

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
 - Pompa plunger
- b. Pompa Diaphragma
- c. Pompa Rotari

- Pompa vane
- Pompa lobe
- 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 enersi kecepatan, sehingga cairan berpindah karena adanya perubahan enersi kecepatan yang kemudian dirubah menjadi enersi dinamis di dalam rumah pompa itu sendiri.

Yang termasuk dalam kelompok pompa kerja dinamis antara lain:

a. Pompa kerja khusus

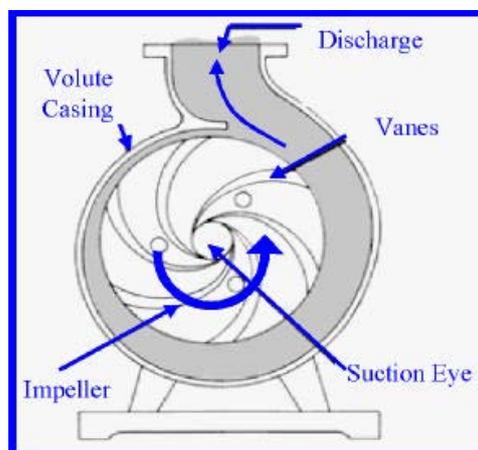
- Pompa Jet
- Pompa Hydran
- Pompa Elektromagnetik

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

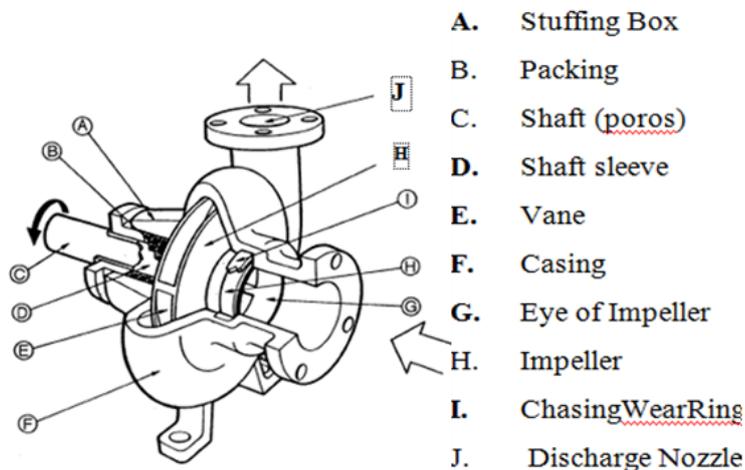
pompa perpindahan positif adalah gerakan impeler yang kontinyu menyebabkan aliran tunak dan tidak berpulsa, keandalan operasi tinggi disebabkan gerakan elemen yang sederhana dan tidak adanya katup-katup, kemampuan untuk beroperasi pada putaran tinggi, yang dapat dikopel dengan motor listrik, motor bakar 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 mencegah 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 impeller sebagai tempat berlalunya cairan pada impeller.

f. Casing

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

g. Eye of Impeller

Bagian sisi masuk pada arah isap impeller.

h. Impeller

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

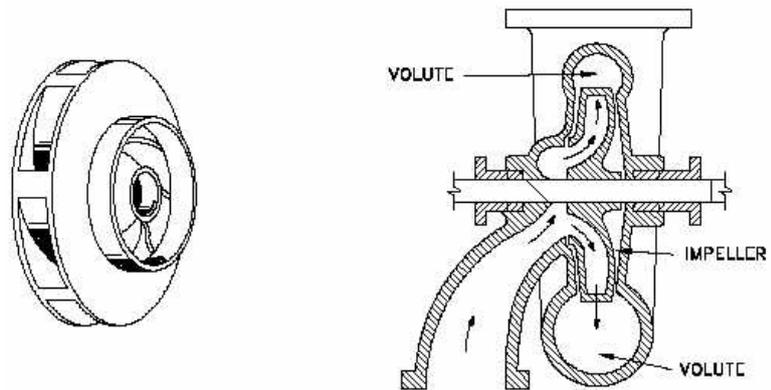
Discharge Nozzle berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari impeller. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan.

