

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Muchtar (2011) Meneliti tentang pengaruh diameter pipa keluar dan dimensi bak penampung aliran sistem vakum. Dengan menggunakan variasi diameter pipa keluar 1/2", 3/4", dan 1". Variasi dimensi bak penampung bervolume 30/40 cm, 50/80 cm, 80/120 cm, 100/120 cm, dan 120/120 cm yang menghasilkan bahwa diameter pipa keluar harus sama atau lebih kecil dari diameter masuk agar debit yang di alirkan akan terus – menerus.

Ikkal & Subali (2020) Meneliti tentang pengaruh tangki vakum terhadap perpindahan fluida air. Dengan menggunakan prinsip vakum dengan metode menggunakan tangki berkapasitas 200 liter dengan menggunakan variabel ketinggian inlet, sudut debit air dan tekanan vakum. Hasil di dapat bahwa vakum dapat menyedot air dengan ketinggian 1 meter, 2 meter, 3 meter dengan bentuk garis linier dengan sudut inlet 45° dan 30°. Debit air berbentuk linier terhadap ketinggian pada sudut 45° dan 30°.

#### **2.2 Perumusan Masalah**

Suprpto & Widodo, (2017) Vakum adalah kondisi ruangan yang sebagian dari udara dan gas lainnya telah dikeluarkan sehingga tekanan di dalam ruangan tersebut di bawah tekanan atmosfer. Dengan kata lain, vakum berarti ruangan yang mempunyai kandungan kerapatan gas (partikel, atom dan molekul) atau tekanan gas yang tersebut lebih rendah dibandingkan kondisi di atmosfer. Jadi kondisi vakum adalah kondisi tekanan gas di dalam ruangan di bawah tekanan atmosfer. Kondisi vakum dapat dinyatakan dengan tekanan didasarkan tekanan absolut maupun kevakuman. Tekanan absolut yaitu tekanan yang diukur dari kondisi nol absolut yang biasa dinyatakan dalam Torr, mbar (milibar) atau N/m<sup>2</sup> (newton.m<sup>2</sup> atau pascal). Pengukuran kevakuman (vakum) didasarkan dari tekanan 1 atmosfer absolut atau nol gauge (nol terukur) yang biasa juga dinyatakan dalam Torr, mbar atau N/m<sup>2</sup>. satuan tingkat kevakuman yang digunakan sebagai standar internasional (SI)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 7,501 \times 10^{-3} \text{ Torr} = 10^{-2} \text{ mbar.}$$

hukum dasar untuk gas ideal yang disebut hukum Boyle-Mariotte yaitu

$$(P \cdot V)/T = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.1)$$

(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 2)

dengan P tekanan, V volume dan T temperatur absolut gas.

### 2.3 Tekanan

Menurut Anis dkk (2008:4) Tekanan merupakan besarnya gaya yang diterima oleh luasan daerah yang menerima gaya tersebut. Didalam pompa, tekanan digunakan untuk menaikkan fluida dari suatu tempat ketempat lain dengan cara memampatkan fluida. Jika permukaan suatu zat menerima gaya dari luar maka permukaan zat yang menerima gaya tegak lurus tersebut akan mengalami tekanan  $P=P/A=.....(2.2)$

(Khairul Vandyhantoro,2016,.Hal 17)

Dimana :

P = Tekanan ( kg/ms<sup>2</sup>)

F = Gaya (kgm/s<sup>2</sup>)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

“Suprpto Dan Widodo, (2017) Tekanan biasanya diberi notasi atau simbol P dan didefinisikan sebagai gaya standar yang mengenai permukaan dibagi dengan luas permukaan yang dikenai gaya tersebut. Dalam teknik vakum, tingkat kevakuman dinyatakan dalam satuan tekanan. Ada berbagai jenis tekanan antara lain.”

#### 2.3.1 Tekanan hidrostatis

Tekanan, didefinisikan sebagai besarnya gaya normal per satuan luas permukaan. Suatu fluida yang mengalami tekanan akan mengerahkan sebuah gaya pada setiap permukaan yang bersentuhan dengan fluida tersebut, hal ini sesuai dengan prinsip Archimedes. Untuk suatu cairan dengan sebuah permukaan bebas (free surface), maka h adalah selisih jarak dari permukaan bebas tersebut sampai titik tertentu dibawahnya (kedalaman) dimana tekanan akan diukur. Dengan tekanan total p, tekanan lingkungan (atmosfer bumi) , gravitasi g, dan kedalaman h, maka persamaan tekanan adalah :

$$p = p_o + \rho gh$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui pula hubungan antara tekanan, massa jenis, percepatan gravitasi dan kedalaman h yang semuanya menunjukkan hubungan yang berbanding lurus. Jadi, semakin besar nilai massa jenis maka semakin besar tekanannya, begitu juga jika percepatan gravitasi maupun kedalamannya semakin besar, maka nilai tekanan akan semakin besar Resnick, (1991:201).

