

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Hukum Gas Ideal

Pada tahun 1662 Robert Boyle melakukan percobaan dengan bejana vakum dan menemukan bahwa tekanan gas berbanding terbalik dengan volume gas tersebut. Kemudian J. Charles dan J. Gay-Lussac dalam percobaannya menemukan bahwa pada tekanan rendah volume gas sebanding dengan temperatur gas tersebut. Dari dua percobaan di atas maka disimpulkan suatu persamaan

$$P.v = R.T \quad (3.1)$$

Persamaan 3.1 disebut persamaan gas ideal, dan gas yang memenuhi persamaan ini disebut gas ideal. Dalam persamaan ini P adalah tekanan absolut, v adalah volume spesifik, T adalah suhu absolut, dan R adalah konstanta gas.

Nilai konstanta gas berbeda-beda untuk tiap gas dan dinyatakan dengan persamaan

$$R = \frac{Ru}{M} \text{ kPa.m}^3/(\text{kg.K}) \quad (3.2)$$

Dimana Ru adalah konstanta gas universal dan M adalah massa molar gas.

Konstanta Ru sama untuk semua zat dengan nilai

$$Ru = 8,314 \text{ kPa.m}^3/(\text{kmol.K}) \quad (3.3)$$

Massa molar didefinisikan sebagai massa 1 kmol suatu zat yang dinyatakan dengan kilogram. Sedangkan massa suatu sistem adalah hasil dari

massa molar dan angka mol M dan dinyatakan dengan persamaan

$$m = M.N \quad (3.4)$$

Jika uap air dianggap sebagai gas ideal maka akan menimbulkan *error*. Nilai *error* ini bisa dilihat pada tekanan di bawah 10 kPa uap air bisa dianggap sebagai gas ideal dengan presentase *error* 0,1% dimana nilai *error* ini sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Tetapi pada tekanan tinggi nilai *error* harus diperhatikan terutama pada titik kritis dan daerah uap saturasi dimana nilai *error* lebih dari 100%. Oleh karena itu pada penerapan air-conditioning uap air pada udara dianggap sebagai gas ideal karena tekanan uap air sangat rendah. Pada penerapan *steam power plant* biasanya melibatkan tekanan tinggi sehingga tidak bisa menggunakan hubungan gas ideal.

3.2. Persamaan Tekanan Parsial

Dalam banyak kasus kita akan berhadapan dengan gas murni tetapi dengan campuran gas yang mengandung dua atau lebih gas. Dalton tertarik dengan masalah kelembaban dan dengan demikian tertarik pada udara basah, yakni campuran udara dengan uap air. Ia menurunkan hubungan berikut dengan menganggap masing-masing gas dalam campuran berperilaku independen satu sama lain. Anggap satu campuran dua jenis gas A (n_A mol) dan B (n_B mol)

p_A dan p_B disebut dengan tekanan parsial gas A dan gas B. Tekanan parsial adalah tekanan yang akan diberikan oleh gas tertentu dalam campuran seandainya gas tersebut sepenuhnya mengisi wadah. Dalton menyatakan hukum tekanan parsial yang menyatakan tekanan total P gas sama dengan jumlah tekanan parsial kedua gas. Jadi,

$$P = p_A + p_B = (n_A + n_B)RT/V \quad (3.7)$$

Hukum ini mengindikasikan bahwa dalam campuran gas masing-masing komponen memberikan tekanan yang independen satu sama lain. Walaupun ada beberapa gas dalam wadah yang sama, tekanan yang diberikan masing-masing tidak dipengaruhi oleh kehadiran gas lain. Bila fraksi molar gas A, x_A , dalam campuran $x_A = n_A/(n_A + n_B)$, maka p_A dapat juga dinyatakan dengan x_A .

