

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Fluida

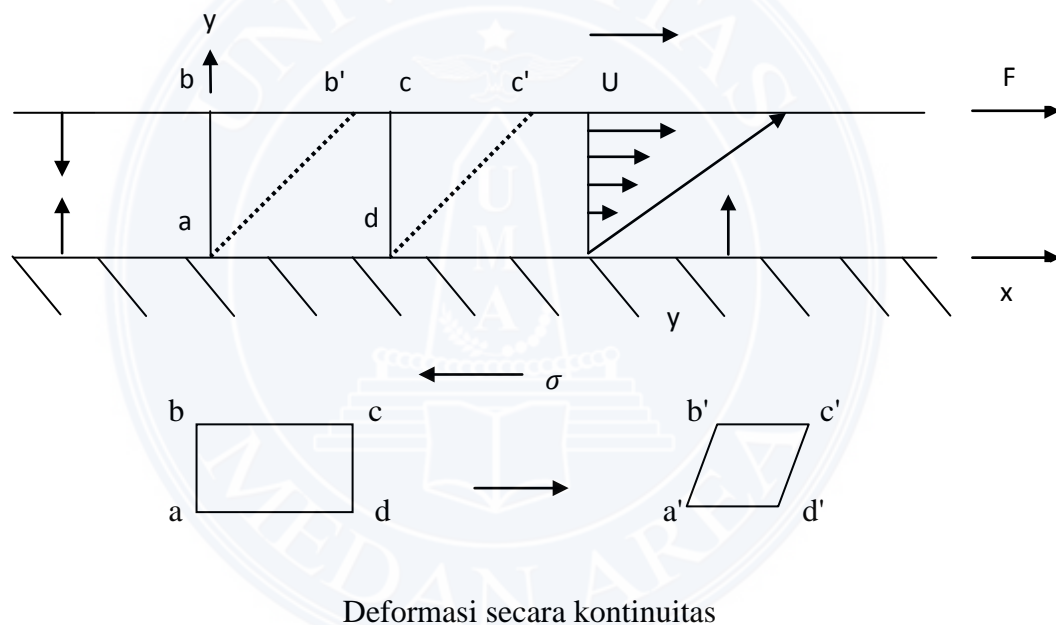
Mesin fluida adalah mesin yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi potensial dan sebaliknya, merubah energi mekanik dalam bentuk fluida, dimana fluida yang dimaksud adalah air, uap, dan gas. Berdasarkan pengertian diatas maka secara umum mesin – mesin fluida dapat digolongkan dalam dua golongan yaitu :

1. Golongan mesin – mesin kerja , yaitu berfungsi untuk merubah energi mekanis menjadi energi fluida, contohnya : pompa, *blower*, *kompresor*, dan lain – lain.
2. Golongan mesin – mesin tenaga yang berfungsi untuk merubah energi fluida menjadi energi mekanis seperti : turbin air, turbin uap, kincir angin, dan lain – lain.

Pada lingkup penggunaan pompa sangat luas dengan berbagai kebutuhan terhadap kapasitas dan tinggi kenaikan yang berbeda – beda, kadang – kadang pompa harus dibuat secara khusus sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan terhadap kapasitas pompa yang diperlukan, tinggi kenaikan, dan bahan (fluida) yang akan dipompa, serta terdapat juga persyaratan khusus dari mana pompa tersebut akan dipasang, dari kemungkinan pemilihan mesin penggerak pompa dan dari masalah perawatan pompa tersebut.

2.1.1 Definisi Fluida

Fluida atau zat alir adalah zat yang dapat berdeformasi secara kontinu jika mengalami tegangan geser, meskipun tegangan geser tersebut demikian kecil. Gaya geser adalah komponen yang menyinggung permukaan dan gaya yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata – rata pada permukaan itu. Tegangan geser pada suatu permukaan titik adalah nilai batas perbandingan gaya geser terhadap gaya luar hingga menjadi titik tersebut.



Gambar 2.1 Perubahan bentuk oleh penerapan gaya geser yang konstan.

Pada gambar diatas suatu zat ditempatkan diantara dua plat sejajar dengan jarak yang sedemikian luas sehingga pada keadaan tepi plat dapat diabaikan. Plat bawah dengan terpasang tetap, pada suatu gaya (F) diterapkan pada plat atas yang mengarahkan tegangan geser F/A pada zat apapun yang terdapat diantara plat – plat itu. Luas plat diatas adalah bila gaya F menyebabkan plat atas bergerak

dengan suatu kecepatan (bukan nol) yang *steady*, walaupun F kecil kita dapat menyimpulkan bahwa zat diantara kedua plat tersebut adalah fluida.

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa dengan besaran – besaran lainnya dipertahankan dengan konstan, F berbanding lurus dengan A serta U dan berbanding terbalik dengan tebal (t) dalam bentuk persamaan. Maka rumus empiris victor L.Streeter dari gambar 2.1 adalah:

$$F = \mu A \times U/t \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

F : Gaya geser

μ : Kekentalan absolut fluida (N-s/m²)

A: Luas bidang fluida deangan plat (m²)

t : tebal kontak lapisan fluida

Disini adalah faktor kesebandingan dan pengaruh fluida yang bersangkutan tercakup didalamnya jika tegangan geser :

$$\tau = FA \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada perbandingan U/t adalah kecepatan sudut garis a, b atau laju perubahan bentuk berkurangnya b, a, d. Kecepatan sudut tersebut juga dapat ditulis du/dy, karena baik u/t ataupun du/dy adalah lebih umum. Karena hal ini berlaku pada situasi – situasi dimana kecepatan sudut serta tegangan geser berubah dengan y. Gradien kecepatan du/dy juga dapat dibayangkan sebagai lapisan yang bergerak relatif terhadap lapisan yang berdekatan, dalam bentuk differensialnya :

$$\tau = \mu \times dudy \dots\dots\dots(2.3)$$

2.1.2 Angka Reynolds

Adalah suatu hal yang diperlukan untuk dapat membandingkan aliran fluida pada kondisi kecepatan, kekentalan, densitas, dan ukuran laluan yang berbeda untuk saluran (*channel*) yang bentuknya sama. Telah terbukti bahwa tahanan terhadap aliran fluida, atau terhadap benda yang bergerak di dalam fluida adalah fungsi perbandingan yang tanpa satuan dikenal sebagai angka Reynolds, Re .

$$Re = \frac{\gamma V d}{\mu} = \frac{\rho V d v}{\mu} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

γ = bobot spesifik fluida (N/m³)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

V = Kecepatan fluida (m/s)

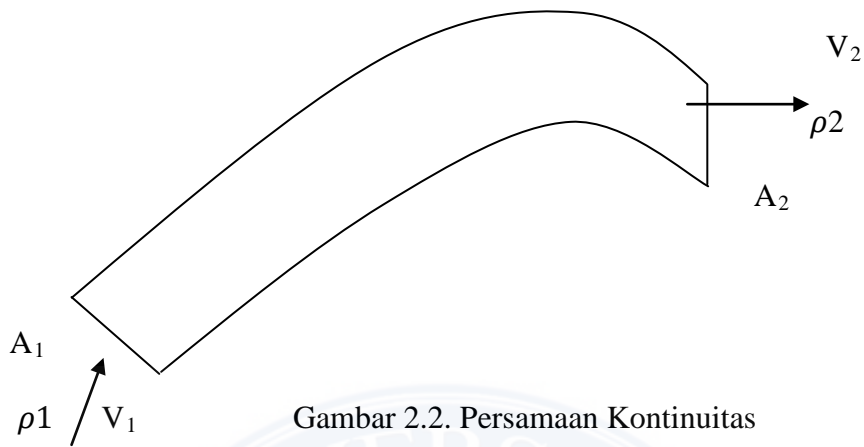
μ = Kekentalan absolut fluida (N-s/m²)

ν = Kekentalan kinematik fluida (m²/s)

d = Diameter atau ukuran karakteristik laluan atau benda dalam lintasan

Karena perbandingan ini tidak mempunyai satuan, satuan-satuan yang sebenarnya adalah tidak penting (niskala) selama satuan-satuannya adalah konsisten. Jadi angka itu dapat dihitung dengan memakai satuan-satuan SI atau metrik.

2.1.3 Persamaan Kontinuitas



Sesudah tercapai kondisi-kondisi yang stedi, bobot fluida persatuan waktu yang mengalir pada sebarang titik adalah konstan:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

v : Kecepatan aliran (m^3/s)

A : Luas penampang (m^2)

ρ : Rapat massa (kg/m^3)

Atau dapat ditulis”

$$\rho A v = C \text{ (konstan)}$$

Untuk persamaan kapasitas aliran fluida inkompresible (tak mampu mampat) adalah

$$Q = A \cdot v \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

Q : Jumlah fluida yang mengalir persatuan waktu (m^3/s)

A : Luas penampang (m^2)

V : Kecepatan aliran (m/s)

Jadi, begitu luas penampang mengecil secara perlahan-lahan kecepatan akan membesar dan sebaliknya.

2.1.4 Tinggi-Tekan Fluida

Energi fluida, yaitu kesanggupannya untuk melakukan kerja, dinyatakan dalam meter tinggi tekan fluida yang mengalir. Tinggi tekan adalah ketinggian pada mana kolom fluida harus naik untuk memperoleh energi yang sama dengan yang dikandung satu satuan bobot fluida pada kondisi yang sama. tinggi tekan itu ada dalam tiga bentuk, yang dapat saling dipertukarkan.

1. Tinggi tekan potensial atau tinggi tekan aktual

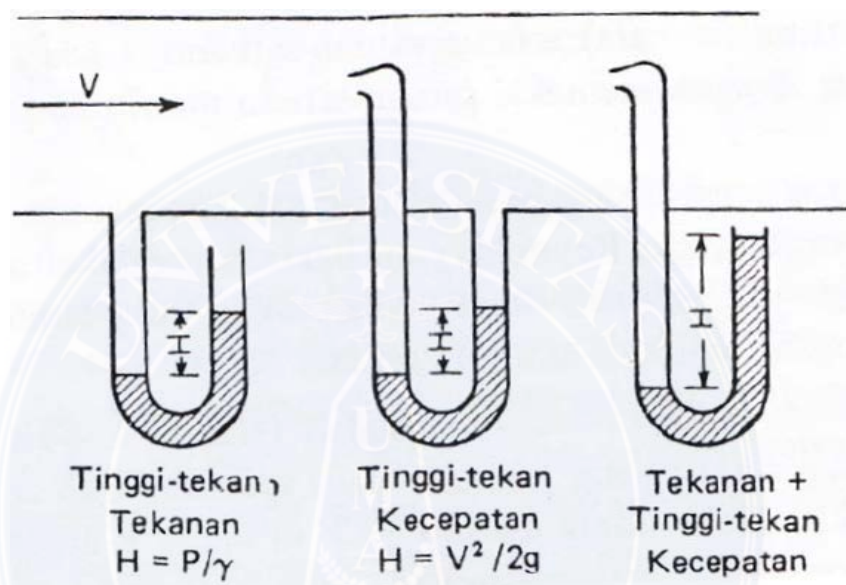
Didasarkan pada ketinggian fluida atas bidang banding (datum plane). Jadi suatu kolom air setinggi z (meter) mengandung sejumlah energi disebabkan oleh posisinya, dan disebutkan fluida tersebut mempunyai tinggi-tekan (head) sebesar z (meter) kolom air.

2. Tinggi-tekan (head) kinetik atau tinggi-tekan kecepatan

Adalah suatu ukuran energi kinetik yang dikandung satu satuan bobot fluida yang disebabkan oleh kecepatannya, dan dinyatakan oleh persamaan yang biasa dipakai untuk energy kinetik, $V^2/2g$. Energi ini dapat diukur dengan tabung pitot yang ditempatkan dalam aliran seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Kaki manometer yang sebelah lagi dihubungkan dengan laluan secara tegak-lurus terhadap aliran untuk menyamakan tekanan yang ada pada laluan pada titik ini.

3. Tinggi-tekan tekanan

Adalah energi yang dikandung oleh fluida akibat tekanannya, dan sama dengan P/γ . Bila satu manometer terbuka dihubungkan tegak lurus dengan aliran, fluida akan naik di dalam tabung ketinggian yang sama dengan P/γ .



Gambar 2.3 Metode-metode pengukuran berbagai bentuk tinggi tekan (head)

2.1.5 Theorema Bernouli

Energi total fluida adalah sama dengan jumlah ketiga tinggi-tekan (head).

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = C \dots \dots \dots (2.7)$$

Dan karena energi tidak dapat timbul atau hilang begitu saja, C adalah konstan (dengan mengabaikan rugi-rugi). Persamaan ini dikenal dengan Theorema Bernouli. Berbagai bentuk tinggi-tekan dapat bervariasi besarnya pada penampang yang berbeda tetapi, dengan mengabaikan rugi-rugi, penjumlahannya selalu sama.

Pada laluan aktual,tinggi-tekan tidaklah tetap konstan disebabkan oleh rugi-rugi gesekan dan rugi-rugi turbulensi. Jadi persamaan itu dapat ditulis sebagai berikut:

$$H = \frac{Pa}{\gamma a} + \frac{va^2}{2g} + Za = \frac{Pb}{\gamma b} + \frac{vb^2}{2g} + Zb + \text{kerugian-kerugian}.....(2.8)$$

Bila luas penampang sebuah pipa mendatar membesar secara sedikit demi sedikit kecepatan akan berkurang. Tinggi-tekan total H harus tetap sama, dan karena tinggi-tekan potensial sama, karena pipa adalah mendatar,tinggi-tekan tekanan bertambah akibat berkurangnya energi kinetik. Oleh sebab itu kecepatan akan berkurang dan tekanan akan naik.

2.1.6 Kerugian Tinggi-tekan

Kerugian tinggi-tekan pada suatu laluan dapat saja disebabkan oleh gesekan maupun turbulensi yang terjadi bila fluida melewati suatu rintangan, perubahan luas penampang tiba-tiba, dan lain-lain.

Kerugian Akibat Gesekan pada Laluan. Banyak rumus-rumus telah diusulkan dan dipakai untuk menentukan kerugian tinggi-tekan yang disebabkan oleh fluida gesekan fluida yang mengalir melalui suatu laluan. Salah satu dari yang paling umum diterima adalah persamaan Darcy:

$$\Delta H_f = f \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}(2.9)$$

Dimana :

ΔH_f : kerugian tinggi-tekan dalam (m) fluida yang mengalir

f : suatu koefisien empiris yang tergantung pada angka Reynolds

L : panjang laluan (m)

d : diameter pipa (m)

V : kecepatan rata-rata fluida (m/s)

ϵ/d : kekasaran relatif dinding pipa (*roughness*)

Perbandingan L/d adalah suatu bilangan yang tidak mempunyai satuan, sehingga setiap satuan yang konsisten dapat dipakai untuk L dan d . Harga f untuk angka Reynolds tertentu dapat diperoleh dari diagram Moody. Diagram Moody dan persamaan Darcy dapat digunakan untuk sebarang fluida (cairan atau gas) karena harga f tergantung pada angka Reynolds saja. Re , selanjutnya dapat dicari untuk sebarang fluida, ukuran laluan, atau kecepatan.

