

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Umum

Pompa adalah alat untuk memindahkan fluida dari tempat satu ketempat lainnya yang bekerja atas dasar mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan alat tersebut digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan atau elevasi (ketinggian). Pada umumnya pompa digerakkan oleh motor, mesin atau sejenisnya. Banyak faktor yang menyebabkan jenis dan ukuran pompa serta bahan pembuatnya berbeda, antara lain jenis dan jumlah bahan cairan tinggi dan jarak pengangkutan serta tekanan yang diperlukan dan sebagainya. Kita tahu bahwa cairan dari tempat yang lebih tinggi akan sendirinya mengalir ketempat yang lebih rendah, tetapi jika sebaliknya maka perlu dilakukan usaha untuk memindahkan atau menaikkan fluida, alat yang lazim digunakan adalah pompa. Bacharoudis (2008) melakukan penelitian dengan menggunakan variasi besaran sudut keluaran impeller (β_2) dengan diameter dan tinggi impeller sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut keluaran (β_2) maka semakin meningkat nilai *head* (tinggi tekan) untuk kapasitas yang sama (Bacharoudis, 2008)

Dazhuan (2009) melakukan penelitian pada pompa sentrifugal dengan impeller sudu (Z) 5 yaitu memvariasi kecepatan putar pada rpm rendah, medium dan tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan putaran (n) semakin besar nilai *head* (H) semakin besar dan semakin besar kapasitasnya. Dalam menjalankan fungsinya tersebut, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa mejadi energi kinetik dan tekanan pada fluida, Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan per-

satuan waktu (kapasitas) dan energi angkat (head) dari pompa (Dazhuan, 2009)

Berikut per-satuan dari pompa air :

- Kapasitas (Q)

Merupakan volume fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Dalam pengujian ini pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan venturimeter. Satuan dari kapasitas (Q) yang digunakan dalam pengujian ini adalah m^3/s .

- Putaran (n)

Yang dimaksud dengan putaran disini adalah putaran poros (impeler) pompa, dinyatakan dalam satuan rpm. Putaran diukur dengan menggunakan tachometer.

- Torsi (T)

Torsi didapatkan dari pengukuran gaya dengan menggunakan dinamometer, kemudian hasilnya dikalikan dengan lengan pengukur momen (L). Satuan dari torsi adalah N/m.

- Daya (P)

Daya dibagi menjadi dua macam, yaitu daya poros yang merupakan daya dari motor listrik, serta daya air yang dihasilkan oleh pompa. Satuan daya adalah Watt.

- Efisiensi (η)

Merupakan perbandingan antara daya air yang dihasilkan dari pompa, dengan daya poros dari motor listrik.

2.1.1. Klasifikasi Pompa berdasarkan prinsip kerja.

Pada umumnya pompa digerakkan oleh motor, mesin atau sejenisnya. Banyak faktor yang menyebabkan jenis dan ukuran pompa serta bahan pembuatnya berbeda, antara lain jenis dan jumlah bahan cairan tinggi dan jarak

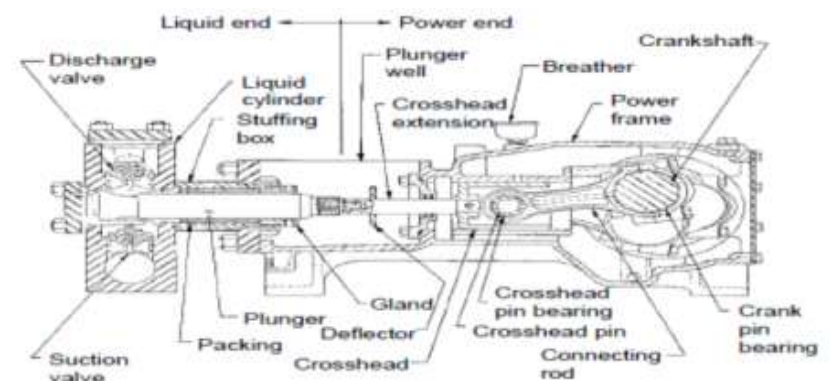
pengangkutan serta tekanan yang diperlukan dan sebagainya. Menurut prinsip kerjanya pompa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

A. *Positive Displacement Pump*

Merupakan pompa yang menghasilkan kapasitas yang intermitten, karena fluida ditekan di dalam elemen-elemen pompa dengan volume tertentu. Ketika fluida masuk, langsung dipindahkan ke sisi buang sehingga tidak ada kebocoran (aliran balik) dari sisi buang ke sisi masuk. Kapasitas dari pompa ini kurang lebih berbanding lurus dengan jumlah putaran atau banyaknya gerak bolak-balik pada tiap satuan waktu dari poros atau engkol yang menggerakkan. Pompa jenis ini menghasilkan head yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa ini dibagi lagi menjadi :

1. *Reciprocating Pump* (pompa torak)

Prinsip kerja pada pompa ini yaitu, tekanan dihasilkan oleh gerak bolak-balik translasi dari elemen-elemennya, dengan perantaran crankshaft, dan lain-lainnya. Pompa jenis ini dilengkapi dengan katup masuk dan katup buang yang mengatur aliran fluida keluar atau masuk ruang kerja. Katup-katup ini bekerja secara otomatis dan derajat pembukaannya tergantung pada fluida yang dihasilkan. Tekanan yang dihasilkan sangat tinggi, yaitu lebih dari 10 atm. Kecepatan putar rendah yaitu 250 sampai 500 rpm. Oleh karena itu, dimensinya besar dan sangat berat. Skema pompa torak ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema pompa torak

2. *Rotary Pump*

Tekanan yang dihasilkan dari pompa ini adalah akibat gerak putar dari elemen-elemennya atau gerak gabungan berputar. Bagian utama dari pompa jenis ini adalah :

- rumah pompa yang stasioner
- rotor, yang di dalamnya terdapat elemen-elemen yang berputar dalam rumah pompa