- Klasifikasi Pompa Sentrifugal

1. Menurut jenis aliran dalam impeller

- a. Pompa aliran radial

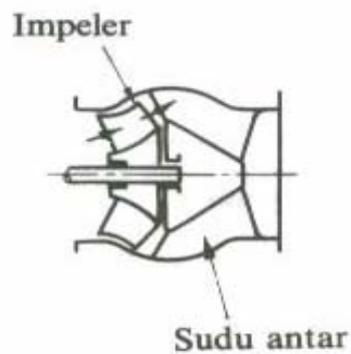
Pompa ini mempunyai konstruksi sedemikian sehingga aliran zat cair yang keluar dari impeller akan tegak lurus poros pompa (arah radial).



Gambar 2.3. Pompa sentrifugal aliran radial

b. Pompa aliran campur

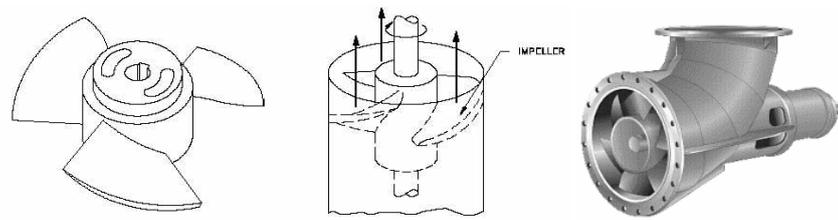
Aliran zat cair didalam pompa waktu meninggalkan impeler akan bergerak sepanjang permukaan kerucut (miring) sehingga komponen kecepatannya berarah radial dan aksial.



Gambar 2.4. Pompa sentrifugal aliran campur.

c. Pompa aliran aksial

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

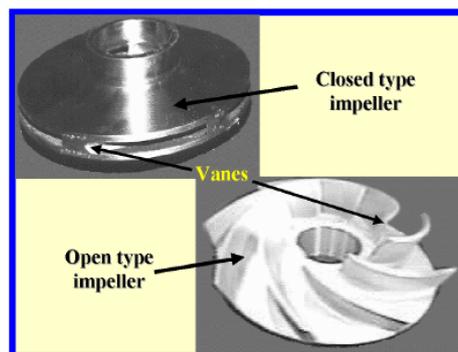


Gambar 2.5. Pompa aliran aksial

2. Menurut Jenis Impeler

a. 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

b. 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.

c. Impeler terbuka

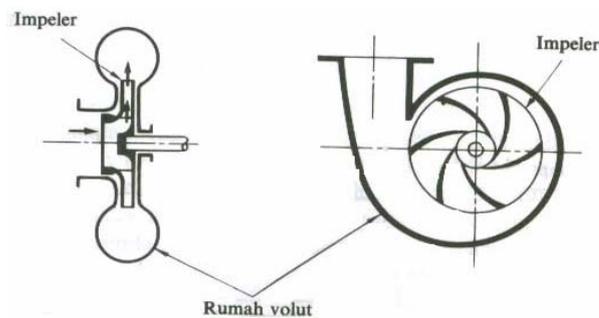
Impeler jenis ini tidak ada dindingnya di depan maupun di belakang. Bagian belakang adasekit dinding yang disisakan

untuk memperkuat sudu. Jenis ini banyak digunakan untuk pemompaan zat cair yang banyak mengandung kotoran.

3. Menurut Bentuk Rumah

a. Pompa volut

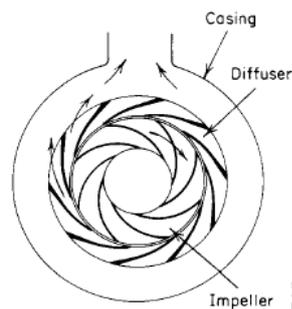
Bentuk rumah pompanya seperti rumah keong/siput (volute), sehingga kecepatan aliran keluar bisa dikurangi dan dihasilkan kenaikan tekanan.



Gambar 2.7. Pompa volut

b. Pompa diffuser

Pada keliling luar impeler dipasang sudu diffuser sebagai pengganti rumah keong.