#### 2.3.2 Tekanan absolut (Pabs)

Tekanan absolut ditentukan berdasarkan tekanan mutlak. Karena didasarkan pada tekanan mutlak maka untuk tekanan atmosfer dinyatakan 1 atmosfer (absolut) atau 0 atmosfer (gauge).

### 2.3.3 Tekanan total ( $P_t$ )

Tekanan total suatu gas di dalam bejana (vessel) adalah jumlah tekanan parsial dari berbagai jenis gas yang ada di dalam bejana.

### 2.3.4 Tekanan parsial ( $P_p$ )

Tekanan parsial suatu gas terjadi jika gas di dalam bejana terdiri dari beberapa jenis gas sehingga masing-masing molekul/atom gas tersebut mentransmisikan momentumnya pada dinding bejana.

### 2.3.5 Tekanan jenuh ( $P_s$ )

“Tekanan jenuh suatu gas adalah jika gas tersebut ditekan pada temperatur tetap maka tidak terjadi penambahan tekanan melainkan terjadi kondensasi (pengembunan) sehingga berubah menjadi cairan tekanan standar atau tekanan normal ( $P_n$ ) Tekanan standar atau tekanan normal adalah tekanan atmosfer yang besarnya 1 atm = 101,325 Pa (N/m<sup>2</sup>) = 1013,25 mbar = 76 cmHg = 760 mmHg (Torr).”

### 2.3.6 Tekanan akhir ( $P_{akhir}$ )

Tekanan akhir dalam teknologi vakum adalah tekanan terendah yang dapat dicapai dalam sistem vakum. Tekanan akhir yang dapat dicapai ini tidak hanya tergantung pada laju pengisapan pompa atau ukuran pompa, namun dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi tekanan akhir (kevakuman akhir) dalam teknologi vakum antara lain: tekanan penguapan minyak pelumas, perapat (seal) yang digunakan pada pompa, tingkat kebersihan permukaan dan laju kebocoran pada bejana.

## 2.4 Hukum Gas

“Dalam teknologi vakum selalu berhubungan dengan hukum-hukum gas. Ada beberapa hukum-hukum yang terkait dengan gas antara: hukum Boyle, hukum Amontons, hukum Charles, hukum Dalton, hukum Avogadro dan hukum Graham.”

### 2.4.1 Hukum Boyle

Hukum ini menyatakan bahwa perkalian antara tekanan dengan volume suatu gas di dalam bejana adalah tetap (konstan) untuk jumlah gas (molekul/atom) dan temperatur dipertahankan tetap. Jika dinyatakan dalam persamaan adalah

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ (} N \text{ dan } T \text{ konstan)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$N = n \cdot V \dots\dots\dots (2.3.a)$$

(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 14)

---

dengan P tekanan, V volume, N jumlah molekul/atom di dalam bejana, n jumlah molekul/atom tiap satuan volume dan T temperatur mutlak.

#### 2.4.2 Hukum Dalton

Hukum ini menyatakan bahwa tekanan total dari suatu gas adalah sama dengan jumlah gaya per satuan luas dari tiap-tiap jenis gas di dalam bejana. Jika dinyatakan dalam persamaan adalah

$$P = nkT \dots\dots\dots(2.4)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 15)*

dengan k adalah konstanta Boltzmann yang nilainya =  $1,3804 \times 10^{-23}$  J/K. Jika di dalam bejana terdiri dari beberapa jenis gas maka

$$P_t = n_1 k T + n_2 k T + n_3 k T + \dots\dots\dots(2.3)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 15)*

#### 2.4.3 Hukum Avogadro

Hukum ini menyatakan bahwa tekanan dibagi jumlah molekul/atom suatu gas di dalam bejana adalah tetap (konstan) untuk temperatur dan volume dipertahankan tetap. Jika dinyatakan dalam persamaan adalah

$$\frac{p_1}{N_1} = \frac{p_2}{N_2} \text{ (T dan V konstan)} \dots\dots\dots (2.5)$$