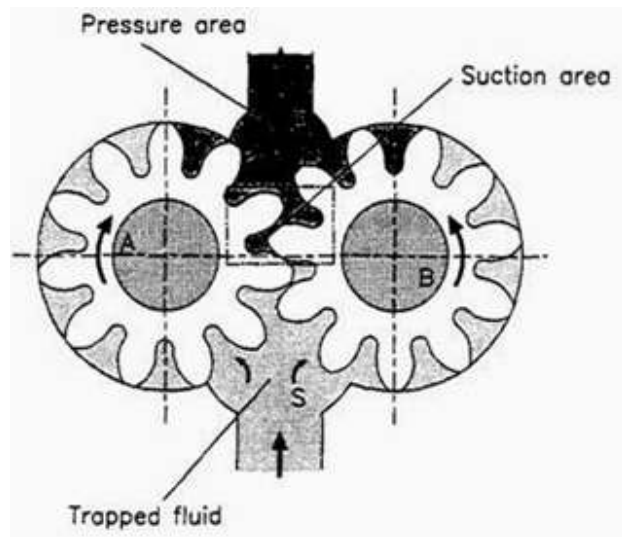
Prinsip kerjanya adalah fluida yang masuk ditekan oleh elemen-elemen yang memindahkannya ke sisi buang kemudian menekannya ke pipa tekan. Karena tidak memiliki katup-katup, maka pompa ini dapat bekerja terbalik, sebagai pompa maupun sebagai motor. Pompa ini bekerja pada putaran yang tinggi sampai dengan 5000 rpm atau lebih. Karena keuntungan tersebut, pompa ini banyak dipakai untuk pompa pelumas dan pada hydraulic power transmission.

Yang termasuk jenis pompa ini adalah:

a. *Gear Pump* (Pompa Roda Gigi)

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya dua buah roda gigi berpasangan yang terletak dalam rumah pompa akan menghisap dan menekan fluida yang dipompakan. Fluida yang mengisi ruang antar gigi ditekan ke sisi buang. Akibat diisinya ruang antar sisi tersebut maka pompa ini dapat beroperasi. Aplikasi dari pompa ini adalah pada sistem pelumasan, karena pompa ini menghasilkan head yang tinggi dan debit yang rendah.

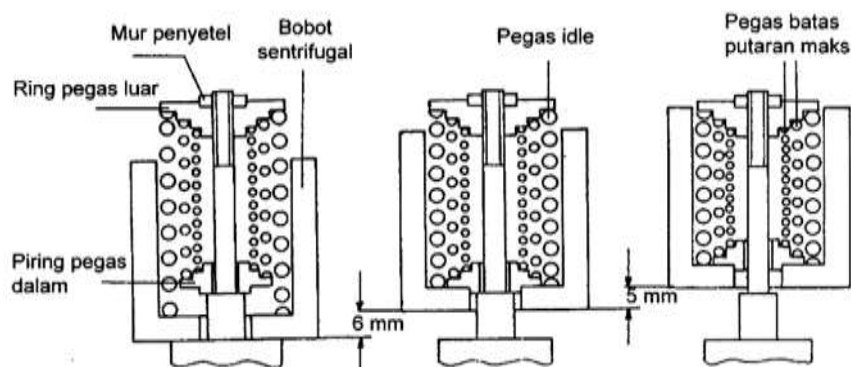
Contoh pompa roda gigi terdapat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pompa Roda Gigi. Sumber (Edward, 1996)

b. Pompa Piston

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya selubung putar menyebabkan piston bergerak sesuai dengan posisi ujung piston di atas piring dakian. Fluida terhisap ke dalam silinder dan ditekan ke saluran buang akibat gerakan naik turun piston. Fungsi dari pompa ini adalah untuk pemenuhan kebutuhan head tinggi dan kapasitas rendah. Skema pompa piston ditunjukkan pada gambar 2.3.



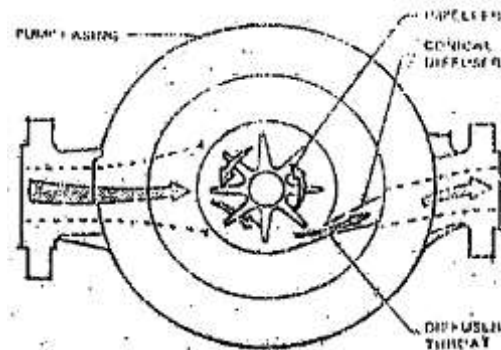
Gambar 2.3. Skema pompa piston. Sumber: (Sutikno, 1998)

B. *Dynamic Pump*

Merupakan pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Untuk merubah kenaikan tekanan, tidak harus mengubah volume aliran fluida. Dalam pompa ini terjadi perubahan energi, dari energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi tekanan. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan suatu impeler yang berputar dengan kecepatan tinggi. Yang termasuk di dalam jenis pompa ini adalah pompa aksial dan pompa sentrifugal.

1. Pompa Aksial

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya impeler akan menghisap fluida yang dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan head rendah dan kapasitas tinggi, seperti pada sistem pengairan. Contoh pompa aksial terdapat pada gambar 2.4.

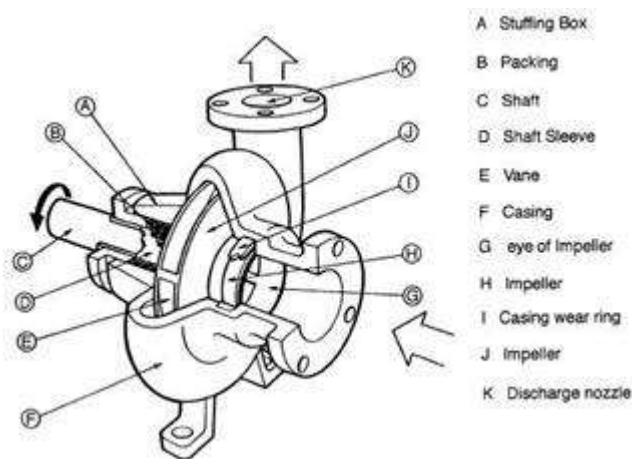


Gambar 2.4. Pompa aksial. Sumber: (Kurtz, 2005)

2. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah sebuah jenis pompa yang populer digunakan dalam dunia industri. Pompa ini termasuk dalam jenis pompa kerja dinamis atau *non positive displacement*. Pompa sentrifugal sendiri memiliki prinsip kerja yang mengubah energi kinetik yang berasal dari kecepatan aliran sebuah fluida menjadi energi potensial atau energi dinamis. Fluida tersebut mengalir melalui impeler yang berputar di dalam *casing* pompa. Sifat dari hidrolis pompa ini

adalah memindahkan energi yang terdapat pada daun (baling-baling) pompa dengan memakai dasar perubahan arah aliran atau yang juga disebut dengan fluid dynamics. Kapasitas yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal selalu sebanding dengan putaran. Total head atau tekanan yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal akan sebanding dengan pangkat dua dari kecepatan putaran. Pompa sentrifugal ini dikenal akan bentuknya yang sederhana, tidak memakan banyak tempat, ringan, serta tidak menghabiskan banyak biaya untuk instalasi dan perawatan. Contoh pompa sentrifugal terdapat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Pompa Sentrifugal

Cara kerja pompa sentrifugal adalah sebagai berikut : cairan masuk ke impeller dengan arah aksial melalui mata impeler (impeler eye) dan bergerak ke arah radial diantara sudu-sudu impeller (impeler *vanes*) hingga cairan tersebut keluar dari diameter luar impeller, zat cair mengalir dari tengah impeller keluar melalui saluran diantara sudu dan meninggalkan impeller dengan kecepatan tinggi. Kemudian mengalir melalui saluran yang penampangnya semakin besar, sehingga terjadi perubahan dari head kecepatan menjadi head tekanan. Maka zat cair yang keluar dari flens pompa head totalnya menjadi besar. Penghisapan terjadi karena setelah zat cair yang dilemparkan impeller, ruang diantara sudu-sudu menjadi vakum sehingga zat cair akan terhisap masuk .

2.2. Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa *non positive displacement pump* dengan prinsip kerja sebagai berikut:

1. Energi mekanik dari unit penggerak dikonversikan menjadi energi cairan akibat adanya gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeler yang berputar.
2. Energi kecepatan cairan kemudian dirubah menjadi energi potensial didalam *volute* dan melalui *diffuser* dengan cara memperlambat laju cairan.
3. Energi tekanan cairan yang keluar dari pompa sentrifugal merupakan tekanan cairan dibagian sisi tekan *discharge*.

Dengan demikian pompa sentrifugal memiliki prinsip kerja mengkonversikan energi mekanik menjadi kecepatan fluida selanjutnya energi kecepatan fluida diubah menjadi energi tekanan keluar dari pompa.

2.3. Dasar Perhitungan Pompa

1. Persamaan Kontinuitas

Persamaan ini dikembangkan dari hukum kekekalan energi. Aliran fluida yang mengalir di dalam pipa memiliki kecepatan yang diberikan menurut persamaan kontinuitas untuk aliran yang stabil (*steady state*) yang tidak tergantung oleh waktu:

$$m = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1$$

Sedangkan

$$Q = v \cdot A$$

Sehingga

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$$

Untuk fluida *incompressible*

$$\rho_1 = \rho_2$$

Maka

$$Q_1 = Q_2$$

Jadi persamaan diatas dapat ditulis:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

Dimana :

m = Laju aliran massa (kg/s)

ρ = Massa jenis (kg/m³)

Q = Kapasitas aliran (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

2. Aliran Pompa

Kecepatan fluida yang mengalir pada pipa menuju pompa, dapat dihitung dengan persamaan :

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

Q = Kapasitas aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

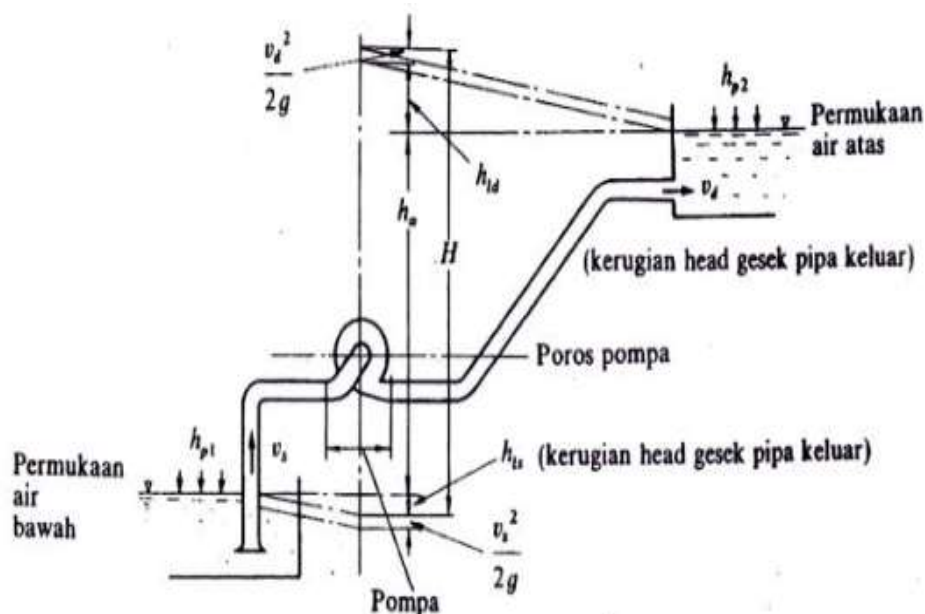
$$= \frac{\pi}{4} x D^2$$

3. *Head* Total Pompa

Dalam merancang suatu sistem pompa, pertama-tama harus diketahui debit dan *head* yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompakan. Pengertian *head* pompa adalah energi yang dapat diberikan pompa dalam satuan elevasi. *Head* pompa berbeda-beda tergantung dari berat jenis fluida yang dialirkan, tetapi *standard* yang biasa digunakan produsen

pompa untuk memberikan spesifikasi head pompa adalah head pompa dalam kolam air.