$$p_A = [n_A/(n_A + n_B)]P \quad (3.8)$$

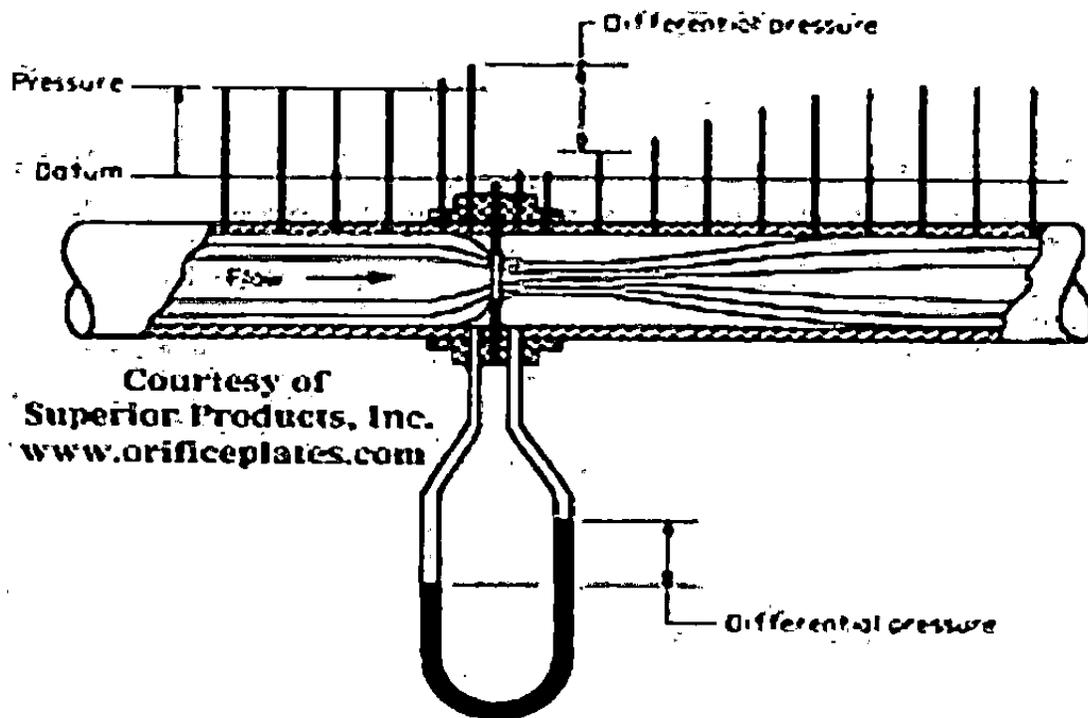
Dengan kata lain, tekanan parsial setiap komponen gas adalah hasil kali fraksi mol, x_A , dan tekanan total P .

Tekanan uap jenuh (atau dengan singkat disebut tekanan jenuh) air didefinisikan sebagai tekanan parsial maksimum yang dapat diberikan oleh uap air pada temperatur tertentu dalam campuran air dan uap air. Bila terdapat lebih

kelebihan uap air, campuran air tidak dapat menahan lebih banyak uap air.