#### 2.4.4 Hukum Amonton

Hukum ini menyatakan bahwa tekanan dibagi temperatur mutlak suatu gas di dalam bejana adalah tetap (konstan) untuk jumlah gas (molekul/atom) dan volume dipertahankan tetap. Jika dinyatakan dalam persamaan adalah

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ (N dan V konstan)} \dots\dots\dots (2.6)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 16)*

#### 2.4.5 Hukum Charles

Hukum ini menyatakan bahwa volume dibagi temperatur mutlak suatu gas di dalam bejana adalah tetap (konstan) untuk jumlah gas (molekul/atom) dan tekanan dipertahankan tetap. Jika dinyatakan dalam persamaan adalah

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ (N dan P konstan)} \dots \dots \dots (2.6)$$

(*Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 15*)

Aliran dalam teknik vakum sangat penting untuk dipelajari karena sangat menentukan laju pemvakuman, kebutuhan pompa vakum, komponen vakum khususnya komponen-komponen yang menghubungkan bejana yang divakumkan dengan pompa vakum. Laju pemvakuman akan berhubungan dengan waktu yang diperlukan untuk memvakumkan hingga mencapai tingkat kevakuman akhir. Di samping itu juga menentukan tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai. Aliran dalam teknik vakum dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu: aliran kental (viscous), aliran transisi, dan aliran menipis/jarang (rarefied). Aliran kental dibagi menjadi 2 (dua) yaitu aliran laminer dan aliran turbulen, sedangkan aliran transisi yang juga disebut aliran menengah (intermediate) adalah aliran yang terletak di antara aliran kental (viscous) dan aliran menipis/jarang (rarefied) yaitu pada saat akan terjadi perubahan dari aliran kental ke aliran molekular. Aliran menipis/jarang (rarefied) adalah suatu aliran yang terjadi pada saat tekanan dalam suatu aliran telah mencapai kehampaan menengah atau tinggi sehingga aliran yang terjadi disebabkan oleh gerakan molekular. Dengan demikian hambatan tidak dipengaruhi oleh friksi atau gesekan antara molekul/atom dengan permukaan dinding saluran atau di antara molekul/atom itu sendiri.

#### 2.4.6 Hukum Bernoulli

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama Daniel Bernoulli.

Aliran tak-termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya massa jenis fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida tak-termampatkan adalah: air, berbagai jenis minyak, emulsi, dll. Bentuk Persamaan Bernoulli untuk aliran tak-termampatkan adalah sebagai berikut:

$$p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{tetap}$$

dengan:

---

v = kecepatan fluida

g = percepatan gravitasi

h = relatif terhadap suatu acuan

p = tekanan fluida

$\rho$  = massa jenis fluida

Persamaan di atas berlaku untuk aliran tak-termampatkan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

Aliran bersifat tunak (steady state) Tidak terdapat gesekan (inviscid) Dalam bentuk lain, Persamaan Bernoulli dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

## 2.5 Klasifikasi Aliran

Klasifikasikan aliran laminer atau turbulen ditentukan oleh bilangan *Reynold*  $Re$  (Tabel 2.1), sedangkan untuk aliran menengah (intermediate) dan aliran molekular ditentukan oleh bilangan *Knudsen*  $D/\lambda$  yaitu perbandingan antara diameter pipa (D) dengan lintasan bebas rata-rata molekul/atom ( $\lambda$ ), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi aliran gas pada tekanan rendah

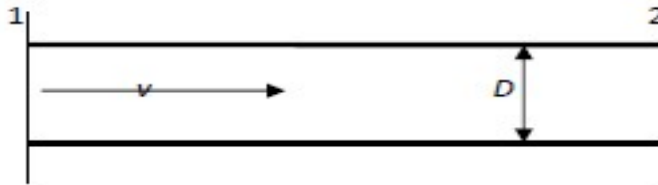
Kondisi Gas	Jenis Aliran	Batasan
Kental ( <i>viscous</i> )	Laminer	$Re < 1100$
	Turbulen	$Re > 2100$ $D/\lambda > 110$
Transisi	Menengah ( <i>intermediate</i> )	$1 < D/\lambda < 110$
Menipis ( <i>rarefied</i> )	Molekular	$D/\lambda < 1$

Jika aliran fluida di dalam sistem vakum seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 maka besar nilai bilangan *Reynold's*  $Re$  dapat ditentukan dengan persamaan

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta} \dots\dots\dots(2.7)$$

(*Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 20*)

dengan  $\rho$  adalah rapat jenis gas (g/cm<sup>3</sup>), v kecepatan aliran gas (cm/detik), D diameter pipa (cm) dan  $\eta$  viskositas gas (poise).