Kerugian minor (h_m) akibat peralatan tambahan sepanjang aliran seperti *elbow*, katup (*valve*), *bending*, sambungan dan lain-lain. Untuk mencari kerugian minor dapat diperoleh dari rumus:

$$h_m : k \frac{V^2}{2g}$$

dimana:

V = kecepatan rata-rata aliran fluida dalam pipa (m/s)

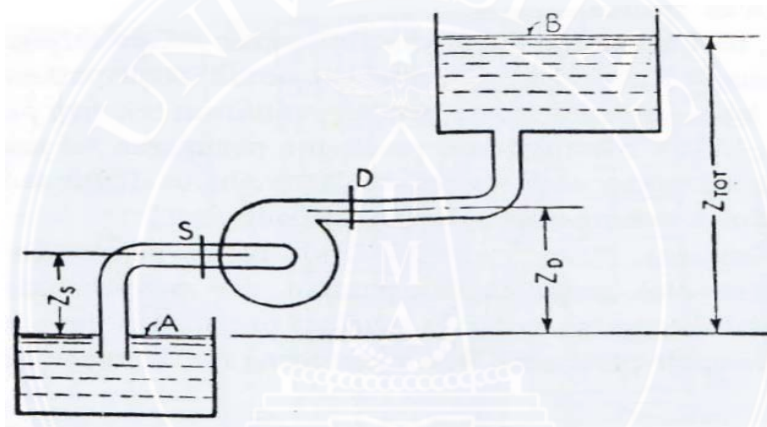
g = gravitasi bumi (m/s²)

k = koefisien minor losses (diambil dari tabel)

2.1.7 Tinggi-tekan Luar yang Dibutuhkan Pompa

Sebelum sebuah pompa dapat didesain adalah perlu menentukan tinggi-tekan terhadap mana pompa itu dioperasikan. Ini dapat ditentukan dengan jalan menambahkan rugi-rugi gesekan dan turbulensi yang terjadi dalam jaringan pipa dengan pertambahan total ketinggian atau tinggi-tekan tekanan yang didapat oleh fluida.

$$H = \Delta H_{fas} + \Delta H_{fdb} + \Delta H_{tas} + \Delta H_{tdb} + Z_{tot} \dots \dots \dots (2.10)$$



Gambar 2.4 Tinggi-tekan pada sebuah pompa

Kerugian-kerugian yang diakibatkan oleh turbulensi, ΔH_{tas} dan ΔH_{tdb} , mencakup kerugian-kerugian pada sisi masuk dan keluar pipa, piting dan bengkokan. Karena kerugian-kerugian ini sulit untuk dievaluasi sering kerugian-kerugian itu dimasukkan kedalam kerugian-kerugian gesekan, ΔH_{fas} dan ΔH_{fdb} . Akan tetapi, karena kerugian-kerugian yang disebutkan belakangan dapat dihitung secara mendekati dengan rumus Darcy.

Kerugian-kerugian tambahan akan terjadi didalam pompa itu sendiri, yakni dari *S* sampai *D*, tetapi kerugian-kerugian tambahan ini telah diperhatikan dalam disainnya dan tidak mempengaruhi tinggi-tekan luar yang dibutuhkan.

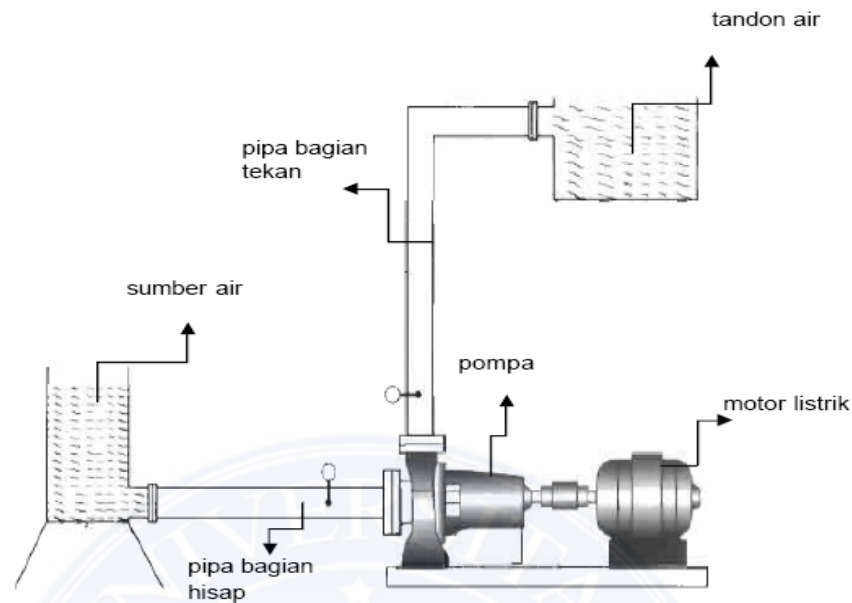
Jadi tinggi-tekan yang diberikan oleh pompa haruslah merupakan perbedaan antara tinggi-tekan total pada tengah-tengah flens buang dan tinggi-tekan pada tengah-tengah flens hisap.

$$H = Z_D - Z_S + \frac{P_D}{\gamma_D} - \frac{P_S}{\gamma_S} + \frac{V_D^2}{2g} - \frac{V_S^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.2 Pengertian Pompa

Pompa merupakan salah satu jenis mesin yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli atau minyak pelumas, serta fluida lainnya yang tak mampu mampat. Industri-industri banyak menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu yang penting untuk proses produksi. Sebagai contoh pada pembangkit listrik tenaga uap, pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler atau membantu sirkulasi air yang akan diuapkan di boiler.

Pada industri, pompa banyak digunakan untuk mensirkulasi air atau minyak pelumas atau pendingin mesin-mesin industri. Pompa juga dipakai pada motor bakar yaitu sebagai pompa pelumas, bensin atau air pendingin. Jadi pompa sangat penting untuk kehidupan manusia secara langsung yang dipakai di rumah tangga atau tidak langsung seperti pada pemakaian pompa di industri.

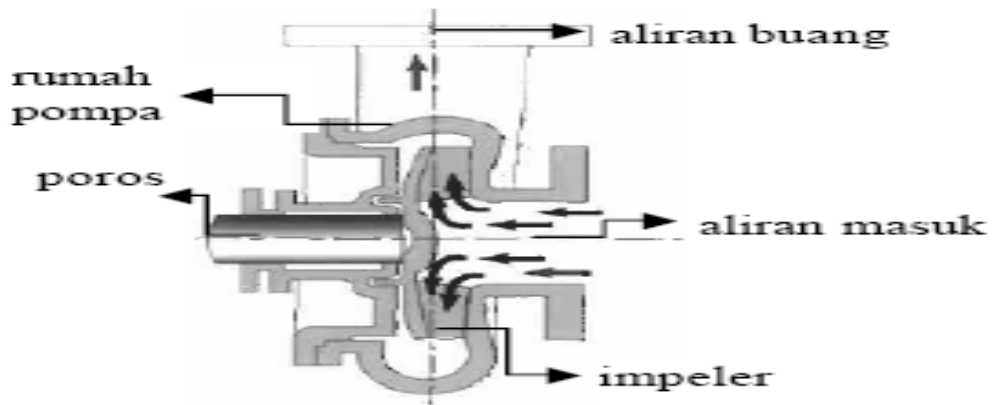


Gambar 2.5 Instalasi Pompa

2.2.1 Prinsip Kerja Pompa

Pada pompa terdapat sudu-sudu impeler yang berfungsi sebagai tempat terjadi proses konversi energi dari energi mekanik putaran mejadi energi fluida head. Impeler dipasang pada poros pompa yang berhubungan dengan motor penggerak, biasanya motor listrik atau motor bakar dan turbin uap.

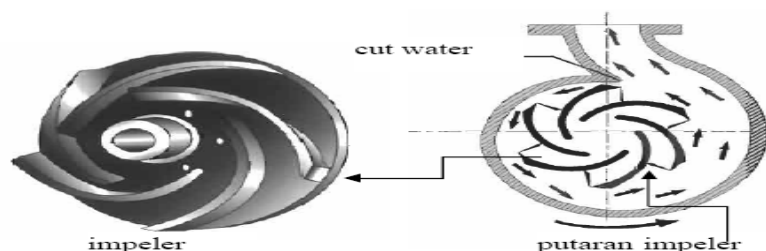
Poros pompa akan berputar apabila penggeraknya berputar. Karena poros pompa berputar impeler dengan sudu-sudu impeler berputar, zat cair yang ada di dalamnya akan ikut berputar sehingga tekanan dan kecepatanya naik dan terlempar dari tengah pompa ke saluran yang berbentuk volut atau spiral kemudian ke luar melalui diffuser .



Gambar 2.6 Proses Pemompaan

Jadi fungsi impeler pompa adalah mengubah energi mekanik yaitu putaran impeler menjadi energi fluida (zat cair). Dengan kata lain, zat cair yang masuk pompa akan mengalami pertambahan energi. Pertambahan energi pada zat cair mengakibatkan pertambahan head tekan, head kecepatan dan head potensial. Jumlah dari ketiga bentuk head tersebut dinamakan head total. Head total pompa juga dapat didefinisikan sebagai selisih head total (energi persatuan berat) pada sisi hisap pompa dengan sisi ke luar pompa.

Pada gambar 2.7 aliran air di dalam pompa akan ikut berputar karena gaya sentrifugal dari impeler yang berputar.



Gambar 2.7 Perubahan energi zat cair pada pompa

2.2.2 Klasifikasi Pompa

1. Bila ditinjau berdasarkan kelasnya, pompa dibagi menjadi tiga bagian, yaitu

a. Pompa sentrifugal

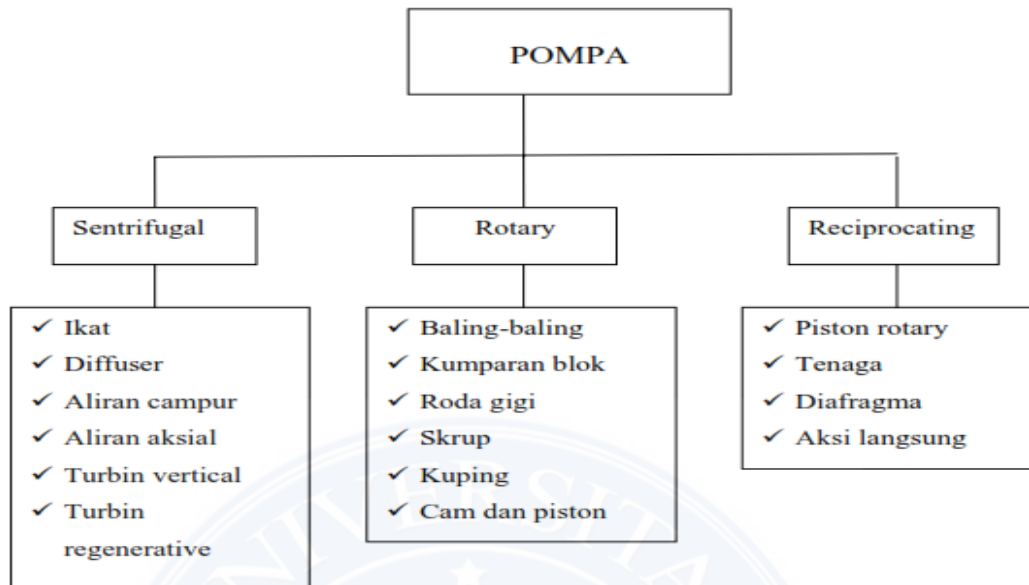
Pompa sentrifugal pada dasarnya terdiri dari satu impeller atau lebih yang dilengkapi dengan sudu-sudu pada poros yang dipasangkan pada poros yang berputar dan diselubungi dengan casing berbentuk volut.

b. Pompa *rotary*

Pompa *rotary* adalah unit perpindahan positif yang mana, pemompaannya yang utama disebabkan oleh pergerakan yang relatif diantara gerakan memutar dan tetap dari komponen pompa. Biasanya terdiri dari rumah pompa yang diam yang mempunyai roda gigi, baling-baling, piston, cam, segmen, sekrup dan lain-lain, yang beroperasi dalam ruang bebas yang sempit.

c. Pompa *reciprocating*

Pompa *reciprocating* adalah unit perpindahan positif yang mana mengeluarkan cairan dalam jumlah yang terbatas pada pergerakan piston atau plunyer sepanjang langkahnya.



Gambar 2.8 Klasifikasi pompa berdasarkan kelasnya.

2. Bila ditinjau dari segi tekanan yang menimbulkan energi fluida maka pompa dapat diklasifikasikan dalam 2 jenis yaitu :

- a. Pompa tekanan statis
- b. Pompa tekanan dinamis

a. Pompa Tekanan Statis

Pompa ini disebut juga “*positive displacement*” dimana head yang terjadi akibat tekanan yang diberikan terhadap fluida dengan cara energi yang diberikan pada bagian utama peralatan pompa menekan langsung fluida yang di pompakan.

Jenis pompa yang termasuk dalam golongan statis adalah :

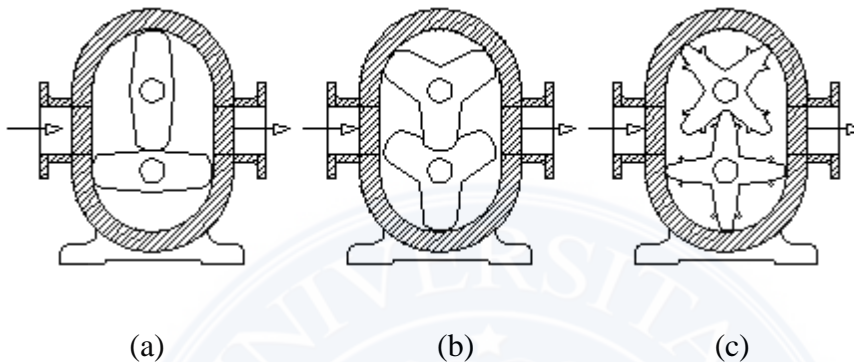
1. Pompa putar (*Rotary Pump*)

- ✓ Pompa rotor tunggal (*Single rotor pump*)
- ✓ Pompa rotor ganda (*Multiple rotor pump*)

2. Pompa bolak – balik (*Reciprocating Pump*)

✓ Pompa torak

✓ Pompa diafragma



Gambar 2.9. (a) Pompa putar 2 cuping, (b) pompa putar 3 cuping, (c) pompa putar 4 cuping.