Gambar 2.8. Pompa difuser

c. Pompa aliran campur jenis volut

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

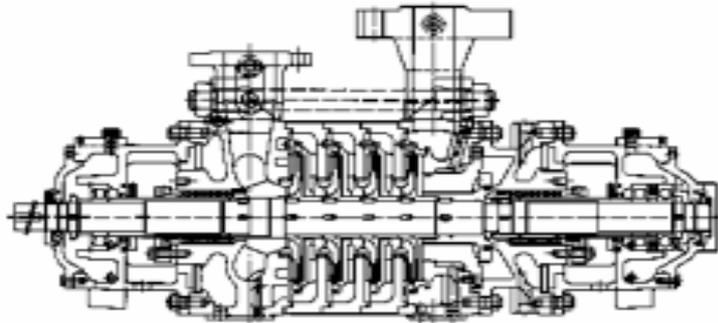
4. Menurut jumlah tingkat

a. Pompa satu tingkat

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

b. 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 jumlah dari head yang ditimbulkan oleh masing-masing impeler sehingga relatif tinggi.



Gambar 2.9. Pompa Multistage

5. Menurut letak poros

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

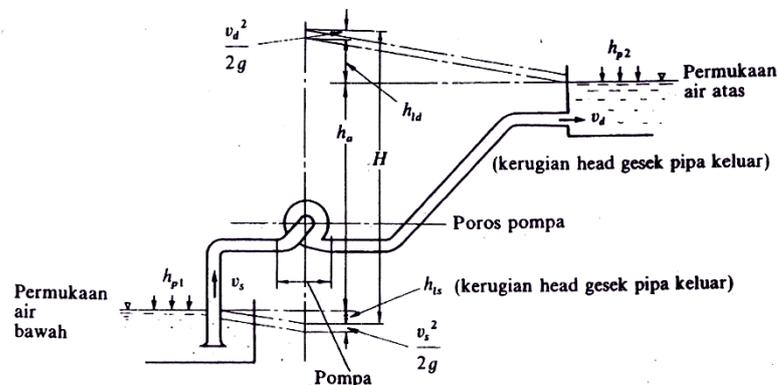


Gambar 2.10. Poros Vertikal dan Horizontal

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:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V_d^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana :
- H : Head total pompa (m)
 - h_a : Head statis total (m)
 - Δh_p : Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan(m), $\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1}$
 - h_l : Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan, dll (m) $h_l = h_{ld} + h_{ls}$
 - $v_d^2/2g$: Head kecepatan keluar (m)
 - g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Head total pompa salah satunya dipengaruhi oleh berbagai kerugian pada sistem perpipaan yaitugesekan dalam pipa, katup, belokan, sambungan, reduser dll. Untuk menentukan head total yang harus disediakan pompa, perlu menghitung terlebih dahulu kerugaian-kerugaian pada instalasi. Dimanakerugian-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:

¹Sumber : Ir. Sularso, MSME, Prof. DR. Haruo Tahara, 1983, Pompa dan Kompresor, PT. Pradnya Paramita: Jakarta, Halaman 26

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

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

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 θ , dirumuskan sebagai berikut :

$$h_f = f \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (3)$$

$$f = 0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \left(\frac{\theta}{\theta} \right)^{0,5} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana: h_f : Head kerugian belokan (m)
 v : Kecepatan aliran (m/s)
 g : Gaya gravitasi (m/s²)
 D :Diameter dalam pipa (m)
 R :Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)
 θ : Sudut belokan (derajat)
 f : Koefisien kerugian

3. Kerugian katup isap dengan saringan

$$h_f = f \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (5)$$

²Sumber : Ibid, Halaman 31

³Sumber : Ibid, Halaman 32

⁴Sumber : Ibid, Halaman 34

Dimana: h_f : Head kerugian katup isap (m)
 f : Koefisien kerugian katup isap
 v : Kecepatan aliran m/s
 g : Gaya gravitasi (m/s^2)

4. Kerugian karena pengecilan penampang pipa secara mendadak

$$h_f = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana : h_f : Head kerugian kecepatan keluar (m)
 v_2 : Kecepatan aliran sisi keluar (m/s)
 g : Gaya gravitasi (m/s^2)

5. Kerugian karena perbesaran penampang secara mendadak

$$h_f = f \frac{(v_1 - v_2)}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana : h_f : Head kerugian kecepatan keluar (m)
 v_1 : Kecepatan aliran sisi masuk/diameter kecil (m/s)
 v_2 : Kecepatan aliran sisi keluar/diameter besar (m/s)
 g : Gaya gravitasi (m/s^2)
 f : Koefisien kerugian

