

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Dasar Teori Pompa**

##### **2.1.1 Definisi Pompa**

Pompa adalah 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, atau fluida lainnya. 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 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 minyak pelumas, bensin atau air pendingin. Jadi pompa sangat penting untuk kehidupan manusia secara langsung yang dipakai dirumah tangga atau tidak langsung seperti pada pemakaian pompa di industri.

Pada pompa akan terjadi perubahan dari energi mekanik menjadi energi hidrolik/fluida. Pada mesin-mesin hidrolik termasuk pompa, energi fluida ini disebut

head atau energi persatuan berat zat cair. Ada tiga bentuk head yang akan mengalami perubahan yaitu head tekan, kecepatan dan potensial. Selain dapat memindahkan cairan, pompa juga dapat berfungsi untuk meningkatkan kecepatan, tekanan dan ketinggian pompa.

Pompa memiliki komponen-komponen dalam proses memproduksi. Komponen-komponen tersebut antara lain :

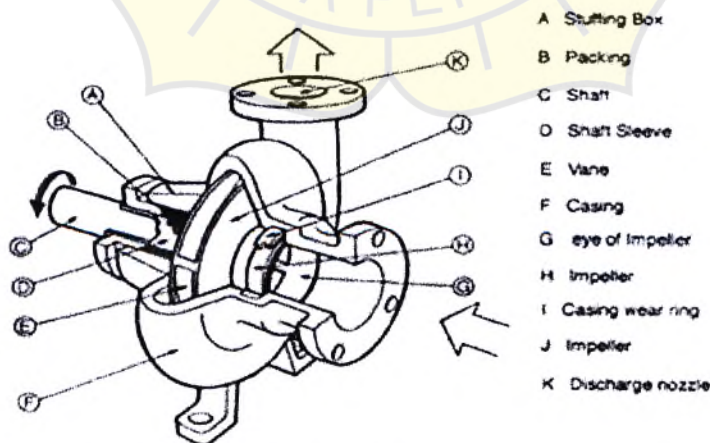
1. Pompa
2. Mesin penggerak, berupa motor listrik, mesin diesel atau sistem udara
3. Pipa atau pemipaan digunakan untuk membawa fluida
4. Kran, digunakan untuk mengendalikan aliran sistem
5. Sambungan, pengendalian dan instrumentasi lainnya
6. Peralatan penggunaan akhir, yang memiliki berbagai persyaratan. Misalnya, tekanan, aliran yang menentukan komponen dan susunan sistem.

Contoh, pressure gauge, manometer, flowmeter, dan tangki.

### 2.1.2 Pompa Sentrifugal

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.

Pompa sentrifugal adalah salah satu peralatan sederhana yang sering digunakan pada berbagai proses dalam suatu pabrik. Pompa sentrifugal ini mempunyai tujuan untuk mengubah energi dari suatu pemindahan utama (motor electric atau turbin) menjadi kecepatan atau energi kinetik dan kemudian menjadi energi tekanan dari suatu fluida yang dipompakan. Perubahan energi ini terjadi melalui sifat dari kedua bagian utama pompa, impeller dan volute atau diffuser. Impeller adalah bagian yang berotasi (berputar) yang mengubah energi menjadi kinetik. Volute atau diffuser adalah bagian yang stationer (tidak bergerak) yang mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan.



Gambar 2.1 komponen-komponen pompa sentrifugal

Komponen-komponen pompa sentrifugal adalah sebagai berikut :

1. Stuffing box, berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.
2. Packing, digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.
3. Shaft (poros), poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama berotasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.
4. Shaft sleeve, berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada stuffing box.
5. Vane, sudu dari impeller sebagai tempat berlalunya cairan pada impeller.
6. Eye of impeller, bagian sisi masuk pada arah hisap impeller.
7. Impeller, berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi hisap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.
8. Wearing ring, berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeller.

9. Bearing (bantalan), berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun axial. Bearing juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.
10. Casing, merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi melindungi elemen yang berputar, tempat kedudukan diffuser (guide vane) inlet dan outlet nozzle serta tempat memberikan arah aliran dari impeller dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (single stage).