Gambar 2.10. Pompa bolak – balik (*Reciprocating Pump*)

b. Pompa Tekanan Dinamis

Pompa ini disebut juga dengan “ *Non Positive Displacement Pump* “, pompa tekanan dinamis terdiri dari poros, sudu – sudu impeller, rumah volut, dan saluran keluar. Energi mekanis dari luar diberikan pada poros pompa untuk memutar impeller. Akibat putaran dari impeller menyebabkan head dari fluida menjadi lebih tinggi karena mengalami percepatan. Ditinjau dari arah aliran yang mengalir melalui sudu – sudu gerak, maka pompa tekanan dinamis digolongkan atas tiga bagian, yaitu :

a. Pompa aliran radial

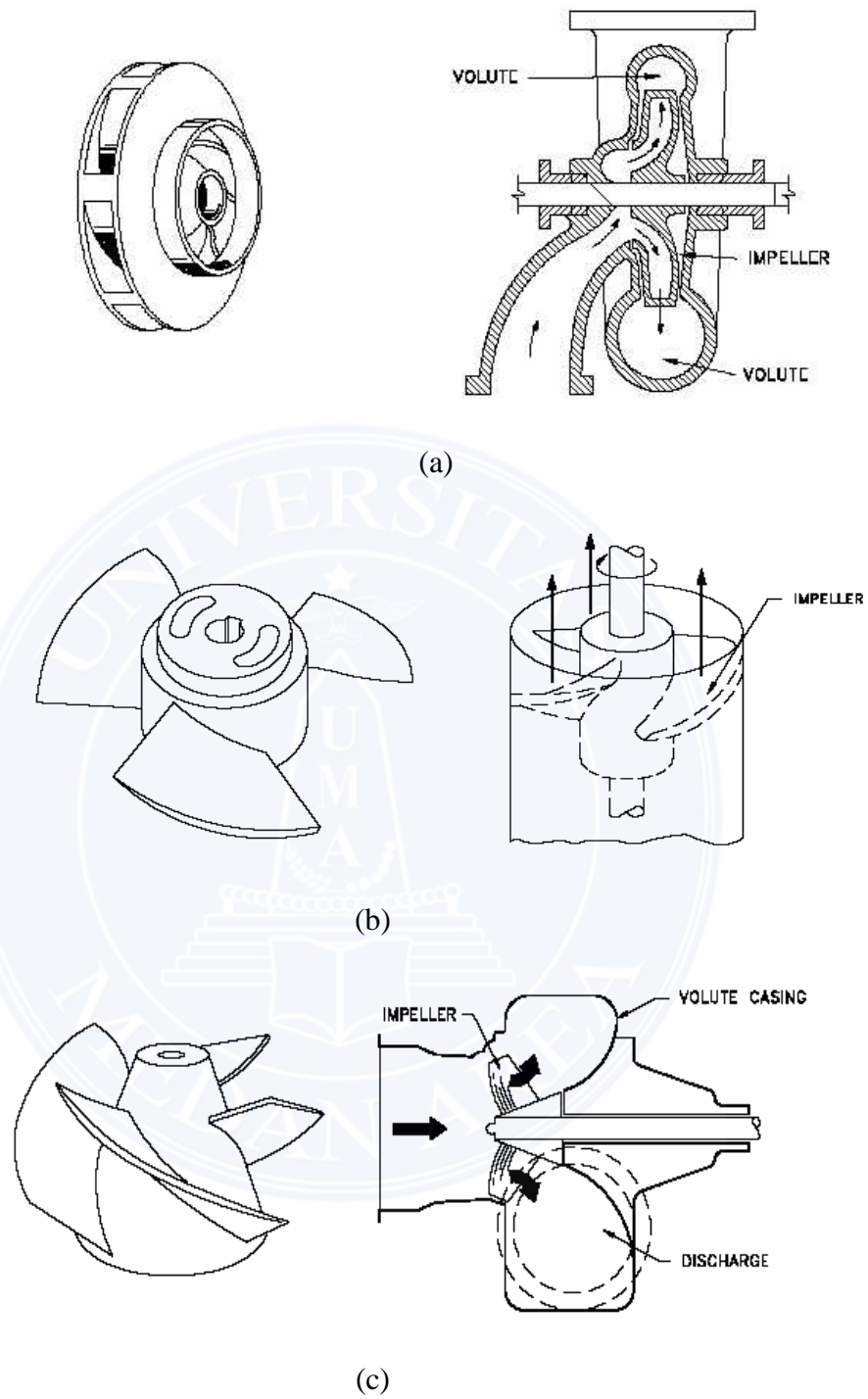
Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran radial terletak pada bidang yang tegak lurus terhadap poros dan head yang timbul akibat dari gaya sentrifugal itu sendiri. Pompa aliran radial mempunyai head yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pompa jenis lain.

b. Pompa aliran aksial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran aksial terletak pada bidang yang sejajar dengan sumbu poros dan head yang timbul akibat dari besarnya gaya angkat dari sudu – sudu geraknya. Pompa aliran aksial mempunyai head yang lebih rendah tetapi kapasitasnya lebih besar.

c. Pompa aliran campuran

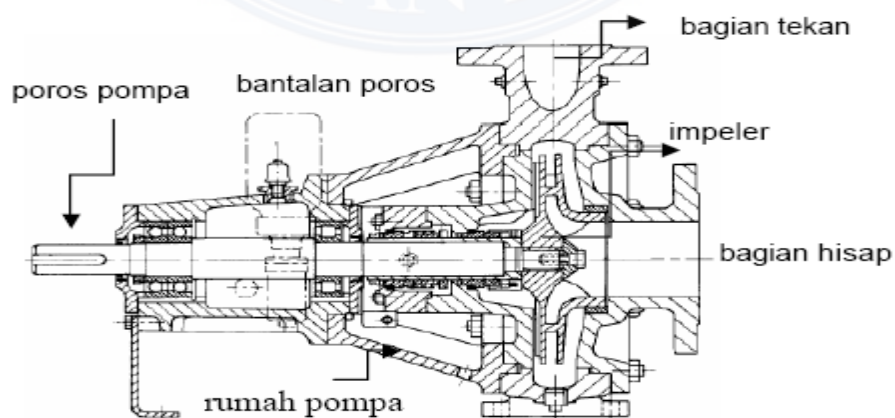
Pada pompa ini fluida yang masuk sejajar dengan sumbu poros dan keluar sudu dengan arah miring (merupakan perpaduan dari pompa aliran radial dan pompa aliran aksial). Pompa ini mempunyai head yang lebih rendah namun mempunyai kapasitas lebih besar.



Gambar 2.11.(a) Pompa aliran radial, (b) Pompa aliran aksial, (c) Pompa aliran campuran.

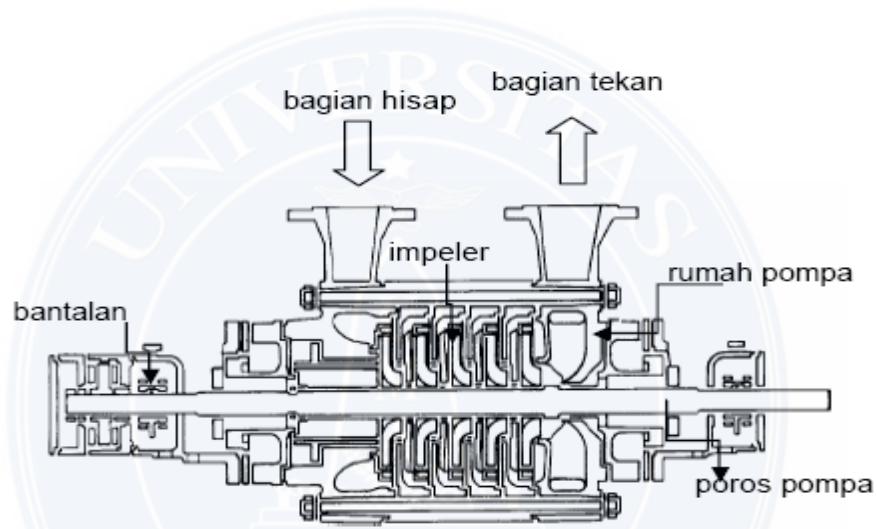
Jadi prinsip kerja dari pompa tekanan dinamis adalah dengan mengubah energi mekanis dari poros menjadi energi fluida, dan energi inilah yang menyebabkan penambahan head tekanan, head kecepatan, dan head potensial pada fluida yang mengalir secara kontinu. Pada pompa tekanan dinamis terjadinya aliran fluida adalah akibat dari kenaikan tekanan di dalam fluida bukan akibat pergeseran volume impeller pemindahannya seperti yang terjadi pada pompa tekanan statis. Pada pompa tekanan dinamis dijumpai poros putar dengan kurungan sudu sekelilingnya, dan melalui sudu – sudu inilah fluida mengalir secara kontinu.

3. Bila ditinjau dari segi jumlah tingkat Jika pompa hanya mempunyai satu buah *impeller* disebut pompa satu tingkat yang lainnya dua tingkat, tiga dan seterusnya dinamakan pompa banyak tingkat. Pompa satu tingkat hanya mempunyai satu buah impeller dengan head yang relatif rendah. Untuk yang banyak tingkat mempunyai impeller sejumlah tingkatnya. Head total adalah jumlah dari setiap tingkat sehingga untuk pompa ini mempunyai head yang relatif tinggi.



Gambar 2.12. Pompa Satu Tingkat

Konstruksi impeller biasanya menghadap satu arah tetapi untuk menghindari gaya aksial yang timbul dibuat saling membelakangi. Pada rumah pompa banyak tingkat, dapat dipasang *diffuser*, tetapi ada juga yang menggunakan volut. Pemasangan *diffuser* pada rumah pompa banyak tingkat lebih menguntungkan daripada dengan rumah volut, karena aliran dari satu tingkat ketingkat berikutnya lebih mudah dilakukan.



Gambar 2.13. Pompa Multistage (Bertingkat Banyak)

Bila tinggi-tekan (head) yang dihasilkan oleh sebuah pompa terlalu besar untuk dihasilkan oleh pompa satu tingkat, pompa bertingkat banyak dapat digunakan. Pompa bertingkat banyak ini dapat dipakai juga bila keperluannya tidak semata-mata oleh pertimbangan-pertimbangan tinggi-tekan tetapi adalah menghasilkan prestasi atau desain yang lebih baik. Dengan memvariasikan besanya tinggi-tekan per tingkat akan diperoleh suatu kecepatan spesifik yang menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Bila tinggi-tekan per tingkat dikecilkan maka kebocoran yang terjadi akan semakin kecil. Pemakaian *impeller –impeller*

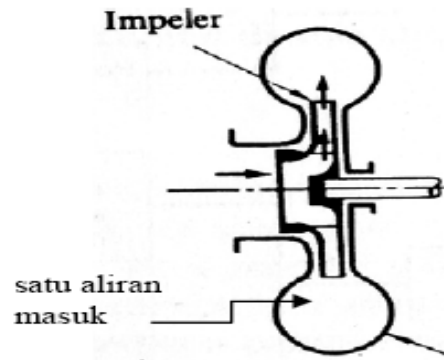
yang berdiameter kecil-kecil akan mengurangi gesekan cakra karena gesekan adalah sebanding dengan diameter pangkat tiga sedangkan tinggi-tekan adalah sebanding dengan kuadrat diameter. Ukuran impeller yang lebih kecil akan menghasilkan tegangan sentrifugal yang lebih kecil. Memang ada kerugian-kerugian tambahan akibat gesekan dan turbulensi dalam memindahkan fluida dari satu tingkat ke tingkat lainnya, dan sering meniadakan keuntungan-keuntungan yang dijelaskan sebelumnya.

Biasanya semua impeller pompa bertingkat banyak mempunyai ukuran diameter yang sama, sehingga masing-masing tingkat akan menghasilkan tinggi-tekan yang sama pula. Dengan demikian tinggi-tekan total pompa adalah perkalian tinggi-tekan per tingkat dengan jumlah tingkatnya. Prosedur pendesainan untuk masing-masing tingkat adalah sama dengan prosedur yang telah dijelaskan untuk pompa satu tingkat.

4. Bila ditinjau dari sisi masuk impeller

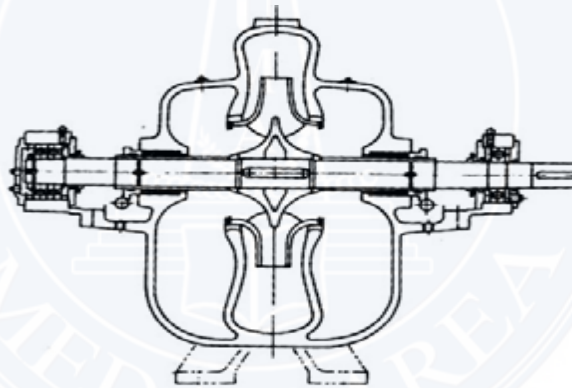
Menurut sisi masuk impeller, pompa sentrifugal dibagi menjadi dua yaitu:

1. Pompa hisapan tunggal (*single suction*) yaitu pompa sentrifugal yang mempunyai sisi masuk hanya satu (tunggal).



Gambar 2.14. Pompa *single suction*

2. Pompa isapan ganda (*double suction*), yaitu pompa sentrifugal yang mempunyai sisi masuk ganda atau mempunyai isapan ganda.

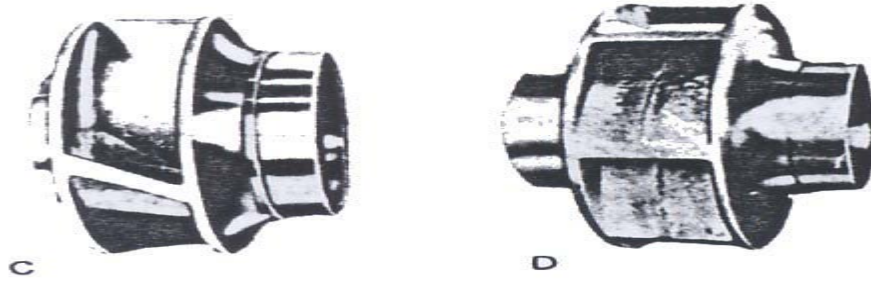


Gambar 2.15. Pompa *double suction*

5. Bila ditinjau dari segi jenis impeller

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.

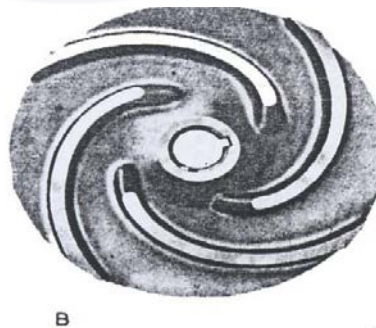


Gambar 2.16 Impeller Tertutup

Impeller tertutup C dan D mempunyai selubung pada kedua sisinya untuk menutup aliran cairan. Unit hisapan tunggal atau ujung hisapan C mempunyai sisi masuk cairan pada satu sisi; pada jenis hisapan ganda D, cairan masuk dari kedua sisi.

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.



Gambar 2.17 Impeller setengah terbuka

c. Impeller 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.