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

⁵Sumber : Ibid, Halaman 38

⁶Sumber : Ibid, Halaman 36

⁷Sumber : Ibid, Halaman 36

pompa, kecepatan spesifik digunakan untuk menentukan bentuk umum impeler. Kecepatan spesifik dapat didefinisikan seperti persamaan berikut

$$n_s = n \frac{Q^{0.5}}{H^{0.75}} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana : n_s = Putaran spesifik
 Q = Kapasitas spesifik (m/s)
 H = Head pompa (m)
 n = Putaran pompa (rpm)

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 $Q/2$. Karena kapasitas aliran melalui sebelah impeler adalah setengah dari kapasitas aliran keseluruhan.

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 efesiensi dari pompa dan efesiensi sistem instalasi pengujian pompa dapat diketahui. Besarnya daya dan besarnya efesiensi tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

⁸Sumber : Ibid, Halaman 5

2.1.4.1. Daya Hidrolis

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

$$P_h = \gamma \cdot h_{tot} \cdot Q \dots\dots\dots (9)$$

Dimana : P_h : Daya Hidrolis (kW)

γ : Berat jenis air (kN/m³)

Q : Debit (m³/s)

h_{tot} : Head Total (m)

2.1.4.2. Daya Poros

Daya poros yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa adalah sama dengan daya hidrolis ditambah kerugian daya didalam pompa. Daya ini dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$P_s = \frac{P_h}{\eta_p} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana : η_p : Efisiensi Pompa

P_h : Daya Hidrolis (kW)

P_s : Daya Poros (kW)

2.1.4.3. Daya Motor

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

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos\theta \dots\dots\dots (11)$$

⁹ Sumber : Ibid, Halaman 53

¹⁰ Sumber : Ibid, Halaman 53

¹¹ Sumber : Ibid, Halaman 53

Dimana: P_i : Daya Motor (kW)
 V : Tegangan Listrik (volt)
 I : Arus Listrik (Amper)
 $\cos\theta$: Faktor Daya

2.1.4.4. 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.

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_s} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

Dimana : η_p : Efisiensi Pompa (%)
 P_h : Daya Hidrolis(kW)
 P_i : Daya Motor (kW)

2.1.5. Karakteristik Pompa

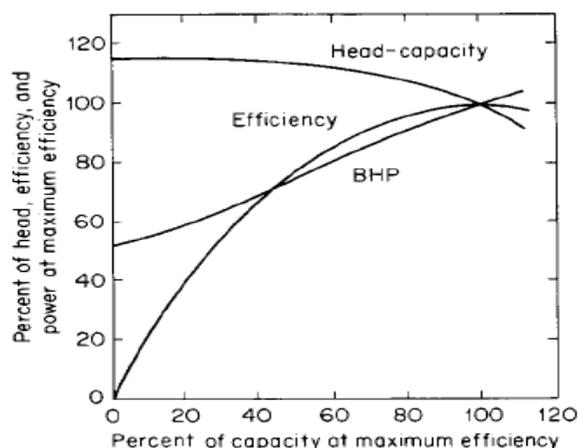
Karakteristik dari pompa sentrifugal merupakan hubungan antara tekanan yang dibangkitkan (head) dan kecepatan aliran volum (kapasitas). Karakteristik dapat juga menyertakan kurva efisiensi dan harga brake horse power-nya. Karakteristik pompa sentrifugal dapat digambarkan dalam kurva karakteristik yang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

- Head pompa (H)

¹² Sumber : Ibid, Halaman 53

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

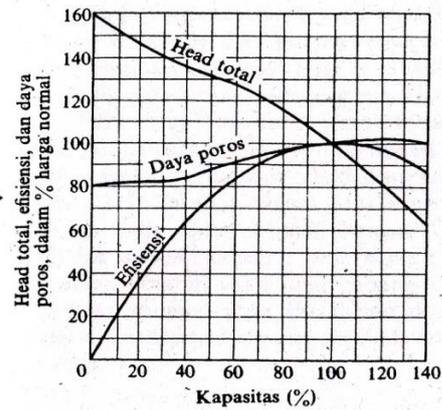
Karakteristik pompa berbeda-beda berdasarkan pada jenis pompa, putaran spesifik dan pabrik pembuatnya. Contoh karakteristik sebuah pompa dapat digambarkan dalam gambar 2.12. Kurva-kurva karakteristik, yang menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa, terhadap kapasitas. Kurva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