### 2.1.3 Kecepatan Spesifik

Performansi pompa sentrifugal dihubungkan pada suatu parameter yang disebut kecepatan spesifik (specific speed). Seperti yang didefinisikan The Hydraulic Institute, hal ini merupakan hubungan antara kapasitas, tinggi tekan, dan kecepatan pada efisiensi optimum yang mengklarifikasikan impeller pompa dengan respek terhadap persamaan geometris. Kecepatan spesifik merupakan bilangan aljabar yang

dinyatakan sebagai :

$$N_s = N \cdot \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{H^{\frac{5}{4}}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan spesifik pompa (m/min)

$N$  = Putaran pompa (rpm)

$Q$  = Kapasitas pompa ( $m^3/\text{min}$ )

$H$  = Head total pompa (m)

#### 2.1.4 Klasifikasi Pompa

Pompa sentrifugal dapat diklasifikasikan berdasarkan :

##### A. Kapasitas

1. Kapasitas rendah  $< 20 m^3/\text{jam}$
2. Kapasitas menengah  $20 - 60 m^3/\text{jam}$
3. Kapasitas tinggi  $> 60 m^3/\text{jam}$

##### B. Tekanan Discharge

1. Tekanan rendah  $< 5 \text{ kg} / \text{cm}^2$
2. Tekanan menengah  $5 - 50 \text{ kg} / \text{cm}^2$
3. Tekanan tinggi  $> 50 \text{ kg} / \text{cm}^2$

C. Jumlah / susunan impeller dan tingkat :

1. Single stage, terdiri dari satu impeller dan satu casing
2. Multi stage, terdiri dari beberapa impeller yang tersusun seri dalam satu casing
3. Multi impeller, terdiri dari beberapa impeller yang tersusun parallel dalam satu casing
4. Multi impeller dan multi stage, kombinasi multi impeller dan multi stage.