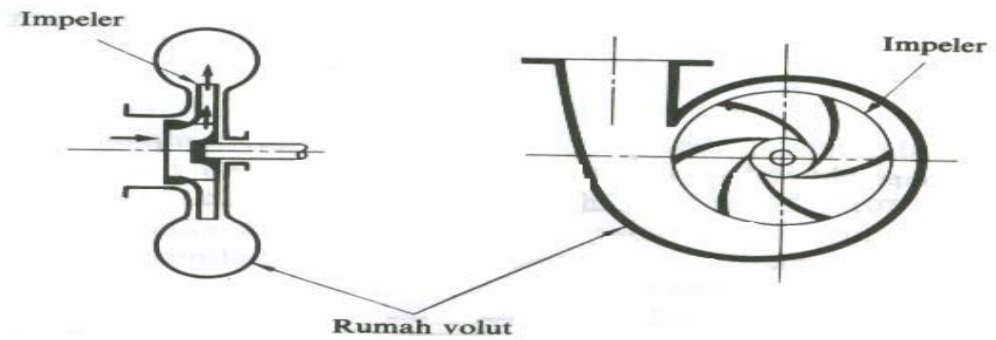


Gambar 2.18 Impeller terbuka

6. Bila ditinjau dari bentuk rumah

a. Pompa volute

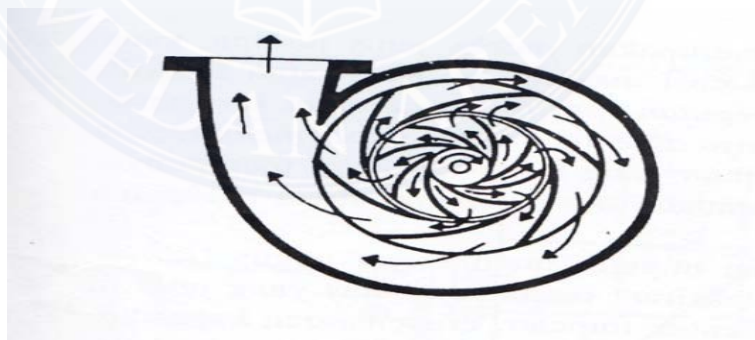
Bentuk rumah pompanya seperti rumah keong/siput (*volute*), sehingga kecepatan aliran keluar bisa dikurangi dan dihasilkan kenaikan tekanan.



Gambar 2.19 Bentuk Pompa Volut

b. Pompa diffuser

Pada keliling luar impeler dipasang sudu *diffuser* sebagai pengganti rumah keong. Baling-baling pengarah yang tetap mengelilingi runner atau impeller pada pompa jenis diffuser. Lualan-lualan yang berangsur-angsur mengembang ini akan mengubah arah aliran cairan dan mengkonversikannya menjadi tinggi-tekanan (*pressure head*).



Gambar 2.20 Diffuser mengubah arah aliran dan membantu dalam mengubah kecepatan menjadi tekanan

2.3 Pompa Sentrifugal

Menurut proses perpindahan energi dan benda cair sebagai bahan aliran maka pompa sentrifugal termasuk mesin aliran fluida hidraulik. Hal ini bisa diketahui dari proses perpindahan tenaga didalam sudu-sudu, roda jalan akibat dari pembelokan arus aliran fluida. Rumus utama Euler untuk mesin aliran fluida juga berlaku untuk pompa sentrifugal.

Tinggi kenaikan dari pompa sentrifugal adalah sama dengan perbandingan kuadrat dari kecepatan putar pompa. Pada pompa torak tinggi kenaikan pompa tidak tergantung pada kecepatan putar. Karakteristik pompa sentrifugal ditentukan oleh besaran-besaran yaitu volume fluida yang di pompa (V), tinggi kenaikan (H), sifat atau keadaan di sisi bagian hisap, daya yang dibutuhkan untuk memutar pompa, kecepatan putar dan randemen.

Pompa sentrifugal dan instalasi pompa (sistem pemipaan, katup, dan lain-lain) adalah merupakan 2 buah sistem yang bekerja sama dan saling mempengaruhi. Dari garis pada diagram $h - q$ pompa sentrifugal, yang sebagai garis karakteristik pompa atau juga garis peredaman (hasil pengaturan pembukaan katup) yang diketahui ketergantungan kenaikan h terhadap kapasitas q . Untuk mengatur kapasitas q dari suatu instalasi pompa adalah sebagai berikut ; Perubahan karakteristik instalasi melalui (pengaturan pembukaan katup) karakteristik diubah dengan melalui atau menggunakan katup yang dipasang didalam sistem pipa saluran dengan meningkatkan besarnya kerugian arus aliran fluida maka akan mengakibatkan perubahan dari karakteristik instalasi sehingga didapatkan titik potong yang baru dengan karakteristik pompa.

2.3.1 Penggunaan Pompa Sentrifugal

Dalam pandangan sepintas pompa sentrifugal mempunyai daerah penggunaan yang sangat luas, secara singkat daerah pemasangan dan penggunaan pompa ini adalah pada:

a. Pemakaian di dalam masalah ekonomi air:

Stasiun pompa air, pompa distribusi air, instalasi penyedia dan distribusi air ke rumah tangga, pompa untuk sumur yang dalam dan pompa lubang bor, pompa air untuk irigasi, pompa sumur air, pompa pembuangan air, pompa menara air dan pompa air hujan

b. Mesin tenaga dan instalasi pemanas

Pompa air pengisi ketel, pompa air pendingin, pompa untuk memancarkan air, pompa reaktor, pompa air persediaan (reservoir), pompa untuk mengalirkan air panas jarak jauh dan pompa untuk mengedarkan fluida panas.

c. Kimia, petrokimia

Pompa kimia, pompa untuk mengalirkan fluida didalam pipa, pompa proses, pompa untuk mengedarkan fluida, pompa pengisian, pompa pencampur, pompa jalan balik (untuk mengembalikan fluida).

d. Perkapalan

Pompa kapal, pompa pengisi untuk mengosongkan dan mengisi minyak pada kapal tanker, pompa tolak bara, pompa lensa dan pompa dok untuk mengisi dan mengosongkan.

Pompa yang dipakai di tambang-tambang, pompa keruk, pompa pemadam api, pompa pres, pompa untuk mencuci, pompa untuk tangki-tangki, pompa ventilasi untuk saluran pipa pemindah.

Lingkup penggunaan pompa sangat luas dengan berbagai kebutuhan kapasitas dan tinggi kenaikan yang berbeda-beda, kadang-kadang pompa harus dibuat secara khusus sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan terhadap kapasitas pompa yang diperlukan, tinggi kenaikan, dan bahan (fluida) yang akan dipompa, serta terdapat juga persyaratan khusus dari tempat dimana pompa tersebut akan dipasang, dari kemungkinan pemilihan mesin penggerak pompa dan dari masalah perawatan pompa tersebut.

2.3.2 Bagian-bagian Utama Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal secara umum mempunyai bagian-bagian utama, antara lain:

a. Impeller

Impeller merupakan bagian terpenting dari sebuah pompa sentrifugal, yang berfungsi memutar air sehingga menghasilkan gaya sentrifugal, dan gaya tersebut akan menghasilkan gaya hisap dan gaya tekan pada pompa. Impeller biasanya terbuat dari bahan yang tahan korosi dan tekanan dan biasanya dicor dalam satu kesatuan. Impeller ini dipasang pada suatu poros dengan suaian (fit) tekan ringan, dipasak dan dibalans secara statis dan secara dinamis. Untuk mencapai efisiensi yang tinggi laluan impeller haruslah dibuat sehalus mungkin. Impeller disebut terbuka jika tidak mempunyai dinding (tameng) semi terbuka atau semi tertutup bila dilengkapi dinding pada sebelah sisi

masuk dan tertutup jika pada kedua sisinya diberi tutup. Impeller tertutup pada saat ini merupakan impeller yang sering digunakan pada umumnya impeller ini mempunyai efisiensi yang lebih besar untuk pemakaian lama.

b. *Casing* (rumah pompa)

Casing merupakan tempat laluan zat cair yang diputar oleh impeller. Pada perhitungan yang baik *casing* akan dapat mengarahkan aliran fluida secara sempurna. Pada umumnya untuk semua pompa yang impellernya terletak antara dua bantalan yang dipisahkan secara horisontal pada garis tengah poros sehingga bagian atas tutup dapat dibuka dengan mudah pada waktu pemeriksaan atau perbaikan. Lubang masuk dan lubang buang ditempatkan pada belahan bagian bawah rumah pompa agar tidak perlu membongkar pada saat perbaikan bila tutup rumah pompa dibuka. Flens hisap pompa yang impellernya bergantung (*overhung*) merupakan tutup pompa yang bisa dibuka untuk perbaikan atau pemeriksaan, oleh karena itu untuk jenis ini jaringan pipa hisap harus dibuka dulu baru pompa dapat diperbaiki. Pompa-pompa yang pipa hisapnya dihubungkan pada belahan bawah pompa membutuhkan rumah keong pada sisi hisap yang mengalirkan zat cair pada mata impeller. Umumnya rumah keong sisi hisap dibuat sebanding dengan ukuran keliling impeller, yaitu separuh luasan pada belahan bawah dan yang separuh lagi pada bagian atas

c. Poros

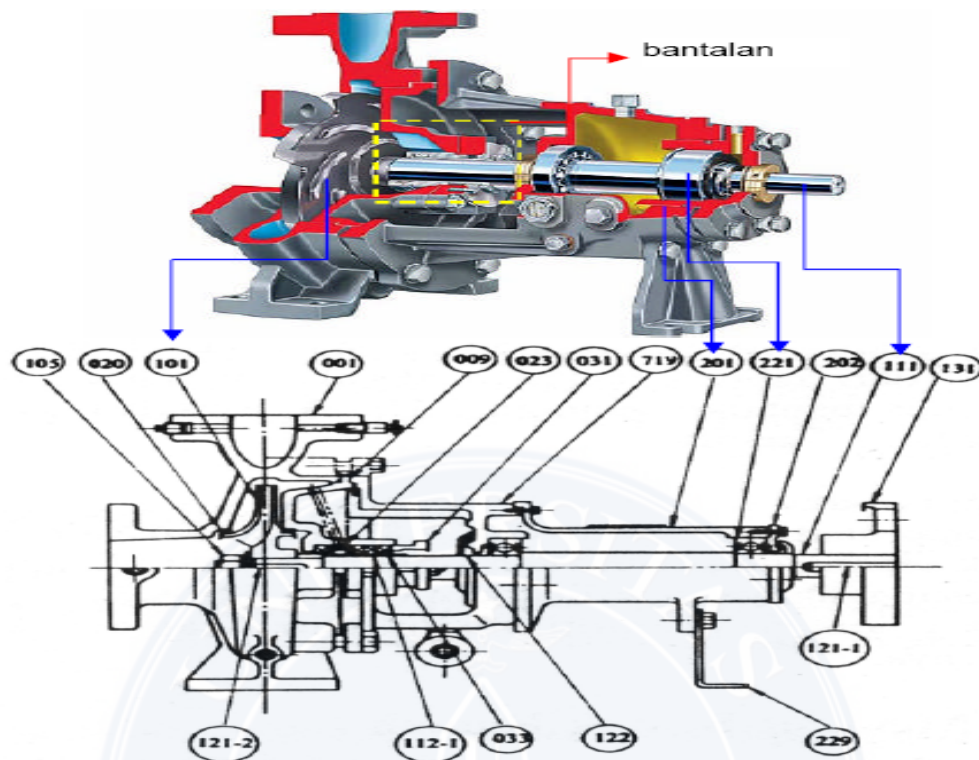
Poros merupakan bagian pompa yang berfungsi sebagai penerus daya dan putaran dari motor penggerak untuk memutar impeller pompa dalam

perencanaan poros harus memenuhi syarat poros yang dapat digunakan antara lain uji momen yang terjadi, tegangan geser poros dan juga putaran kritis poros.

Biasanya poros dalam penggunaannya dilindungi oleh selongsong, khususnya bila melewati kotak paking, untuk menghindari terjadinya keausan dan korosi. Bila cairan sangat korosif bahan poros dapat dibuat dari baja tahan karat, akan tetapi bahan itu akan lebih mahal dari baja. Selongsong itu dipasang pas dengan poros.

2.3.3 Komponen-Komponen Pompa Sentrifugal

Komponen-komponen penting pada pompa sentrifugal adalah komponen yang berputar dan komponen tetap. Komponen berputar terdiri dari poros dan impeler, sedangkan komponen yang tetap adalah rumah pompa (*casing*), bantalan (*bearing*). Komponen lainnya dapat dilihat secara lengkap seperti pada gambar di bawah:



Gambar 2.21 Konstruksi Pompa

No	Nama bagian	No	Nama bagian	No	Nama bagian
011	Rumah	101	Impeler	201	Rumah bantalan
009	Tutup rumah	105	Mur impeler	202	Tutup bantalan
020	Cincin penyekat	111	Poros	221	Bantalan bola
023	Cincin perapat	112-1	Selubung	229	Penopang
031	Penekan paking	121-1	Pasak	719	Penyangga
033	paking	121-2	Pasak		
		122	Cincin Pelempar		
		131	Kopling		

(sumber: buku Sularso Pompa & Kompresor hal 75)

2.4 Pompa Sentrifugal Bertingkat

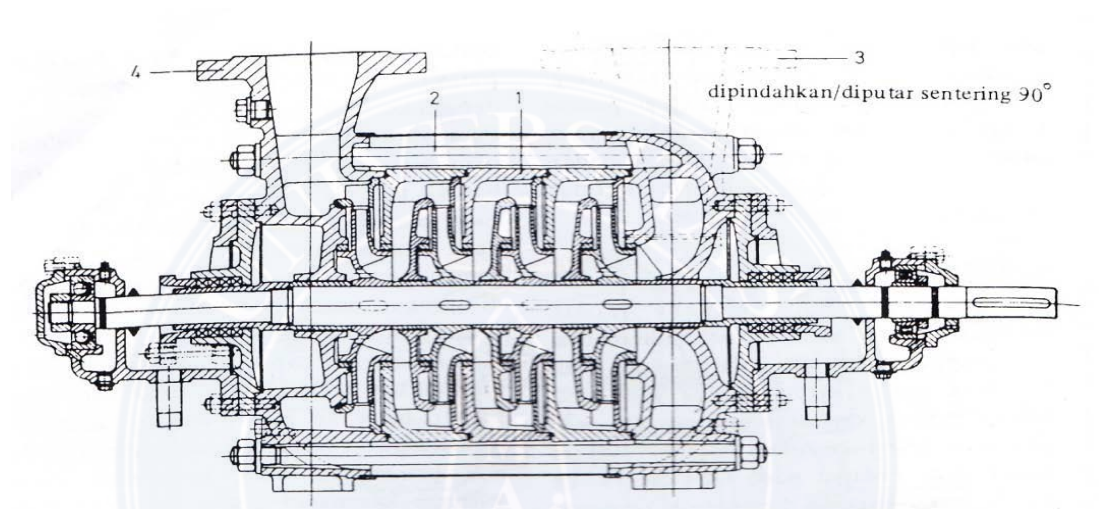
Pompa multistage atau bertingkat banyak adalah pompa yang memiliki beberapa buah impeller yang disusun secara seri. Konstruksi impeler biasanya menghadap satu arah tetapi untuk menghindari gaya aksial yang timbul dibuat saling membelakangi. Pada rumah pompa banyak tingkat, dapatnya dipasang diffuser, tetapi ada juga yang menggunakan volut. Pemasangan diffuser pada rumah pompa banyak tingkat lebih menguntungkan daripada dengan rumah volut, karena aliran dari satu tingkat ketingkat berikutnya lebih mudah dilakukan.