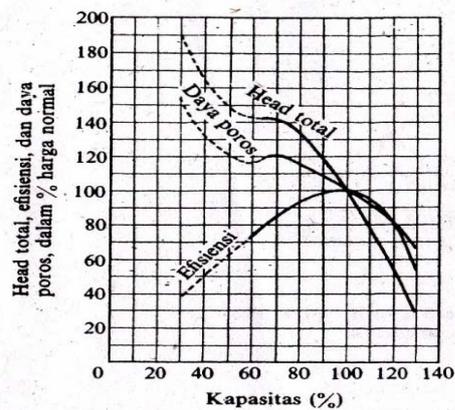
Gambar 2.12. Kurva Head, Efisiensi dan Daya

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 (*shut of head*) 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

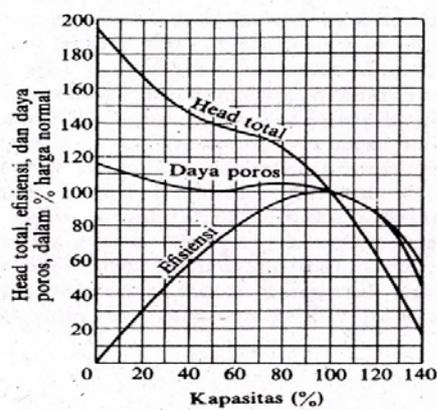
tertentu, karakteristik pompa seperti diuraikan diatas sangat penting untuk diperhatikan dan dipertimbangkan.



Gambar 2.13. Kurva karakteristik pompa volut



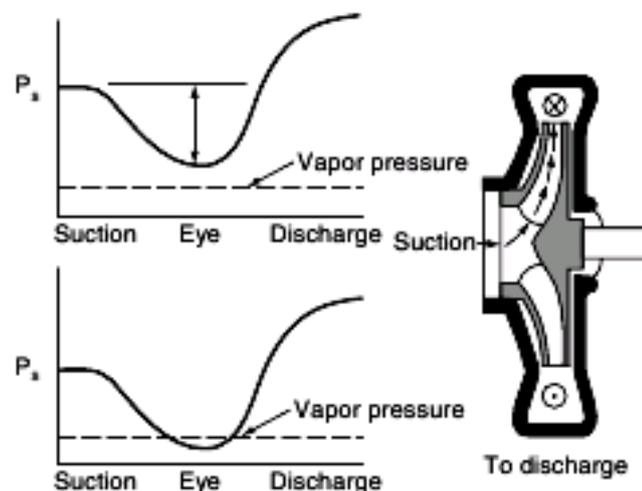
Gambar 2.14. Kurva karakteristik pompa aliran aksial



Gambar 2.15. Kurva karakteristik pompa aliran campur

2.1.6. Kavitasi

Kavitasi 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 kavitasi. Pengaruh lain dari kavitasi adalah timbulnya suara berisik, getaran dan turunnya performansi pompa. Fenomena tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.16. Perubahan tekanan pada sisi isap pompa

2.1.6.1. Net Positive Suction Head (NPSH)

Seperti uraian diatas bahwa kavitasi akan terjadi bila tekanan suatu aliran zat cair turun sampai dibawah tekanan uapnya. Jadi untuk menghindari kavitasi, harus diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran didalam sistem pompa yang mempunyai tekanan lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Begitu sebaliknya, untuk menciptakan kavitasi.

Dalam hal ini perlu diperhatikan 2 macam tekanan yang memegang peranan penting yaitu:

1. Tekanan yang ditentukan oleh kondisi lingkungan dimana pompa dipasang.
2. Tekanan yang ditentukan oleh keadaan aliran didalam pompa.

Berhubung dengan hal tersebut diatas maka NPSH atau Net Positive Suction Head, dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap kavitasi.