D. Posisi poros

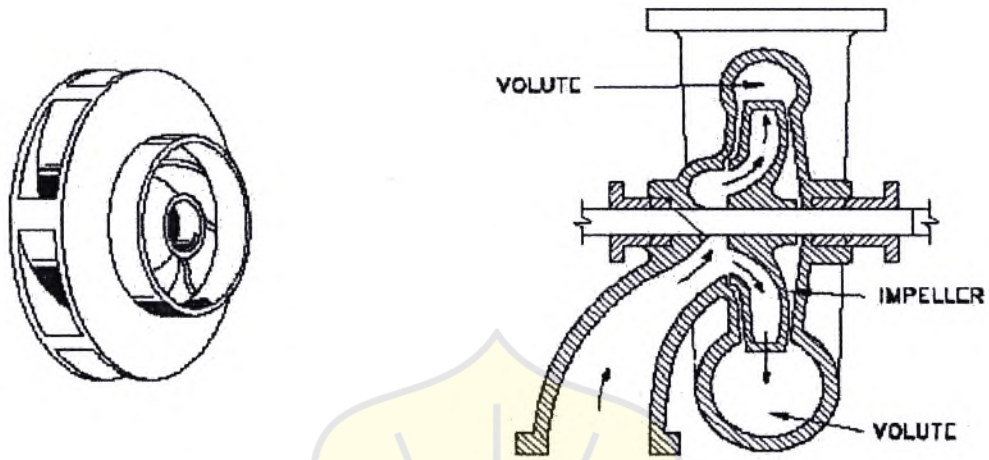
1. Poros tegak
2. Poros mendatar

E. Jumlah suction (hisap)

1. Single suction
2. Double suction

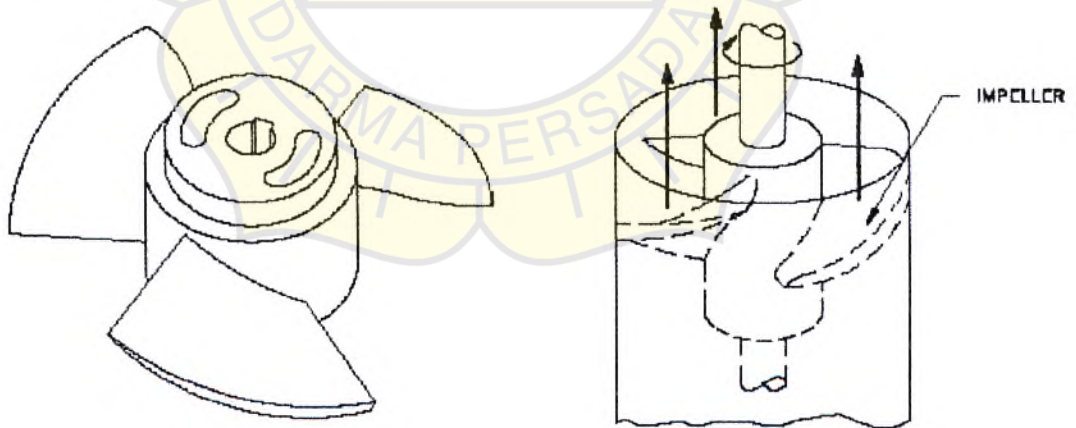
F. Arah aliran keluar impeller

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



Gambar 2.2 Pompa sentrifugal arah aliran radial

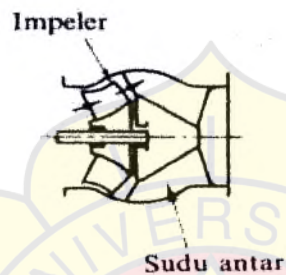
2. Axial flow, Aliran zat cair yang meninggalkan impeller akan bergerak sepanjang permukaan silinder (arah aksial).



Gambar 2.3 Pompa sentrifugal arah aliran aksial



- Mixed flow, aliran zat cair di dalam pompa waktu meninggalkan impeller akan bergerak sepanjang kerucut (miring) sehingga komponen kecepatannya berarah radial dan aksial.



Gambar 2.4 Pompa sentrifugal arah aliran campuran

### 2.1.5 Karakteristik Pompa

#### A. Efisiensi Pompa

Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan karena ada sebagian energi kinetik yang hilang dalam bentuk losis. Efisiensi pompa adalah suatu faktor yang dipergunakan untuk menghitung losis ini. Efisiensi pompa terdiri dari :

- Efisiensi hidrolis, memperhitungkan losis akibat gesekan antara cairan dengan impeller dan losis akibat perubahan arah yang tiba-tiba pada impeler.
- Efisiensi volumetris, memperhitungkan losis akibat resirkulasi pada ring, bush, dll.

- Efisiensi mekanis, memperhitungkan losis akibat gesekan pada seal, packing gland, bantalan, dll.

Setiap pompa dirancang pada kapasitas dan head tertentu, meskipun dapat juga dioperasikan pada kapasitas dan head yang lain. Efisiensi pompa akan mencapai maksimum pada *designed point* tersebut, yang dinamakan dengan titik BEP. Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiensinya akan lebih rendah.

Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa.

$$\eta = \frac{P_H}{P_s} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$P_H$  = Daya Hidrolis

$P_s$  = Daya Motor

### B. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang diperlukan oleh pompa untuk mengangkat sejumlah zat cair pada ketinggian tertentu. Daya hidrolis dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis, kg/m<sup>3</sup>

g = gaya gravitasi

H = head, m

Q = kapasitas, m<sup>3</sup>/s

### C. Kurva Karakteristik Pompa

Untuk setiap pompa, biasanya pabrik pembuatnya memberikan kurva karakteristik yang menunjukkan unjuk kerja pompa pada berbagai kondisi pemakaian. Karakteristik sebuah pompa digambarkan dalam kurva karakteristik menyatakan besarnya head total, daya pompa dan efisiensi pompa terhadap kapasitas. Berikut ini adalah contoh kurva karakteristik suatu pompa :

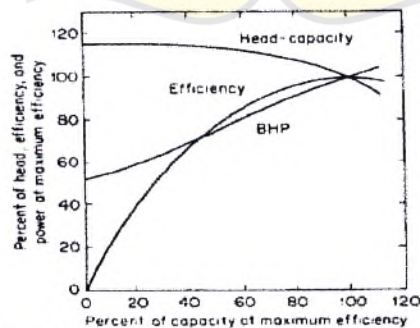


Fig. 14.2.24 Type characteristics for  $N_s = 1,550$  single-suction impeller ( $N_{125} = 30$ ).

