

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Definisi Fluida**

Fluida adalah suatu bahan yang mengalami deformasi secara terus-menerus apabila mendapat gaya gesek, baik besar maupun kecil. Cairan mengandung molekul-molekul yang berjarak lebih jauh, dengan gaya antarmolekul yang lebih lemah dibandingkan dengan padatan, sehingga molekul dapat bergerak lebih bebas dan membuat cairan lebih rentan terhadap deformasi. Fluida pada hakikatnya meliputi zat cair dan gas. Cairan tidak terbatas pada bentuk tertentu, melainkan menyesuaikan diri dengan bentuk wadahnya dan volumenya dapat bervariasi. Zat gas tidak memiliki bentuk atau volume yang tetap dan akan memuai hingga memenuhi seluruh wadah. Zat cair dan gas dapat mengalir karena tidak mempunyai bentuk tetap. Oleh karena itu, cairan dan gas sering dikelompokkan bersama dan disebut fluida.

Ada dua bentuk fluida fluida yang dapat dimampatkan dan fluida yang tidak dapat dimampatkan. Fluida yang tidak dapat dimampatkan adalah fluida yang volume dan suhunya tidak berubah ketika diberikan tekanan. Gas dapat dimampatkan, namun cairan seperti air hampir tidak dapat dimampatkan, dan kepadatannya tidak banyak dipengaruhi oleh variasi tekanan dan suhu yang signifikan (Sularso, 1994).[6]

## 2.2 Sifat – Sifat Fluida

Untuk lebih memahami sifat-sifat fluida, penting untuk memahami beberapa karakteristik dasar fluida. Cairan memiliki karakteristik dasar seperti tekanan, viskositas, dan kepadatan.

$$Q = V.A \text{ maka } V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

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

$V$  = Kecepatan Aliran ( $\text{m}^2$ )

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

### 2.2.1 Tekanan

Tekanan bergantung pada besarnya daya. Semakin besar dayanya, maka semakin besar juga tekanannya. Jadi, rumus tekanan pada umumnya yaitu:

$$P = F/A \dots\dots\dots (2.2)$$

$P$  = Tekanan ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$F$  = Gaya (N)

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

Dari rumus tekanan pada umumnya, Adapun rumus tekanan mutlak cair sebagai berikut:

$$P = P_o + pgh \dots\dots\dots (2.3)$$

$P$  = Tekanan mutlak cair ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$P_o$  = Tekanan udara luar ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$P$  = Massa jenis zat cair ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$h$  = Kedalaman zat cair (m)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s)

### 2.2.2 Kekentalan

Viskositas merupakan suatu karakteristik fluida yang menunjukkan hambatan aliran fluida. Fluida dengan viskositas tinggi lebih tahan terhadap aliran dibandingkan dengan fluida dengan viskositas rendah. Viskositas cairan bergantung pada suhu. Fluida dengan viskositas tinggi pada temperatur tinggi menunjukkan perilaku yang berlawanan dengan fluida cair, yang mengalami penurunan viskositas seiring dengan kenaikan temperatur. Viskositas dikategorikan menjadi dua jenis:

a. Viskositas dinamik Ini adalah karakteristik reologi yang menghubungkan tegangan geser dengan aliran fluida, yang dinyatakan dengan:

$$\mu = \tau \, du/dy \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana,  $\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$\tau$  = tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

$du/dy$  = gradient kecepatan (m/s)

b. Viskositas kinematik Rasio antara viskositas dinamis dan densitas fluida dapat dinyatakan sebagai:

$$\nu = \mu \, \rho \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :  $\nu$  = viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

$\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$\rho$  = Kerapatan Fluida (Kg/m<sup>3</sup>)

### 2.2.3 Kerapatan

Massa jenis adalah ukuran berapa banyak massa yang terkandung dalam volume tertentu suatu bahan. Massa jenis suatu fluida tetap konstan pada volume tertentu.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :  $\rho$  = rapat massa ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = massa fluida (Kg)

$v$  = volume fluida ( $\text{m}^3$ )

Massa jenis fluida berubah berdasarkan sifatnya. Massa jenis air dalam keadaan atmosfer adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan massa jenis udara adalah  $1,22 \text{ kg/m}^3$ . Untuk beberapa fluida, densitas dipengaruhi oleh tekanan dan suhu fluida, khususnya dalam kasus fluida gas, dimana variasi pada kedua faktor tersebut dapat berdampak signifikan terhadap densitas gas. Sedangkan pada cairan cair, faktor-faktor tersebut mempunyai pengaruh yang lebih kecil. Parameter fluida lain yang terkait erat dengan densitas meliputi volume spesifik dan berat jenis. Volume spesifik didefinisikan sebagai volume suatu zat dibagi massanya, yang merupakan kebalikan dari massa jenis. Berat jenis adalah hasil kali massa jenis fluida dan percepatan gravitasi, yang menyatakan berat fluida per satuan volume (Sularso, 1994).[6]

$$T = \rho \cdot g \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :  $\rho$  = rapat massa ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Berat jenis adalah perbandingan antara massa jenis suatu fluida dan massa jenis air. Pada suhu rata-rata 4 derajat Celcius dan tekanan 1 atmosfer, massa jenis air adalah 1000 kg/m<sup>3</sup> (Olson, 1990).

$$S = \rho \cdot \rho_w \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana S = Specifik Grafity

$\rho$  = Rapat massa (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = kerapatan air (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.3 Tipe-tipe Aliran

Kondisi aliran fluida sebagian besar ditentukan oleh kecepatan fluida. Kecepatan yang lebih tinggi dapat menyebabkan aliran beralih dari laminar ke turbulen, sehingga mengubah bentuknya. Bilangan Reynolds merupakan parameter yang dapat digunakan untuk menghubungkan kecepatan aliran, diameter penampang pipa, dan kondisi fluida (Sularso, 1994).[6]

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana  $v$  = kecepatan aliran (m/s)

$D$  = diameter pipa (m)

$\rho$  = rapat massa fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = viskositas dinamik (m<sup>2</sup>/s)

#### a. Aliran Laminar

Aliran fluida yang ditandai dengan banyak lapisan yang bergerak dengan satu lapisan yang meluncur mulus. Aliran laminar terjadi ketika bilangan Reynolds di bawah 2300 ( $Re < 2300$ ).

b. Aliran Turbulen

Aliran turbulen dicirikan oleh pergerakan partikel-partikel dalam suatu fluida yang kacau balau yang disebabkan oleh pencampuran dan perputaran melintasi lapisan-lapisan, yang menyebabkan perpindahan momentum dalam skala besar di dalam fluida. Bilangan Reynolds melebihi 4000 ( $Re > 4000$ ).

c. Aliran Transisi

Menjelaskan peralihan aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan transisi dipengaruhi oleh kecepatan fluida, viskositas fluida, dan faktor geometri aliran, yang terjadi dalam rentang bilangan Reynolds 2300 hingga 4000 ( $2300 < Re < 4000$ ).

## 2.4 Head

Head pompa adalah energi yang diperlukan per satuan berat untuk memindahkan sejumlah cairan tertentu berdasarkan parameter pemasangan pompa, atau tekanan yang diperlukan untuk memindahkan sejumlah cairan tertentu, sering kali diukur dalam satuan panjang. Persamaan Bernoulli menegaskan adanya tiga macam energi fluida di dalam suatu sistem aliran. Ketinggian terdiri dari jarak vertikal ( $Z$ ), tinggi energi kinetik ( $v^2/(2 \cdot g)$ ), dan tinggi energi potensial ( $\rho/\rho g$ ). Ketinggian menyatakan energi potensial yang diperlukan untuk menaikkan air ke ketinggian tertentu dalam kolom air (m), sedangkan tinggi kecepatan menyatakan energi kinetik yang diperlukan untuk mengangkat air ke ketinggian tertentu dalam kolom air (m), dan tinggi tekanan adalah energi yang berhubungan dengan aliran air dalam kolom air (m) dengan berat yang setara dengan tekanan dalam kolom air (m).

Bentuk head (ketinggian tekanan) dapat berubah pada berbagai diameter penampang akibat kekekalan energi. Namun pada kenyataannya, selalu ada kehilangan energi.

### 2.4.1 Head Total Pompa

Head pompa yang diperlukan untuk menyediakan aliran air yang diharapkan dapat dihitung berdasarkan kondisi instalasi yang akan diservisnya. Total head pompa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H = \frac{\rho}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.10)$$

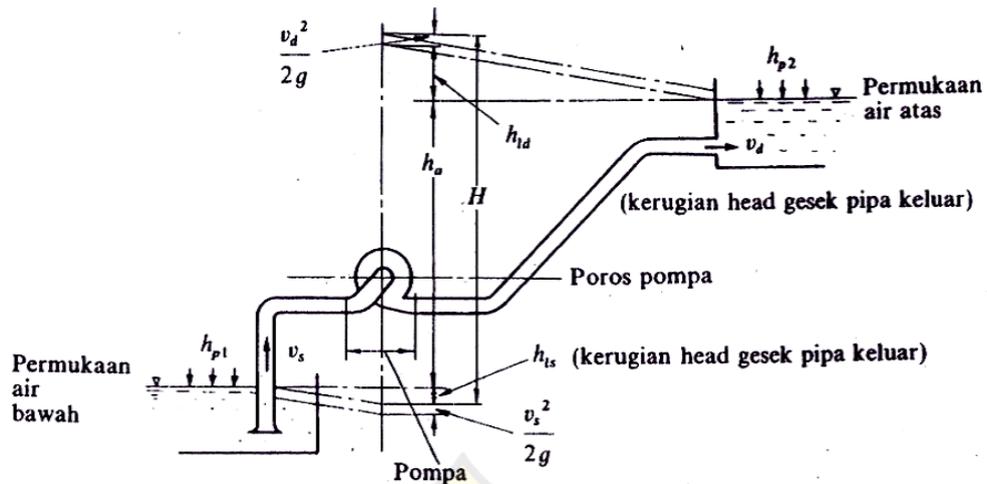
Dimana,

H = Head total pompa (m)

Z = Head statis total (m)

$\frac{\rho}{\gamma}$  = Head tekanan (m)

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$  = Head kecepatan (m)



Gambar 2. 1 Instalasi Pompa dan Head Total

Untuk menghitung head total pompa yang menerima energi dari aliran yang memasuki sisi hisap, seperti pada pompa booster, gunakan persamaan berikut:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_1 + \frac{1}{2g} (vd^2 + vs^2) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana : H = Kepala pompa dalam meter

$h_a$  = Perbedaan ketinggian antara titik sembarang A pada pipa keluar dan titik sembarang B pada pipa hisap (m)

$\Delta h_p$  = Disparitas statis (m) antara titik A dan B

$h_1$  = Kerugian head yang berbeda pada sambungan, tikungan, pipa, dan katup (m)

$vd$  = Di titik A, laju aliran rata-rata (m/s)

$vs$  = Di titik B, laju aliran rata-rata (m/s)

Untuk menghitung head statis total dalam situasi dimana ketinggian air berfluktuasi secara signifikan, kita harus menganalisis karakteristik pompa,

besarnya variasi ketinggian air, dan kriteria untuk menentukan volume pemompaan yang diperlukan. Tekanan dan tekanan head mempunyai hubungan sebagai berikut:

$$H_p = \frac{\Delta p}{\gamma_{air}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :  $H_p$  = Head Tekanan ( m )

$\Delta p$  = Tekanan ( Pa )

$\gamma$  = Berat per satuan volume zat cair yang dipompa ( N/m<sup>3</sup>)

$$Head\ total = H_p + H_V + H_a + H_l \dots\dots\dots (2.13)$$

Head total yang akan dihasilkan pompa disebut head total.

Perbedaan antara tekanan hisap dan tekanan pelepasan dikenal sebagai head tekanan.

Perbedaan antara kecepatan hisap dan pelepasan dikenal sebagai kecepatan head.

Perbedaan ketinggian permukaan air antara tempat pembuangan dan sisi tempat pengisapan dikenal sebagai tinggi statis.

Head yang hilang akibat gaya gesekan fluida dan pipa disebut head loss.

#### 2.4.2 Head Kerugian ( *Head Loss* )

Head loss mengacu pada total head yang dibutuhkan untuk mengkompensasi kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran pada pipa, serta kerugian pada tikungan, cabang, dan katup.

##### a. Kerugian Mayor

Kerugian besar pada pipa, juga dikenal sebagai kerugian gesekan, disebabkan oleh gesekan aliran di dalam pipa. Untuk menentukan kerugian gesekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Fox dan Mc Donald, 1995)[3] :

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :  $h_f$  = Kerugian gesekan dalam pipa (m)

$f$  = Koefesien kerugian gesekan

$L$  = Panjang pipa (m)

$D$  = Diameter pipa

$V$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s)

**b. Kerugian Minor**

Untuk menghitung head loss kecil, tentukan jenis aliran (laminar/turbulen) dan bilangan Reynolds untuk mendapatkan faktor gesekan (f).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} = \frac{v \cdot l}{\nu} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

$v$  = kecepatan fluida ( m/s )

$l$  = panjang pipa ( m )

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

$\mu$  = viskositas dinamis ( m<sup>2</sup> /s )

$\nu$  = viskositas kinematik ( m<sup>2</sup> /s )

Aliran dikatakan laminar jika Re lebih kecil dari 2000, maka faktor gesekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

$f$  = Friction faktor

$Re$  = Bilangan Reynolds

Nilai faktor gesekan dapat diketahui pada diagram suram jika  $Re$  lebih besar dari 4000.

$$h = K \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.17)$$

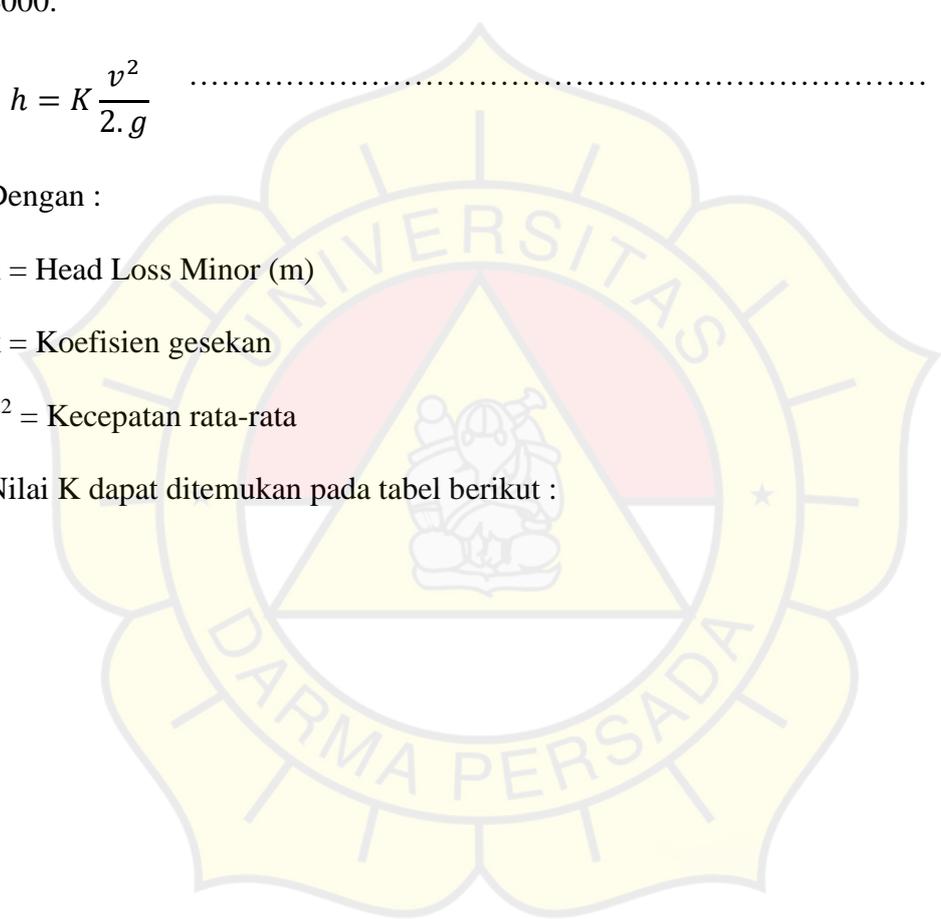
Dengan :

$h$  = Head Loss Minor (m)

$k$  = Koefisien gesekan

$v^2$  = Kecepatan rata-rata

Nilai  $K$  dapat ditemukan pada tabel berikut :



Component	$K_L$
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0
d. Union, threaded	0.08
e. Valves	
Globe, fully open	10
Angle, fully open	2
Gate, fully open	0.15
Ball valve, fully open	0.05

Gambar 2. 2 Diagram Moody

### c. Kerugian Head Dalam Jalur Pipa

Kehilangan head dalam pipa terjadi ketika gangguan aliran mengakibatkan berkurangnya energi aliran. Secara umum dapat diungkapkan sebagai berikut:

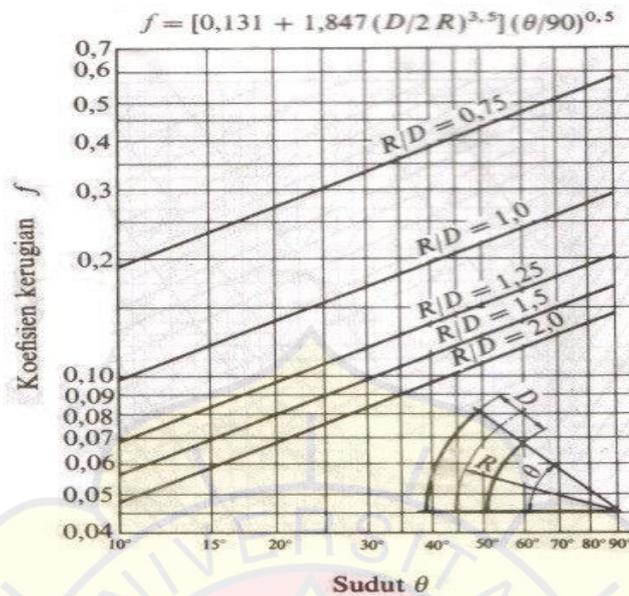
$$h_f = f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :  $h_f$  = Kerugian gesekan dalam pipa (m)

$f$  = Koefesien kerugian gesekan

$V$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s)



Gambar 2. 3 Koefisien Kerugian Pada Belokan

Kerugian head sering terjadi pada bagian berikut :

1. Perkatupan sepanjang jalur pipa

menambahkan katup, juga dikenal sebagai katup, sangat penting untuk mengatur kapasitas cairan. Namun, penambahan katup dapat menyebabkan hilangnya energi aliran karena aliran tersendat. Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan head loss akibat pemasangan katup:

$$h_v = f_v \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :  $h_v$  = Kerugian head pada katup

$f_v$  = Koefisien kerugian pada katup

$V$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s)

2. Pada belokan (*elbow*)

Koefisien kerugian pada tikungan lengkung dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$f = [0,131 + 1,847\left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5}]\left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :  $f$  = Koefisien Kerugian

$D$  = Diameter dalam ipa

$R$  = Jari-jari lengkungan sumbu belokan

$\theta$  = Sudut belokan ( $^{\circ}$ )

Selain itu, dapat dinyatakan sebagai berikut jika tikungan tersebut patah:

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :  $f$  = Koefisien Kerugian

$\theta$  = Sudut belokan ( $^{\circ}$ )

**2.5 Teori Pompa**

Pompa adalah perangkat mekanis yang ditenagai oleh sumber eksternal yang memindahkan cairan dari lokasi bertekanan rendah ke area bertekanan tinggi, bertindak sebagai penguat aliran fluida dalam sistem pipa. Selain untuk memindahkan fluida, pompa juga berfungsi untuk menaikkan ketinggian, gaya, dan kecepatan fluida. Dengan menciptakan perbedaan tekanan antara bagian hisap dan pelepasan, pompa bekerja. Perbedaan tekanan disebabkan oleh suatu perangkat, seperti putaran roda impeler, yang menghasilkan hampir vakum di sisi isap. Perbedaan tekanan ini memudahkan pergerakan fluida dari satu reservoir ke reservoir lainnya.

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan atau menurunkan tinggi muka fluida. Pompa memerlukan bantuan untuk memindahkan atau mengalirkan cairan. Harus ada pesawat terbang atau pesawat pembangkit tenaga listrik (B.Nekrasov, 1969). [11]

### **2.5.1 Jenis-jenis Pompa**

Pompa dibedakan dari prinsip kerjanya, klasifikasinya menjadi :

#### **1) Pompa Perpindahan Positif**

Pompa ini menghasilkan tekanan tinggi dengan laju aliran minimal. Pompa ini mengubah energi mekanik langsung menjadi energi potensial. Pompa perpindahan positif yang termasuk dalam kategori ini adalah:

##### **a. Pompa Torak**

Pompa ini beroperasi dengan metode gerakan hisap terbuka dan katup tekanan tertutup. Ketika piston mulai terkompresi, katup hisap menutup dan katup tekanan terbuka. Cairan yang ditarik masuk kemudian dilepaskan ke katup tekanan. Pompa ini umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan head yang tinggi dengan tetap mempertahankan kapasitas yang rendah. Salah satu aplikasi spesifiknya adalah menyediakan tenaga hidrolik.

##### **b. Pompa Piston**

Pompa perpindahan positif biasanya digunakan dalam sistem yang memerlukan tekanan tinggi dan laju aliran sederhana. Pompa ini menghasilkan tekanan tinggi dengan laju aliran sederhana. Pompa ini sering digunakan pada

mesin yang menangani cairan abrasif dan sangat kental karena sifatnya. Pompa perpindahan positif umumnya diklasifikasikan menjadi dua kategori: gerak bolak-balik dan gerak rotasi.

c. Pompa Roda Gigi

Sistem ini beroperasi dengan memutar dua roda gigi yang saling bertautan yang terletak di antara rumah pompa. Roda gigi menarik dan memberi tekanan pada fluida, mengisi celah di antara keduanya, dan kemudian mengeluarkannya ke sisi pembuangan. Jenis pompa ini umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan head yang besar dengan tetap menjaga laju aliran yang moderat.

2) Pompa Dinamik

Pompa dinamis adalah pompa yang mempertahankan ruang kerja konstan selama pengoperasian. Pompa terdiri dari sebuah rotor dengan impeler tunggal yang berputar cepat sebagai komponen utamanya. Cairan memasuki pompa dari sisi hisap dan dipercepat oleh impeler, meningkatkan kecepatan dan tekanan absolutnya sebelum dibuang melalui volute, semacam pompa dinamis (Fritz Dietzel, 1980)

[1] :

a. Pompa Aksial

Putaran impeller menyebabkan pengisapan fluida yang dipompa dan tekanannya pada arah aksial menuju sisi tekanan. Pompa ini biasanya dirancang untuk aplikasi dengan kebutuhan head rendah dan kapasitas aliran tinggi, sering kali digunakan untuk alasan irigasi.

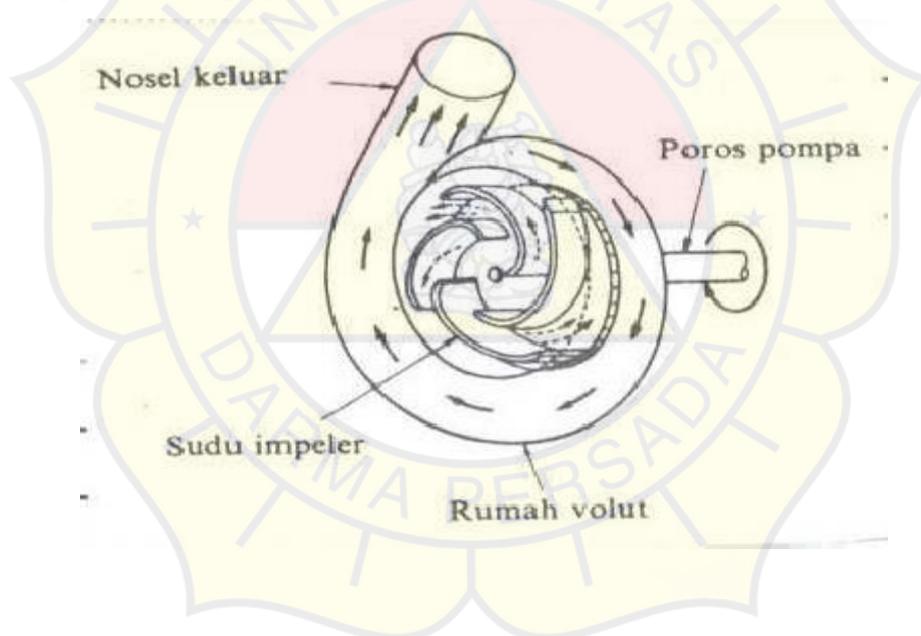
## b. Pompa Sentrifugal

Pompa tersebut berisi satu atau banyak impeler yang dilengkapi dengan bilah-bilah pada poros berputar yang ditutup dengan selubung. Pompa menarik cairan melalui sisi hisap sebagai akibat dari putaran impeler yang menciptakan tekanan vakum. Cairan tersebut kemudian dikeluarkan dari impeler pada sisi hisap karena gaya sentrifugal.

### 2.5.2 Pompa Setrifugal

Menurut (Sularso, 1994)[6] Pompa sentrifugal beroperasi dengan mempercepat cairan dan mengubahnya menjadi energi kinetik. Fluida dialirkan ke dalam impeller, dan sumber tenaga luar digunakan untuk memutar impeller yang direndam dalam fluida. Saat impeller berputar maka fluida yang dikandungnya juga akan ikut berputar akibat gaya sudu-sudu impeller. Fluida bergerak cepat dari pusat impeler ke saluran keluar akibat gaya sentrifugal yang dihasilkan, melewati saluran antar sudu. Cairan yang dikeluarkan oleh impeler dikumpulkan dalam rumah pompa berbentuk spiral yang disebut volute, yang mengumpulkan cairan dari impeler dan mengarahkannya menuju nosel pelepasan. Nosel pelepasan dirancang berbentuk kerucut untuk secara progresif mengurangi kecepatan aliran tinggi dari impeler, yang dikenal sebagai diffuser. Ketika kecepatan turun di diffuser, energi kinetik aliran fluida diubah menjadi energi potensial. Peran impeler pompa adalah memberikan kerja pada cairan, sehingga meningkatkan energinya. Pompa sentrifugal beroperasi dengan mempercepat cairan dan mengubahnya menjadi energi kinetik. Fluida mengalir ke dalam impeller, dan tenaga eksternal digunakan untuk memutar impeller yang terendam dalam fluida. Saat impeler berputar maka

fluida yang dikandungnya juga akan ikut berputar karena gaya sudu-sudu impeler. Fluida bergerak cepat dari pusat impeler ke saluran keluar akibat gaya sentrifugal yang dihasilkan, melewati saluran antar sudu. Cairan yang dikeluarkan oleh impeler dikumpulkan dalam rumah pompa berbentuk spiral yang disebut volute, yang mengumpulkan cairan dari impeler dan mengarahkannya menuju nosel pelepasan. Nosel pelepasan dirancang berbentuk kerucut untuk secara progresif mengurangi kecepatan aliran tinggi dari impeler, yang dikenal sebagai diffuser. Ketika kecepatan turun di diffuser, energi kinetik aliran fluida diubah menjadi energi potensial. Peran impeler pompa adalah memberikan kerja pada cairan, sehingga meningkatkan energinya.



Gambar 2. 4 Bagian Aliran Fluida Bagian Dalam Sentrifugal

### 2.5.3 Perhitungan Pompa

Gaya sentrifugal Suatu benda yang bergerak melingkar memerlukan gaya untuk mempertahankan putarannya. (Halliday.,Resnick, 1985)[12]. Pompa sentrifugal beroperasi dengan cara memutar pompa secara konstan sehingga

menghasilkan gaya sentrifugal. Besarnya gaya dapat dihitung dengan menerapkan Hukum Kedua Newton pada komponen radial.

$$\Sigma F = m \cdot a \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\Sigma F = m \cdot ar \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\Sigma FR = m \frac{v^2}{r} \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan :

$m$  = Massa Benda (kg)

$ar$  = Percepatan Sentripetal ( $m/s^2$ )

$r$  = Jari Jari (m)

Untuk menganalisis data dalam perhitungan pompa dengan menggunakan persamaan berikut.

1) Daya

Daya adalah kecepatan di mana usaha dilakukan. Satuan daya adalah tenaga kuda (HP) atau watt.

a) Daya hidrolik

Persamaan daya Hidrolik :

$$P_{pompa} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (watt)} \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana,  $\rho$  = Kerapatan fluida ( $kg/m^3$ )

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$H$  = Head pompa (m)

$Q$  = Laju aliran ( $m^3/s$ )

b) Daya listrik

Persamaan daya listrik :

$$P_{listrik} = V.I \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana, V = Tegangan listrik (V)

I = Kuat arus (A)

2) Efisiensi pompa

$$\eta = \frac{P_{pompa}}{P_{listrik}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana, P<sub>pompa</sub> = Daya hidraulik (watt)

P<sub>listrik</sub> = Daya Listrik (watt)

3) Hukum Kesebangunan Pompa

Ketika ingin mengetahui karakteristik unjuk kerja pompa, hukum ini bisa digunakan bila dioperasikan dengan berbagai kondisi, apabila salah satu diameter pompa atau kecepatan dirubah.

$$\frac{Q_1}{n_2 D_1^3} = \frac{Q_2}{n_2 D_2^3} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\frac{h_1}{n_1^2 D_1^2} = \frac{h_2}{n_2^2 D_2^2} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\frac{P_1}{n_1^3 D_1^5} = \frac{P_2}{n_2^3 D_2^5} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana, Q = Laju aliran (m<sup>3</sup>/s)

$h$  = Head total pompa (m)

$P$  = Daya poros pompa (watt)

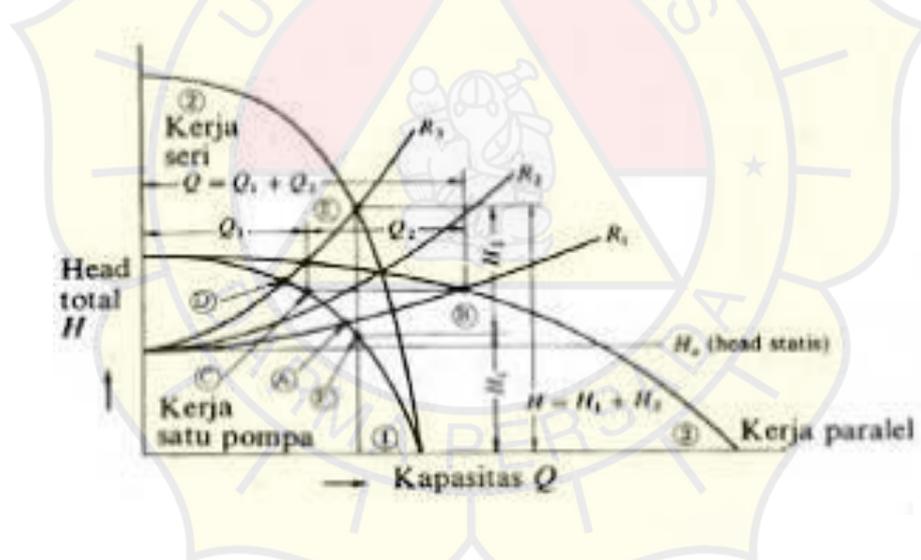
$n$  = Putaran pompa (rpm)

$D$  = Diameter impeler

Indeks 1 dan 2 menyatakan pompa 1 dan pompa 2.

#### 2.5.4 Pengoprasian Pompa Seri Paralel

Jika satu pompa tidak cukup untuk mencapai kapasitas atau head yang dibutuhkan, beberapa pompa dapat digunakan secara seri atau paralel untuk mencapai kapasitas atau head yang diinginkan. Di bawah ini adalah kurva kapasitas head pompa dengan fitur serupa.



Gambar 2. 5 Operasi Seri dan Paralel Pompa Karakteristik Sama

Grafik di atas menampilkan pompa yang disusun dalam konfigurasi seri dan paralel. Pompa tunggal diberi label (1), pompa seri diberi label (2), dan pompa paralel diberi label (3). Tiga kurva yang menggambarkan kapasitas head sistem ditampilkan: R1, R2, dan R3. Kurva R3 menunjukkan resistensi yang lebih tinggi

dibandingkan dengan R1 dan R2. Ketika sistem mengikuti kurva kapasitas head R3, pompa 1 akan beroperasi di titik D. Ketika pompa disusun berurutan untuk menghasilkan kurva 2, titik operasi akan berpindah ke E, menyimpang dari dua kali head di D, karena perubahan kapasitas. Jika sistem menampilkan kurva kapasitas head R1, maka titik operasi pompa 1 akan berada di lokasi A. Bila pompa dipasang paralel untuk menghasilkan kurva 3, maka titik operasi akan berpindah ke titik B. Laju aliran di titik B tidak dua kali laju aliran di titik A karena perbedaan kenaikan head sistem. Jika sistem menampilkan kurva karakteristik seperti R2, laju aliran akan tetap konsisten terlepas dari apakah sistem dipasang secara seri atau paralel. Jika sistem memiliki fitur R1 dan R3, maka diperlukan pompa seri atau paralel. Rangkaian seri digunakan untuk meningkatkan tekanan, sedangkan rangkaian paralel digunakan untuk meningkatkan laju aliran (Sularso, 1994).[6]

## **2.6 Pengukuran Aliran**

Untuk mengukur laju aliran, massa laju aliran, maupun volume aliran perlu melakukan pengukuran. Pengukuran aliran pun harus menggunakan alat ukur. Pemilihan alat pengukur aliran didasarkan pada faktor-faktor seperti keterbacaan, presisi, rentang pengukuran, dan daya tahan. Peralatan pengukuran aliran meliputi pengukur aliran area yang dapat diubah pelampung, pengukur venturi, dan nozel aliran.

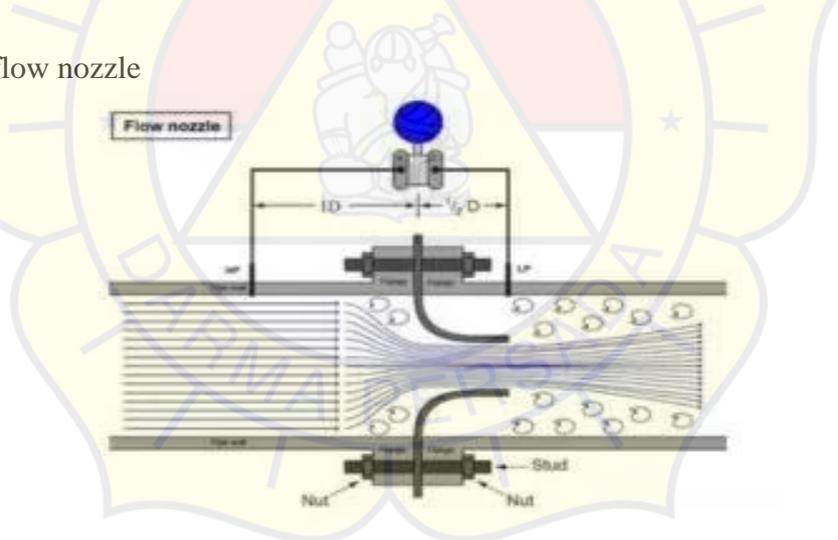
## 1. float variable area flow meter

Pengukur aliran area variabel beroperasi berdasarkan prinsip area variabel, di mana aliran fluida menyebabkan pelampung dalam tabung runcing naik, sehingga meningkatkan area aliran fluida. Peningkatan aliran menghasilkan ketinggian pelampung yang lebih tinggi. Ketinggian pelampung meningkat berbanding lurus dengan laju aliran. Pelampung diangkat oleh kombinasi daya apung fluida dan tinggi kecepatan fluida. Saat throttle diaktifkan, daya apung tidak berpengaruh, dan pelampung hanya bereaksi terhadap kecepatan kepala. Pergerakan vertikal pelampung di dalam tabung berhubungan langsung dengan laju aliran fluida dan ruang melingkar antara pelampung dan dinding tabung. Pelampung mencapai keseimbangan di dalam tabung ketika gaya ke atas dari aliran fluida menyeimbangkan tarikan gravitasi ke bawah dari berat pelampung. Perubahan laju aliran mengganggu keseimbangan gaya. Pelampung menyesuaikan posisinya dengan bergerak ke atas atau ke bawah untuk mengubah luas lingkaran hingga menemukan titik keseimbangan di mana gaya-gaya seimbang. Pengukur aliran area variabel menyesuaikan posisinya untuk memenuhi persyaratan persamaan gaya untuk setiap laju aliran konstan. Lokasi pelampung bergantung pada gravitasi, sehingga pengukur luas variabel harus dipasang secara vertikal untuk mendapatkan pembacaan yang akurat. Variable Area Flow Meter tersedia sebagai indikator, pemancar, perekam, pengontrol lokal, penghitung, dan banyak kombinasinya, dengan atau tanpa alarm. Mereka sering digunakan sebagai meter pembersih untuk elemen penginderaan instrumentasi lain dan peralatan proses.

## 2. Venturi meter

Venturimeter beroperasi berdasarkan prinsip Bernoulli, yang menyatakan bahwa tekanan turun seiring bertambahnya kecepatan. Penampang penampang tenggorokan lebih kecil dibandingkan dengan penampang pipa masukan. Ketika luas penampang pipa menyempit di dekat tenggorokan, kecepatan fluida meningkat, menyebabkan penurunan tekanan. Perbedaan tekanan dihasilkan antara pipa masukan dan bagian tenggorokan venturi meter karena penurunan tekanan. Perbedaan tekanan dapat dipantau dengan menggunakan manometer diferensial antara bagian aliran masuk dan tenggorokan, atau dengan menggunakan dua alat pengukur pada bagian ini. Gradien tekanan dalam pipa ditentukan setelah perolehan laju aliran.

## 3. flow nozzle



Gambar 2. 6 Flow Nozzle

Pengukuran nosel mengandalkan konsep pelambatan dalam dinamika fluida. Saat cairan mengalir melalui pipa dan keluar melalui nosel, terjadi kontraksi lokal, meningkatkan laju aliran dan menurunkan tekanan statis. Terjadi penurunan tekanan atau perbedaan tekanan pada nozzle baik sebelum maupun sesudahnya. Laju aliran media yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan perbedaan tekanan di seluruh nosel. Pengukur tekanan diferensial mengukur perbedaan tekanan untuk memperkirakan laju aliran fluida berdasarkan hubungan antara akar kuadrat perbedaan tekanan dan laju aliran.

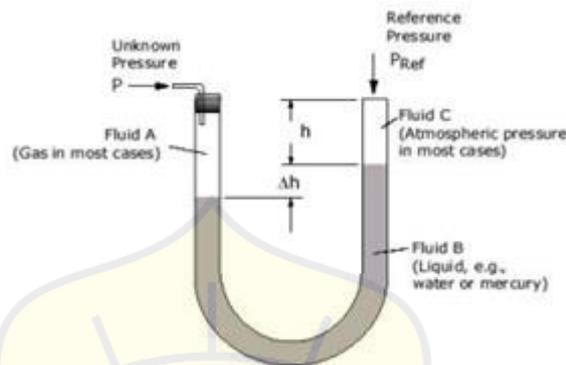
## **2.7 Pengukuran Tekanan**

Gaya yang diberikan oleh fluida pada tempat atau wadah disebut sebagai tekanan. Tekanan yaitu gaya yang diberikan persatuan luas. Tekanan absolut adalah besarnya tekanan yang diberikan pada wadah. Tekanan relatif, sering dikenal sebagai tekanan pengukur, adalah tekanan yang diukur di atas tekanan atmosfer. Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan adalah:

### **1) Manometer tabung U**

Tabung U adalah alat pengukur tekanan dasar yang memanfaatkan kolom cairan. Alat pengukur tekanan ini memanfaatkan air atau merkuri dalam tabung berbentuk U dan sering digunakan untuk mengukur tekanan gas. Tabung U dihubungkan di salah satu ujungnya ke medan tekanan yang tidak diketahui dan di ujung lainnya ke sumber tekanan referensi, biasanya tekanan atmosfer, seperti yang ditunjukkan pada diagram. Tabung-U adalah manometer umum yang digunakan untuk mengukur tekanan pengukur, tekanan vakum, dan variasi tekanan dengan

presisi di lingkungan industri dan laboratorium. Alat ukur ini ditawarkan dalam konfigurasi terpasang di dinding dan berdiri dengan rentang pengukuran 0 - 3000 mm WC/HG.



Gambar 2. 7 Manometer Tabung U

## 2) Bourdon tube

Tabung Bourdon merupakan alat ukur tekanan yang tidak menggunakan cairan. Alat pengukur ini sering digunakan di sektor proses untuk mengukur tekanan statis di banyak aplikasi. Bentuk tabung Bourdon mencakup bagian tipe C, heliks, dan spiral, dan secara mekanis dihubungkan ke jarum indikator. Konsep operasionalnya melibatkan pengarahan tekanan ke dalam tabung, yang mengakibatkan perubahan bentuk penampang akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar tabung Bourdon. Perubahan bentuk penampang akan mengakibatkan perubahan panjang tabung, yang kemudian diterjemahkan menjadi pergerakan penunjuk pada skala. Ada sedikit studi teoritis tentang bagaimana bentuk tabung Bourdon bervariasi berdasarkan variasi tekanan di dalam dan di luar tabung. Data

eksperimen digunakan untuk memperoleh perubahan konfigurasi tabung Bourdon.

Ada tiga jenis tabung Bourdon: tipe C, Spiral, dan Heliks.