Dibawah ini akan diuraikan dua macam NPSH, yaitu :

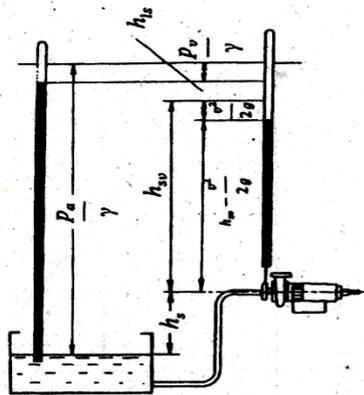
1. NPSH yang tersedia

NPSH yang tersedia adalah head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa, dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut. Dalam hal ini pompa yang menghisap dari tempat terbuka dengan tekanan atmosfer pada permukaan zat cair, NPSH yang tersedia dapat ditulis sebagai berikut :

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_{sa} - h_{ls} \quad \dots\dots\dots (13)$$

- Dimana:
- h_{sv} = NPSH yang tersedia (m)
 - P_a = Tekanan atmosfer (kgf/m^2)
 - P_v = Tekanan uap jenuh (kgf/m^2)
 - γ = Berat zat air per satuan volume (kgf/m^3)
 - h_{sa} = Head isap statis (m)
 - h_{ls} = Kerugian head sepanjang pipa isap

Dan persamaan diatas dapat dilihat bahwa tinggi hisap h_s biasanya diukur dari permukaan zat cair sampai titik tertinggi pada lubang hisap impeler (pada pompa dengan poros mendatar maupun tegak). Jika zat cair dihisap dari tangki tertutup, maka P_a dalam persamaan diatas menyatakan tekanan absolut yang bekerja pada permukaan zat cair didalam tangki tertutup tersebut.



Gambar 2.17. NPSH, bila tekanan atmosfer bekerja pada permukaan air yang diisap.

¹³Sumber : Ibid, Halaman 36

2. NPSH yang diperlukan

NPSH yang diperlukan adalah NPSH minimum yang dibutuhkan untuk membiarkan pompa bekerja tanpa kavitasi. Sebelum ini telah terlihat bahwa antara flens hisap dan permukaan sudu kipas terjadi penurunan tekanan. Turunnya tekanan itu disebabkan karena kerugian aliran dan kerugian gesek dan kemungkinan peningkatan kecepatan aliran dalam pompa. Pembentukan gelembung akan terjadi, setelah tekanan sama dengan tekanan uap jenuh zat cair yang dipompakan pada suhu pemompaan. NPSH pompa yang diperlukan sama dengan jumlah tekanan dinamis atau tinggi kecepatan pada permukaan sudu dan semua kerugian aliran antara flens hisap dan permulaan sudu. Kerugian aliran dan kecepatan aliran volume (Q) dan dari jumlah putaran (n_s) akan tetapi kerugian aliran dan kecepatan aliran tersebut tergantung pula dari bentuk sudu, jumlah sudu, tebal sudu, besarnya lubang laluan, dan unsur-unsur konstruksi yang lain, NPSH pompa yang diperlukan itu dapat dinyatakan dalam rumus berikut:

$$H_{svN} = \left(\frac{n}{S}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot Q_n^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (14)$$

$$S = \frac{n_s}{\sigma^{\frac{4}{3}}} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana : H_{svN} = NPSH yang diperlukan (m)

S = Kecepatan spesifik isap

n = Putaran pompa (rpm)

Q_n = Kecepatan aliran air (m^3/min)

¹⁴Sumber : Ibid, Halaman 36

¹⁵Sumber : Ibid, Halaman 36

n_s =Kecepatan spesifik

σ =Koefisien kavitasi

Agar pompa dapat bekerja tanpa kavitasi, maka NPSH pompa yang tersedia harus lebih besar dari NPSH pompa yang diperlukan.

2.1.6.2. Cara Menghindari Kavitasi

Kavitasi 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 kavitasi.

1. Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head isap statis menjadi rendah pula.
2. 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.
3. Hindari penggunaan katup yang tak perlu dan menekuk pipa pengisapan.
4. Hindari masuknya udara pada sisi isap pompa.

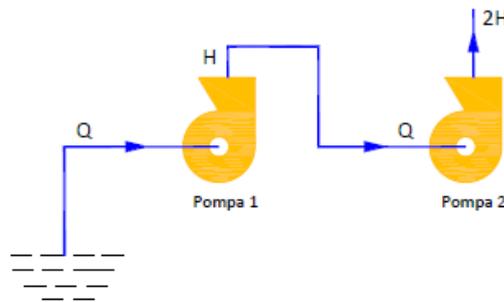
2.2. OPERASI SERI DAN OPERASI PARALEL

2.2.1. Operasi Seri dan Paralel dengan Karakteristik Pompa Sama

Jika head atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara seri atau paralel.