Daya yang diperlukan sebanding dengan jumlah tingkat pompa. Pompa dengan beberapa tingkat, yang rumah tingkatnya sama dan berturut-turut satu sama lainnya dihubungkan menjadi satu disebut pompa yang beruas-ruas. Konstruksi pompa semacam ini sering digunakan sebagai pompa pengisi air ketel. Setiap tingkat mempunyai sebuah roda jalan, sebuah roda pengarah dan kadang-kadang roda pengarah bersama-sama dengan dengan sudu penghantar balik dituang menjadi satu, kemudian roda jalan dan roda pengarah serta sudu penghantar balik disusun jadi satu didalam rumah tingkat pompa tersebut. Dengan bertingkat banyak memungkinkan daerah tinggi tekan pompa lebih besar dan pompa bisa dibuat dengan ekonomis.

2.4.1 Konstruksi Pompa Bertingkat

Pelaksanaan untuk pompa dengan empat tingkat terdapat pada gambar 2.22. Bantalan yang menyangga poros mempunyai cincin pelindung supaya bocoran cairan tidak masuk kedalam bantalan. Kedua rumah bantalan dibuat jadi

satu dengan rumah pompa. Juga dengan kedua penutup dilengkapi dengan tabung *packing* poros dan diikat dirumah pompa bagian hisap (3) dan bagian tekan (4). Akhirnya dengan menggunakan baut yang panjang yang berfungsi sebagai jangkar tarik (2) semuanya termasuk ruas-ruas pembagian tingkat-tingkat pompa diikat menjadi satu.



Gambar 2.22 Penampang memanjang dari susunan pompa sentrifugal bertingkat

Bagian-bagian pompa diatur tegak lurus poros. Sesudah roda jalan tingkat pertama ditempatkan, menyusul cincin dengan sudu pengarah, kemudian baru dipasang cincin dengan sudu hantar balik. Untuk bagian-bagian dari tingkat-tingkat selanjutnya diatur dan dipasang dengan cara yang sama, kemudian baru dipasang penutup dengan saluran hisap. Cara pemasangan dan pengaturan ini disebut sebagai cara pemasangan yang berantai/berurutan sesuai dengan ruas-ruas pembagian tingkat pompa.

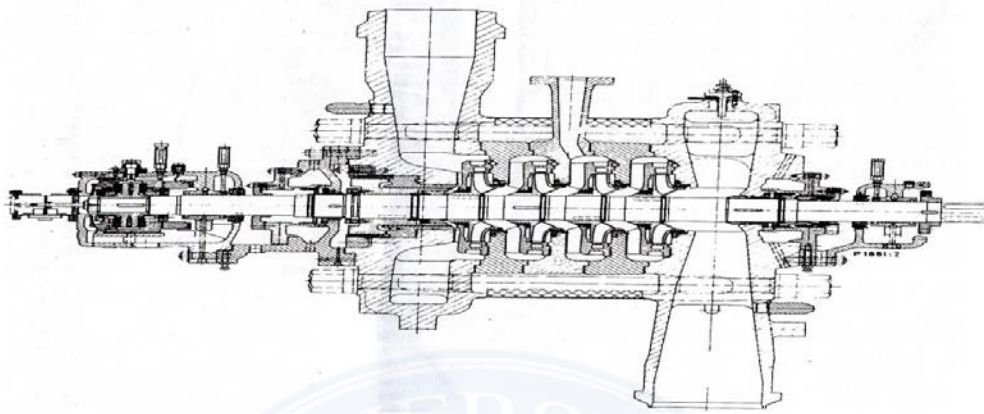
Untuk air pengisi air ketel uap bisa dibuat sampai 12 ruas tingkat pompa. Batasan yang ada adalah terhadap makin bertambahnya diameter poros. Semakin

besar diameter poros, semakin kecil diameter saluran masuk D1 dari sudu jalan, dan semakin kecil perbandingan diameter D2/D1 dan tinggi kenaikan tiap tingkat akan semakin kecil juga, serta diameter celah akan bertambah besar sehingga kerugian kebocoran akan semakin banyak. Karena adanya beban bengkok yang bekerja pada poros dan adanya putaran kritis, maka poros harus dibuat cukup kaku (*rigid*).

2.4.2 Pompa Bertingkat yang Beruas-ruas

Pompa bertingkat banyak yang beruas-ruas dapat diketahui dari konstruksinya yang ada/memakai baut jangkar yang memegang dan menekan rumah pompa rumah pompa bagian hisap dan bagian tekan dengan kuat, karena baut jangkar ini akan menerima pemuaian / regangan akibat panas dan supaya tetap bisa menekan rumah pompa dengan kuat, maka pada baut ini harus diberi tegangan mula/gaya pengencangan yang tertentu. Dibagian tengah terdapat sebuah saluran yang fungsinya adalah untuk mengambil air dari dalam pompa, air yang digunakan sebagai pendingin pada proses peredaran uap tekanan tinggi dengan cara disemprotkan.

Gaya geser aksial yang ada didalam pompa ini dikompensir dengan torak yang bertingkat dua dan diterima oleh bantalan aksial yang bisa bekerja dalam 2 arah. *Packinnya* poros sebelah luar (tabung packing poros) ditempatkan didalam rumahnya sendiri-sendiri.

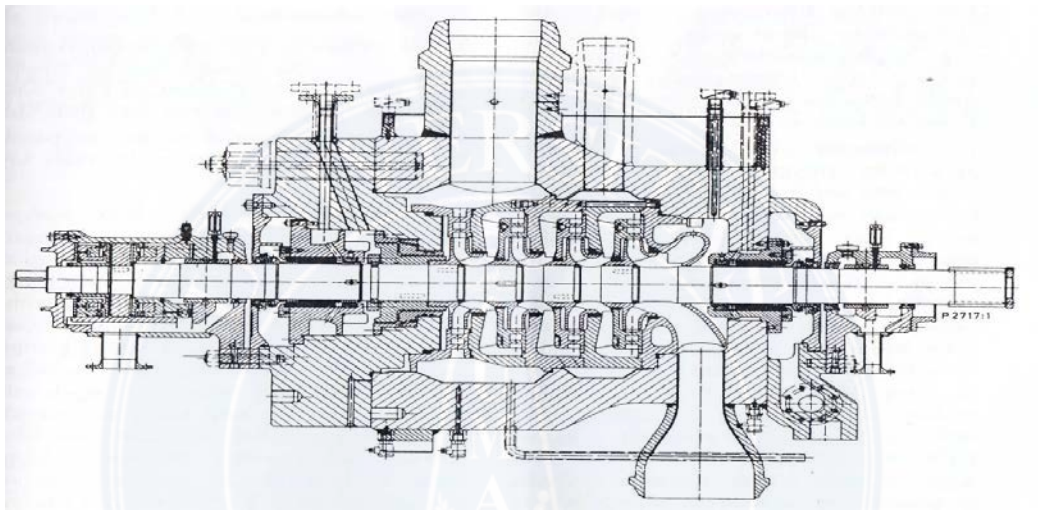


Gambar 2.23 Pompa air pengisi ketel 4 tingkat dengan bentuk konstruksi yang beruas-ruas

2.4.3 Pompa Air Pengisi Ketel yang Bertingkat Bayak dengan Rumah yang Berbentuk Tangki/Tabung

Rumah pompa ini terdiri dari “tabung” kanan, dimana sesungguhnya rotor ditempatkan disini, dan ada yang disebelah kiri adalah “tutup” dengan melalui sambungan keliling dan dengan 2 baut yang pendek tutup dihubungkan dengan tabung/tangki. Sambungan keliling dari bagian yang berbentuk silider tersebut dibuat sedemikian rupa, sehingga hanya setengah seperti sambungan memanjangnya. Saluran hisap dan saluran tekan kedua-duanya dilas dengan tabung/tangki, pada waktu mengadakan perbaikan atau dalam hal suatu pertukaran rotor rumah yang berbentuk tabung tetap tinggal di instalasi/didalam sistem saluran pipa. Masalah ini akan sangat berarti sekali bagi penggunaan diinstalasi pusat tenaga listrik yang tidak mempunyai cadangan dengan lengkap. Material dan ongkos pembuatan pada pompa yang rumahnya berbentuk tabung bila

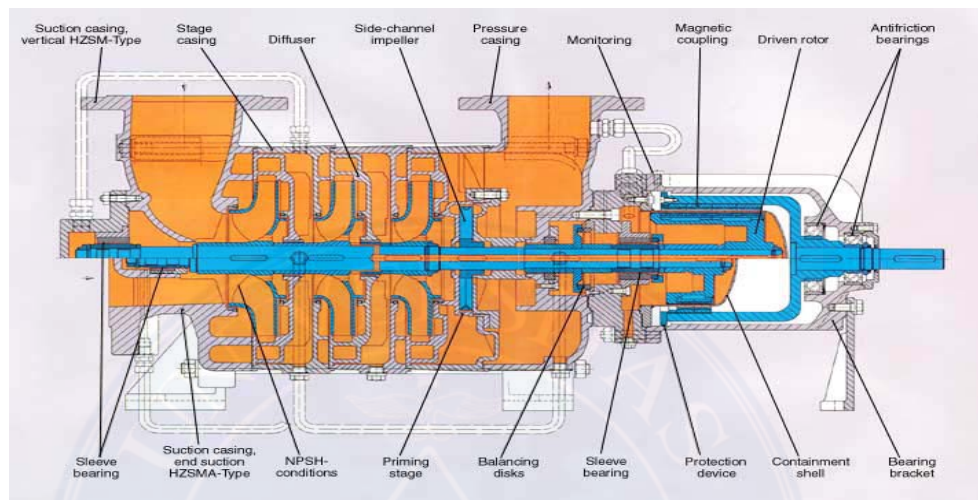
dibandingkan dengan pompa yang beruas-ruas agak lebih besar dan akan semakin besar bila kapasitasnya makin kecil.



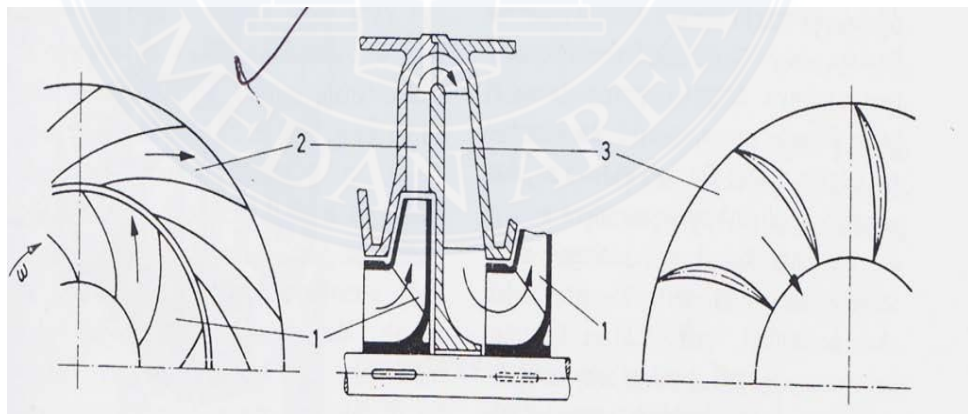
Gambar 2.24 Pompa air pengisi ketel 4 tingkat dengan rumah berbentuk tabung/tangki

2.4.4 Cara Kerja Pompa Sentrifugal Bertingkat dan Bagian-bagian Pompa

Bertingkat 3 Tingkat



Gambar 2.25 Bagian Pompa Multistage (bertingkat banyak)



Gambar 2.26 Cara kerja pompa bertingkat banyak

Cara kerja dari suatu pompa sentrifugal yang bertingkat banyak terlihat pada gambar diatas. Pada gambar sebelah kiri adalah impeller (1) dengan sudu pengarah (2) yang dengan teratur terletak di dalam rumah pompa. Seperti yang

diperlihatkan di gambar bagian tengah, cairan melalui sudu pengarah dan ruangan tanpa sudu masuk ke sudu hantar balik. Pada gambar bisa dilihat bahwa lebar sudu dari sudu hantar balik bertambah besar, maksudnya adalah untuk mendapatkan luas penampang yang bertambah besar sehingga kecepatan cairan masuk ke impeller berikutnya menjadi kecil.

2.5 Pompa Pengisi Air Umpan Ketel

Boiler Feed Water Pump merupakan salah satu aplikasi penggunaan pompa sentrifugal berukuran besar pada industri pembangkit listrik tenaga uap. Pompa ini berfungsi untuk mengontrol dan *mensupply* air pada jumlah tertentu yang berasal dari tanki air (*Feed Water Tank*) atau Daerator menuju boiler dengan spesifikasi tekanan tertentu. Air tersebut sebelum masuk ke boiler biasanya mengalami pemanasan awal (*pre-heating*). Sehingga air yang dipompa oleh *Boiler Feed Water Pump* juga memiliki temperatur tertentu yang cukup panas.

Boiler Feed Water Pump pada PLTU terdiri atas pompa dan penggerak. Penggerak yang digunakan bisa berupa motor listrik atau juga turbin uap berukuran kecil. Pompa tersebut di-*couple* dengan atau tanpa sistem transmisi tergantung desainnya. *Boiler Feed Water Pump* berspesifikasi pompa sentrifugal, *multi-stage*, dan *single flow*. Juga menggunakan *mechanical seal* serta *thrust* dan *journal bearing*. Dan untuk menahan gaya aksial yang besar, digunakan *balance drum* yang mengambil sebagian kecil air dari sisi outlet pompa untuk dimasukkan ke bagian inlet untuk melawan gaya aksial yang timbul.

Boiler Feed Water Pump mensupply air menuju boiler dalam jumlah tertentu, yang pada prakteknya jumlah air yang dibutuhkan oleh boiler ini berubah-ubah. Perubahannya berdasarkan jumlah uap air produk boiler yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya. Misal pada PLTU, pada saat beban listrik tinggi maka kebutuhan uap air yang masuk ke dalam turbin uap juga tinggi otomatis jumlah air yang dibutuhkan untuk masuk ke boiler juga tinggi, sehingga *Boiler Feed Water Pump* akan mensupply air dalam jumlah sesuai kebutuhan. Demikian pula sebaliknya pada saat beban listrik rendah.