Total *Dynamic Head* secara umum digunakan untuk merancang sistem pompa dengan memperhitungkan tekanan permukaan, perbedaan kecepatan aliran, perbedaan tinggi, dan rugi-rugi yang akan terjadi di dalam sistem perpipaan. Hasil perhitungan dari Total *Dynamic Head* adalah head minimum yang harus disediakan pompa untuk mengalirkan fluida sesuai dengan sistem pompa yang sudah direncanakan. Pada Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 : Aliran Fluida Sesuai Dengan Sistem Pompa

Cara menghitung *Total Dynamic Head* :

$$TDH = \Delta H_p + H_{ST} + H_L + H_V$$

Dimana :

$$TDH = \text{Total Dynamic Head (m)}$$

$$\Delta H_p = \text{Perbedaan head tekanan pada kedua permukaan (m)}$$

$$= \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\gamma} \right)$$

$\Delta H_v =$ Head yang diakibatkan perbedaan kecepatan (m)

$$= \left(\frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \right)$$

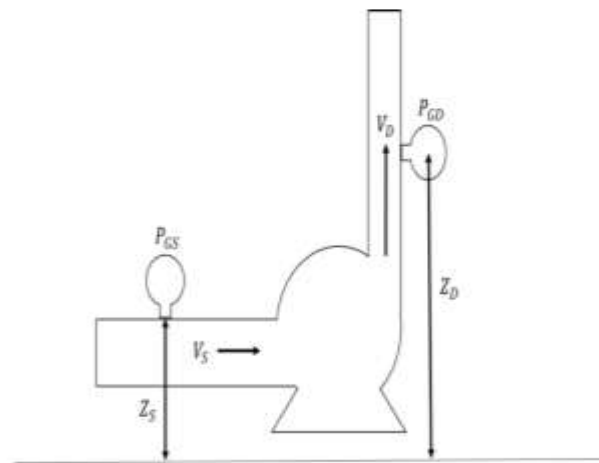
$H_{ST} =$ Head statis ($Z_d - Z_s$) (m)

$H_L =$ Head Losses pada sisi *suction* ke *discharge* (m)

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

4. Head Total Pompa Terpasang

Untuk dapat menghitung total *head* pompa yang sudah terpasang, maka dibutuhkan alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada sisi *suction* dan sisi *discharge* pompa. Mekanisme perhitungan *Head* total pompa akan dijelaskan pada Gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7: Mekanisme Perhitungan *Head* Total Pompa

Head total pompa terpasang dapat dinyatakan dengan rumus:

$$H = H_D - H_S$$

$$H = \left(\frac{P_{GD}}{Y} + \frac{V_D^2}{2g} + Z_D \right) - \left(\frac{P_{GS}}{Y} + \frac{V_S^2}{2g} + Z_S \right)$$

$$H = \frac{P_{GD} - P_{GS}}{Y} + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2g} + (Z_D - Z_S)$$

Dimana :

H = Head total pompa (m)

P_{GD} = Tekanan pada *discharge* (N/m²)

P_{GS} = Tekanan pada *suction* (N/m²)

Y = Berat jenis (N/m³)

Z_D = Elevasi sisi *discharge* (m)

Z_S = Elevasi sisi *suction* (m)

V_D = Kecepatan aliran *discharge* (m/s)

V_S = Kecepatan aliran *suction*

5. Daya pada Sistem pompa

Daya dapat diartikan energi per satuan waktu. Daya yang berhubungan pada sistem pompa ada tiga yaitu, daya air (*Water Horse Power*), daya poros (*Brake Horse Power*), dan daya listrik untuk menjalankan sistem pompa. Besarnya daya tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

a) Daya air (*Water Horse Power*)

Daya hidrolis (daya pompa teoritis) adalah daya dari pompa sentrifugal yang digunakan untuk mengalirkan debit pada head tertentu. Daya air dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$WHP = \frac{Y.H.Q}{1000}$$

Dimana :

$WHP = \text{Water Horse Power (kW)}$

$Y = \text{Berat jenis air (N/m}^3\text{)}$

$Q = \text{Debit (m}^3\text{/s)}$

$H = \text{Head total pompa (m)}$

b) *Daya Poros (Brake Horse Power)*

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

$$BHP = \frac{WHP}{\pi_{Pompa}}$$

Dimana:

$BHP = \text{Brake Horse Power (kW)}$

$WHP = \text{Water Horse Power (kW)}$

$\eta_{pompa} = \text{Efisiensi pompa}$

c) *Daya Motor*

Daya Penggerak (*Driver*) adalah daya poros dibagi dengan efisiensi mekanis (efisiensi transmisi). Dapat dihitung dengan rumus :

$$P_{in} = \frac{BHP}{\pi_{motor}}$$

Dimana:

$P_{in} = \text{Daya masuk Kw}$

$BHP = \text{Brake Horse Power (kW)}$

$\eta_{motor} = \text{Efisiensi motor}$

Bila ditinjau dari motor 3 fasa, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P_{in} = \sqrt{3} V.A. \cos \phi$$

Dimana :

P_{in} = Daya Masuk (kW)

V = Voltage (Volt)

I = Ampere (Amp)

$\cos \phi$ = Faktor daya / *Power Factor*

6. Efisiensi Sistem Pompa

Pengertian dari efisiensi adalah ukuran dari perbandingan keluaran sistem dengan daya yang diperlukan untuk menggerakkan sistem. Pada sistem pompa ada tiga hal yang berhubungan dengan efisiensi sistem pompa yaitu :

- a. Efisiensi motor penggerak
- b. Efisiensi pompa
- c. Efisiensi pemanfaatan akhir

Secara matematis rumus efisiensi adalah :

$$\pi_{sistem} = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} (x100\%)$$

$$\pi_{motor} = \frac{BHP}{P_{in}} (x100\%)$$

$$\pi_{pompa} = \frac{WHP}{PHP} (x100\%)$$

Dimana :

WHP = *water Horse Power* (kW)

BHP = *Brake Horse Power* (kW)

Untuk perhitungan efisiensi pompa yang bekerja secara paralel dapat

menggunakan rumus dibawah ini :

$$\pi_{paralel} = \frac{H.SG}{k} \cdot \frac{\sum Q}{\sum BHP}$$

Dimana :