2.2.1.1. Susunan Seri

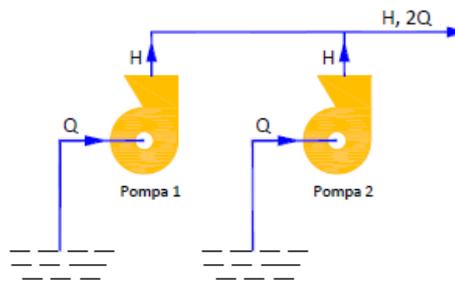
Bila head yang diperlukan besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa, maka dapat digunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri. Penyusunan pompa secara seri dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.18. Susunan Seri

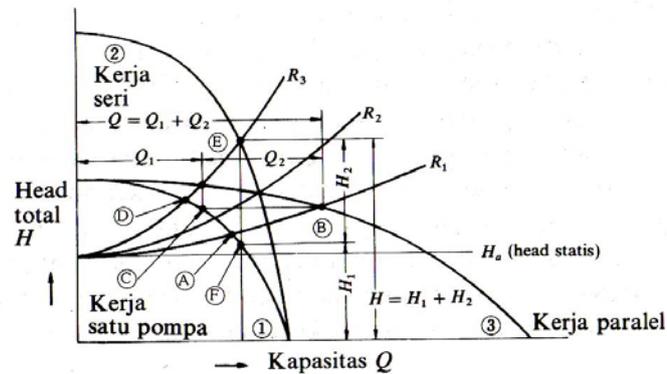
2.2.1.2. Susunan Paralel

Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dihandle oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki. Penyusunan pompa secara paralel dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.19. Susunan Paralel

Pada gambar 2.20. digambarkan grafik operasi seri dan paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik yang sama.



Gambar 2.20. Operasi Seri dan Paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik yang sama

Gambar 2.20. menunjukkan kurva head – kapasitas dari pompa-pompa yang mempunyai karakteristik yang sama yang di pasang secara paralel atau seri. Dalam gambar ini kurva untuk pompa tunggal diberi tanda (1) dan untuk susunan seri yang terdiri dari dua buah pompa diberi tanda (2). Harga head kurva (2) diperoleh dari harga head kurva (1) dikalikan (2) untuk kapasitas (Q) yang sama. Kurva untuk susunan paralel yang terdiri dari dua buah pompa, diberi tanda (3). Harga kapasitas (Q) kurva (3) ini diperoleh dari harga kapasitas pada kurva (1) dikalikan (2) untuk head yang sama.

Dalam gambar ditunjukkan tiga buah kurva head-kapasitas sistem, yaitu R_1 , R_2 , dan R_3 . Kurva R_3 menunjukkan tahanan yang lebih tinggi dibanding dengan R_2 dan R_1 .

Jika sistem mempunyai kurva head-kapasitas R_3 , maka titik kerja pompa 1 akan terletak di (D). Jika pompa ini disusun seri sehingga menghasilkan kurva (2) maka titik kerja akan pindah ke (E). Disini terlihat bahwa head

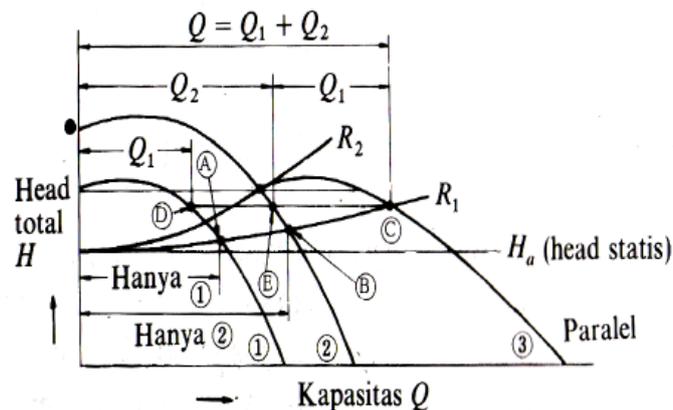
titik (E) tidak sama dengan dua kali lipat head (D), karena ada perubahan (berupa kenaikan) kapasitas.