Gambar 2.5 contoh kurva karakteristik type single suction impeller

### 2.1.6 Head pompa

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Menurut persamaan Bernoulli yang berbunyi “bila fluida inkompresibel mengalir sepanjang pipa yang penampangnya mempunyai beda ketinggian, perbedaan tekanan tidak hanya tergantung pada perbedaan ketinggian tetapi juga pada perbedaan kecepatan di masing – masing titik tersebut”. Dalam persamaan Bernoulli, ada tiga macam head (energy) fluida dari sitem instalasi aliran, yaitu. Energi tekanan, energi kinetik, dan energy potensial. Hal ini dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$H = \frac{p}{\rho} + Z + \frac{v^2}{2.g} \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

Dimana :

H = Head Total (m)

$\frac{p}{\rho}$  = Head Tekanan (m)

$\frac{v^2}{2.g}$  = Head Kecepatan (m)

### 2.1.7 Kerugian Head Pada Pemipaan

Head Loss adalah kerugian tekan yang terjadi pada aliran internal. Aliran internal seperti pada system pemipaan sangat sering mengalami head loss. Head loss terjadi karena berbagai hal seperti gesekan pada dinding pipa dan adanya hambatan

pada pipa seperti gesekan fluida dengan dinding pipa dan adanya hambatan pada pipa seperti belokan, percabangan, katup, dan lain sebagainya. Analisa head loss atau kerugian dalam aliran pipa dibagi untuk aliran turbulen dan laminar. Aliran dikatakan laminar apabila bilangan reynoldnya kurang dari 2100, selebihnya adalah aliran turbulen. Kerugian juga dibagi menjadi major dan minor loss. Major loss diakibatkan oleh friction antara fluida dan pipa. Minor loss diakibatkan oleh katup, tikungan, dan lain sebagainya

Head loss dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$H_l = f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{V^2}{2.g} \right) \Rightarrow f = \frac{64}{Re}, \text{ untuk aliran laminar.....( 2.5 )}$$

Dimana :

Hl = Head loss (m)

f = Koefisien Gesek Pipa

L = Panjang Pipa (m)

D = Diameter Pipa (m)

V = Kecepatan fluida (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Untuk minor loss .

$$H_l = k \frac{V^2}{2.g} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

Hl = Head loss (m)

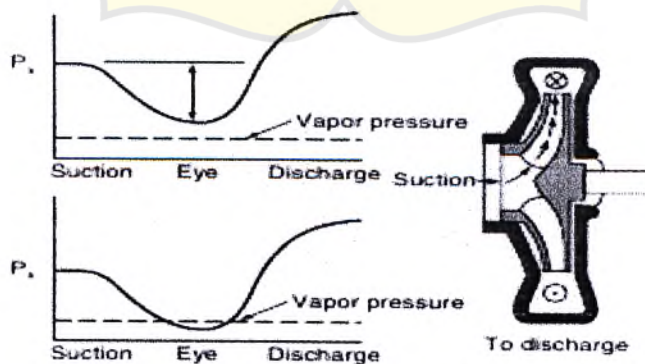
k = Koefisien gesek part (katup, Tee, elbow dll)

V = kecepatan fluida (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### 2.1.8 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, tekanan pada permukaan zat cair akan turun, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 Gejala kavitasi pada pompa

Bila tekanannya turun sampai pada tekanan uap jenuhnya, maka cairan akan menguap dan membentuk gelembung uap. Selama bergerak sepanjang impeler, kenaikan tekanan akan menyebabkan gelembung uap pecah dan menumbuk permukaan pompa. Fenomena ini dinamakan kavitasi. Jika permukaan saluran/pipa terkena tumbukan gelembung uap tersebut secara terus menerus dalam jangka lama akan mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang pada dinding saluran atau sering disebut erosi kavitasi. Pengaruh lain dari kavitasi adalah timbulnya suara berisik, getaran dan turunnya performansi pompa.

#### **2.1.9 Penyebab Kavitasi**

Luasan aliran pada mata impeller pompa biasanya lebih kecil dari daripada luasan aliran pipa hisap pompa atau luas aliran yang melalui baling baling impeller. Ketika cairan dipompakan memasuki mata pompa sentrifugal, pengurangan luas area aliran terjadi seiring penambahan kecepatan aliran seiring dengan pengurangan tekanan. Jumlah aliran pompa yang lebih besar, penurunan tekanan yang lebih besar antara lubang hisap pompa dengan mata impeller. Jika tekanan yang turun cukup besar, atau temperature cukup tinggi, tekanan yang turun mungkin cukup untuk menyebabkan zat cair. Banyak gelembung udara terbentuk akibat tekanan yang jatuh di ujung impeller di sapu oleh baling baling impeller melalui aliran fluidanya. Ketika gelembung udara memasuki daerah dimana tekanan local lebih besar dari tekanan jenuh yang menjauhi baling baling impeller, tiba tiba meletup. Proses

pembentukan gelembung udara dan berikutnya meletup di dalam pompa disebut kavitasi.

