

POMPA & SISTEM PEMOMPAAN

1. PENDAHULUAN	1
2. JENIS-JENIS POMPA	5
3. PENGKAJIAN POMPA.....	10
4. PELUANG-PELUANG EFISIENSI ENERGI.....	11
5. DAFTAR PERIKSA OPSI.....	18
6. LEMBAR KERJA	19
7. REFERENSI.....	21

1. PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan secara ringkas ciri-ciri utama pompa dan sistem pemompaan.¹

1.1 Apa yang dimaksud dengan pompa dan sistem pemompaan?

Sistem pemompaan bertanggung jawab terhadap hampir 20% kebutuhan energi listrik dunia dan penggunaan energi dalam operasi pabrik industri tertentu berkisar 25-50% (US DOE, 2004).

Pompa memiliki dua kegunaan utama:

- Memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya (misalnya air dari akuifer bawah tanah ke tangki penyimpanan air)
- Mensirkulasikan cairan sekitar sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan)

Komponen utama sistem pemompaan adalah:

- Pompa (beberapa jenis pompa dijelaskan dalam bagian 2)
- Mesin penggerak: motor listrik, mesin diesel atau sistem udara
- Pemipaan, digunakan untuk membawa fluida
- Kran, digunakan untuk mengendalikan aliran dalam sistem
- Sambungan, pengendalian dan instrumentasi lainnya
- Peralatan pengguna akhir, yang memiliki berbagai persyaratan



Gambar 1. Sistem Pemompaan dalam sebuah Industri (US DOE, 2001)

¹ Informasi bersumber dari tiga terbitan US DOE: *Mer* (1999); *Biaya Siklus Hidup Pompa— Sebuah Pedoman menuju Analisa LCC untuk Sistem Pemompaan (2001)*; dan *Pemompaan dengan Kecepatan yang Bervariasi – Sebuah Pedoman menuju Keberhasilan Penggunaan (2004)*. Terbitan-terbitan tersebut direkomendasikan untuk bahan bacaan lebih lanjut.

(misalnya tekanan, aliran) yang menentukan komponen dan susunan sistem pemompaan. Contohnya adalah alat penukar panas, tangki dan mesin hidrolis.

Pompa dan mesin penggerak biasanya merupakan komponen yang paling efisien energinya.

1.2 Karakteristik sistem pemompaan

1.2.1 Tahanan sistem: *head*

Tekanan diperlukan untuk memompa cairan melewati sistem pada laju tertentu. Tekanan ini harus cukup tinggi untuk mengatasi tahanan sistem, yang juga disebut "*head*". *Head* total merupakan jumlah dari *head* statik dan *head* gesekan/ friksi:

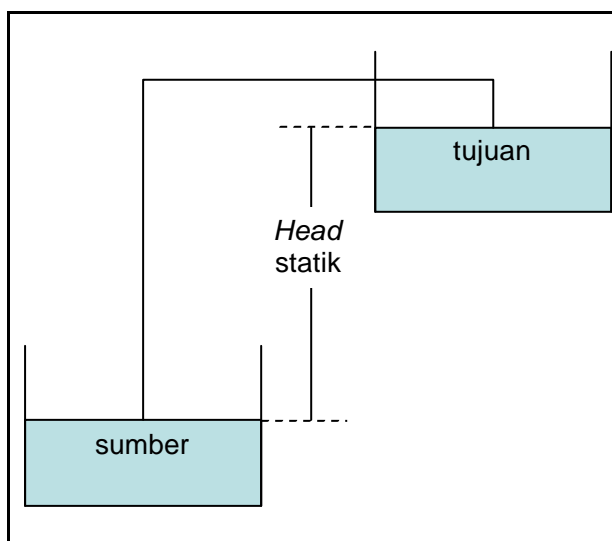
a) *Head* statik

Head statik merupakan perbedaan tinggi antara sumber dan tujuan dari cairan yang dipompa (lihat Gambar 2a). *Head* statik merupakan aliran yang independen (lihat Gambar 2b). *Head* statik pada tekanan tertentu tergantung pada berat cairan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

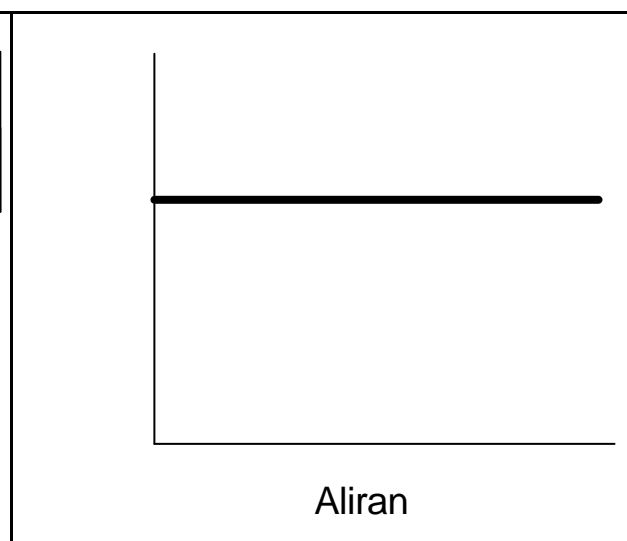
$$\text{Head (dalam feet)} = \frac{\text{Tekanan (psi)} \times 2,31}{\text{Specific gravity}}$$

Head statik terdiri dari:

- *Head* hisapan statis (*h_s*): dihasilkan dari pengangkatan cairan relatif terhadap garis pusat pompa. *h_s* nilainya positif jika ketinggian cairan diatas garis pusat pompa, dan negatif jika ketinggian cairan berada dibawah garis pusat pompa (juga disebut "pengangkat hisapan")
- *Head* pembuangan statis (*h_d*): jarak vertikal antara garis pusat pompa dan permukaan cairan dalam tangki tujuan.