H = Head pompa (m)

SG = *Specific gravity*

k = konstanta 0,1021 SI

$\sum Q$ = Total debit parallel (m³/S)

$\sum BHP$ = Total daya poros parallel (W)

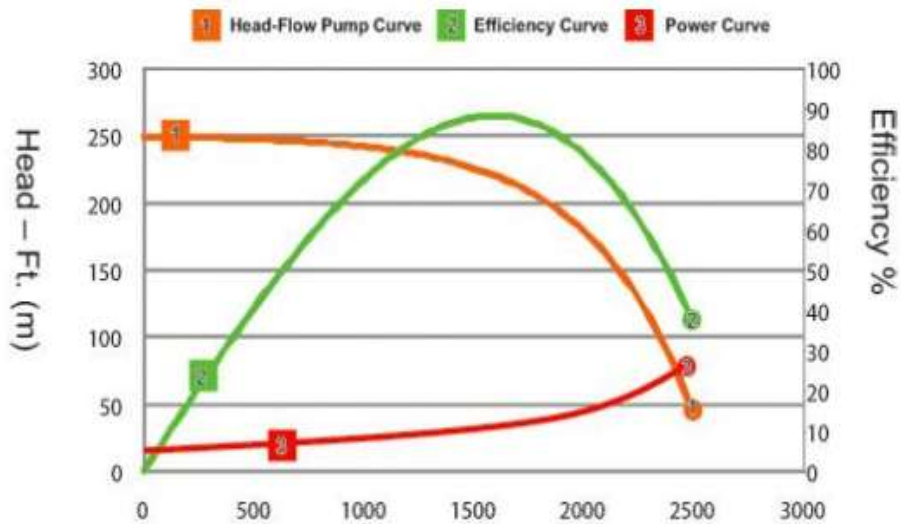
7. Karakteristik Pompa

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

- 1) Head pompa (H)
- 2) Daya poros pompa (BHP)
- 3) Efisiensi pompa (η)

Karakteristik pompa berbeda-beda berdasarkan pada jenis pompa, putaran spesifik, dan pabrik pembuatnya. Kurva-kurva karakteristik yang menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa terhadap kapasitasnya. Kurva performansi tersebut, pada umumnya digambarkan pada putaran yang tetap.

Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk lengkung seperti grafik 2.8 berikut ini:

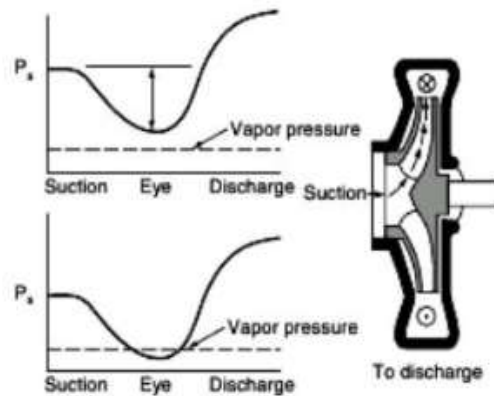


Gambar 2.8 : Kurva efisiensi terhadap kapasitas

8. 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, maka tekanan pada permukaan zat cair akan turun. Menurunnya tekanan hingga mencapai tekanan uap jenuhnya mengakibatkan cairan akan menguap dan membentuk gelembung uap. Selama bergerak sepanjang impeler, 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 maka akan mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang pada dinding saluran atau sering disebut erosi kavitasi. timbulnya suara berisik, getaran dan turunnya performansi pompa.

Fenomena penurunan performansi pompa dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 : performansi pompa

2.4. Peluang Efisiensi Energi

Bagian ini meliputi area utama untuk memperbaiki pompa dan sistem pemompaan. Area utama bagi penghematan energi meliputi:

1. Memilih pompa yang benar
2. Pompa dalam susunan paralel untuk memenuhi permintaan yang beragam
3. Meminimalkan penggunaan kran pengendali aliran (*Throttle control*)
4. Meminimalkan penggunaan *by-pass* (*Bypass control*)
5. Kendali *start/stop* pompa
6. Memodifikasi diameter *impeler*
7. Mengendalikan debit aliran dengan variasi kecepatan

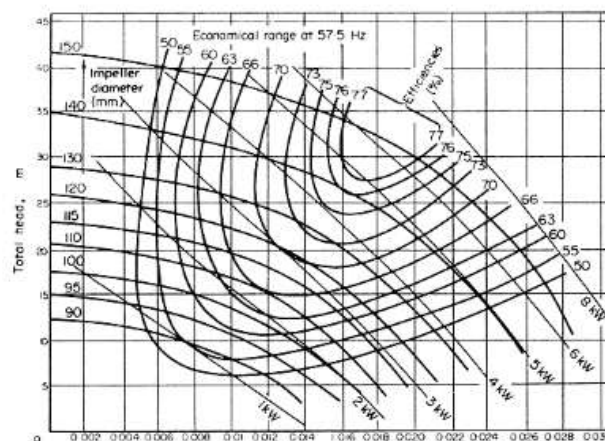
Secara lebih terperinci akan dijelaskan di bawah ini:

1. Memilih pompa yang benar

Dalam memilih pompa, para pemasok berusaha untuk mencocokkan kurva sistim yang diberikan oleh pihak pengguna dengan kurva pompa yang memenuhi kebutuhan tersebut sedekat mungkin. Titik operasi pompa adalah titik dimana kurva pompa dan kurva tahanan sistim berpotongan Walau begitu, tidak memungkinkan untuk satu titik operasi memenuhi seluruh kondisi operasi yang dikehendaki. Sebagai

contoh, bila kran pembuangan tersumbat, kurva tahanan sistim bergeser ke sebelah kiri dan begitu juga dengan titik operasinya.