Kavitasi dalam pompa sentrifugal mempunyai efek yang sangat signifikan pada performa pompa. Kavitasi menurunkan performa pompa, menyebabkan fluktuasi jumlah aliran dan tekanan buang. Kavitasi dapat juga menyebabkan kerusakan komponen pompa bagian dalam. Ketika pompa mengalami kavitasi, gelembung udara terbentuk didaerah tekanan rendah tepat sebelum putaran baling baling impeller. Gelembung uap kemudian bergerak pada baling baling impeller, dimana mereka meletup dan menyebabkan kejutan secara fisik, pada sudut depan baling baling impeller. Kejutan secara fisik membuat bintik bintik kecil pada bagian ujung baling baling impeller. Setiap bintik bintik kecil mempunyai ukuran mikron, tetapi akibat akumulasi dari jutaan bintik bintik ini dari waktu ke waktu benar benar merusak impeler pompa. Kavitasi juga bisa menyebabkan kelebihan getaran pada pompa, yang mana bisa menyebabkan kerusakan bearing pompa, ring penahan aus dan seal – seal.

Sebagian kecil pompa sentrifugal didesain untuk dioperasikan dibawah kondisi dimana kavitasi tidak terhindarkan. Pompa ini harus dirancang secara khusus dan dirawat untuk sejumlah kecil kavitasi yang terjadi selama beroperasi. Banyak pompa sentrifugal dirancang tidak untuk kavitasi yang terus menerus. Suara berisik adalah salah satu indikasi bahwa pompa sentrifugal dalam keadaan kavitasi. Sebuah pompa yang mengalami kavitasi dapat bersuara seperti suara kaleng isi kelereng yang dikocok. Indikasi lain yang dapat diobservasi dari pusat kontrol operasi adalah tekanan buang yang fluktuatif, jumlah aliran, arus pompa motor.



### 2.1.10 Cara Menghindari Kavitas

Kavitas akan terjadi bila tekanan statis zat cair turun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Agar dalam system pemompaan tidak terjadi kavitas, harus diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran pada pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Berhubung dengan hal ini didefinisikan satu Head Isap Positif Netto atau NPSH yang dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap kavitas. Ada dua macam NPSH yaitu NPSHa dan NPSHr. Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitas maka harus dipenuhi persyaratan berikut :

$$\text{NPSHa (NPSH yang tersedia)} > \text{NPSHr (NPSH yang diperlukan)}$$

Hal-hal berikut harus diperhatikan untuk menghindari kavitas

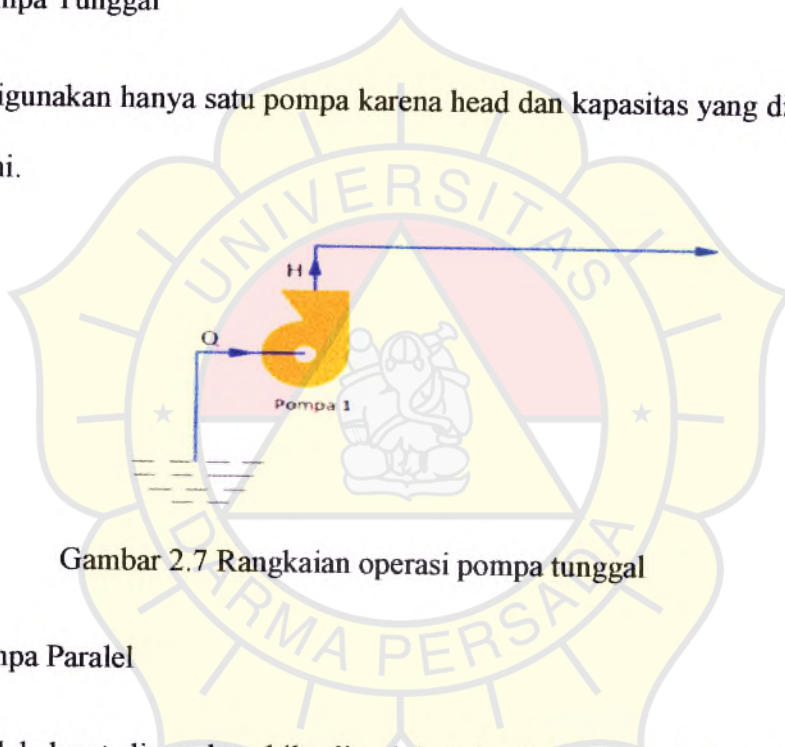
1. Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head isap statis menjadi rendah pula.
2. Pipa isap harus dibuat sependek mungkin. Jika terpaksa dipakai pipa isap yang panjang, sebaiknya diambil pipa yang berdiameter satu nomor lebih besar untuk mengurangi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

## 2.2 Operasi Seri dan Operasi Paralel

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

### A. Operasi Pompa Tunggal

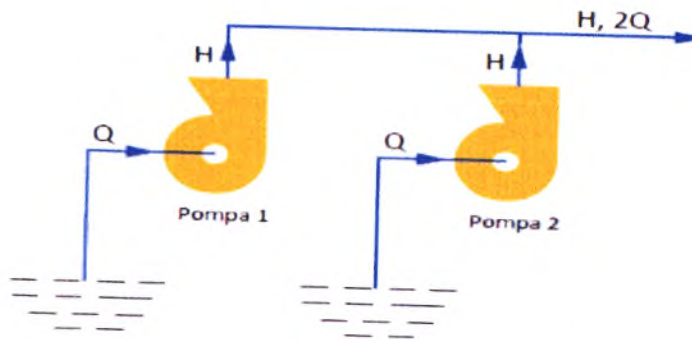
Pompa yang digunakan hanya satu pompa karena head dan kapasitas yang diperlukan sudah terpenuhi.



Gambar 2.7 Rangkaian operasi pompa tunggal

### B. Operasi Pompa Paralel

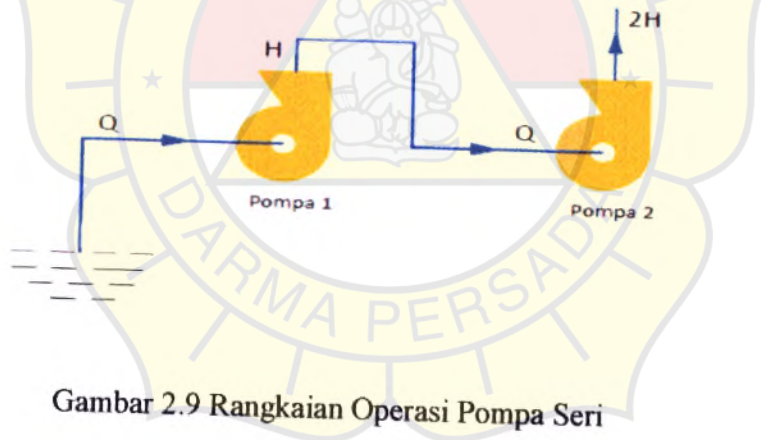
Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dihandle oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak atau diperbaiki.



Gambar 2.8 Rangkaian operasi pompa paralel

### C. Operasi Pompa Seri

Bila head yang diperlukan besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa maka dapat digunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri.



Gambar 2.9 Rangkaian Operasi Pompa Seri

### 2.3 Efisiensi Total

Efisiensi pompa merupakan perbandingan daya yang diberikan pompa kepada fluida dengan daya yang diberikan motor listrik kepada pompa. Efisiensi total pompa dipengaruhi oleh efisiensi hidrolis, efisiensi mekanis, dan efisiensi volumetric.

#### A. Efisiensi Hidrolis

Efisiensi hidrolis merupakan perbandingan antara head pompa sebenarnya dengan head pompa teoritis dengan jumlah sudu tak terhingga.

#### B. Efisiensi Volumetris

Efisiensi volumetris disebabkan adanya kebocoran aliran setelah melalui impeller, yaitu adanya aliran balik menuju pipa hisap.

#### C. Efisiensi Mekanis

Besarnya efisiensi mekanis sangat dipengaruhi oleh kerugian mekanis yang terjadi disebabkan oleh bantalan, gesekan pada cakra dan gesekan pada paking.