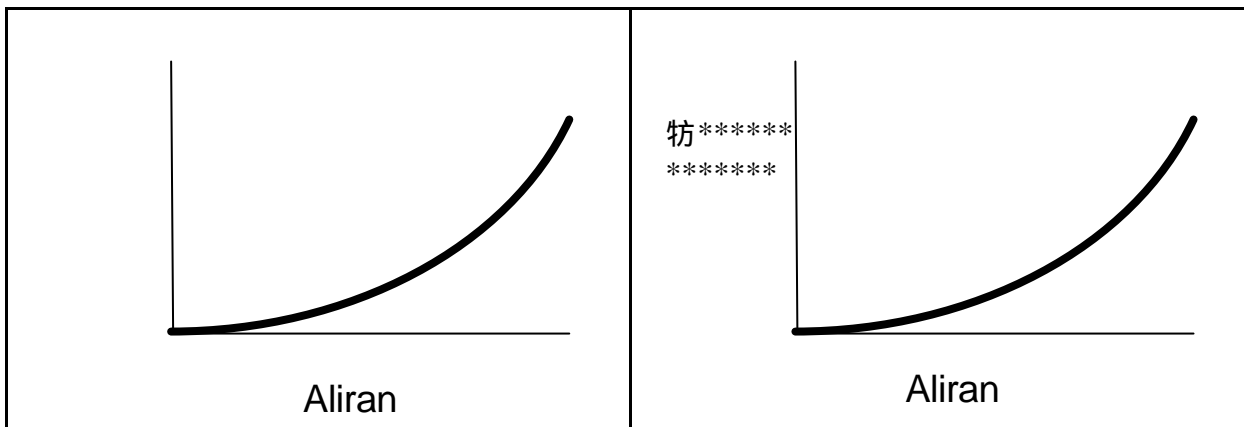
Gambar 2a. *Head* Statik



Gambar 2b. *Head* Statik Versus Aliran

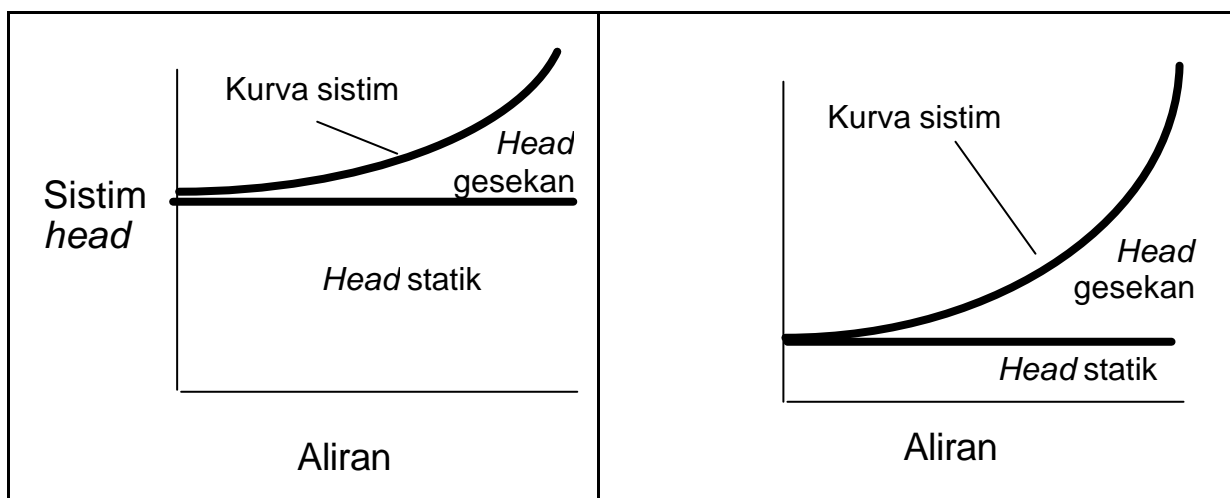
b) Head gesekan/ friksi (hf)

Ini merupakan kehilangan yang diperlukan untuk mengatasi tahanan untuk mengalir dalam pipa dan sambungan-sambungan. *Head* ini tergantung pada ukuran, kondisi dan jenis pipa, jumlah dan jenis sambungan, debit aliran, dan sifat dari cairan. *Head* gesekan/ friksi sebanding dengan kwadrat debit aliran seperti diperlihatkan dalam gambar 3. *Loop* tertutup sistim sirkulasi hanya menampilkan *head* gesekan/ friksi (bukan *head* statik).



Gambar 3. Head Gesekan/ friksi versus Aliran

Dalam hampir kebanyakan kasus, head total sistim merupakan gabungan antara *head* statik dan *head* gesekan seperti diperlihatkan dalam gambar 4a dan 4b.



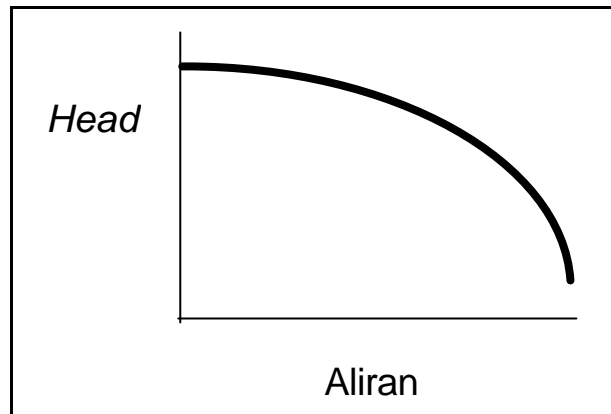
Gambar 4a. Sistim dengan Head Statik Tinggi

Gambar 4b. Sistim dengan Head Statik Rendah

1.2.2 Kurva kinerja pompa

Head dan debit aliran menentukan kinerja sebuah pompa yang secara grafis ditunjukkan dalam Gambar 5 sebagai kurva kinerja atau kurva karakteristik pompa. Gambar memperlihatkan kurva pompa sentrifugal dimana *head* secara perlahan turun dengan meningkatnya aliran.

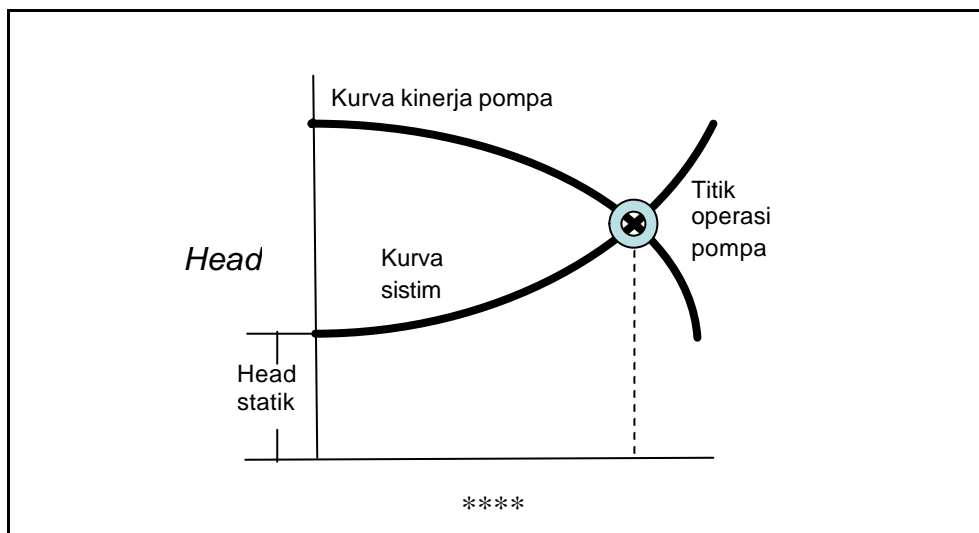
Dengan meningkatnya tahanan sistim, *head* juga akan naik. Hal ini pada gilirannya akan menyebabkan debit aliran berkurang dan akhirnya mencapai nol. Debit aliran nol hanya dapat diterima untuk jangka pendek tanpa menyebabkan pompa terbakar.



Gambar 5. Kurva Kinerja sebuah Pompa

1.2.3 Titik operasi pompa

Debit aliran pada *head* tertentu disebut titik tugas. Kurva kinerja pompa terbuat dari banyak titik-titik tugas. Titik operasi pompa ditentukan oleh perpotongan kurva sistem dengan kurva pompa sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Titik Operasi Pompa (US DOE, 2001)

1.2.4 Kinerja hisapan pompa (NPSH)

Kavitasi atau penguapan adalah pembentukan gelembung dibagian dalam pompa. Hal ini dapat terjadi manakala tekanan statik fluida setempat menjadi lebih rendah dari tekanan uap cairan (pada suhu sebenarnya). Kemungkinan penyebabnya adalah jika fluida semakin cepat dalam kran pengendali atau disekitar impeler pompa.