Gambar 2.1 Aliran dalam system vakum.

Jika dinyatakan dalam jumlah laju aliran gas ( $Q$ ), maka untuk jumlah laju aliran gas ( $Q$ ) adalah

$$Q = \rho v \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

(*Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 20*)

maka kecepatan aliran ( $v$ ) adalah

$$v = \frac{4 Q}{\pi \rho D^2} \dots \dots \dots (2.8.a)$$

sedangkan rapat jenis gas ( $\rho$ ) adalah

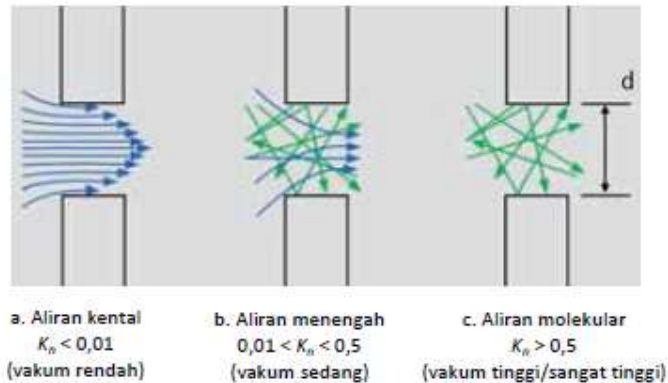
$$\rho = \frac{M P}{R_o T} \dots \dots \dots (2.8.b)$$

Jika disubstitusikan ke dalam persamaan (3.1) didapatkan,

$$R_e = \frac{4 M Q}{\pi R_o T \eta D} \dots \dots \dots (2.9)$$

(*Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 20*)

Berdasarkan jenis aliran maka dapat ditentukan besar daya hantar/konduktansi saluran ( $C$ ) di dalam pipa pada sistem vakum tersebut, baik untuk aliran kental maupun aliran molekular. Daya hantar saluran ( $C$ ) adalah kemampuan saluran untuk mengalirkan gas yang divakumkan dan merupakan kebalikan dari hambatan saluran yang disebabkan adanya gesekan antara molekul-molekul/atom-atom gas dengan permukaan saluran atau diantara molekul -molekul/atom-atom gas tersebut. Jenis-jenis aliran ini diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jenis Aliran yang terjadi pada teknik vakum

Aliran kental (Gambar 2.2a) terjadi pada vakum rendah, aliran ini dibagi menjadi 2 yaitu aliran laminar dan aliran turbulen (bergolak). Pada teknik vakum aliran laminar jarang terjadi karena pada vakum rendah biasanya sistem saluran mempunyai diameter kecil dengan laju aliran besar sehingga jika dihitung bilangan *Reynold* ( $Re$ ) yang terjadi akan diperoleh di atas 2100. Hambatan yang mempengaruhi aliran disebabkan oleh gesekan antar molekul/atom dan gesekan antara molekul dengan dinding saluran. Oleh karena itu untuk menentukan daya hantar saluran biasanya digunakan persamaan daya hantar untuk aliran kental. Aliran menengah (Gambar 2.2b) biasanya terjadi pada vakum sedang yaitu saat terjadi transisi (perubahan) dari vakum rendah ke vakum tinggi. Transisi ini jarang terjadi pada daerah saluran pompa vakum rendah (misalnya pompa sudu luncur/pompa rotari) ke pompa vakum tinggi (misalnya pompa difusi atau pompa turbomolekular). Aliran menengah akan terjadi pada daerah saluran pompa vakum tinggi (misalnya pompa difusi atau pompa turbo molekular) ke bejana yang divakumkan untuk mencapai tingkat kevakuman tinggi atau sangat tinggi yaitu saat peralihan dari vakum rendah ke vakum tinggi. Aliran molekular (Gambar 2.2c) terjadi pada daerah vakum tinggi baik pada saluran dari pompa vakum tinggi (misalnya pompa difusi atau pompa turbomolekular) ke bejana yang divakumkan untuk mencapai tingkat kevakuman tinggi atau sangat tinggi maupun di dalam bejana yang divakumkan untuk mencapai tingkat kevakuman tinggi atau sangat tinggi. Perpindahan molekul/atom disebabkan karena adanya gerakan secara acak dari molekul/atom. Hal ini karena pada kondisi vakum tinggi atau sangat tinggi, kerapatan molekul/atom sangat rendah sehingga gerakan acak molekul/atom mempunyai lintasan yang sangat besar atau mempunyai lintasan bebas rata-rata ( $\lambda$ ) sangat besar dibandingkan dengan diameter saluran. Besar daya hantar (konduktansi)