Titik efisiensi terbaik atau *Best Efficiency Point* (BEP) merupakan kapasitas pemompaan pada diameter impeler maksimum, dimana efisiensi pompanya adalah yang paling tinggi. Seluruh titik kesebelahkanan atau kiri BEP memiliki efisiensi lebih rendah. BEP terpengaruh jika pompa yang terpilih ukurannya berlebih. Alasannya adalah bahwa aliran pompa dengan ukuran berlebih harus dikendalikan dengan metode yang berbeda, seperti kran penutup atau jalur by-pass. Keduanya memberikan tahanan tambahan dengan meningkatnya gesekan. Sebagai akibatnya kurva sistim bergeser ke kiri dan berpotongan dengan kurva pompa pada titik lainnya. Sekarang BEPnya juga menjadi lebih rendah. Dengan kata lain, efisiensi pompa berkurang sebab aliran keluar berkurang akan tetapi pemakaian dayanya tidak terlalu menurun. (BEE, 2004). Contoh dari kurva karakteristik pompa yang diberikan oleh pemasok dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini:

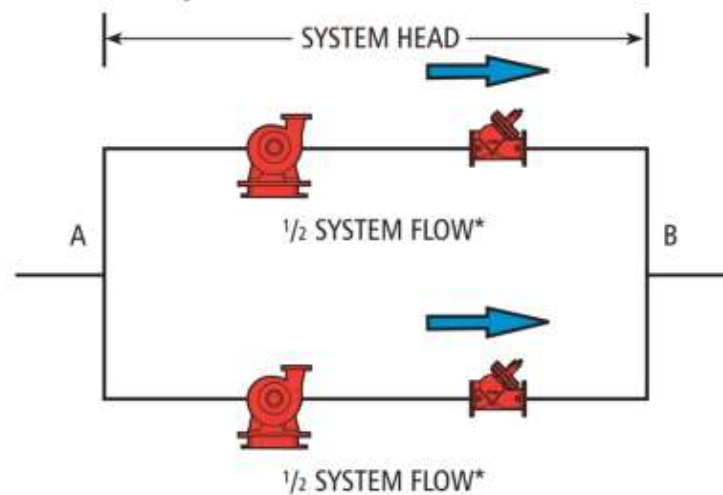


Gambar 2.10 : kurva karakteristik pompa

2. Pompa yang dipasang paralel untuk memenuhi permintaan yang bervariasi

Mengoperasikan dua pompa secara paralel dan mematikan salah satu jika kebutuhan menjadi lebih rendah, dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan. Dapat digunakan pompa yang memberikan debit aliran yang berbeda-beda.

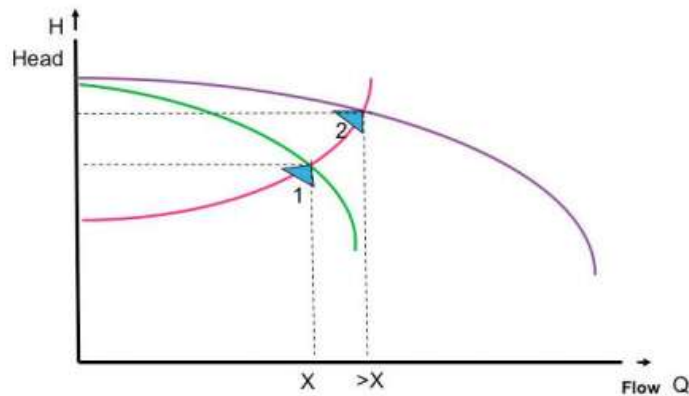
Pompa yang dipasang secara paralel merupakan sebuah opsi jika head statik lebih dari lima puluh persen head total. Jika beberapa pompa sentrifugal dipasang secara paralel, maka besar debit aliran total adalah jumlah dari debit aliran dari semua pompa yang sedang bekerja. Dengan cara ini, kita dapat mengatur debit aliran fluida dengan jalan menjalankan sejumlah pompa secara bersamaan sesuai dengan kebutuhan sistem. Kurva karakteristik pompa dan sistem menjadi acuan kerja untuk masing-masing pompa. Skema instalasi kerja pompa paralel dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini:



Gambar 2.11 : Skema Instalasi Kerja Pompa Paralel

Kurva karakteristik pompa paralel didapatkan dengan cara menjumlahkan debit aliran fluida dari beberapa pompa pada nilai head yang sama. Pada prakteknya, yang perlu diperhatikan di sini adalah bahwa semakin tinggi debit aliran, maka akan semakin tinggi pula hambatan sistem (*resistance*). Sehingga untuk mengkompensasi hambatan tersebut, titik operasional pompa menjadi lebih tinggi nilai tekanan praktisnya dari pada nilai tekanan teoritisnya.

Kurva karakteristik pompa paralel dapat dilihat pada Gambar 2.12 di bawah ini:



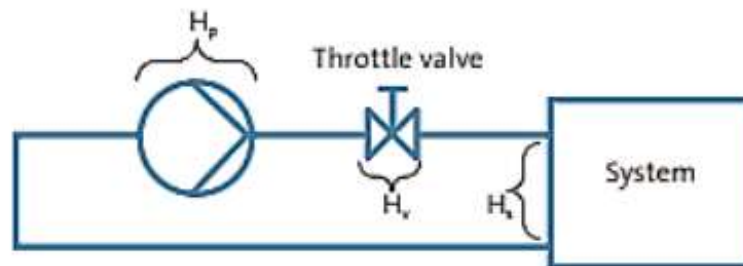
Gambar 2.12: Kurva Karakteristik Pompa Paralel

3. Meminimalkan penggunaan kran pengendali aliran

Metode lain untuk mengendalikan aliran adalah dengan menutup atau membuka kran pembuangan (hal ini dikenal juga dengan metode “*throttling*”). Walaupun metode ini menurunkan tekanan menuju sistem namun tekanan yang terjadi pada sisi *discharge* pompa malah bertambah dikarenakan garis sistem bergerak ke kiri. Akibatnya head pompa akan bertambah dan debit aliran yang mengalir pada pompa akan menurun.