Penguapan itu sendiri tidak menyebabkan kerusakan. Walau demikian, bila kecepatan berkurang dan tekanan bertambah, uap akan menguap dan jatuh. Hal ini memiliki tiga pengaruh yang tidak dikehendaki:

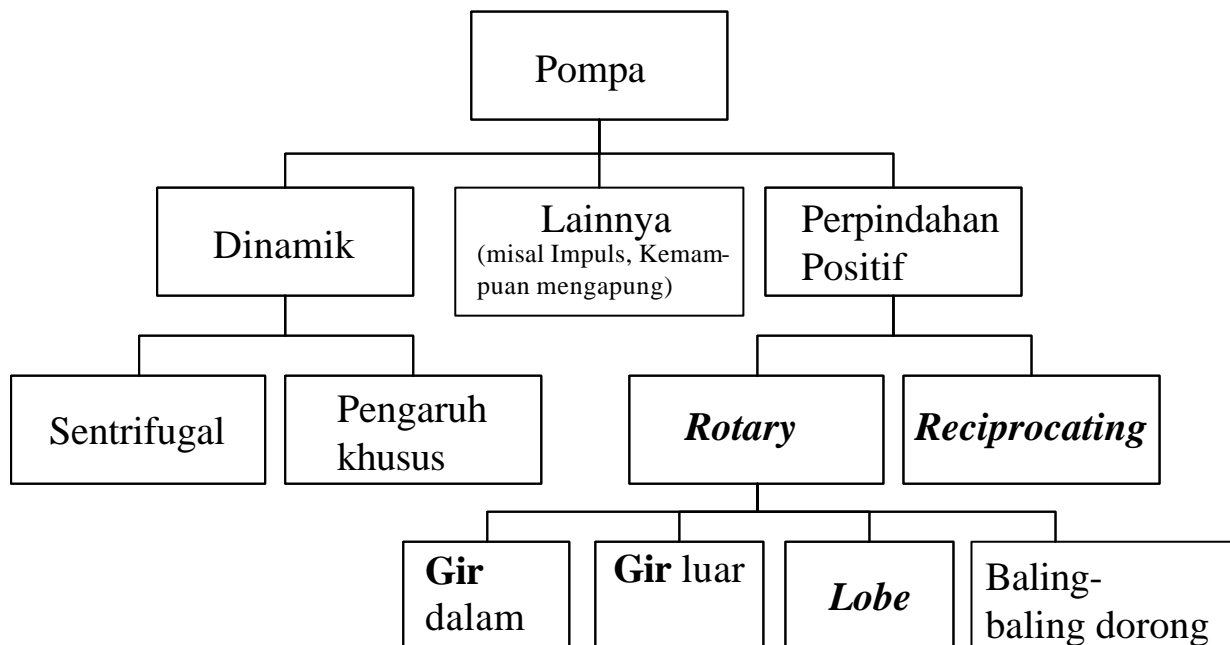
- Erosi permukaan baling-baling, terutama jika memompa cairan berbasis air.

- Meningkatnya kebisingan dan getaran, mengakibatkan umur sil dan *bearing* menjadi lebih pendek
- Menyumbat sebagian lintasan impeler, yang menurunkan kinerja pompa dan dalam kasus yang ekstrim dapat menyebabkan kehilangan *head* total.

Head Hisapan Positif Netto Tersedia / *Net Positive Suction Head Available* (NPSHA) menandakan jumlah hisapan pompa yang melebihi tekanan uap cairan, dan merupakan karakteristik rancangan sistem. NPSH yang diperlukan (NPSHR) adalah hisapan pompa yang diperlukan untuk menghindari kavitasi, dan merupakan karakteristik rancangan pompa.

2. JENIS-JENIS POMPA

Bagian ini menjelaskan berbagai jenis pompa.² Pompa hadir dalam berbagai ukuran untuk penggunaan yang luas. Pompa-pompa dapat digolongkan menurut prinsip operasi dasarnya seperti pompa dinamik atau pompa pemindahan positif (Gambar 7).



Gambar 7. Berbagai jenis pompa

Pada prinsipnya, cairan apapun dapat ditangani oleh berbagai rancangan pompa. Jika berbagai rancangan pompa digunakan, pompa sentrifugal biasanya yang paling ekonomis diikuti oleh pompa *rotary* dan *reciprocating*. Walaupun, pompa perpindahan positif biasanya lebih efisien daripada pompa sentrifugal, namun keuntungan efisiensi yang lebih tinggi cenderung diimbangi dengan meningkatnya biaya perawatan.

² Bagian 2 diambil (dengan pengeditan) dari *Pompa dan Sistem Pemompaan*, dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi, India

2.1. Pompa perpindahan positif

Pompa perpindahan positif dikenal dengan caranya beroperasi: cairan diambil dari salah satu ujung dan pada ujung lainnya dialirkan secara positif untuk setiap putarannya. Pompa perpindahan positif digunakan secara luas untuk pemompaan fluida selain air, biasanya fluida kental.

Pompa perpindahan positif selanjutnya digolongkan berdasarkan cara perpindahannya:

- **Pompa Reciprocating** jika perpindahan dilakukan oleh maju mundurnya jarum piston. Pompa reciprocating hanya digunakan untuk pemompaan cairan kental dan sumur minyak.
- **Pompa Rotary** jika perpindahan dilakukan oleh gaya putaran sebuah gir, *cam* atau baling-baling dalam sebuah ruangan bersekat pada *casing* yang tetap. Pompa *rotary* selanjutnya digolongkan sebagai gir dalam, gir luar, *lobe*, dan baling-baling dorong dll. Pompa-pompa tersebut digunakan untuk layanan khusus dengan kondisi khusus yang ada di lokasi industri.

Pada seluruh pompa jenis perpindahan positif, sejumlah cairan yang sudah ditetapkan dipompa setelah setiap putarannya. Sehingga jika pipa pengantarnya tersumbat, tekanan akan naik ke nilai yang sangat tinggi dimana hal ini dapat merusak pompa.

2.2 Pompa Dinamik

Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh cara pompa tersebut beroperasi: impeler yang berputar mengubah energi kinetik menjadi tekanan atau kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida.

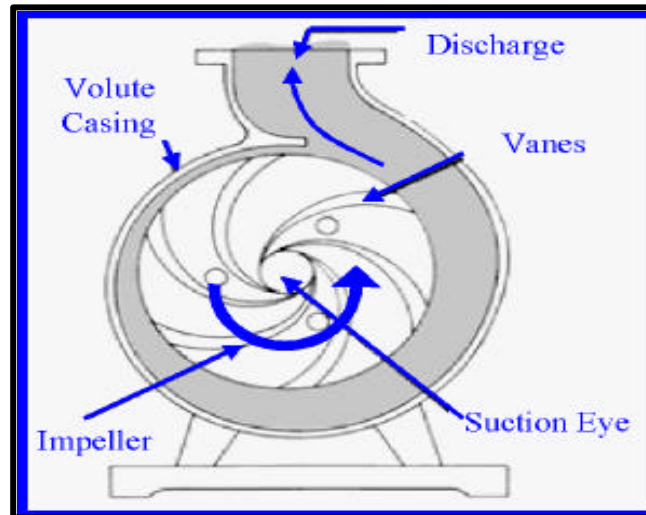
Terdapat dua jenis pompa dinamik:

- **Pompa sentrifugal** merupakan pompa yang sangat umum digunakan untuk pemompaan air dalam berbagai penggunaan industri. Biasanya lebih dari 75% pompa yang dipasang di sebuah industri adalah pompa sentrifugal. Untuk alasan ini, pompa ini dijelaskan dibawah lebih lanjut.
- **Pompa dengan efek khusus** terutama digunakan untuk kondisi khusus di lokasi industri.

2.2.1 Bagaimana sebuah pompa sentrifugal bekerja?

Pompa sentrifugal merupakan salah satu peralatan yang paling sederhana dalam berbagai proses pabrik. Gambar 8 memperlihatkan bagaimana pompa jenis ini beroperasi:

- Cairan dipaksa menuju sebuah impeler oleh tekanan atmosfer, atau dalam hal *jet pump* oleh tekanan buatan.
- Baling-baling impeler meneruskan energi kinetik ke cairan, sehingga menyebabkan cairan berputar. Cairan meninggalkan impeler pada kecepatan tinggi.
- Impeler dikelilingi oleh *volute casing* atau dalam hal pompa turbin digunakan cincin *diffuser* stasioner. *Volute* atau cincin *diffuser* stasioner mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan.