---



saluran (C) untuk aliran kental dapat ditentukan dengan persamaan semi empirik: Untuk saluran berpenampang lingkaran (Gambar 2.1), daya hantar (C) ditentukan menggunakan persamaan.

$$C = 2,86 \frac{P R^4}{L} \dots \dots \dots (2.11)$$

*(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 22)*

air memiliki sifat mengalir dari daerah yang tinggi menuju ke daerah yang rendah seperti pada Gambar 2.3, dimana ada dua fluida yang mengalir dari reservoir A menuju reservoir B. Aliran fluida ini mengikuti aturan persamaan 2.12 tentang persamaan energi keadaan incompressible keadaan steady 2.15 yakni:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \dots \dots \dots (2.12)$$

*(Pengaruh tangki vakum, Ikkal, D.S., 2020, Hal 76)*

Dimana dalam keadaan tersebut

$$P_1 = P_2 = V_1 = V_2 = Z_2 = 0 \dots \dots \dots (2.13)$$

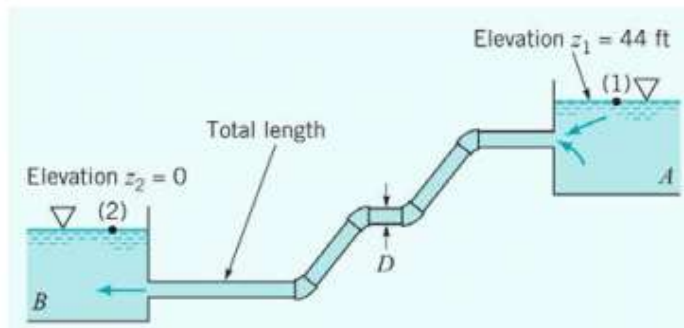
*(Pengaruh tangki vakum, Ikkal, D.S., 2020, Hal 76)*

$$Z_1 = \frac{V^2}{2g} (f \frac{1}{D} + \Sigma KL) \dots \dots \dots (2.14)$$

*(Pengaruh tangki vakum, Ikkal, D.S., 2020, Hal 76)*

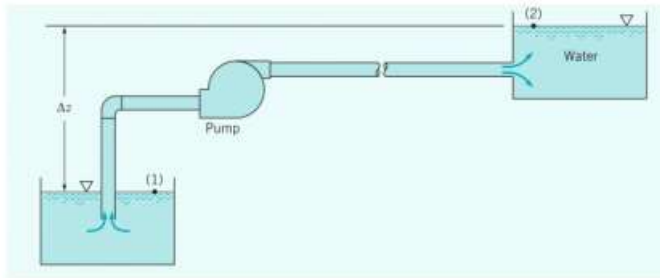
$$V = \frac{33,1}{D^2} \dots \dots \dots (2.15)$$

*(Pengaruh tangki vakum, Ikkal, D.S., 2020, Hal 76)*



Gambar 2.3 Aliran fluida pada dua reservoir

Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi lokasi Z1 maka kecepatan aliran air dalam pipa akan semakin bertambah



Gambar 2.4 Aliran fluida yang dipengaruhi pompa

Namun berbeda jika aliran tersebut dibalik maka akan membutuhkan sebuah pompa yang mengikuti persamaan energi untuk aliran compressible

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z + h_a = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} + \Sigma KL \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2.16)$$

(Pengaruh tangki vakum, Ikbal, D.S., 2020, Hal 76)

Dari Gambar 2 fluida bergerak karena ada perbedaan tekanan yang disebabkan oleh pompa,

## 2.6 Hantar Aliran Molekor

### a. Saluran lurus

Perpindahan molekul/atom dalam aliran molekular sangat tergantung dari gerakan acak molekul/atom yang besarnya tergantung pada tenaga/energy kinetik dari molekul/atom tersebut yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur. Karena perpindahan molekul/atom tergantung pada energi kinetik yang dipengaruhi oleh temperatur, maka besar daya hantar saluran juga tergantung gerakan acak molekul/atom yang dipengaruhi oleh temperturnya. Nilai daya hantar saluran (C) untuk aliran molekular secara umum dapat ditentukan dengan persamaan

$$C = \left( \frac{Q}{P_1 - P_2} \right) = 3,64 \cdot 10^3 \left( \frac{T}{M} \right)^{1/2} A \dots \dots \dots (2.17)$$