Penurunan debit juga akan mempengaruhi penurunan daya pompa tetapi penurunannya tidak begitu signifikan. Gambar diatas memperlihatkan bagaimana kurva sistem bergerak naik dan ke kiri ketika kran pembuangan ditutup setengahnya. Metode ini meningkatkan getaran dan korosi sehingga meningkatkan biaya perawatan pompa dan secara potensial mengurangi umurnya. VSD merupakan suatu pemecahan yang lebih baik dari sudut pandang efisiensi energi. Di samping dapat menurunkan head dan debit pompa, metode VSD juga mengurangi pemakaian daya yang begitu besar dibandingkan metode kran pengendali.

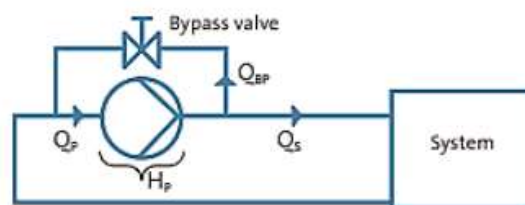
Skema penggunaan kran pengendali aliran dapat dilihat pada Gambar 2.13 di bawah ini:



Gambar 2.13 : Skema Kran Pengendali Aliran Pada Sistem Perpipaan

4. Meminimalkan pengaturan aliran menggunakan *by-pass*

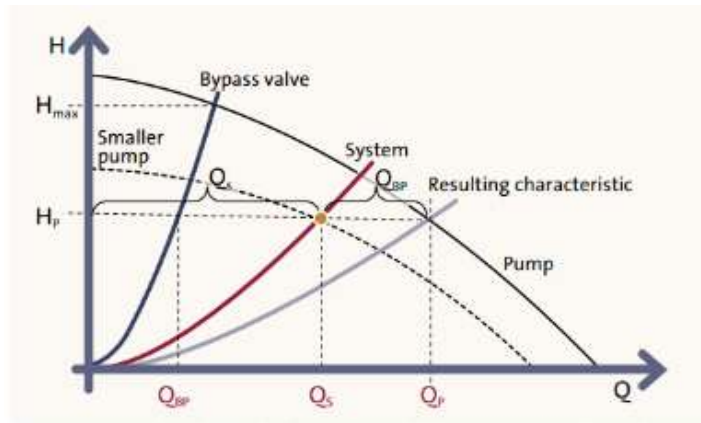
Aliran dapat juga diturunkan dengan cara memasang sebuah sistem kendali *by-pass*, dimana pembuangan pompa dibagi menjadi dua aliran menuju dua pipa saluran yang terpisah. Satu pipa saluran mengirimkan fluida ke titik tujuan pengiriman, sementara pipa saluran kedua mengembalikan fluida ke sumbernya. Dengan kata lain, sebagian fluida diputarakan dengan tanpa alasan, dengan demikian maka hal ini merupakan pemborosan energi. Oleh karena itu maka opsi ini harus dihindarkan. Skema instalasi kerja pompa dengan pengendali *by-pass* dapat dilihat pada Gambar 2.14 di bawah ini:



Gambar 2.14: Skema Pengendali *By-pass* Pada Sistem Pemompaan

Skema pengendali *by-pass* tidak mengubah karakteristik kerja pompa, namun aliran yang menuju sistem akan lebih rendah dengan tekanan sesuai tekanan kerja pompa. Sebagian aliran akan melewati jalur *by-pass* dan kembali lagi ke penampungan.

Kurva karakteristik pompa dengan pengendali *by-pass* dapat dilihat pada Gambar 2.15 dibawah ini:



Gambar 2.15 : Kurva Karakteristik Pengendali *By-pass* Pada Sistem Perpipaan

5. Kendali *Start / stop* pompa

Suatu cara yang sederhana dan masuk akal berkenaan dengan energi yang efisien adalah menurunkan debit aliran dengan menjalankan dan menghentikan pompa, sepanjang hal ini tidak sering dilakukan. Sebuah contoh dimana opsi ini dapat digunakan adalah bila sebuah pompa digunakan untuk mengisi tangki penyimpanan dimana fluida mengalir keproses pada debit yang tetap. Dalam sistem ini, pengendali dipasang padatingkatan minimum dan maksimum didalam tangki untuk menjalankan dan menghentikan pompa. Beberapa perusahaan menggunakan metode ini juga dalam rangka menghindarkan kebutuhan maksimum yang lebih rendah (yaitu dengan pemompaan pada bukan jam puncak).

6. Memodifikasi diameter impeler

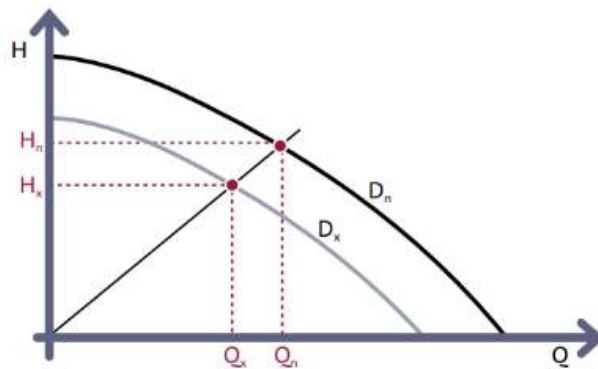
Mengubah diameter impeler akan memberikan perubahan yang sebanding dengan kecepatan keliling impeler. Sama halnya dengan hukum afinitas, persamaan berikut berlaku untuk diameter impeler:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad \frac{BHP_1}{BHP_2}$$

Mengubah diameter impeler merupakan suatu cara mengefisienkan energi untuk mengendalikan debit aliran. Walau demikian, beberapa hal berikut harus dipertimbangkan:

- 1) Opsi ini tidak dapat digunakan jika terdapat pola aliran yang bervariasi.
- 2) Impeler tidak direkomendasikan berubah lebih dari 25% dari ukuran impeler aslinya, karena akan menyebabkan getaran oleh terjadinya kavitasi yang akan menurunkan efisiensi pompa.
- 3) Keseimbangan pompa harus dijaga yang berarti, keseimbangan impeler harus sama pada seluruh sisi.