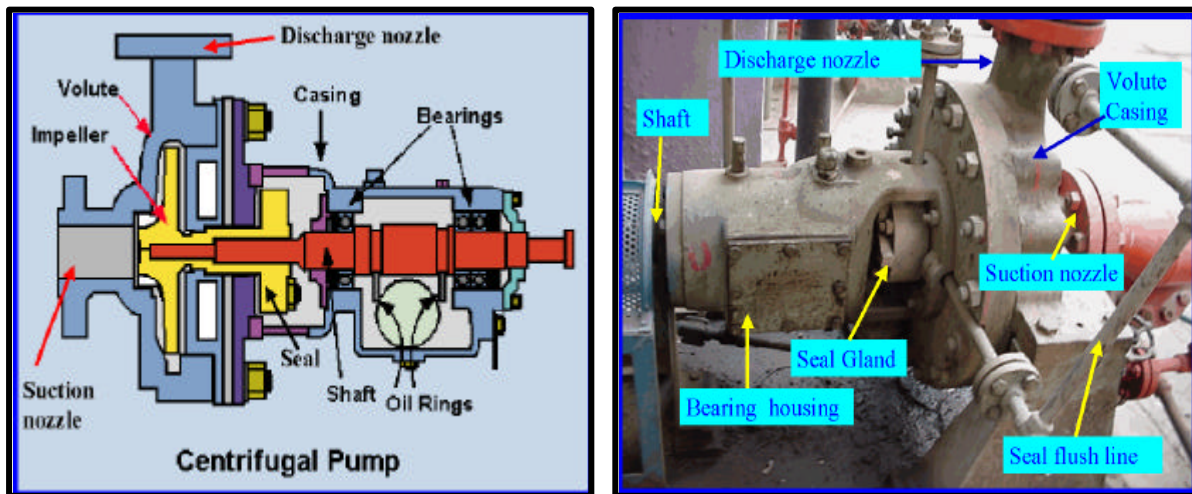


Gambar 8. Lintasan Aliran Cairan Pompa Sentrifugal (Sahdev M)

2.2.2 Komponen dari pompa sentrifugal

Komponen utama dari pompa sentrifugal terlihat pada Gambar 9 dan diterangkan dibawah ini:

- Komponen berputar: impeller yang disambungkan ke sebuah poros
- Komponen statis: casing, penutup casing, dan bearings.



Gambar 9. Komponen Utama Pompa Sentrifugal (Sahdev)

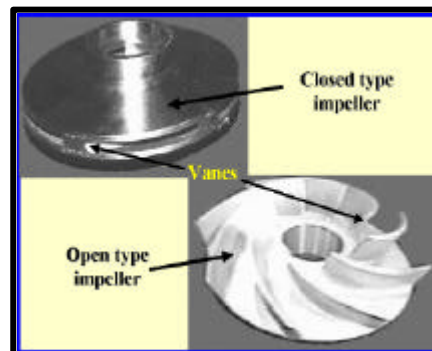
a) Impeler

Impeler merupakan cakram bulat dari logam dengan lintasan untuk aliran fluida yang sudah terpasang. Impeler biasanya terbuat dari perunggu, polikarbonat, besi tuang atau *stainless steel*, namun bahan-bahan lain juga digunakan. Sebagaimana kinerja pompa tergantung pada jenis impelernya, maka penting untuk memilih rancangan yang cocok dan mendapatkan impeler dalam kondisi yang baik.

Jumlah impeler menentukan jumlah tahapan pompa. Pompa satu tahap memiliki satu impeler dan sangat cocok untuk layanan *head* (=tekanan) rendah. Pompa dua tahap memiliki dua impeler yang terpasang secara seri untuk layanan *head* sedang. Pompa multi-tahap memiliki tiga impeler atau lebih terpasang seri untuk layanan *head* yang tinggi.

Impeler dapat digolongkan atas dasar:

- **Arah utama aliran** dari sumbu putaran: aliran *radial*, aliran aksial, aliran campuran
- **Jenis hisapan**: hisapan tunggal dan hisapan ganda
- **Bentuk atau konstruksi mekanis**:
 - Impeler yang tertutup memiliki baling-baling yang ditutupi oleh mantel (= penutup) pada kedua sisinya (Gambar 10). Biasanya digunakan untuk pompa air, dimana baling-baling seluruhnya mengurung air. Hal ini mencegah perpindahan air dari sisi pengiriman ke sisi penghisapan, yang akan mengurangi efisiensi pompa. Dalam rangka untuk memisahkan ruang pembuangan dari ruang penghisapan, diperlukan sebuah sambungan yang bergerak diantara impeler dan wadah pompa. Penyambungan ini dilakukan oleh cincin yang dipasang diatas bagian penutup impeler atau dibagian dalam permukaan silinder wadah pompa. Kerugian dari impeler tertutup ini adalah resiko yang tinggi terhadap rintangan.
 - Impeler terbuka dan semi terbuka (Gambar 10) kemungkinan tersumbatnya kecil. Akan tetapi untuk menghindari terjadinya penyumbatan melalui resirkulasi internal, *volute* atau *back-plate* pompa harus diatur secara manual untuk mendapatkan setelan impeler yang benar.
 - Impeler pompa berpusar/*vortex* cocok untuk bahan-bahan padat dan “berserabut” akan tetapi pompa ini 50% kurang efisien dari rancangan yang konvensional.



Gambar 10. Impeler Jenis Tertutup dan Terbuka (Sahdev)

b) Batang torak

Batang torak memindahkan *torque* dari motor ke impeler selama *startup* dan operasi pompa.

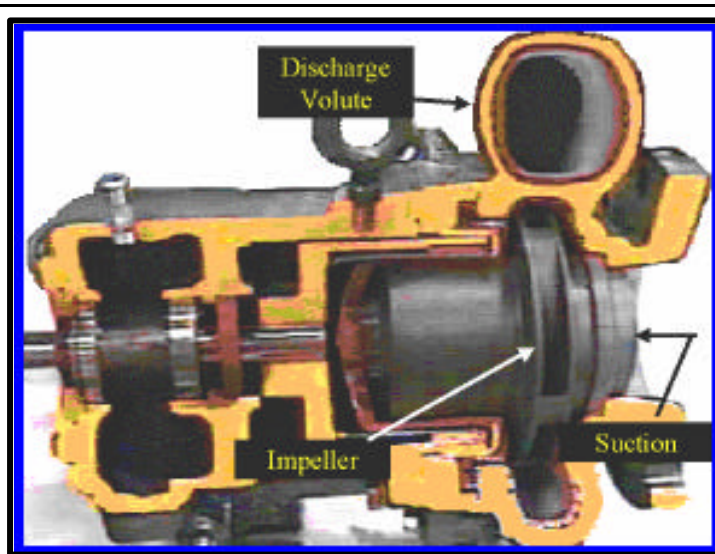
c) Wadah

Fungsi utama wadah adalah menutup impeler pada penghisapan dan pengiriman pada ujung dan sehingga berbentuk tangki tekanan. Tekanan pada ujung penghisapan dapat sekecil sepersepuluh tekanan atmosfer dan pada ujung pengiriman dapat dua puluh kali tekanan atmosfer pada pompa satu tahap. Untuk pompa multi-tahap perbedaan tekanannya jauh lebih tinggi. Wadah dirancang untuk tahan paling sedikit dua kali tekanan ini untuk menjamin batas keamanan yang cukup.

Fungsi wadah yang kedua adalah memberikan media pendukung dan bantalan poros untuk batang torak dan impeler. Oleh karena itu wadah pompa harus dirancang untuk:

- Memberikan kemudahan mengakses ke seluruh bagian pompa untuk pemeriksaan, perawatan dan perbaikan

- Membuat wadah anti bocor dengan memberikan kotak penjejal
- Menghubungkan pipa-pipa hisapan dan pengiriman ke flens secara langsung
- Mudah dipasang dengan mudah ke mesin penggerak (motor listrik) tanpa kehilangan daya.