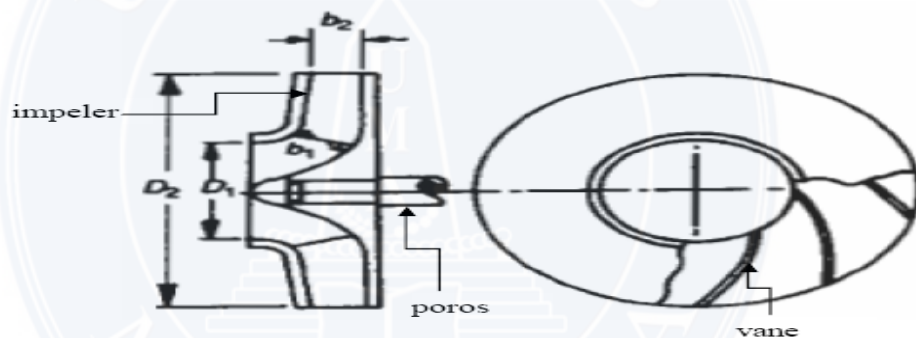
Boiler Feed Water Pump memompa air ke boiler dengan jumlah/debit yang bervariasi. Hal ini dengan jalan mengubah-ubah kecepatan putaran pompanya.

Jika pompa menggunakan penggerak turbin uap, maka kecepatan putarnya akan diatur oleh bukaan *control valve* uap air penggerak turbin tersebut. Jika bukaannya besar maka uap air yang masuk akan semakin banyak dan putaran turbin sekaligus putaran pompa akan lebih besar. Sedangkan jika menggunakan penggerak motor listrik, maka yang mengatur besar debit air adalah *fluid coupling*. *Fluid coupling* ini mengatur kecepatan putar pompa sesuai dengan kebutuhan debit air yang dibutuhkan. Sedangkan putaran motor listrik sebagai penggerak utamanya adalah tetap / konstan.

2.6 Performansi Pompa Sentrifugal

2.6.1 Kecepatan Spesifik

Pada gambar 2.27 memperlihatkan ukuran-ukuran dasar pompa sentrifugal. Zat cair akan masuk melalui sisi hisap dengan diameter D_1 . Diameter impeler sisi masuk adalah D_1 dan pada sisi ke luar adalah D_2 . Ukuran- ukuran tersebut akan menentukan kapasitas pompa dan tinggi-tekan pompa. Terutama perbandingan D_1/D_2 yaitu perbandingan diameter impeler sisi masuk dan keluar pompa. Semakin besar head yang diinginkan, maka D_2/D_1 harus dibuat besar, sehingga dapat diperoleh suatu kerja gaya sentrifugal optimal.



Gambar 2.27 Ukuran-ukuran dasar pompa

Dalam merancang pompa, besaran yang paling penting untuk ditentukan adalah kecepatan spesifik. Dengan mengetahui kecepatan spesifik, parameter - parameter pompa yaitu kapasitas pompa, tinggi kenaikan pompa atau head, dan perbandingan diameter impeler dapat ditentukan. Perumusannya adalah:

$$n_s = \frac{n \cdot Q^{0.5}}{H^{0.75}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

n_s = kecepatan spesifik (menit-1)

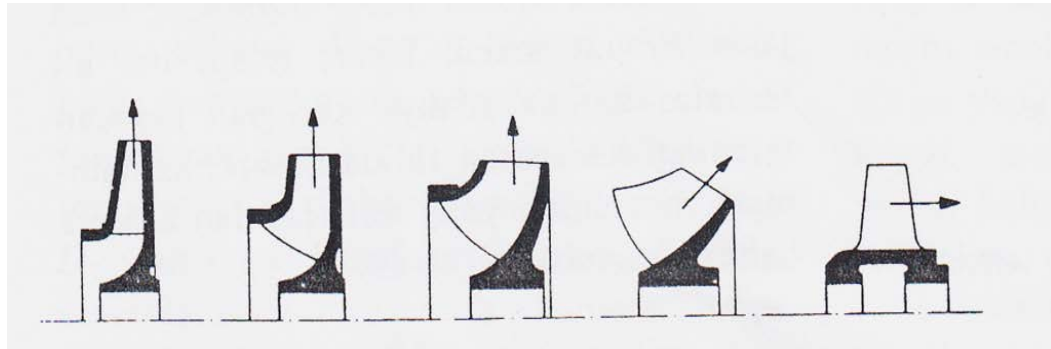
n = putaran impeller (rpm)

Q = kapasitas pompa (Gpm)

H = tinggi-tekan (ft)

Kecepatan spesifik n_s adalah kecepatan putar yang sebenarnya n dari pompa pembanding yang mempunyai geometri sudu-sudu impeller sebangun dan dapat menghasilkan tinggi kenaikan $H = 1\text{m}$ dan $Q = 1\text{ m}^3/\text{dt}$. Dari perumusan kecepatan spesifik di atas dapat disimpulkan bahwa pompa dengan head total yang tinggi dan kapasitas yang kecil cenderung mempunyai harga n_s yang kecil, sebaliknya head total rendah dan kapasitas besar mempunyai n_s besar

Persamaan diatas berlaku untuk pompa yang bertingkat satu. Untuk hal-hal yang khusus dimana tinggi kenaikan pompa yang besar atau pada kapasitas pompa yang kecil, akan didapatkan kecepatan spesifik yang sangat kecil, sehingga dengan demikian pompanya dibuat dengan bertingkat banyak. Untuk itu kapasitas pompa Q di semua tingkat adalah sama, bila jumlah tingkatnya i maka tinggi kenaikan tiap tingkat adalah H/i . Tetapi sebaliknya bila kapasitas pompa besar dan tinggi kenaikannya kecil, dari hasil perhitungan diperoleh harga kecepatan spesifik besar dan didapat lebar sudu jalan yang besar dengan perbandingan diameter D_2/D_1 yang kecil, selanjutnya bila harga n_s makin bertambah/tinggi, pelaksanaannya adalah sesuai dengan roda propeller dari turbin Kaplan.



Roda tekanan tinggi	Roda tekanan menengah	Roda tekanan rendah	Roda sekerup	Roda Propuler
n_s s/d 25	s/d 40	s/d 70	s/d 150	s/d 300 $menit^{-1}$

Gambar 2.28 Harga n_s dengan bentuk impeler dan jenis pompa

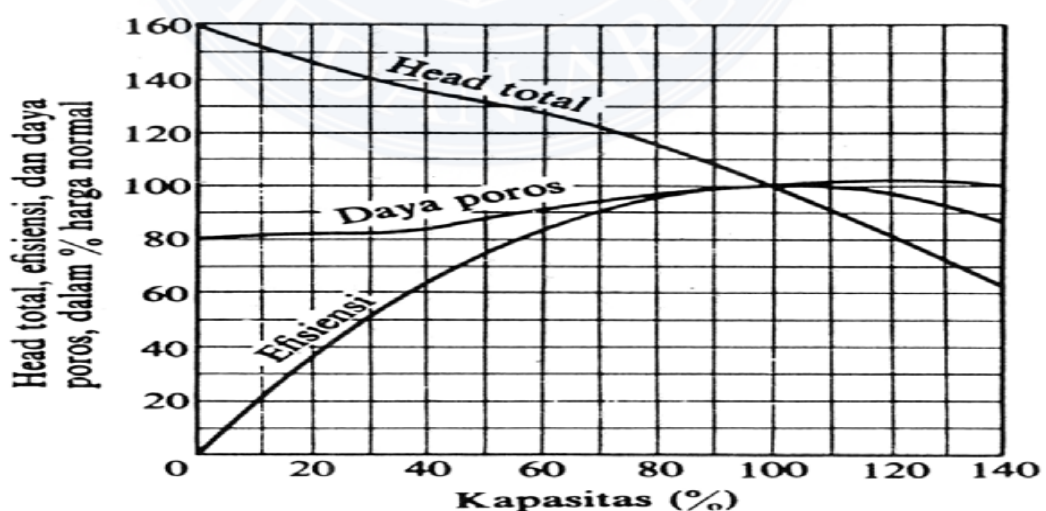
Kecepatan spesifik adalah notasi yang khusus untuk tanda pengenal bentuk roda. Besarnya mesin yang dibuat tidak tergantung kepada kecepatan spesifik. Istilah dan daerah kerja yang berlaku untuk masing-masing bentuk roda adalah sebagai berikut:

- Roda putaran pelan, roda tekanan tinggi, roda radial $n_s = 10$ sampai 30 menit^{-1}
- Roda putaran menengah (medium), roda tekanan menengah $n_s = 30$ sampai 60 menit^{-1}
- Roda putaran cepat, roda sekerup $n_s = 50$ sampai 150 menit^{-1}
- Roda putaran cepat, roda propeller dan roda aksial $n_s = 110$ sampai 500 menit^{-1}

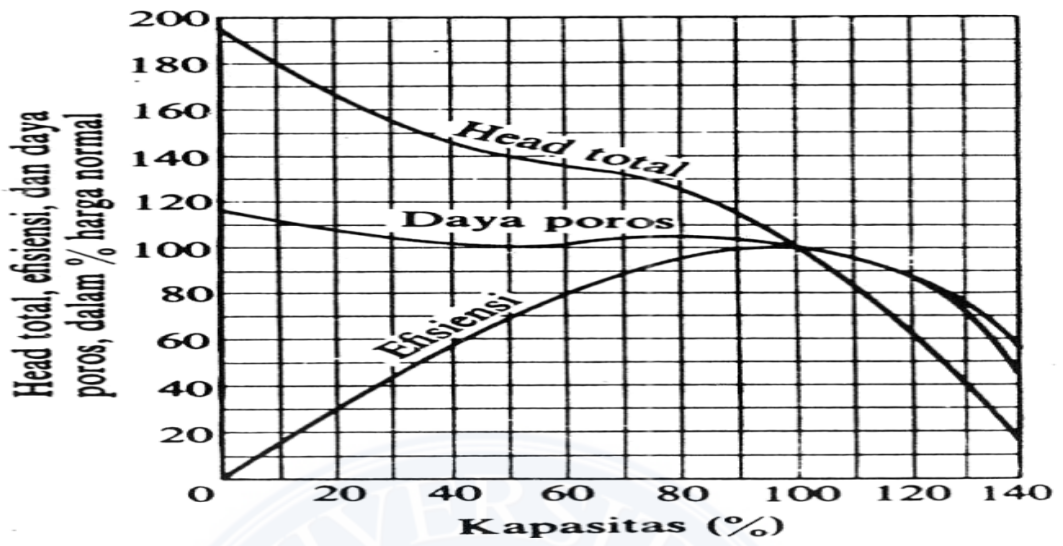
2.6.2 Kurva Karakteristik

Kurva karakteristik menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa terhadap kapasitasnya. Pada gambar 2.29 mewakili nilai n_s yang kecil dengan jenis pompa sentrifugal *volut*, gambar 2.30 nilai n_s sedang dengan jenis pompa aliran campur dan gambar 2.31 nilai n_s besar dengan pompa aliran *axial*. Dari gambar-gambar tersebut, menunjukkan semakin besar nilai n_s , kurva head kapasitas menjadi semakin curam, artinya pada nilai nilai n_s besar, harga head mengecil dan kapasitas atau debit menjadi besar.

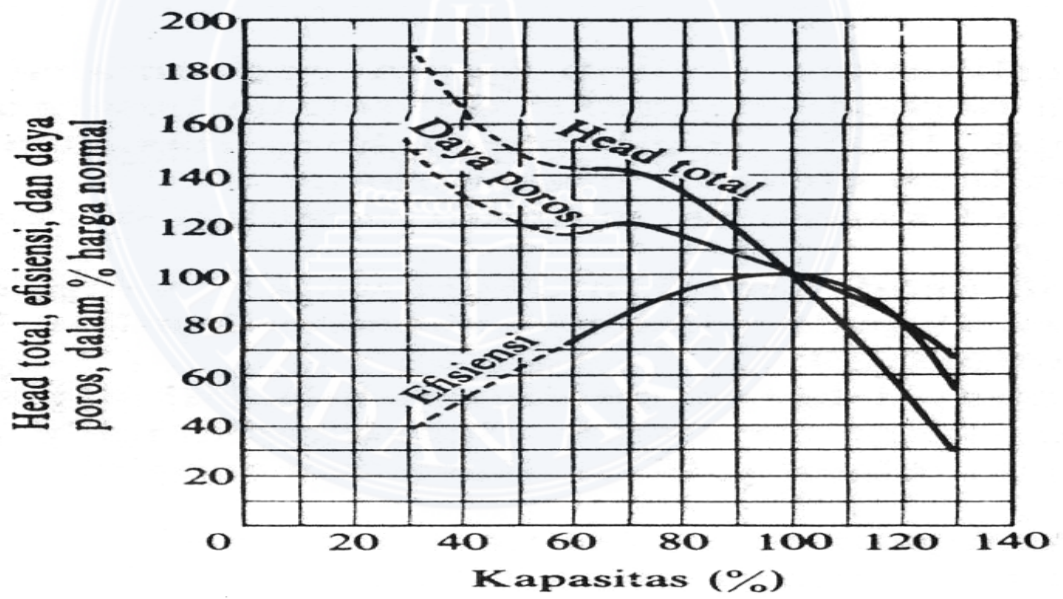
Head pada kapasitas 0% semakin besar pada nilai-nilai n_s besar. Kurva daya terhadap kapasitas pada kapasitas 0% akan mempunyai harga minimum pada n_s kecil, sebaliknya pada n_s besar harganya maksimum. Pada kurva efisiensi, kapasitas pada tiga grafik mendekati bentuk busur dan hanya sedikit bergeser dari nilai optimumnya apabila kapasitasnya berubah.



Gambar 2.29 Grafik karakteristik pompa dengan n_s kecil



Gambar 2.30 Grafik karakteristik pompa dengan n_s sedang



Gambar 2.31 Grafik karakteristik pompa dengan n_s besar

2.6.3 Head (Tinggi-tekan)

Pada uraian tentang persamaan Bernoulli yang dimodifikasi untuk aplikasi pada instalasi pompa, terlihat bahwa persamaan Bernoulli dalam bentuk energi "head" terdiri dari empat bagian "head" yaitu head elevasi, head kecepatan, head tekanan, dan head kerugian (gesekan aliran). Persamaan Bernoulli dalam bentuk energi head :

$$\left\{ Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} \right\}_1 + H_{\text{pompa}} = \left\{ Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} \right\}_2 + H_{\text{pompa}}$$

$$H_{\text{pompa}} = \left\{ Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} \right\} + H_{\text{losses}}$$

$$H_{\text{pompa}} = \left\{ \Delta Z + \Delta \frac{P}{\rho g} + \Delta \frac{v^2}{2g} \right\} + H_{\text{losses}}$$

$$H_{\text{statis}} = \left\{ \Delta Z + \Delta \frac{P}{\rho g} \right\}$$

$\Delta Z = h_z$ = head elevasi, perbedaan tinggi muka air sisi masuk dan ke luar (m).