(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 25)

Untuk aliran molekular pada pipa dilakukan dengan penjabaran lebih lanjut sehingga didapatkan persamaan

$$C = 1,9408 \cdot 10^4 \left( \frac{T}{M} \right)^{1/2} \left( \frac{A^2}{B L} \right) \dots \dots \dots (2.18)$$

(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 25)

dari persamaan tersebut untuk penampang aliran lingkaran didapatkan

$$C = 3,81 \left(\frac{T}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D^3}{L}\right) \dots \dots \dots (2.19)$$

(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 26)

dengan C adalah daya hantar (konduktansi) saluran (liter/detik), T temperature gas (K), M berat molekul, A luas penampang aliran (cm<sup>2</sup>), B keliling dari penampang aliran (cm), L panjang pipa/saluran (cm).

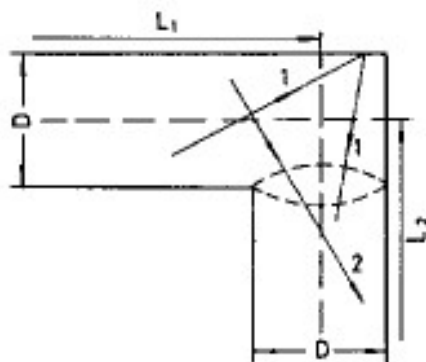
b. Saluran berbelok

Pada instalasi sistem vakum sering menggunakan belokan (*elbow*) sehingga gerakan molekul/atom akan berbelok sesuai dengan sudut belokan. Ada 2 (dua) kategori gerakan molekul/atom dalam perpindahan melalui belokan yaitu (1) molekul/atom menumbuk dinding sebelum belokan sehingga terpantul dan berbelok dan (2) molekul/atom bergerak lurus kemudian menumbuk dinding setelah belokan sehingga terpantul setelah melalui belokan. Gerakan molekul/atom pada belokan ini ditunjukkan pada Gambar 2.5. Karena ada 2 (dua) kategori gerakan molekul/atom maka untuk menentukan besar daya hantar pada belokan harus ditentukan berdasarkan 2 (dua) kategori tersebut dan selanjutnya digabungkan. Daya hantar (C) untuk gerakan molekul/atom kategori pertama yaitu molekul/atom menumbuk dinding sebelum belokan sehingga terpantul dan berbelok dapat ditentukan dengan persamaan.

Daya hantar (C) untuk gerakan molekul/atom kategori pertama yaitu molekul/atom menumbuk dinding sebelum belokan sehingga terpantul dan berbelok dapat ditentukan dengan persamaan

$$C_1 = 3,81 \left(\frac{T}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D^3}{L_1 + L_2 + 1,33}\right) \dots \dots \dots (2.20)$$

(Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 27)



Gambar 2.5 Gerakan molekul/atom belokan (*elbow*)

Dan untuk kategori yang kedua yaitu molekul atau atom bergerak lurus kemudian menumbuk dinding setelah belokan sehingga terpantul setelah melalui belokan.

$$C_2 = 3,81 \left(\frac{T}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D^3}{L_1+L_2}\right) \dots\dots\dots (2.21)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 27)*

Kedua perpindahan molekul/atom untuk kategori pertama dan kedua berjalan secara bersamaan atau paralel, maka daya hantarnya juga berlaku secara paralel sehingga diperoleh persamaan daya hantar saluran (C) untuk belokan

$$C = C_1 + C_2 \dots\dots\dots (2.22)$$

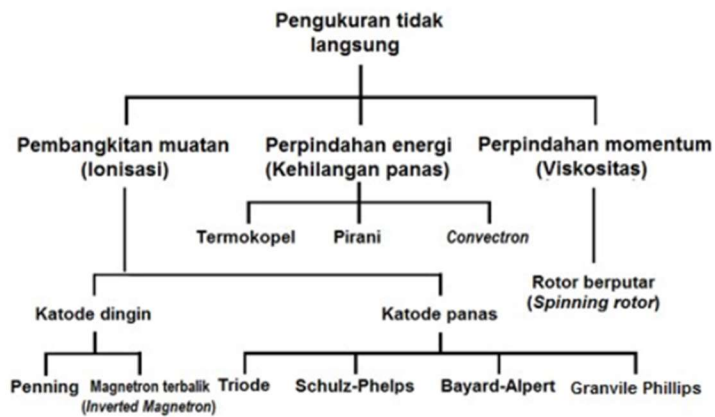
*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 27)*

### 2.7 Alat ukur kevakuman

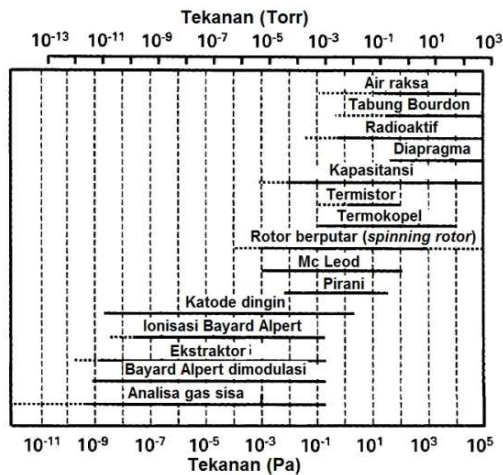
Alat ukur tekanan (manometer) mulai dari tingkat kehampaan rendah (beberapa puluh Torr) hingga tingkat kevakuman sangat tinggi (sekitar 10-14 Torr), sampai saat ini belum ditemukan sehingga belum ada alat ukur kevakuman yang mempunyai rentang atau jangkauan pengukuran pada tekanan tersebut. Hal ini disebabkan karena pada tiap tingkat tekanan gas memberikan efek fisis bagi dasar kerja masing-masing alat ukur. Pengukuran kevakuman secara garis besar dapat dibagi 2 (dua) yaitu (1) pengukuran secara langsung dan (2) pengukuran secara tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah metode pengukuran dengan mengukur langsung besaran yang diukur dan langsung menunjukkan hasilnya, sedangkan pengukuran secara tidak langsung adalah metode pengukuran dengan mengukur besaran melalui sifat besaran yang diukur (data yang dihasilkan belum merupakan besaran yang diukur), selanjutnya data tersebut diolah (dikonversi) menjadi besaran yang diukur. Contoh pengukuran secara tidak langsung misalnya pengukuran tekanan (kevakuman) menggunakan tahanan listrik (filamen) sehingga hasil pengukuran perubahan tekanan (kevakuman) berupa data perubahan arus listrik. Dari pengukuran tersebut diperlukan pengolahan data untuk mengkonversi data perubahan arus listrik menjadi data perubahan tekanan (kevakuman).



Gambar 2.6 Penggolongan pengukuran secara langsung.



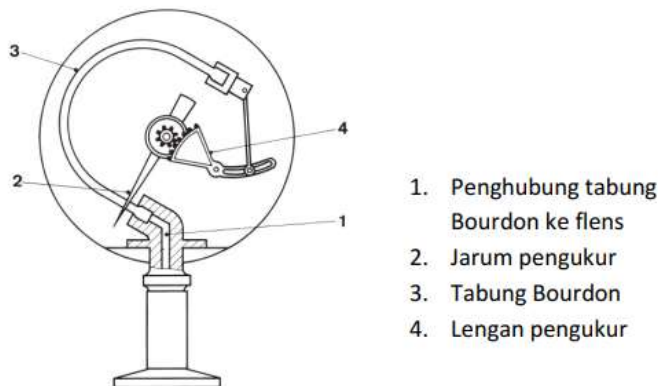
Gambar 2.7 Penggolongan pengukuran secara tidak langsung.



Gambar 2.8 Daerah pengukuran berbagai jenis manometer

### 2.7.1 Manometer bourdon

Manometer Bourdon banyak digunakan untuk mengukur tekanan di atas atmosfer. Namun demikian juga dapat digunakan untuk mengukur tekanan di bawah tekanan atmosfer atau kondisi vakum. Manometer Bourdon mempunyai prinsip kerja secara mekanis yaitu mengukur langsung tekanan gas dengan cara memasukkan gas ke dalam tabung Bourdon seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Daerah pengukurannya untuk rentang kevakuman antara 103 sampai 1 Torr, bebas digunakan untuk segala macam gas. Namun hanya mempunyai ketelitian untuk pengukuran tekanan sampai 10 mbar. Prinsip kerja manometer Bourdon didasarkan pada perubahan tabung Bourdon akibat perubahan tekanan. Saat tekanan bertambah maka terjadi gerakan pengembangan tabung Bourdon (3) sehingga menggerakkan lengan pengukur (4) serta menggerakkan jarum pengukur (2) ke arah 60 positif/searah jarum jam. Gerakan ini akan menunjukkan tekanan yang terukur. Jika digunakan untuk mengukur tekanan rendah (vakum) maka akan terjadi pengosongan tabung Bourdon sehingga gerakan jarum pengukur ke arah negatif/berlawanan arah jarum jam.