Gambar 11. Potongan sebuah pompa yang memperlihatkan Wadah *Volute* (Sahdev)



Gambar 12. Wadah Padat (Sahdev)

Terdapat dua jenis wadah

- **Wadah *volute*** (Gambar 11) memiliki impeler yang dipasang dibagian dalam wadah. Salah satu tujuan utamanya adalah membantu kesetimbangan tekanan hidrolik pada batang torak pompa. Walau begitu, mengoperasikan pompa dengan wadah *volute* pada kapasitas yang lebih rendah dari yang direkomendasikan pabrik pembuatnya dapat mengakibatkan tekanan lateral pada batang torak pompa. Hal ini dapat meningkatkan pemakaian sil, bantalan poros, dan batang torak itu sendiri. Wadah *volute* ganda digunakan bilamana gaya radial menjadi cukup berarti pada kapasitas yang berkurang.
- **Wadah *bulat*** memiliki baling-baling penyebaran stasioner disekeliling impeler yang mengubah kecepatan menjadi energi tekanan. Wadah tersebut banyak digunakan untuk pompa multi-tahap. Wadah dapat dirancang sebagai:
 - **Wadah *padat*** (Gambar 12): seluruh wadah dan nosel dimuat dalam satu cetakan atau potongan yang sudah dibuat pabrik pembuatnya.
 - **Wadah *terbelah***: dua bagian atau lebih disambungkan bersama. Bilamana bagian wadah dibagi oleh bidang horisontal, wadahnya disebut terbelah secara horisontal atau wadah yang terbelah secara aksial.

3. PENGKAJIAN POMPA

Bagian ini menjelaskan pengkajian kinerja pompa dan sistem pemompaan.³

3.1. Bagaimana menghitung kinerja pompa

Kerja yang ditampilkan oleh sebuah pompa merupakan fungsi dari *head* total dan berat cairan yang dipompa dalam jangka waktu yang diberikan. Daya batang torak pompa (P_s) adalah daya H_p yang dikirimkan ke batang torak pompa, dan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Daya batang torak pompa } P_s = \text{Daya hidrolik } h_p / \text{Efisiensi pompa } \eta_{\text{pump}}$$

atau

$$\text{Efisiensi pompa } \eta_{\text{pump}} = \text{Daya hidrolik} / \text{Daya batang torak pompa}$$

Keluaran pompa, daya H_p air atau daya H_p hidrolik (h_p) adalah daya H_p cairan yang dikirimkan oleh pompa, dan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Daya hidrolik } h_p = Q \text{ (m}^3/\text{detik)} \times (h_d - h_s \text{ dalam m)} \times \rho \text{ (kg/m}^3) \times g \text{ (m/detik}^2) / 1000$$

Dimana:

Q = debit aliran

h_d = *head* pembuangan

h_s = *head* penghisapan

ρ = massa jenis fluida

g = percepatan gravitasi

3.2 Kesulitan-kesulitan dalam pengkajian pompa

Dalam praktek, lebih sulit mengkaji kinerja pompa. Beberapa alasan pentingnya adalah:

- **Tidak adanya data pompa yang spesifik:** Data spesifikasi pompa (lihat Lembar Kerja 1 pada bagian 6) diperlukan untuk mengkaji kinerja pompa. Hampir kebanyakan perusahaan tidak memegang dokumen asli peralatan (OEM) yang memberikan data-data tersebut. Dalam kasus seperti ini, persentase beban pompa untuk aliran pompa atau *head* tidak dapat diperkirakan secara memuaskan.
- **Kesulitan dalam pengukuran aliran:** Sulit untuk mengukur aliran yang sebenarnya. Beberapa metoda digunakan untuk mengukur aliran. Pada hampir kebanyakan kasus, debit aliran dihitung berdasarkan pada jenis fluida, *head* dan ukuran pipa, dll., namun gambaran yang dihitung mungkin tidak akan tepat. Metoda lainnya, membagi volum tangki dengan waktu yang digunakan oleh pompa untuk mengisi tangki. Tetapi, metoda ini hanya dapat diterapkan jika satu pompa berada dalam operasi dan jika kran pembuangan tangki tertutup. Cara yang paling canggih, tepat dan memakan waktu sangat

³ Bagian ini didasarkan pada *Pompa dan Sistem Pemompaan*. Dalam: Efisiensi Energi dalam Utilitas Listrik, bab 6, 2004, dengan izin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Energi, India.

sedikit untuk mengukur aliran pompa adalah dengan pengukuran yang menggunakan pengukur aliran ultrasonik.

- **Kalibrasi yang tidak benar terhadap pengukur tekanan dan instrumen pengukuran:** Kalibrasi yang benar pada seluruh pengukur tekanan pada jalur penghisapan dan pembuangan dan instrumen pengukur daya lainnya adalah penting untuk mendapatkan pengukuran yang tepat. Namun, kalibrasi tidak harus selalu dilakukan. Kadangkala digunakan faktor koreksi jika alat pengukur dan instrumen tidak dikalibrasi dengan benar. Keduanya akan mengakibatkan tidak benarnya pengkajian kinerja pompa.

4. PELUANG-PELUANG EFISIENSI ENERGI

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

- Memilih pompa yang benar
- Mengendalikan debit aliran dengan variasi kecepatan
- Pompa dalam susunan paralel untuk memenuhi permintaan yang beragam
- Membuang kran pengendali aliran
- Membuang kendali *by-pass*
- Kendali *start/stop* pompa
- Memperbaiki keseimbangan impeler

4.1 Memilih pompa yang benar⁴

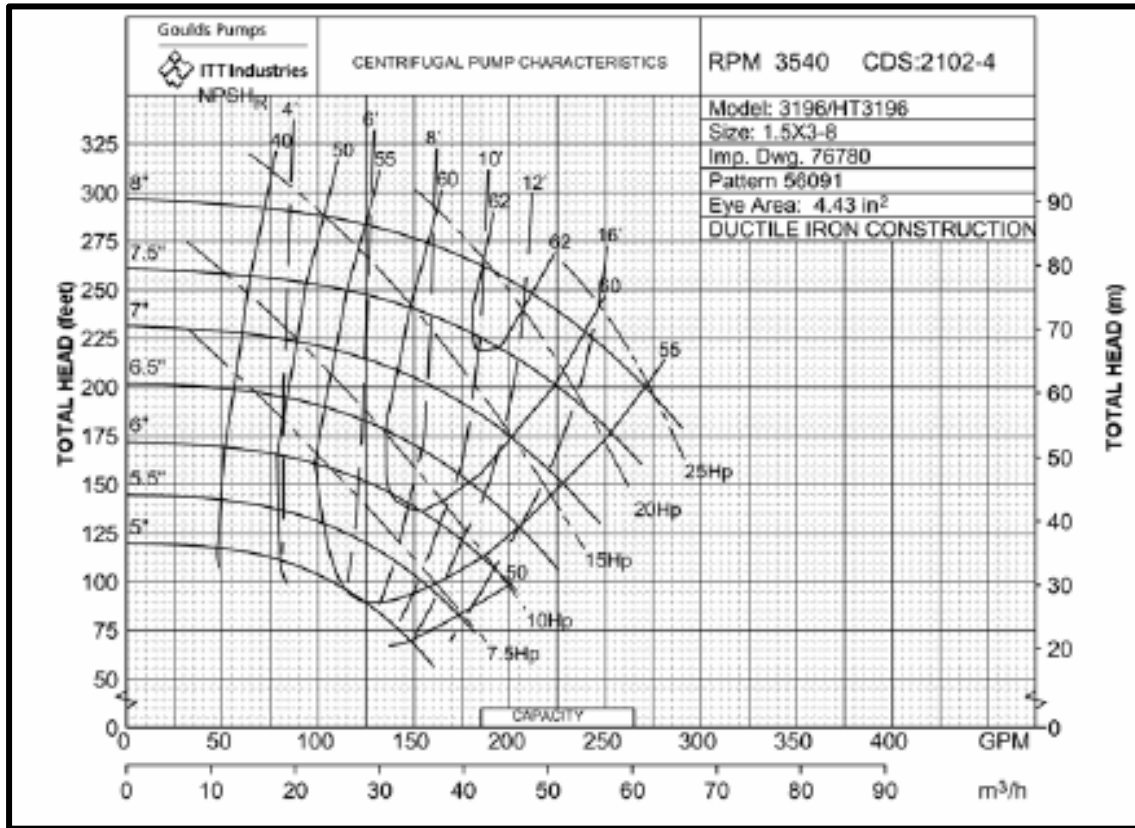
Dalam memilih pompa, para pemasok berusaha untuk mencocokkan kurva sistem yang diberikan oleh pihak pengguna dengan kurva pompa yang memenuhi kebutuhan tersebut sedekat mungkin. Titik operasi pompa adalah titik dimana kurva pompa dan kurva tahanan sistem berpotongan (sepaimana dijelaskan pada bagian 1.2.3). Walau begitu, tidak memungkinkan bagi satu titik operasi memenuhi seluruh kondisi operasi yang dikehendaki. Sebagai contoh, bila kran pembuangan tersumbat, kurva tahanan sistem bergeser ke sebelah kiri dan begitu juga dengan titik operasinya (lihat Gambar 13).