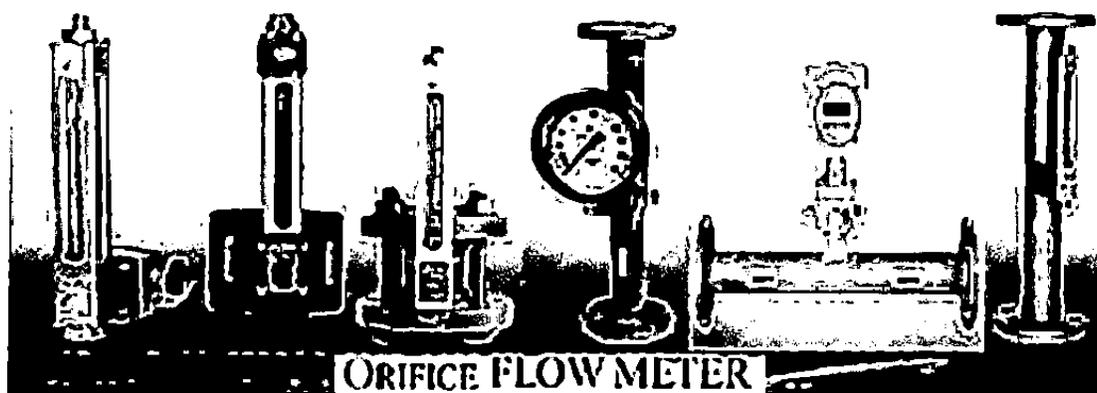
3.3. Orifice Plate

Orifice merupakan salah satu komponen dari perangkat primer (*primary device*) untuk mengukur aliran dengan menggunakan prinsip mengubah kecepatan aliran, rielya yaitu mengubah luasan yang dilalui aliran fluida tersebut (*orifice*).

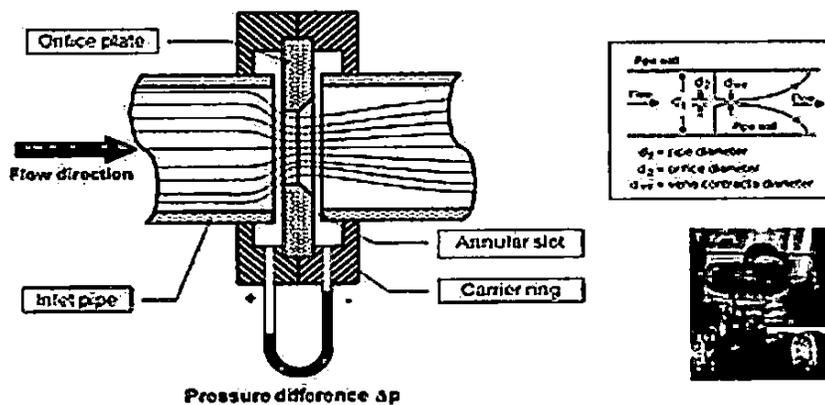


Gambar 3.1. Skema *Orifice Plate*

Bentuk fisik *orifice* yang sering digunakan seperti pada gambar berikut ini:



Perubahan kecepatan setelah melalui *orifice plate* tersebut berkaitan dengan perubahan tekanan (*differential pressure*). Perubahan tekanan ini yang kemudian diukur dan kemudian diasosiasikan dengan laju aliran. Dalam kaitannya dengan Orifice dan pengukuran aliran, umumnya yang diukur adalah *differential pressure*.



Gambar 3.3. *Differential pressure orifice*

Pengukuran laju aliran fluida adalah salah satu yang terpenting dalam proses *flow control*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui berapa kapasitas fluida yang dialirkan untuk mendapatkan harga pengukurannya (*measurement variable*). Aliran pada umumnya diukur berdasarkan besarnya kecepatan fluida yang melewati luas penampang tertentu, atau:

$$QV = A \times V \quad (3.9)$$

Dimana :

QV : laju aliran (m³ / det)

A : luas penampang dari pipa (m²)

V : kecepatan fluida (m / det)

3.4. Dasar Fluida

Konsep dasar fluida yang akan dibahas di sini hanya yang berkaitan dengan penelitian ini saja. Udara adalah campuran beberapa gas, tetapi karena kadar masing-masing komponennya hampir selalu tetap maka udara di dalam selang boleh dianggap sebagai bahan murni. Gas pada suhu tinggi dan tekanan rendah memenuhi persamaan umum keadaan gas ideal $p = \rho RT$. Sebagaimana di awal sudah disebutkan bahwa $R_{udara} = 287 \text{ m}^2/(\text{s}^2.\text{K}) = 1717 \text{ ft}^2/(\text{s}^2.\text{R})$, tekanan atmosfer standar adalah 1,01325 kPa, dan suhu standar adalah $60^\circ\text{F} = 520^\circ\text{R} = 15,56^\circ\text{C} = 288,56^\circ\text{K}$. Jadi massa jenis udara pada atmosfer adalah $\rho_{udara} = 1,22 \text{ kg/m}^3$. Adapun untuk air ditentukan bahwa massa jenisnya $\rho_{air} = 998 \text{ kg/m}^3$ (pada suhu standar 4°C).