$\Delta \frac{v^2}{2g} = h_v$ = head kecepatan sisi masuk dan ke luar (m)

$\Delta \frac{P}{\rho g} = h_p$ = head tekanan sisi masuk dan ke luar (m)

$$H_{\text{totalpompa}} = (h_z + h_v + h_p) + H_{\text{losses}}$$

2.6.4 Head Statis Total

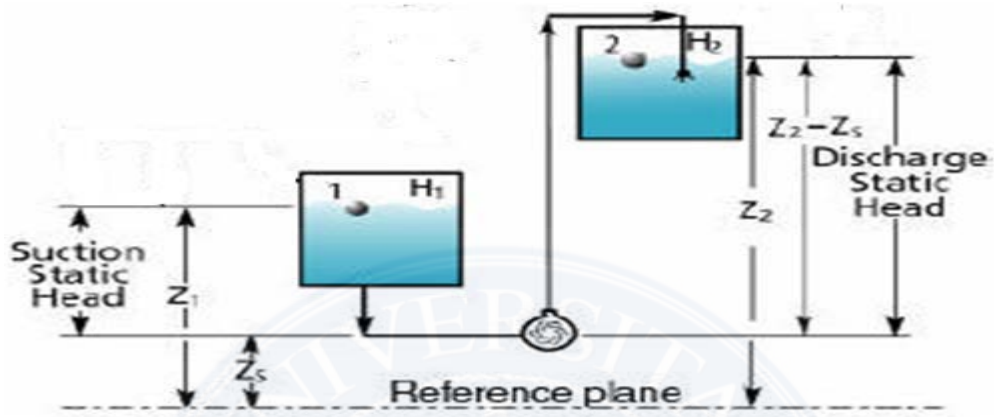
Head statis adalah penjumlahan dari head elevasi dengan head tekanan. Head statis terdiri dari head statis sisi masuk (head statis hisap) dan sisi ke luar (head statis tekan). Persamaanya adalah sebagai berikut:

$$h_{\text{statis isap}} = \left(Z + \frac{P}{\rho g} \right)_1$$

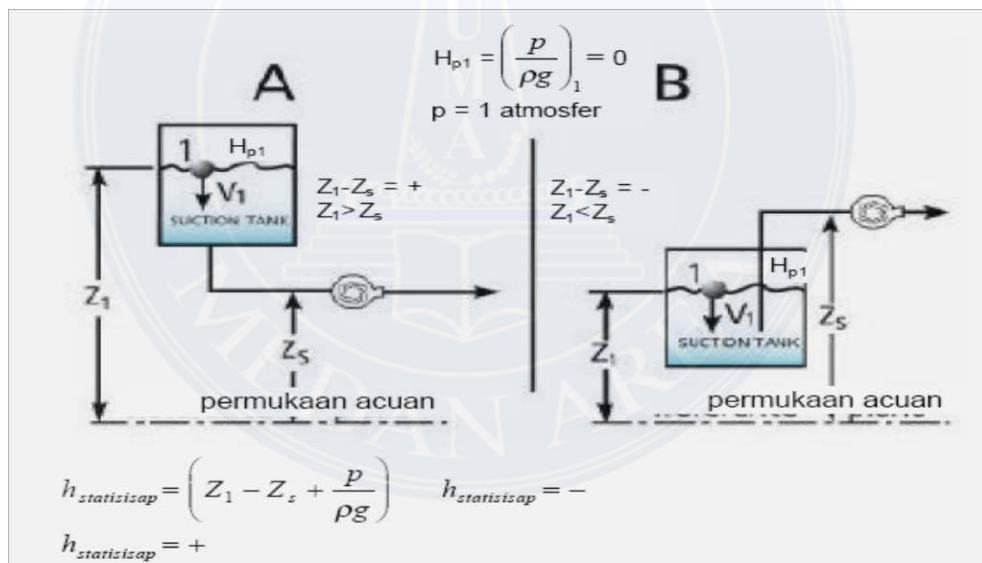
$$h_{\text{statis buang}} = \left(Z + \frac{P}{\rho g} \right)_2$$

$$h_{statis\ total} = \left(Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} - Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right)$$

$$h_{statis\ total} = h_{statis\ buang} - h_{statis\ isap}$$



Gambar 2.32 Head statis total



Gambar 2.33 Head statis hisap [A] pompa di bawah tendon [B] pompa diatas tendon

2.6.5 Kerja, Daya dan Efisiensi Pompa

Pompa merupakan mesin yang bekerja dengan menggunakan energi luar. Energi dari luar diubah menjadi putaran poros pompa dimana impeler terpasang padanya. Perubahan energi dari satu kebentuk lainnya selalu tidak sempurna dan ketidaksempurnaan perubahan ini yang disebut dengan efisiensi.

Ada beberapa definisi yang berhubungan dengan kerja pompa, yaitu:

1. Efisiensi adalah perbandingan kerja berguna dengan kerja yang dibutuhkan mesin.
2. Daya rotor (motor penggerak) adalah jumlah energi yang masuk motor penggerak dikalikan efisiensi motor penggerak. Dirumuskan dengan persamaan $P = \Sigma \text{Daya penggerak} \times \eta_{\text{motor penggerak}}$
3. Daya poros pompa atau daya efektif pompa adalah daya dihasilkan dari putaran rotor motor listrik dikalikan dengan efisiensi koplingnya, dihitung dengan persamaan:

$$P_{\text{poros}} = \frac{\eta_{\text{transmisi}} \times P_{\text{rotor}}}{(1 + \alpha)}$$

$$\text{Atau } P_{\text{poros}} = \frac{P_{\text{air}}}{n_p}$$

Dimana :

η = efisiensi transmisi (tabel)

P_{rotor} = daya rotor (watt)

P = daya poros (watt)

α = faktor cadangan (tabel)

Tabel 2.1 Faktor cadangan daya dari motor penggerak

Motor Penggerak	α
Motor Induksi	0,1 – 0,2
Motor Bakar Kecil	0,15 – 0,25
Motor Bakar Besar	0,1 – 0,2

Tabel 2.2 Efisiensi berbagai jenis transmisi

Jenis Transmisi	N
Sabuk Rata	0,9 - 0,93
Sabuk V	0,95
Roda Gigi	0,92 – 0,98
Kopling Hidrolik	0,95 – 0,97

4. Daya air adalah kerja berguna dari pompa persatuan waktunya, kerja berguna ini yang diterima air pada pompa, perumusan dari daya air adalah sebagai berikut. Apabila pompa dengan kapasitas aliran sebesar Q dan head total H maka energi yang diterima air persatuan waktunya adalah:

$$P_{air} = \gamma \cdot Q \cdot H$$

Dimana:

γ = berat air persatuan volume N/m³

Q = kapasitas (m³/s)

H = head pompa (m)

P_w = daya air (Watt)

5. Efisiensi pompa didefinisikan sebagai perbandingan antar daya air dengan daya pada poros. Perumusan efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta_{pompa} = \frac{\text{daya air}}{\text{daya pada poros}} = \frac{P_{air}}{P_{poros}}$$

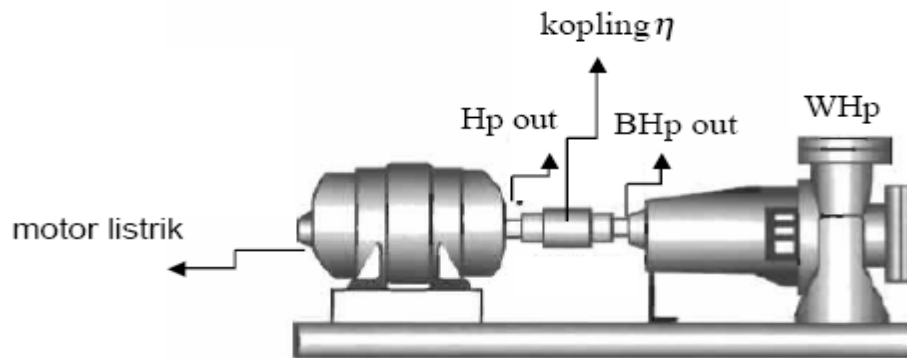
$$\eta_{pompa} = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta_{transmisi} \times P_{rotor}} (1 + \alpha)$$

$$\eta_{pompa} = \frac{\gamma \times Q \times H (1 + \alpha)}{\eta_{transmisi} \times \eta_{motorpenggerak} \times \Sigma \text{dayapenggerak}}$$

Gambar berikut akan membantu memahami proses perubahan dari kerja pompa.

Apabila semua satuan daya dikonversikan ke *Horse power* sehingga ada istilah-istilah sebagai berikut:

- ✓ Untuk daya air dapat disebut *Water Horse Power WHP*
- ✓ Untuk daya poros dapat disebut *Brake Horse Power BHP*
- ✓ Untuk daya rotor dalam *Horse power*
- ✓ Untuk daya penggerak masuk *KW*



Gambar 6.12 Pompa dan penggerak mula motor listrik

Gambar 2.34 Pompa dan penggerak mula motor listrik

2.6.6 Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem

Sebelum pelaksanaan instalasi pompa untuk keperluan tertentu, ada beberapa hal yang penting untuk diperhatikan, seperti pompa harus dapat mengatasi head yang besarnya bergantung dari kapasitas atau laju aliran. Pompa melayani kebutuhan head yang tinggi dengan kapasitas yang rendah, atau pompa harus melayani kebutuhan kapasitas yang besar dengan head yang rendah.

Hubungan antara head dan kapasitas pompa dan sistem disajikan dalam grafik kurva head kapasitas seperti terlihat pada gambar 2.35. Dari grafik ini akan terbaca kemampuan dari pompa untuk memenuhi head pada kapasitas aliran tertentu. Pada operasinya, disamping harus memenuhi head pompa, pompa juga harus memenuhi head dari system instalasi.

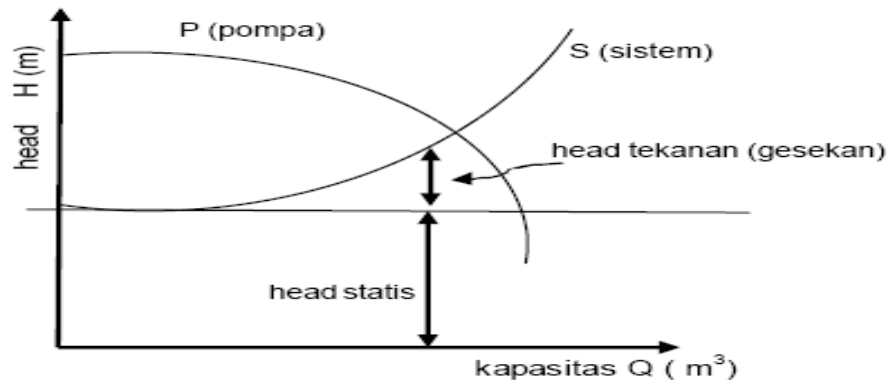
Head sistem adalah head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem pipa, head ini sama dengan head untuk mengatasi kerugian gesek ditambah head statis sistem. Head statis adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair

ditadah hisap dan ditadah ke luar. Dari grafik pada Gambar 2.35 dapat dilihat terdapat titik perpotongan antara head pompa dengan sistem. Titik perpotong tersebut merupakan titik kerja pompa dan sistem. Pada titik ini menunjukkan bahwa head yang dibutuhkan system sama dengan head yang dapat diberikan pompa pada kapasitas yang sama.

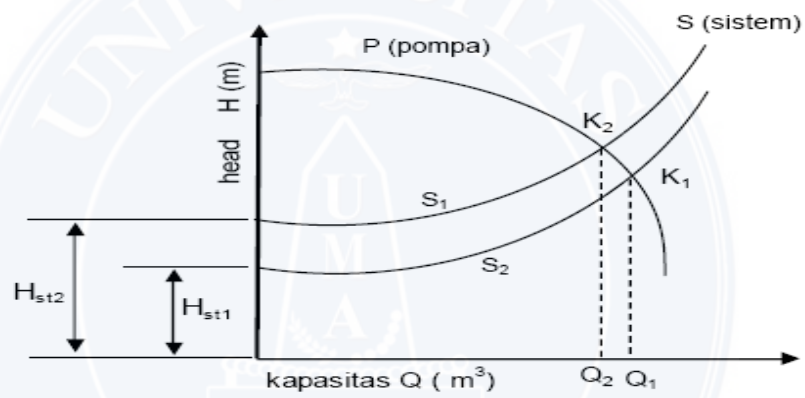
Kurva head laju aliran dari sistem berubah sebagai contoh karena head statis atau tahanan sistem pipa berubah. Apabila hal demikian terjadi maka titik kerja pompa sistem juga berubah. Dapat dilihat pada Gambar 2.36 adalah contoh perubahan dari titik kerja. Head statis berubah dari H_{st1} menjadi H_{st2} , kurva sistem berubah dari S_1 ke S_2 dan titik kerja berubah dari K_1 menjadi K_2 . Kapasitasnya pun berubah dari Q_1 menjadi Q_2 .

Pada Gambar 2.37 menunjukkan perubahan dari titik kerja K_1 menjadi K_2 , hal ini terjadi karena adanya perubahan kurva sistem S_1 menjadi S_2 . Dari perubahan itu mengakibatkan kapasitas berubah dari Q_1 menjadi Q_2 . Kenaikan tahanan pompa dapat terjadi karena katup pengaturan diperkecil pembukaannya.

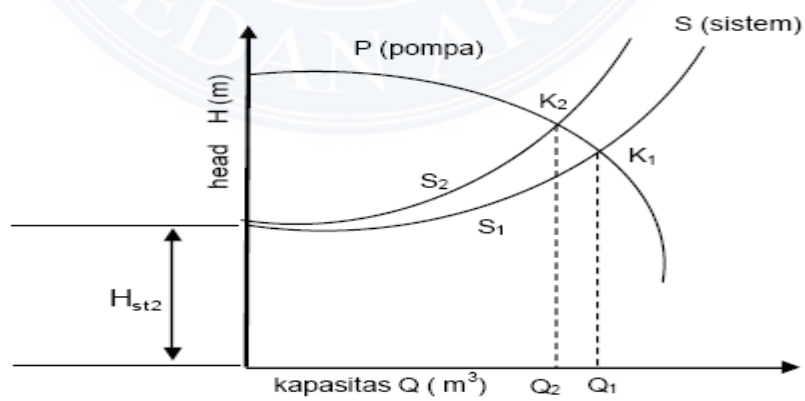
Dari dua contoh di atas menunjukkan bahwa selama operasi pompa apabila terjadi perubahan head statis dan head kerugian gesek, akan menggeser kurva sistem dari pompa. Sehingga titik kerja dari pompa juga akan berubah dan selanjutnya kapasitasnya pun berubah.