Gambar 13 dibawah memperlihatkan kurva kinerja pompa yang dipasok penjual untuk pompa sentrifugal dimana cairan yang akan dipompa adalah air bersih.

Titik Efisiensi Terbaik/ *Best Efficiency Point* (BEP) merupakan kapasitas pemompaan pada diameter *impeler* maksimum, dimana efisiensi pompanya adalah yang paling tinggi. Seluruh titik sebelah kanan 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 metoda yang berbeda, seperti kran penutup atau jalur *by-pass*. Keduanya memberikan tahanan tambahan dengan meningkatnya gesekan. Sebagai akibatnya kurva sistem bergeser ke kiri dan berpotongan dengan kurva pompa pada titik lainnya. Sekarang BEP nya juga menjadi lebih rendah. Dengan kata lain, efisiensi pompa berkurang sebab aliran keluar berkurang akan tetapi pemakaian dayanya tidak. Ketidakefisienan pompa dengan ukuran berlebih dapat diatasi dengan, sebagai contoh, pemasangan

⁴ Bagian 4.1 diambil (dengan mengedit) dari *Pompa dan Sistem Pemompaan*. Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik, bab6, 2004, dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Tenaga, India.

VSD, penggerak dua kecepatan, rpm lebih rendah, impeler yang lebih kecil atau yang seimbang (BEE, 2004).



Gambar 13: Kurva kinerja pompa sentrifugal diberikan oleh pemasok
(Biro Efisiensi Energi, 2004)

4.2 Mengendalikan debit aliran dengan variasi kecepatan

4.2.1 Menjelaskan pengaruh kecepatan⁵

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 alir, *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”:

- Debit aliran (Q) berbanding lurus dengan kecepatan putaran (N)
- *Head* (H) berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan putarar
- Daya (P) berbanding lurus dengan kubik kecepatan putaran

⁵ Bagian 4.2.1 diambil (dengan mengedit) dari *Pompa dan Sistem Pemompaan*. Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik, bab6, 2004, dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Tenaga, India.

$$\begin{array}{c} Q \propto N \\ H \propto N^2 \\ P \propto N^3 \end{array}$$

Sebagaimana dapat dilihat dari hukum di atas, pengendalian kecepatan putaran pompa sentrifugal akan meningkatkan pemakaian daya 8 kalinya. Sebaliknya penurunan kecepatan yang kecil akan berakibat penurunan pemakaian daya yang sangat besar. 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 daripada oleh kran pengendali. Hal ini disebabkan kran menurunkan aliran namun tidak menurunkan pemakaian energi pompa. Sebagai tambahan terhadap penghematan energi, terdapat manfaat lainnya dari kecepatan yang lebih rendah tersebut.

- 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. Untuk sebuah pompa, umur bantalan sebanding dengan kecepatan pangkat tujuh (N^7)!
- Getaran dan kebisingan berkurang dan umur sil meningkat selama titik tugas tetap berada didalam kisaran operasi yang diperbolehkan.

4.2.2 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 berkurang. Metoda yang biasanya banyak digunakan untuk menurunkan kecepatan pompa adalah Penggerak Kecepatan yang Bervariasi/ *Variable Speed Drive* (VSD).

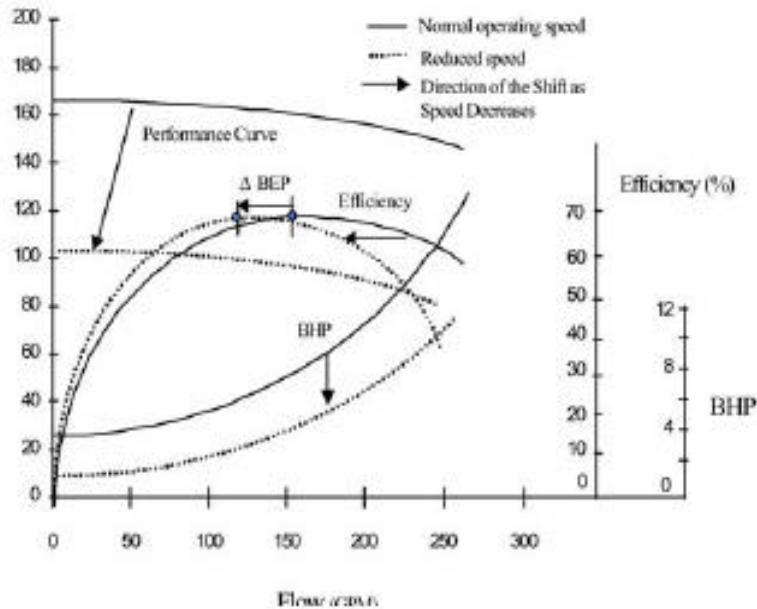
VSD memperbolehkan pengaturan kecepatan pompa berada diatas kisaran yang kontinyu, menghindarkan kebutuhan untuk melompat dari satu kecepatan ke kecepatan lainnya sebagaimana yang terjadi dengan pompa yang berkecepatan berlipat. Kecepatan pompa dengan pengendali VSD menggunakan dua jenis sistem:

- VSD mekanis meliputi sarang hidrolis, kopling fluida, dan *belts* dan *pully* yang dapat diatur-atur.
- VSD listrik meliputi sarang arus eddy, pengendali motor dengan rotor yang melingkar, pengendali frekuensi yang bervariasi/ *variable frequency drives* (VFDs). VFDs adalah yang paling populer dan mengatur frekuensi listrik dari daya yang dipasok ke motor untuk mengubah kecepatan perputaran motor.

Untuk beberapa sistem, VFDs menawarkan sesuatu yang berharga untuk memperbaiki efisiensi operasi pompa pada kondisi operasi yang berbeda-beda. Pengaruh pelambatan kecepatan pompa pada operasi pompa digambarkan dalam Gambar 14. Ketika VFD menurunkan RPM pompa, kurva *head*/aliran dan daya bergerak turun dan ke arah kiri, dan kurva efisiensi juga bergeser ke sebelah kiri.