Kadangkala impeler yang lebih kecil di pasaran ukurannya jauh lebih kecil dari kebutuhan. Perubahan kurva karakteristik pompa dengan penggantian impeler dapat dilihat pada Gambar 2.16 dibawah ini:



Gambar 2.16 : Kurva Penurunan Diameter Impeler Pada Kinerja Pompa Sentrifugal

7. Mengendalikan debit aliran dengan variasi kecepatan

- 1) Menjelaskan pengaruh kecepatan

Perputaran impeler pompa sentrifugal menghasilkan head. Kecepatan keliling impeler berhubungan langsung dengan kecepatan perputaran batang torak. Oleh karena itu variasi kecepatan putaran berpengaruh langsung pada kinerja pompa. Parameter kinerja pompa (debit aliran, head, daya) akan berubah dengan

bervariasinya kecepatan putaran. Oleh karena itu, untuk mengendalikan kecepatan yang aman pada kecepatan yang berbeda-beda maka penting untuk mengerti hubungan antara keduanya. Persamaan yang menjelaskan hubungan tersebut dikenal dengan “ Hukum Afinitas” :

- a. Debit aliran (Q) berbanding lurus dengan kecepatan putaran (ω)
- b. Head (H) berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan putarar
- c. Daya poros (BHP) berbanding lurus dengan kubik kecepatan putaran

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \quad \frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3}$$

Sebagaimana dapat dilihat dari hukum diatas, peningkatan kecepatan putaran pompa sentrifugal akan meningkatkan pemakaian dayanya. Sebaliknya penurunan kecepatan akan berakibat pada penurunan pemakaian dayanya. Hal ini menjadikan dasar bagi penghematan energi pada pompa sentrifugal dengan kebutuhan aliran yang bervariasi.

Hal yang relevan untuk dicatat bahwa pengendalian aliran oleh pengaturan kecepatan selalu lebih efisien dari pada dengan kontrol kran pengendali. Hal ini disebabkan kran menurunkan aliran namun hanya sedikit menurunkan pemakaian energi pompa. Sebagai tambahan terhadap penghematan energi, terdapat manfaat lainnya dari kecepatan yang lebih rendah tersebut.

- a. Umur bantalan meningkat. Hal ini disebabkan bantalan membawa gaya hidrolis pada impeler (dihasilkan oleh profil tekanan dibagian dalam wadah pompa), yang berkurang kira-kira sebesar kuadrat kecepatan.
 - b. Getaran dan kebisingan berkurang dan umur *seal* meningkat selama titik tugas tetap berada didalam kisaran operasi yang diperbolehkan.
- 2) Menggunakan penggerak kecepatan yang bervariasi / *variable speed drive* (VSD)

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa pengendalian kecepatan pompa merupakan cara yang paling efisien dalam mengendalikan aliran, sebab jika kecepatan pompa berkurang maka pemakaian daya juga akan berkurang. Metode yang biasanya banyak digunakan untuk menurunkan kecepatan pompa adalah penggerak kecepatan yang bervariasi/ *Variable Speed Drive* (VSD).

VSD menggunakan dua jenis sistem pengendalian yaitu:

- a. VSD mekanis meliputi sarung hidrolis, kopling fluida, dan *belt* dan *pully* yang dapat diatur-atur.
- b. VSD listrik meliputi pengendalian frekuensi / *variable frequency drives* (VFD). Akibatnya akan mengubah putaran dari motor listrik dan mengubah daya yang masuk ke motor listrik.

Untuk beberapa sistem, VFD dapat memperbaiki efisiensi operasi pompa pada kondisi operasi yang berbeda-beda. Pengaruh pelambatan kecepatan pompa pada operasi pompa digambarkan pada Ketika VFD menurunkan RPM pompa, maka kurva head, aliran, daya, dan efisiensi bergerak turun.

Adapun hubungan frekuensi dan kecepatan putar yang di paparkan pada persamaan dibawah ini:

$$f = \frac{120 \cdot \omega}{P}$$

Dimana:

f = Frekuensi (Hz)

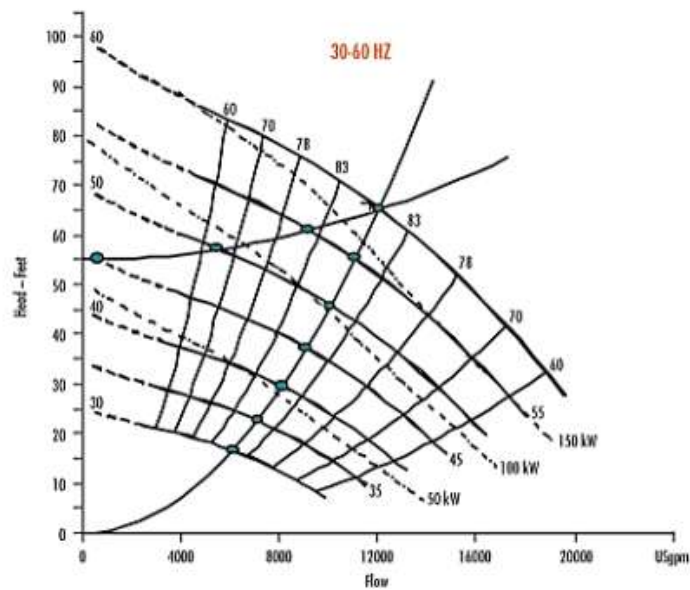
p = Jumlah *poles* motor listrik

Keuntungan utama penggunaan VSD disamping penghematan energi adalah :

- a. Memperbaiki pengendalian proses sebab dapat memperbaiki variasi- variasi kecil dalam aliran lebih cepat.

- b. Memperbaiki kehandalan sistim sebab pemakaian pompa, bantalan dan *seal* jadi berkurang.
- c. Penurunan modal dan biaya perawatan sebab kran pengendali, jalur *bypass*, dan starter konvensional tidak diperlukan lagi.

Kemampuan starter lunak VSD membolehkan motor memiliki arus *start-up* yang lebih rendah. Pada Gambar dan akan dipaparkan perubahan kurva karakteristik pompa dengan sistem *Variable Speed Drive* (VSD) sebagaimana gambar 2.17 bawah ini:



Gambar 2.17 : Kurva Variasi Frekuensi Pada Kinerja Pompa Sentrifugal.