Sekarang jika sistem mempunyai kurva head-kapasitas R_1 maka titik kerja pompa (1) akan terletak di (A). Jika pompa ini disusun paralel sehingga menghasilkan kurva (3) maka titik kerjanya akan berpindah ke (B). Disini terlihat bahwa kapasitas dititik (B) tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas dititik (A), karena ada perubahan (kenaikan) head sistem.

Jika sistem mempunyai kurva karakteristik seperti R_2 maka laju aliran akan sama untuk susunan seri maupun paralel. Namun jika karakteristik sistem adalah seperti R_1 dan R_3 maka akan diperlukan pompa dalam susunan paralel atau seri. Susunan paralel pada umumnya untuk laju aliran besar, dan susunan seri untuk head yang tinggi pada operasi. Untuk susunan seri, karena pompa kedua menghisap zat cair bertekanan dari pertama, maka perlu perhatian khusus dalam hal kekuatan konstruksi dan kerapatan terhadap kebocoran dari rumah pompa.

2.2.2. Operasi Paralel dengan Karakteristik Pompa Berbeda

Pompa-pompa yang berbeda karakteristiknya dapat pula bekerjasama secara paralel. Hal ini ditunjukkan dalam gambar 2.21. dimana pompa (1) mempunyai kapasitas kecil dan pompa (2) mempunyai kapasitas besar.



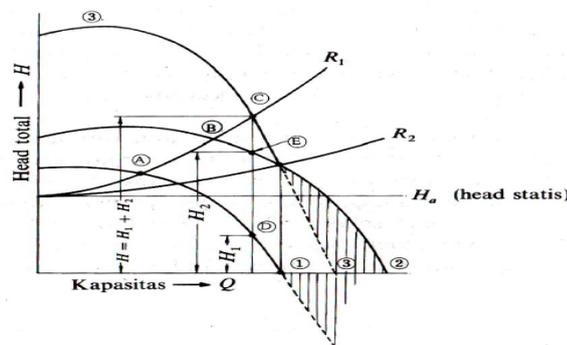
Gambar 2.21. Operasi Paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik yang Berbeda

Jika keduanya dipasang secara paralel maka akan menghasilkan kurva karakteristik (3). Disini, untuk kurva head-kapasitas sistem R_1 akan dicapai titik operasi paralel di (C) dengan laju aliran total sebesar Q . Dalam hal ini pompa (1) beroperasi dititik (D) dengan kapasitas Q_1 dan pompa (2) beroperasi dititik (E) dengan kapasitas aliran Q_2 . Laju aliran total $Q = Q_1 + Q_2$.

Apabila kurva head-kapasitas sistem naik lebih curam dari pada R_2 , maka pompa (1) tidak dapat lagi menghasilkan aliran keluar karena head yang dimiliki tidak tinggi untuk melawan head sistem. Bahkan jika head sistem lebih tinggi dari pada head ini pompa, aliran akan membalik masuk kedalam pompa (1). Untuk mencegah aliran balik ini pompa perlu dilengkapi dengan katup cegah (*check valve*) pada pipa keluarannya. Kondisi operasi seperti ini pada umumnya tidak dikehendaki. Jadi untuk operasi paralel sebaiknya dipakai pompa-pompa dengan head tertutup (*shut-off head*) yang tidak terlalu berbeda.

2.2.3. Operasi Seri dengan Karakteristik Pompa Berbeda

Pada gambar 2.22. memperlihatkan karakteristik susunan seri dari dua buah pompa yang mempunyai karakteristik berbeda. Kurva (1) adalah dari pompa kapasitas kecil, kurva (2) dari pompa kapasitas besar, dan kurva (3) merupakan karakteristik operasi kedua pompa dalam susunan seri.



Gambar 2.22. Operasi Seri dari pompa-pompa dengankarakteristik berbeda

Jika sistem pipa mempunyai kurva karakteristik R_1 maka titik operasi dengan pompa susunan seri akan terletak di (C). Keadaan ini, pompa (1) bekerja dititik (D) dan pompa (2) dititik (E). Untuk sistem yang mempunyai kurva karakteristik R_2 , menjadi negatif sehingga akan menurunkan head pompa (2). Jadi untuk kurva sistem yang lebih rendah dari R_2 maka dipakai pompa (2) saja.