Keuntungan utama penggunaan VSD disamping penghematan energi adalah (US DOE, 2004):

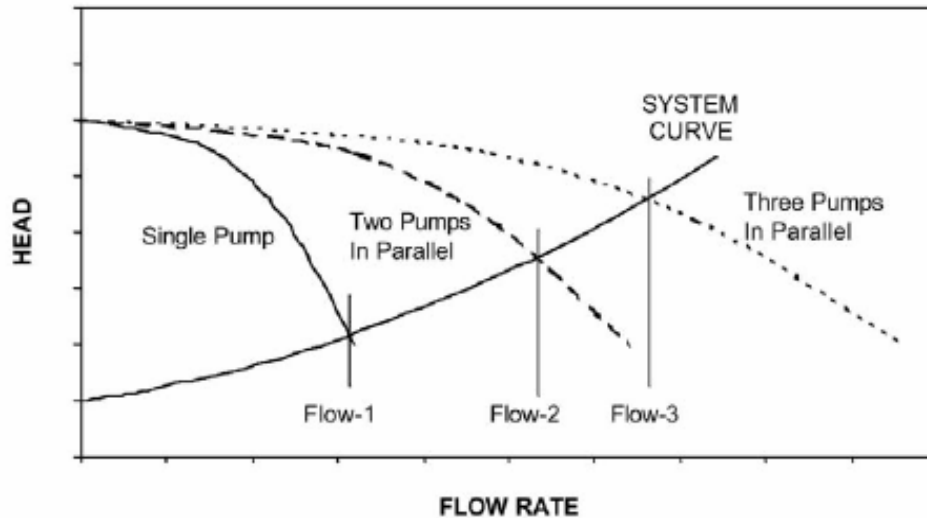
- Memperbaiki pengendalian proses sebab dapat memperbaiki variasi-variasi kecil dalam aliran lebih cepat.
- Memperbaiki kehandalan sistem sebab pemakaian pompa, bantalan dan sil jadi berkurang.
- Penurunan modal dan biaya perawatan sebab kran pengendali, jalur *by-pass*, dan *starter* konvensional tidak diperlukan lagi. Kemampuan *starter* lunak: VSD membolehkan motor memiliki arus *start-up* yang lebih rendah.



Gambar 14. Pengaruh dari VFD (US DOE, 2004)

4.3 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. Gambar 15 memperlihatkan kurva pompa untuk pompa tunggal, dua pompa yang beroperasi secara paralel. Gambar ini juga memperlihatkan bahwa kurva sistem pada umumnya tidak berubah dengan jalannya pompa secara paralel. Debit aliran lebih rendah dari penjumlahan debit aliran berbagai pompa.

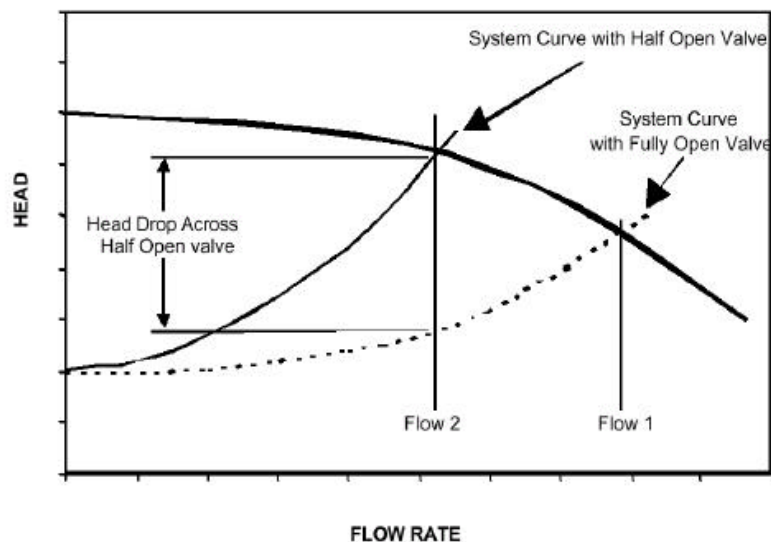


Gambar 15. Kurva kinerja pompa yang dipasang paralel (BPMA)

4.4 Menghilangkan kran pengendali aliran

Metoda lain untuk mengendalikan aliran adalah dengan menutup atau membuka kran pembuangan (hal ini dikenal juga dengan kran *“throttling”*). Walau metoda ini menurunkan tekanan namun tidak mengurangi pemakaian daya, sebab *head* total (*head* statik) bertambah. Gambar 16 memperlihatkan bagaimana kurva sistim bergerak naik dan ke kiri ketika kran pembuangan ditutup setengahnya.

Metoda 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.



Gambar 16. Pengendalian Aliran Pompa dengan Kran (BPMA)

4.5 Menghilangkan pengendali *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.

4.6 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 terjadi dilakukan. Sebuah contoh dimana opsi ini dapat digunakan adalah bila sebuah pompa digunakan untuk mengisi tangki penyimpanan dimana fluida mengalir ke proses pada debit yang tetap. Dalam sistem ini, pengendali dipasang pada tingkatan minimum dan maksimum didalam tangki untuk menjalankan dan menghentikan pompa. Beberapa perusahaan menggunakan metoda ini juga dalam rangka menghindarkan kebutuhan maksimum yang lebih rendah (yaitu dengan pemompaan pada bukan jam puncak).

4.7 Keseimbangan impeler

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

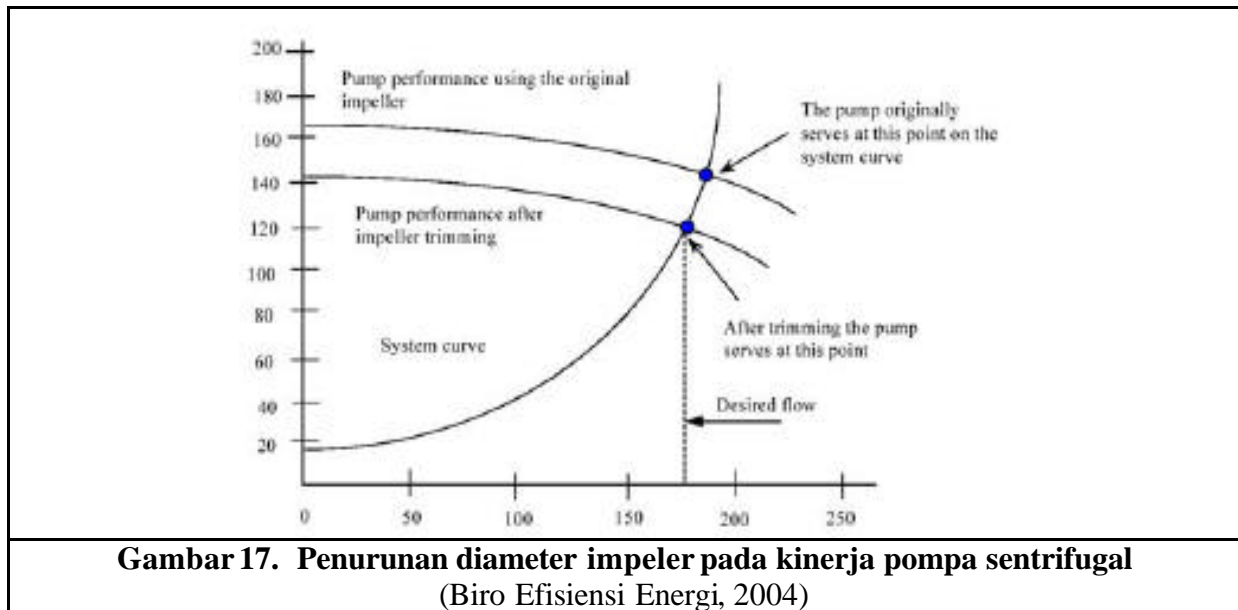
$$\begin{array}{c} Q \propto D \\ H \propto D^2 \\ P \propto D^3 \end{array}$$

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

- Opsi ini tidak dapat digunakan jika terdapat pola aliran yang bervariasi.
- Impeler tidak harus diseimbangkan lebih dari 25% dari ukuran impeler aslinya, karena akan menyebabkan getaran karena terjadinya kavitasi yang akan menurunkan efisiensi pompa.
- Keseimbangan pompa harus dijaga; keseimbangan impeler harus sama pada seluruh sisi.