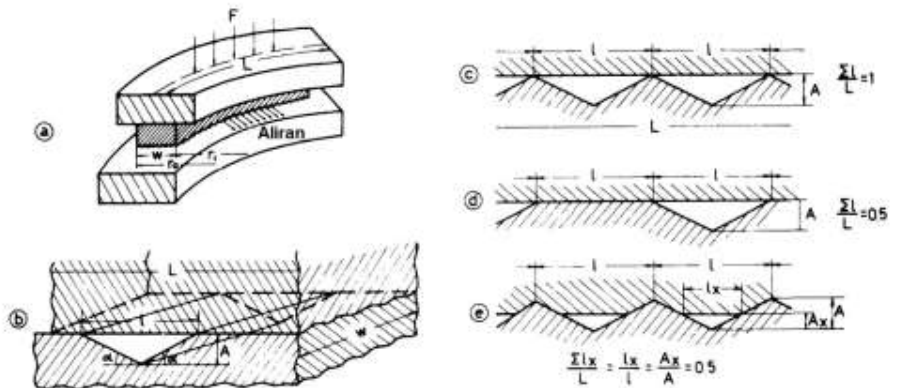


Gambar 2.9 Manometer Bourdon

### 2.8 Gas yang masuk karena adanya kebocoran (QL)

Kebocoran pada sistem hampa terjadi pada sambungan komponen - komponen yang digunakan di dalam sistem hampa. Sambungan komponen-komponen ini dibedakan menjadi 2 bagian yaitu sambungan tidak dapat dilepas dan sambungan dapat dilepas. Sambungan tidak dapat dilepas yaitu sambungan dengan las dan sambungan dengan *brazing*. Pada sambungan ini kebocoran yang terjadi sangat sulit ditentukan karena sangat tergantung dari kualitas sambungan tersebut. Untuk sambungan dapat dilepas yaitu sambungan dengan perapat (*seal*) baik dari bahan logam maupun viton ditunjukkan pada Gambar 2.8. Jenis logam yang banyak digunakan sebagai perapat adalah tembaga, aluminium, indium atau emas.

---



Gambar 2.10 Sambungan dengan perapat logam dan viton

Keterangan:

- Kontak permukaan annulus
- Kontak permukaan
- Beban kontak antar muka
- Lintasan kebocoran
- Lintasan tunggal pada permukaan

Dalam sambungan dengan perapat logam, logam yang digunakan sebagai perapat tersebut akan mengalami deformasi plastis sehingga jika dilepas perapat tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula. Jadi perapat logam tidak dapat digunakan berulang kali. Untuk menentukan besar laju kebocoran dihitung dengan menentukan daya hantar perapat sehingga menimbulkan terjadinya kebocoran. Besar daya hantar pada perapat (Gambar 2.8) ditentukan dengan persamaan

$$C = 19,3 \left(\frac{T}{M}\right)^{1/2} \frac{A^2}{2\left(1 + \frac{1}{\cos \alpha}\right) \text{tg} \alpha w} \gamma \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan C daya hantar (liter/detik), A (cm), factor koreksi

(*Pengenalan Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 75*)

Untuk sambungan dengan perapat viton, viton yang digunakan sebagai perapat tersebut akan mengalami deformasi elastis sehingga jika sambungan dilepas bentuk perapat tersebut akan kembali ke bentuk semula. Dengan

demikian perapat viton dapat digunakan berulang-ulang. Besarnya daya hantar pada perapat viton dapat ditentukan dengan persamaan.

$$C = 4\left(\frac{T}{M}\right)^{\frac{1}{2}} A^2 \frac{L}{W} \exp\left(-\frac{3F}{L w R}\right) \dots\dots\dots (2.24)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 75)*

Selanjutnya besarnya laju kebocoran (QL) baik dengan perapat logam maupun viton dapat ditentukan dengan persamaan

$$Ql = C . \Delta P \dots\dots\dots (2.25)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 75)*

Untuk laju kebocoran melalui seal (O ring) standar dan diketahui laju kebocoran spesifik maka laju kebocoran dapat ditentukan dengan persamaan

$$Q_L = q'_L . L \dots\dots\dots(2.26)$$

*(Pengenal Teknologi Vakum, Suprpto dan W. Susilo, Hal 75)*