Gambar 2.35 Grafik Kurva Head Kapasitas



Gambar 2.36 Kurva head pompa dengan variasi head statis



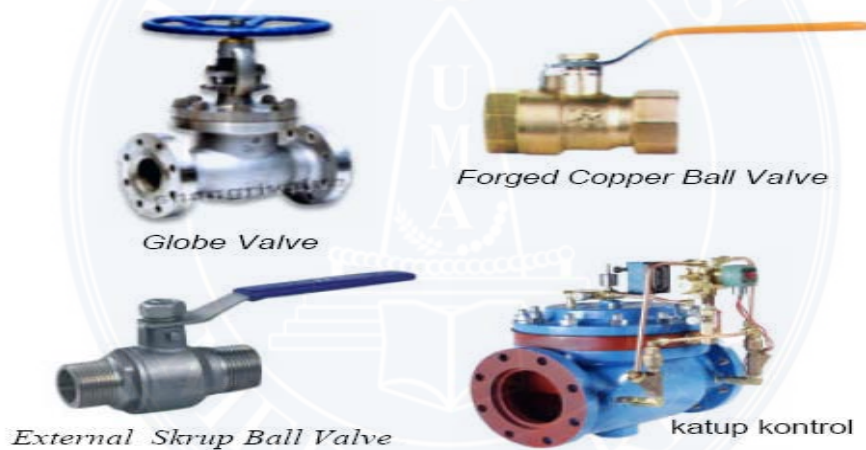
Gambar 2.37 Kurva head pompa dengan kenaikan tahanan

2.6.7 Kontrol Kapasitas Aliran

Kebutuhan pelayanan kapasitas operasi pompa tidak selalu tetap, tetapi disesuaikan dengan kebutuhan, sehingga kapasitas aliran harus diatur untuk menyesuaikan kebutuhan. Berikut ini diuraikan cara- cara pengaturan.

➤ Pengaturan katup

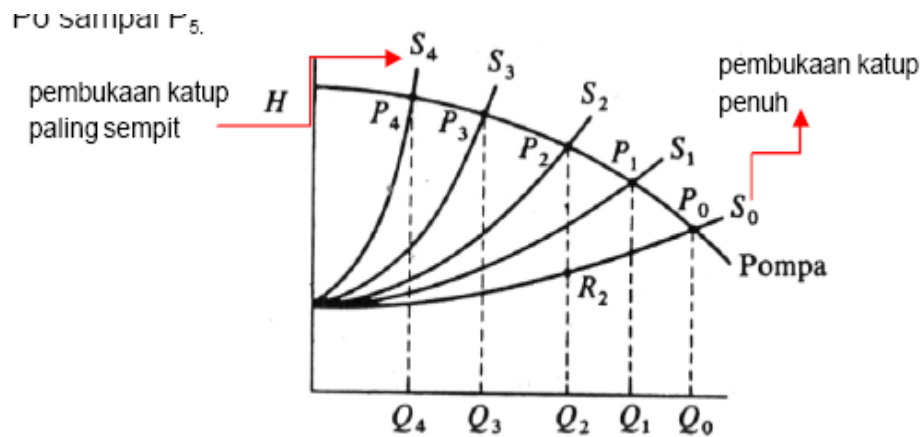
Pada instalasi pompa terdapat katup-katup untuk pengaturan kapasitas, terutama pada sisi pipa ke luar pompa. Laju aliran diatur dengan menghambat aliran dengan mengubah-ubah pembukaan katup. Berbagai macam tipe katup untuk kontrol kapasitas dapat dilihat pada Gambar 2.38:



Gambar 2.38 Berbagai macam katup

(sumber: www.google.com gambar berbagai macam katup (*valve*))

Pada grafik head kapasitas operasi pompa pada Gambar 2.39 dapat dilihat dengan mengubah-ubah katup kapasitas aliran berubah dari Q_0 sampai Q_4 . Jika katup dibuka penuh maka mempunyai kurva karakteristik S_0 , selanjutnya pembukaan diperkecil sehingga kurvakarakteristik menjadi S_1 , sampai S_4 . Titik operasinya akan berubah dari P_0 sampai P_4 .



Gambar 2.39 Kurva head kapasitas dengan pengaturan katup

Dengan mengubah-ubah pembukaan katup kapasitas aliran mejadi berubah, akan tetapi timbul tahanan katup sehingga menaikkan kerugian daya. Dengan kata lain, kapasitas aliran semakin dikurangi, tahanan katup semakin besar dan kerugian head juga akan semakin besar.

2.7 Penggerak untuk Pompa Industri

Agaknya setiap bentuk penggerak awal dan sumber daya, dengan beberapa jenis alat pemindah-daya, bila dibutuhkan, telah dipakai untuk pompa industri. Sekaran ini motor-motor listrik menggerakkan hampir semua pompa sentrifugal, rotary, atau torak. Akan tetapi Turbin Uap, gas, air dan motor bakar gasoline, diesel dapat dipakai juga. Sumber daya lainnya yang mempunyai popularitas yang terbatas adalah motor udara, turbin ekspansi udara, kincir angin dan lain-lain, namun pemakaiannya terbatas pada penggunaan khusus yang tertentu.

1. Motor Listrik

Untuk penggunaan , motor arus bolak-balik (ac) merupakan pilihan yang paling umum untuk penggerak pompa. Beberapa motor arus searah (dc) dipakai

untuk menggerakkan pompa karena satu atau beberapa alasan motor AC tidak sesuai. Motor DC sangat populer untuk keperluan kelautan pada semua kelas kapal.

a. Karakteristik Beban

Dua karakteristik unit yang digerakkan sangat berarti dalam memilih motor. Besarnya momen gaya start yang dibutuhkan selama operasi operasi normal dan kebutuhan kecepatan. Kebanyakan pompa sentrifugal dan *rotary* digerakkan pada kecepatan konstan, kecuali beberapa pompa berukuran lebih besar yang memakai alat (*device*) kecepatan bervariasi. Banyak pompa torak yang digerakkan pada kecepatan konstan, tetapi dalam beberapa penggunaan, pemakaian penggerak yang kecepatannya bervariasi memungkinkan kita dapat menyetel kapasitas pompa dengan mudah.

b. Motor Arus Bolak-balik

Sementara kesederhanaan pada pengendalian dan pengoperasian mengharuskan pemakaian motor induksi kecepatan konstan yang disambung langsung, motor induksi rotor yang dibelit (*wound rotor induction motor*) mempunyai empat keuntungan:

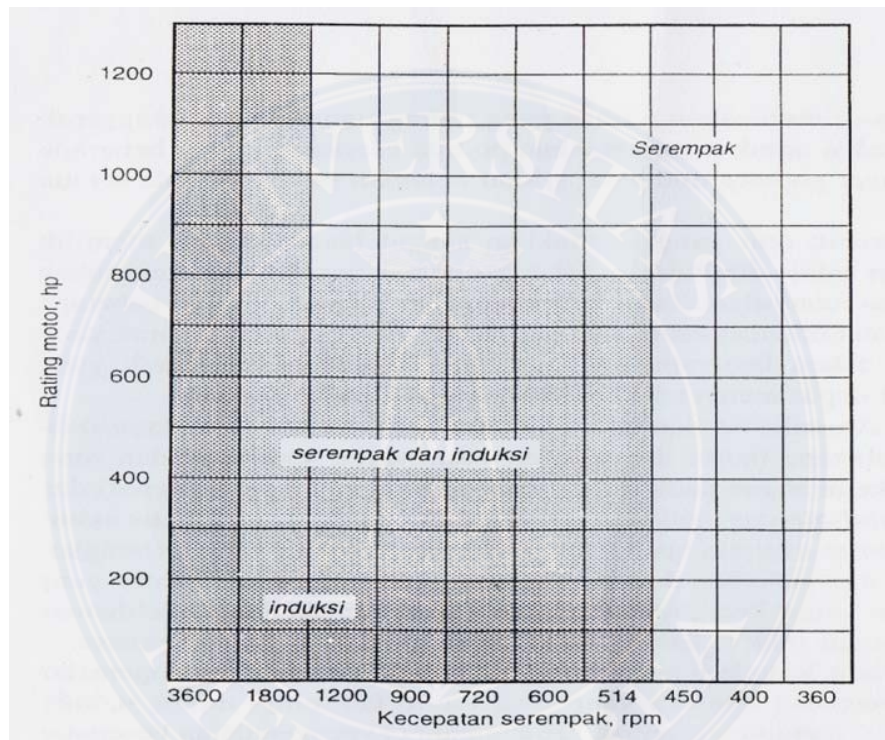
1. Pengendalian kecepatan dengan variasi kecepatan dengan variasi kecepatan hingga 50 persen dari kecepatan penuh, 40 persen dari daya kuda ujinnya
2. Momen gaya (*torque*) start yang besar pada KVA yang rendah untuk beban yang berat
3. Pembuangan kalor yang besar pada tahanan start, memungkinkan terjadinya slip (*slip los*) yang besar selama penstartan tanpa membahayakan motor

4. Beban puncak yang teredam yang diberikan oleh operasi pada slip yang besar, memberikan efek roda penerus yang diinginkan pada beban puncak. Motor rotor yang dibelit sering dipakai bila dibutuhkan pengoperasian yang periodik pada kecepatan yang tidak penuh.

Motor serempak yang modern merupakan unit yang berfungsi ganda. Motor ini merupakan alat yang efisien untuk menggerakkan pompa sementara, pada waktu yang sama motor-motor ini merupakan cara yang praktis untuk memperbaiki faktor daya pabrik. Motor serempak dapat digunakan untuk setiap beban yang dapat digerakkan dengan baik oleh motor sangkar tupai desain-B versi NEMA. Beban-beban lain yang sangat sesuai untuk motor serempak adalah beban yang menghendaki kva start yang rendah, momen gaya dapat dikontrol, atau kecepatan yang bervariasi yang memungkinkan pemakaian kopling slip. Pada 3600 rpm, motor serempak dapat dipakai untuk beban-beban dari 2000 sampai 5000 hp. Diatas jangka ini motor serempak merupakan pilihan yang pertama. Pada 1800 rpm masih disangsikan apakah motor serempak menunjukkan keuntungan diatas 1000 hp. Pada daya-daya yang lebih rendah motor-motor serempak ini bisa juga dipakai memperbaiki faktor daya pabrik.

Dalam jangka dari 500 sampai 1200 rpm, setiap motor yang beroperasi untuk tugas kontinu dan dayanya 700 hp ke atas, motor serempak dapat digunakan dengan baik. Dari 200 sampai 700 hp pada jangka kecepatan ini, pilihan tergantung pada harga perbaikan faktor daya, harga energi dan jumlah jam pengoperasian dibawah 500 rpm. Motor-motor serempak dibuat untuk beroperasi pada faktor daya yang besarnya sama dengan satu dan dalam kondisi terdahulu

(*leading*) dan efisiensi yang baik hingga ke 72 rpm. Untuk hubungan langsung pada daya-daya diatas 200 hp dan kecepatan dibawah 500 rpm, motor-motor serempak haruslah merupakan pilihan pertama untuk pompa-pompa torak berukuran besar.



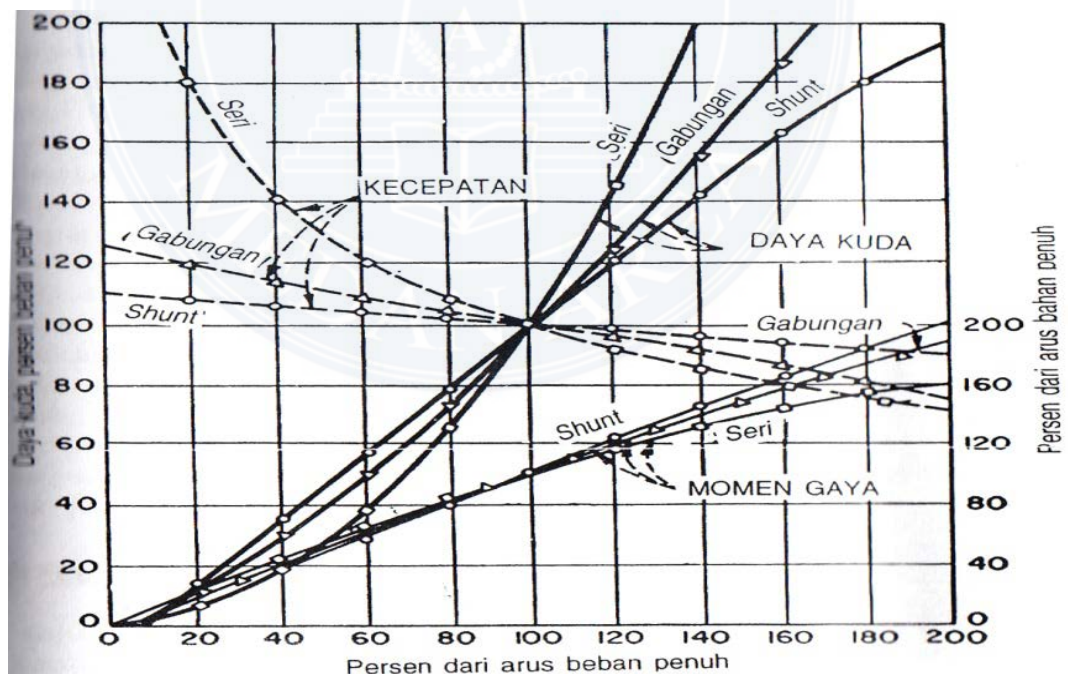
Gambar 2.40 Jangka Penggunaan untuk berbagai motor AC

c. Motor Arus Searah

Motor DC dipakai apabila motor AC tidak memuaskan. Motor-motor DC suatu produk yang berharga mahal, khususnya untuk daya yang besar. Akan tetapi motor-motor DC mudah diatur kecepatannya dan pengontrolan momen gaya, akselerasi, dan perlambatannya sederhana dan efektif. Walaupun dengan keterbatasan komutator, motor ini juga dapat menghadapi siklus kerja yang berat.

Pengalaman menunjukkan bahwa ukuran ekonomis yang maksimum dari sebuah motor DC tidak terlampaui sepanjang perkalian daya kuda dan kecepatan kurang dari 1,5 juta. Dari segi voltase 250 volt dipakai untuk unit-unit sampai dengan 500 hp, 600 volt untuk 600 sampai 1000 hp dan 700 atau 900 volt diatas 1000 hp.

Gambar 2.41 menunjukkan karakteristik kecepatan, momen gaya, dan daya kuda tiga jenis motor DC seri, *shunt*, dan gabungan. Banyak pompa sentrifugal digerakkan pada 1800 maupun 3600 rpm kedua harga ini merupakan kecepatan serempak (*synchronous speed*) peralatan AC. dengan motor DC kecepatan pertengahan dan atau kecepatan yang lebih tinggi atau lebih rendah dapat diperoleh, bila dipakai pengontrol yang sesuai.



Gambar 2.41 Karakteristik kecepatan, momen gaya, dan daya motor DC

Keuntungan dan kerugian memakai motor listrik untuk penggerak pompa:

1. Keuntungan

- a. Jika tenaga listrik ada di sekitar instalasi pompa maka penggunaan listrik untuk penggerak pompa menjadi pilihan utama, karena akan lebih ekonomis .
- b. Pengoperasiannya lebih mudah
- c. Ringan
- d. Tidak menimbulkan getaran
- e. Pemeliharaan atau perawatan murah
- f. Pengaturan mudah
- g. Tidak polusi suara dan udara

2. Kerugian

- a. Jika aliran listrik padam pompa tidak dapat dipakai sama sekali
- b. Jika pompa tidak dioperasikan atau jarang dioperasikan, biaya beban tetap harus dibayar
- c. Jika kondisi instalasi jauh dari sumber listrik, maka biaya penyambungan menjadi kendala utama dan pasti akan mahal



Gambar 2.42 Pompa dengan penggerak motor listrik