Mengganti impeler merupakan suatu opsi yang lebih baik daripada menyeimbangkan impeler, namun cara ini juga lebih mahal dan kadangkala impeler yang lebih kecil di pasaran ukurannya jauh lebih kecil dari kebutuhan.

Gambar 17 memberi gambaran pengaruh penurunan diameter impeler pada kinerja pompa sentrifugal.



Perbandingan berbagai opsi penghematan energi pada pompa dan sistem pemompaan diringkaskan seperti dibawah ini.

Tabel 1. Perbandingan berbagai opsi penghematan energi pada pompa
(diadaptasi dari US DOE 2001)

Parameter	Perubahan kran kendali	Impeler seimbang	VFD
Diameter impeler	430 mm	375 mm	430 mm
Head pompa	71,7 m	42 m	34,5 m
Efisiensi pompa	75,1%	72,1%	77%
Debit aliran	80 m ³ /jam	80 m ³ / jam	80 m ³ / jam
Daya terpakai	23,1 kW	14 kW	11,6 kW

5. DAFTAR PERIKSA OPSI

Bagian ini merupakan daftar opsi yang paling penting untuk memperbaiki efisiensi energi pompa dan sistem pemompaan.

- Operasikan pompa mendekati titik efisiensi terbaiknya (BEP)
- Pastikan NPSH yang cukup pada lokasi pemasangan
- Modifikasi sistem pompa dan kehilangan pompa untuk meminimalkan penyumbatan.
- Pastikan ketersediaan instrumen dasar pada pompa seperti pengukur tekanan, pengukur aliran
- Sesuaikan terhadap variasi beban dengan menggunakan penggerak kecepatan yang bervariasi atau pengendali berurutan dari unit yang banyak.
- Hindari pengoperasian lebih dari satu pompa untuk penggunaan yang sama
- Gunakan pompa pendorong/*booster* untuk beban kecil yang memerlukan tekanan yang lebih tinggi
- Untuk memperbaiki kinerja alat penukar panas, kurangi perbedaan suhu antara saluran masuk dan keluar daripada meningkatkan debit aliran
- Perbaiki sil dan paking untuk meminimalkan kehilangan air oleh tetesan
- Seimbangkan sistem untuk meminimalkan aliran dan menurunkan permintaan daya pompa
- Hindari *head* pemompaan dengan penggunaan pengembalian jatuh bebas (gravitasi), dan gunakan efek sifon
- Lakukan keseimbangan air untuk meminimalkan pemakaian air, dengan demikian mengoptimalkan pengoperasian pompa
- Hindari pensirkulasian ulang air pendingin dalam Genset Diesel, kompresor udara, sistem pendinginan, pompa air umpan menara pendingin, pompa kondensor dan pompa proses
- Pada operasi banyak pompa, padukan secara hati-hati operasi pompa untuk menghindarkan penyumbatan saluran
- Ganti pompa yang sudah tua dengan pompa yang efisien energinya
- Perbaiki efisiensi pompa yang ukurannya berlebih, pasang penggerak kecepatan yang bervariasi, turunkan ukuran/ganti impeler, atau ganti dengan pompa yang lebih kecil
- Optimalkan jumlah tahap dalam pompa multi-tahap jika terdapat keuntungan pada tekanan keluar.
- Kurangi tahanan sistem dengan cara pengkajian penurunan tekanan dan optimalisasi ukuran pipa
- Periksa secara teratur getarannya untuk memperkirakan kerusakan pada bantalan, kesalahan penggabungan, ketidakseimbangan, kelonggaran fondasi dll.

6. LEMBAR KERJA

Bagian ini meliputi lembar kerja sebagai berikut:

- Data Spesifikasi Pompa
- Perhitungan Efisiensi Pompa

Lembar Kerja 1: DATA SPESIFIKASI POMPA

No.	Parameter	Satuan	Nomor Pompa		
			1	2	3
1	Dibuat oleh				
2	Jenis (<i>reciprocating</i> /sentrifugal)				
3	Kapasitas pembuangan	m ³ /jam			
4	Head yang terbentuk	mmWC			
5	Fluida yang ditangani				
6	Massa jenis fluida	kg/m ³			
7	Suhu fluida	°C			
8	Input daya pompa	kW			
9	Kecepatan pompa	RPM			
10	Efisiensi pompa	%			
11	Pemakaian daya spesifik	kW/(m ³ /jam)			
12	Motor pompa				
	Daya	kW			
	Arus beban penuh	Amp			
	Kecepatan	RPM			
	Tegangan yang dipasang	Volts			
	Efisiensi	%			
	Faktor daya				
	Frekuensi yang dipasang	Hz			
13	Jenis bantalan				
	Pompa (ujung dengan penggerakan)				
	Pompa (ujung tanpa penggerakan)				
	Motor (ujung dengan penggerakan)				
	Motor (ujung tanpa penggerakan)				
14	Kualitas pelumas				

Lembar Kerja 2: PERHITUNGAN EFISIENSI POMPA

No.	Parameter	Satuan	Nomor Pompa		
			1	2	3
1	Aliran fluida terukur atau perkiraan (Q)	m ³ /detik			
2	<i>Head</i> hisapan (termasuk koreksi <i>head</i> karena lokasi pengukur tekanan)	M			
3	<i>Head</i> pembuangan (termasuk koreksi <i>head</i> karena lokasi pengukur tekanan)	m			
4	<i>Head</i> dinamik total (TDH)	m			
5	Massa jenis fluida (γ)	kg/m ³			
6	Daya input motor (P)	kW			
7	Pasokan frekuensi	Hz			
8	Daya input pompa	kW			
9	Daya hidrolis (Ph) $Q \times H \times \gamma \times 9,81/1000$	kW			
10	Efisiensi gabungan (η_c) $Ph/P \times 100$	%			
11	Efisiensi pompa (η_p) $(\eta_c/\text{efisiensi motor}) \times 100$	%			
12	Pemakaian daya spesifik P/Q	kW/(m ³ /detik)			
13	% Beban motor berkenaan dengan daya	%			
14	% Beban pompa berkenaan dengan aliran	%			
15	% Beban pompa berkenaan dengan <i>head</i> dinamik total (TDH)	%			

7. REFERENSI

American Council for Energy Efficiency Economy. www.aceee.org

Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. 2004. *Pumps and Pumping Systems*. In: Energy Efficiency in Electrical Utilities, chapter 6.

Fluide Design Inc. www.fluidedesign.com

GAMBICA Association, BPMA. *Variable Speed Driven Pumps, Best Practice Guide*. www.gambica.org.uk/pdfs/VSD_Pumps.pdf

Hydraulic Institute. www.pumpschool.org, www.pumpschool.com/intro/pdtree.htm

Pacific Liquid and Air Systems. www.pacificliquid.com

Sahdev, M. *Centrifugal Pumps: Basic concepts of operation, maintenance and trouble shooting, Part I*. Presented at The Chemical Engineers' Resource Page. www.cheresources.com. Downloaded from: www.idcon.com/pdf-doc/centrifugalpumps.pdf

The Engineering Toolbox. www.engineeringtoolbox.com

US Department of Energy (DOE), Office of Industrial Technologies. *Pump Life Cycle Costs: A guide to LCC analysis for pumping systems*. DOE/GO-102001-1190. 2001. http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html

US Department of Energy (US DOE), Office of Industrial Technologies. *Variable Speed Pumping – A Guide to Successful Applications. Executive Summary*. 2004. http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html

US Department of Energy (US DOE), Office of Industrial Technologies. *Improving Pump System performance, A Source Book for Industry*. As part of: Motor Challenge Program. 1999 http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html

Copyright:

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.

Hak cipta:

Hak cipta © United Nations Environment Programme (year 2006)

Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.

Disclaimer:

This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.

Disclaimer:

Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek “Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sanksi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini