

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Manometer

*Manometer* adalah alat untuk mengukur tekanan fluida. *Manometer tabung bourdon* adalah instrument yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (gas atau cairan) dalam bejana tertutup. Alat ukur tabung bourdon penggunaannya lebih luas untuk mengukur tekanan yang tinggi yang ditemui dalam system refrigerasi. Tabung bourdon itu sendiri adalah sebuah kurva, bentuk elip, tabung metalik yang akan menjaga agar tekanan fluida dalam tabung meningkat dan lingkaran akan rapat jika tekanan menurun. Beberapa perubahan dalam kurva tabung dihubungkan pada system untuk menunjukkan angka. Petunjuk dan besarnya angka bergerak bergantung pada petunjuk dan besarnya perubahan dalam kurva tabung.

Tabung ukur bourdon sangat kasar dan digunakan untuk mengukur tekanan di bawah dan di atas tekanan atmosfer. Tabung ukur bourdon yang didesain untuk mengukur tekanan di atas atmosfer disebut *Pressure Gage* dan pada umumnya mempunyai satuan *psi*. Tabung ukur bourdon yang didesain untuk membaca tekanan di bawah tekanan atmosfer disebut *Vacuum Gage* dan biasanya dalam satuan *inchi merkuri*. Dalam beberapa kasus, *single gage* atau disebut *compound gage* dibuat untuk mengukur tekanan di atas dan di bawah tekanan atmosfer. Alat tersebut mempunyai satuan *psi* untuk tekanan di atas atmosfer dan *inchi merkuri* untuk tekanan di bawah atmosfer.

## 2.2. Hukum Pascal

Hukum Pascal menyatakan bahwa tekanan yang dikenakan pada satu bagian fluida dalam wadah tertutup akan diteruskan ke segala arah sama besar. Fluida yang ditempatkan dalam silinder dengan luas penampang  $A$  dan panjang langkahnya  $l$  dan dikompresikan dengan gaya  $F$  melalui sebuah piston sehingga tekanan fluida dalam silinder adalah (*Mechanical Engineering University of Albertra, 2002*):

$$\dots\dots\dots (1)$$

## 2.3. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes menyatakan bahwa, sebuah benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkannya. Sebuah benda yang tenggelam seluruhnya atau sebagian dalam suatu fluida akan mendapatkan gaya angkat ke atas yang sama besar dengan berat fluida yang dipindahkan. Besarnya gaya ke atas menurut Hukum Archimedes ditulis dalam persamaan ([adinurahman.blogspot.com](http://adinurahman.blogspot.com), 2012) :

$$F_a = \rho v g. \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$F_a$  = gaya ke atas (N)

$V$  = volume benda yang tercelup (m<sup>3</sup>)

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

$g$  = percepatan gravitasi (N/kg)

Hukum ini juga bukan suatu hukum fundamental karena dapat diturunkan dari hukum Newton juga.

- Bila gaya Archimedes sama dengan gaya berat  $W$  maka resultan gaya = 0 dan benda melayang .
- Bila  $F_A > W$  maka benda akan terdorong ke atas akan terapung.
- Bila  $F_A < W$  maka benda akan terdorong ke bawah dan tenggelam.

Berdasarkan Hukum Archimedes, sebuah benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami dua gaya, yaitu gaya gravitasi atau gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F_A$ ) dari zat cair itu. Dalam hal ini ada tiga peristiwa yang berkaitan dengan besarnya kedua gaya tersebut yaitu seperti berikut.

### 2.3.1. Tenggelam

Sebuah benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan tenggelam jika berat benda ( $w$ ) lebih besar dari gaya ke atas ( $F_A$ ).

$$w > F_A$$

Volume bagian benda yang tenggelam bergantung dari rapat massa zat cair ( $\rho$ ).

### 2.3.2. Melayang

Sebuah benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan melayang jika berat benda ( $w$ ) sama dengan gaya ke atas ( $F_A$ ) atau benda tersebut tersebut dalam keadaan setimbang.

$$w = F_A$$

### 2.3.3. Terapung

Sebuah benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan terapung jika berat benda ( $w$ ) lebih kecil dari gaya ke atas ( $F_a$ ).

$$w < F_a$$

Misal : Sepotong gabus ditahan pada dasar bejana berisi zat cair, setelah dilepas, gabustersebut akan naik ke permukaan zat cair (terapung) karena :

$$F_A > W$$

Selisih antara  $W$  dan  $F_A$  disebut gaya naik ( $F_n$ ).

$$F_n = F_A - W$$

Benda terapung tentunya dalam keadaan setimbang, sehingga berlaku:

$$F_A' = W$$

$F_A'$  = Gaya ke atas yang dialami oleh bagian benda yang tercelup di dalam zat cair.

Berat (massa) benda terapung = berat (massa) zat cair yang dipindahkan. Daya apung (bouyancy) ada 3 macam, yaitu :

- a. Daya apung positif (positive bouyancy) : bila suatu benda mengapung.
- b. Daya apung negatif (negative bouyancy) : bila suatu benda tenggelam.
- c. Daya apung netral (neutral bouyancy) : bila benda dapat melayang.

Bouyancy adalah suatu faktor yang sangat penting di dalam penyelaman. Selama bergerak dalam air dengan scuba, penyelam harus mempertahankan posisi neutral bouyancy.

## 2.4. Sifat Fisik Zat Cair

Semua fluida nyata (gas dan zat cair) memiliki sifat-sifat khusus yang dapat diketahui, antara lain: rapat massa (*density*), kekentalan (*viscosity*), kemampatan (*compressibility*), tegangan permukaan (*surface tension*), dan kapilaritas (*capillarity*). Beberapa sifat fluida pada kenyataannya merupakan kombinasi dari sifat-sifat fluida lainnya. Sebagai contoh kekentalan kinematik melibatkan kekentalan dinamik dan rapat massa. Sejauh yang kita ketahui, fluida adalah gugusan yang tersusun atas molekul-molekul dengan jarak pisah yang besar untuk gas dan kecil untuk zat cair. Molekul-molekul itu tidak terikat pada suatu kisi, melainkan saling bergerak bebas terhadap satu sama lain.

### 2.4.1. Rapat Massa (*Density*)

Rapat massa ( $\rho$ ) adalah ukuran konsentrasi massa zat cair dan dinyatakan dalam bentuk massa ( $m$ ) persatuan volume ( $V$ ).

Dimana (Darmadi, 2011):

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

$m$  = massa

$V$  = volume

Rapat massa air ( $\rho_{\text{air}}$ ) pada suhu 4 °C dan pada tekanan atmosfer ( $p_{\text{atm}}$ ) adalah 1000 kg/m<sup>3</sup>. Berat jenis ( $\gamma$ ) adalah berat benda persatuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu, dan berat

suatu benda adalah hasil kali antara rapat massa ( $\rho$ ) dan percepatan gravitasi ( $g$ ).

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Rapat relatif ( $s$ ) adalah perbandingan antara rapat massa suatu zat ( $\rho$ ) dan rapat massa air ( $\rho_{\text{air}}$ ), atau perbandingan antara berat jenis suatu zat ( $\gamma$ ) dan berat jenis air ( $\gamma_{\text{air}}$ ), (Darmadi, 2011) :

$$s = \frac{\rho_{\text{zatcair}}}{\rho_{\text{air}}} \text{ atau } s = \frac{\gamma_{\text{zatcair}}}{\gamma_{\text{air}}} \dots\dots\dots(4)$$

#### 2.4.2. Kekentalan (*viscosity*)

Kekentalan adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser ( $\tau$ ) pada waktu bergerak atau mengalir. Kekentalan disebabkan adanya kohesi antara partikel zat cair sehingga menyebabkan adanya tegangan geser antara molekul-molekul yang bergerak. Zat cair ideal tidak memiliki kekentalan. Kekentalan zat cair dapat dibedakan menjadi dua yaitu kekentalan dinamik ( $\mu$ ) atau kekentalan *absolute* dan kekentalan kinematis ( $\nu$ ). Dalam beberapa masalah mengenai gerak zat cair, kekentalan dinamik dihubungkan dengan kekentalan kinematik sebagai berikut, (Darmadi, 2011):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(5)$$

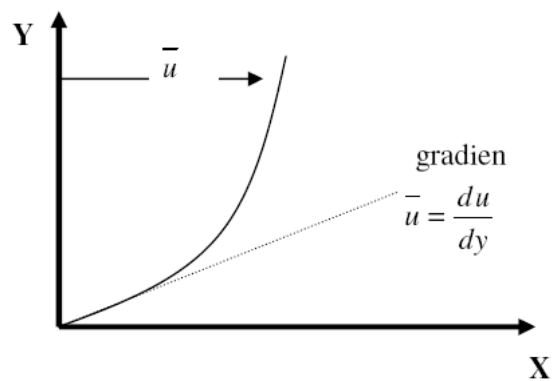
dengan  $\rho$  adalah rapat massa zat cair ( $\text{kg/m}^3$ ).

Kekentalan kinematik besarnya dipengaruhi oleh temperatur ( $T$ ), pada temperatur yang tinggi kekentalan kinematik zat cair akan relatif kecil dan dapat diabaikan (Darmadi, 2011):

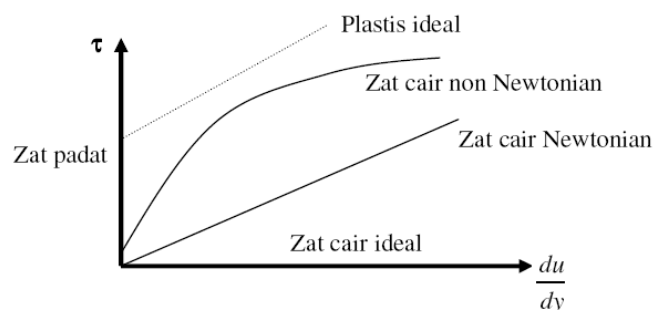
$$v = \frac{40.10^{-6}}{20 + T} \dots\dots\dots(6)$$

dengan  $T$  adalah suhu zat cair ( $^{\circ}\text{C}$ )

Zat cair Newtonian adalah zat cair yang memiliki tegangan geser ( $\tau$ ) sebanding dengan gradien kecepatan normal ( $\frac{du}{dy}$ ) terhadap arah aliran. Gradien kecepatan adalah perbandingan antara perubahan kecepatan dan perubahan jarak tempuh aliran (Gambar 1). Hubungan tegangan geser dan gradien kecepatan normal dari beberapa bahan dapat dilihat pada Gambar 2.



Grafik 2.1. Gradien Kecepatan (Darmadi, 2011)



Grafik 2.2. Hubungan Tegangan Geser dan Gradien Kecepatan  
(Darmadi, 2011)

Bila fluida Newtonian dan aliran yang terjadi adalah laminar maka berlaku hubungan (Darmadi, 2011):

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \text{ atau } \tau = \rho \nu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

- $\tau$  = tegangan geser (kg/m<sup>2</sup>)
- $\mu$  = kekentalan dinamis (kg/m.det)
- $\nu$  = kekentalan kinematis (m<sup>2</sup>/det)
- $\rho$  = densitas fluida (kg/m<sup>3</sup>)
- $(\frac{du}{dy})$  = gradien kecepatan

### 2.4.3. Kemampatan (*Compressibility*)

Kemampatan adalah perubahan volume karena adanya perubahan (penambahan) tekanan, yang ditunjukkan oleh perbandingan antara perubahan tekanan dan perubahan volume terhadap volume awal. Perbandingan tersebut dikenal dengan modulus elastisitas (k) (Darmadi,2011).

$$k = - \frac{dp}{\left(\frac{dV}{V}\right)} \dots\dots\dots(8)$$

Nilai k untuk zat air sangat besar yaitu 2,1 x 10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup>, sehingga perubahan volume karena perubahan tekanan akan sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga zat cair merupakan fluida yang tidak dapat termampatkan (*incompressible*).



#### 2.4.4. Tegangan permukaan (*surface tension*)

Molekul-molekul pada zat cair akan saling tarik menarik secara seimbang diantara sesamanya dengan gaya berbanding lurus dengan massa ( $m$ ) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak ( $r$ ) antara pusat massa (Darmadi, 2011).

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} \dots\dots\dots(9)$$

dengan:

$F$  = gaya tarik menarik (N)

$m_1, m_2$  = massa molekul 1 dan 2 (kg)

$r$  = jarak antar pusat massa molekul. (m)

Jika zat cair bersentuhan dengan udara atau zat lainnya, maka gaya tarik menarik antara molekul tidak seimbang lagi dan menyebabkan molekul-molekul pada permukaan zat cair melakukan kerja untuk tetap membentuk permukaan zat cair. Kerja yang dilakukan oleh molekul-molekul pada permukaan zat cair tersebut dinamakan tegangan permukaan ( $s$ ). Tegangan permukaan hanya bekerja pada bidang permukaan dan besarnya sama di semua titik. Tegangan permukaan zat cair pada beberapa temperatur ditunjukkan dalam tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1. Tegangan permukaan zat cair pada beberapa temperatur

Suhu (..°C)	Tegangan permukaan $\times 10^{-2}$ (N/m)
0	7,56
4	7,54
10	7,48
20	7,36
30	7,18
40	7,01
50	6,82
60	6,68
70	6,50
80	6,30
90	6,12
100	5,94

#### 2.4.5. Kapilaritas (*capillarity*)

Kapilaritas terjadi akibat adanya gaya kohesi dan adhesi antar molekul, jika kohesi lebih kecil dari pada adhesi maka zat air akan naik dan sebaliknya jika lebih besar maka zat cair akan turun. Kenaikan atau penurunan zat cair di dalam suatu tabung dapat dihitung dengan menyamakan gaya angkat yang dibentuk oleh tegangan permukaan dengan gaya berat (Darmadi, 2011).

#### 2.5. Standar Error

Perhitungan standart error adalah perhitungan perbandingan kesamaan hasil ukuran dari dua jenis benda. Dalam hal ini mengukur manometer dengan bandul timbangan, karena bandul timbangan sudah

diasumsikan memiliki berat yang standart atau baku, maka bandul timbangan dijadikan media kalibrasi manometer.

Rumus standart error

$$SE = \dots\dots\dots(11)$$

$$SXX = \dots\dots\dots(12)$$

$$SYY = \dots\dots\dots(13)$$

$$SXY = \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

SE = Standar Error

SXX = hasil kali data yang kurang baku

SYY = hasil kali data yang baku

SXY = hasil kali data antara yang baku dengan yang tidak baku

## 2.6. Standar Deviasi

Perhitungan standart deviasi adalah suatu alat ukur (manometer) dimana alat ukur tersebut akan dilakukan pengukuran selama beberapa kali dalam hal ini dilakukan sepuluh kali pengukuran, sehingga deviasi atau tingkat kesalah pengukuran manometer dapat diketahui. sehingga didapatkan hasil tingkat ketelitian serta tingkat kesalahan suatu alat dalam hal ini manometer,

Perhitungan akan dilakukan selama sepuluh kali pengukuran dengan variasi beban yang berbeda.

Rumus Standar Deviasi :

$$— \dots\dots\dots(15)$$

$$D = X - \bar{X} \dots\dots\dots(16)$$

$$\dots\dots\dots (17)$$

Keterangan :

SD = Standar defiasi

D = Selisih nilai rata-rata dengan nilai data yang sebenarnya  
 = Jumlah dariSelisih nilai rata-rata dengan nilai data yang sebenarnya yang telah dikuadratkan

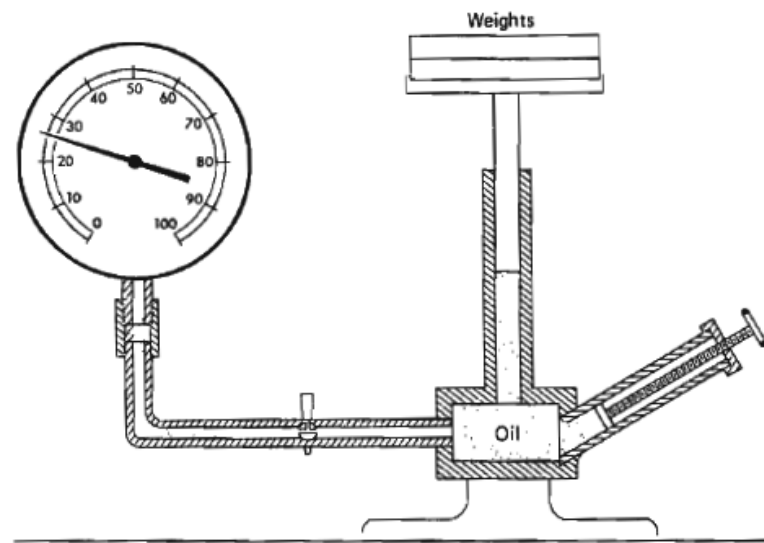
X = Nilai data yang ada

— = Rata-rata dari data yang ada

$\Sigma X$  = Jumlah dari data yang ada  
 N = Jumlah data

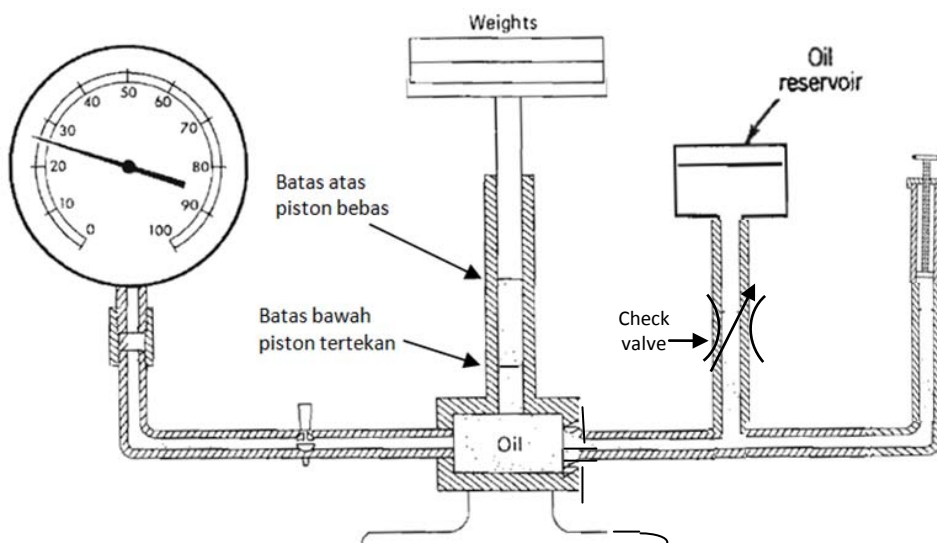
## 2.7. Design Gambar

Sebagai rujukan design alat, kami merujuk dari design berikut ini :

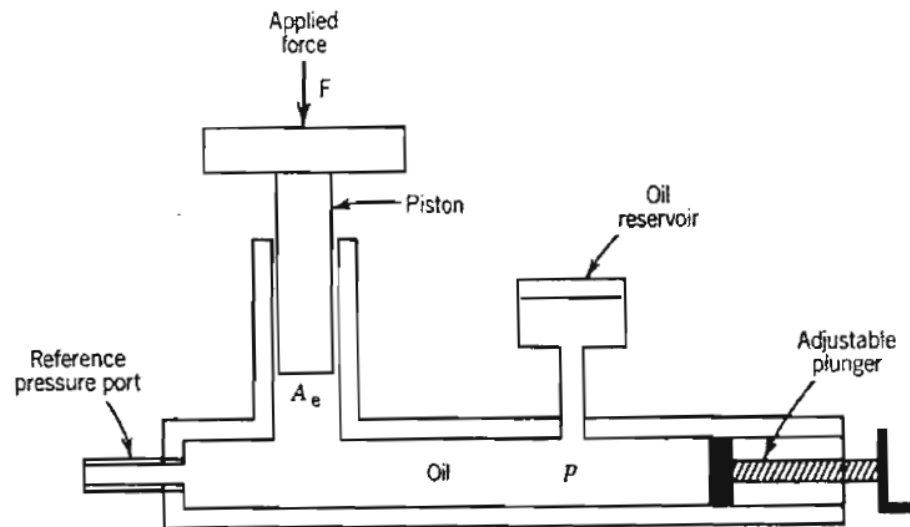


Gambar 2.1. Design Alat Pengukur Tekanan

(Mechanical Engineering University of Albertra, 2002)



Gambar 2.2. Modifikasi Design Alat Pengukur Tekanan



Gambar 2.3. Design Alat Pengukur Tekanan Secara Teori

(Mechanical Engineering University of Albertra, 2002)