ Factor = \frac{\text{daya aktif (Ps)}}{\text{daya semu (S)}} \dots\dots\dots 9$$

Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara output dan input atau antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa. Harga efisiensi yang tertinggi sama dengan satu harga efisiensi pompa yang didapat dari pabrik pembuatnya. Rumus efisiensi dapat dilihat seperti berikut ini :

$$p = \frac{P_h}{P_s} \times 100\% \dots\dots\dots 10$$

dimana,

p = Efisiensi Pompa (%)

P_h = Daya Hidrolis (kW)

P_s = Daya Motor (kW)

⁹Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 5

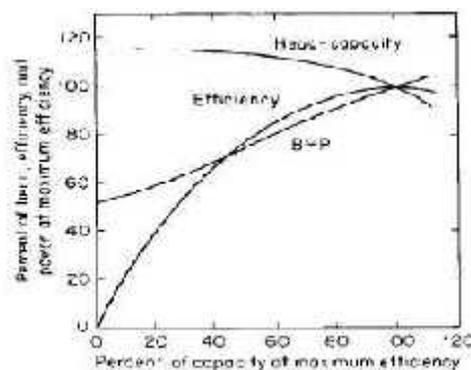
¹⁰Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6, 1996, hal. 5

2.1.5. Karakteristik Pompa

Karakteristik dari pompa sentrifugal merupakan hubungan antara tekanan yang dibangkitkan (head) dan kecepatan aliran volum (kapasitas). Karakteristik dapat juga menyertakan kurva efisiensi dan harga *brake horse power* - nya. Karakteristik pompa sentrifugal dapat digambarkan dalam kurva karakteristik yang melukiskan jalannya lintasan dan besaran-besaran tertentu terhadap besaran kapasitas, besaran-besaran itu adalah:

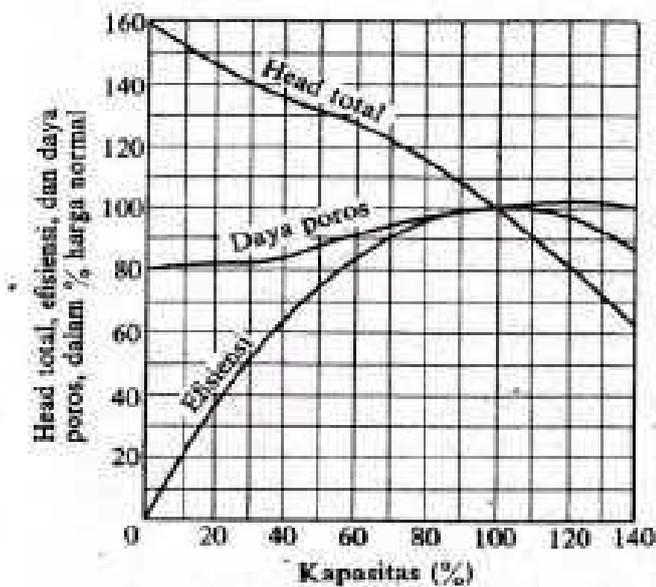
- Head pompa (H)
- Daya pompa (P)
- Efisiensi pompa (η)

Karakteristik pompa berbeda-beda berdasarkan pada jenis pompa, putaran spesifik dan pabrik pembuatnya. Contoh karakteristik sebuah pompa dapat digambarkan dalam gambar 2.12 Kurva-kurva karakteristik, yang menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa, terhadap kapasitas. Kurva performansi tersebut, pada umumnya digambarkan pada putaran yang tetap. Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk lengkung seperti kurva berikut:

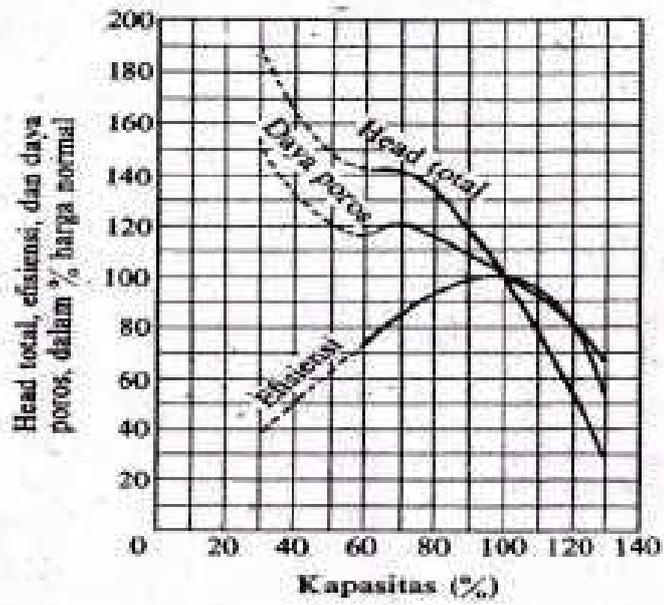


Gambar 2.12 Kurva *Head* Efisiensi dan Daya

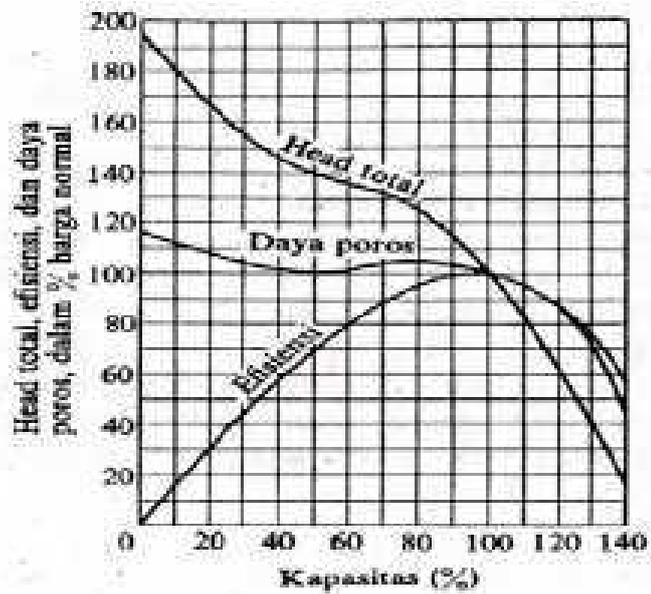
Dari grafik dibawah ini terlihat bahwa kurva *head* – kapasitas menjadi semakin curam pada pompa dengan harga n_s yang semakin besar. Disini head pada kapasitas nol (*shutoffhead*) semakin tinggi pada n_s yang semakin besar. Kurva daya terhadap kapasitas mempunyai harga minimum bila kapasitas aliran sama dengan nol pada pompa sentrifugal dengan n_s kecil. Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk mendekati busur lingkaran. Harga efisiensinya hanya sedikit menurun bila kapasitas berubah menjauhi harga optimumnya. Dalam memilih pompa yang tepat bagi keperluan tertentu, karakteristik pompa seperti diuraikan diatas sangat penting untuk diperhatikan dan dipertimbangkan.



Gambar 2.13 Kurva karakteristik pompa volut



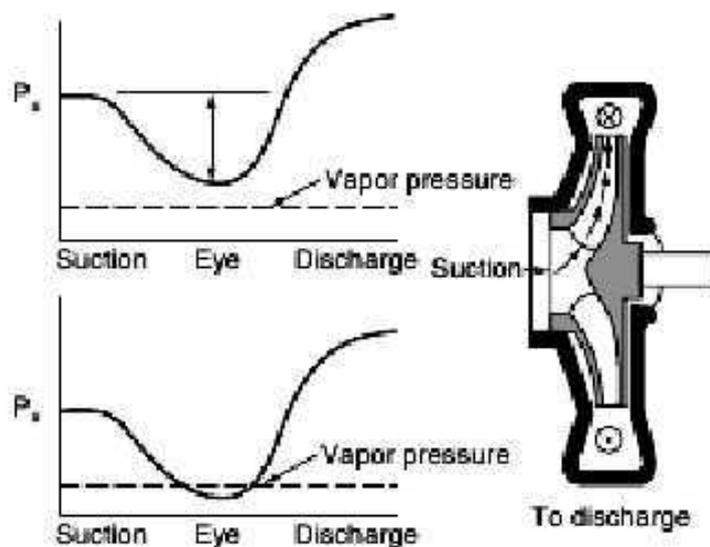
Gambar 2.14 Kurva karakteristik pompa aliran aksial



Gambar 2.15 Kurva karakteristik pompa aliran campur

2.1.6. Kavitasasi

Kavitasasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya turun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Ketika zat cair terhisap pada sisi isap pompa, tekanan pada permukaan zat cair akan turun, bila tekanannya turun sampai pada tekanan uap jenuhnya, maka cairan akan menguap dan membentuk gelembung uap. Selama bergerak sepanjang impeller, kenaikan tekanan akan menyebabkan gelembung uap pecah dan menumbuk permukaan pompa. Jika permukaan saluran / pipa terkena tumbukan gelembung uap tersebut secara terus menerus dalam jangka lama akan mengakibatkan terbentuknya lubang- lubang pada dinding saluran atau sering disebut erosi kavitasasi. Pengaruh lain dari kavitasasi adalah timbulnya suara berisik, getaran dan turunnya performansi pompa. Fenomena tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 2.16 Perubahan tekanan pada sisi isap pompa

2.1.7 Cara Menghindari Kavitas

Kavitas pada dasarnya dapat dicegah dengan membuat NPSH yang tersedia lebih besar dari pada NPSH yang diperlukan. Dalam perencanaan instalasi pompa, hal - hal berikut harus diperhitungkan untuk menghindari kavitas.

- a. Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head isap statis menjadi rendah pula.
- b. Pipa isap harus dibuat sependek mungkin. Jika terpaksa dipakai pipa isap yang panjang, sebaiknya diambil pipa yang berdiameter satu nomor lebih besar untuk mengurangi kerugian gesek.
- c. Hindari penggunaan katup yang tak perlu dan menekuk pipa pengisapan.
- d. Hindari masuknya udara pada sisi hisap pompa