Berat jenis γ (*specific weight*) adalah berat per volume satuan dari suatu fluida dan besarnya sama dengan ρg yang merupakan hasil kali antara kerapatannya dan percepatan gravitasi. Sebagai contoh, di dalam gravitasi bumi standar, dimana $g = 9,806 \text{ m/s}^2$, maka berat jenis dari udara dan air pada 20°C dan 1 atm adalah

$$\rho g_{udara} = 1,22 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m}^2/\text{s} = 11,96 \text{ N/m}^3$$

$$\rho g_{air} = 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,806 \text{ m}^2/\text{s} = 9786,38 \text{ N/m}^3$$

Konsep fluida lain yang tidak kalah penting adalah laju aliran massa. Untuk kondisi volume fluida yang berubah-ubah dari titik ke titik yang melalui satuan luas tertentu, maka kita harus mengintegrasikan volume yang melewati permukaan dA sehingga luasan total yang dilalui fluida tercakup (White, 1994).

Dengan kata lain, laju aliran massa adalah...

$$\dot{m} = \int_S \rho(\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA = \int_S \rho V_n dA \quad (3.10)$$

Untuk luasan yang tetap, maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho Q \quad (3.11)$$

3.5. Hukum Kekekalan Massa

Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa massa sistem itu kekal dan tidak berubah. Hal ini menunjukkan bahwa dalam aliran *steady*, aliran massa yang memasuki dan meninggalkan volume kendali (*control volume*) adalah sama:

$$\rho A v = \text{konstan} \quad (3.12)$$

atau

$$\gamma A v = \text{konstan (dalam satuan berat)} \quad (3.13)$$

dengan:

ρ = massa jenis (kg/m^3)

γ = berat jenis (N/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan rata-rata fluida pada penampang tersebut (m/s)

Persamaan di atas sering disebut juga persamaan kontinuitas. Untuk aliran *incompressible* (taktermampatkan), maka laju aliran massa persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi (White, 1994):

$$Q = A v = \text{konstan} \quad (3.14)$$

dengan:

Q = debit (m^3/s)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan rata-rata fluida pada penampang tersebut (m/s)

3.6. Hukum Bernoulli

Persamaan Bernoulli untuk aliran sepanjang garis arus diturunkan berdasarkan hukum Newton II tentang gerak ($F=Ma$). Persamaan ini diturunkan berdasarkan anggapan bahwa:

1. Zat cair adalah ideal, jadi tidak mempunyai kekentalan (kehilangan energi akibat gesekan adalah nol).
2. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan ($\rho = \text{konstan}$)
3. Aliran adalah kontinyu dan sepanjang garis arus.
4. Kecepatan aliran adalah merata dalam suatu penampang.
5. Gaya yang bekerja hanya gaya berat dan tekanan.

Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa tinggi energi total, yang merupakan jumlah dari energi potensial, energi tekanan, dan energi kecepatan, berbeda dari garis arus yang satu ke garis arus yang lain. Oleh karena itu, perbedaan tersebut hanya berlaku untuk titik-titik pada suatu garis lurus. Persamaan Bernoulli berlaku untuk aliran *steady* satu dimensi, zat cair ideal dan tak termampatkan (Triatmojo, 1996) Persamaan tersebut merupakan bentuk matematis dari kekekalan energi di

$\frac{v^2}{2g}$ = energi kinetik

z = energi potensial

Aplikasi persamaan Bernoulli untuk dua titik di dalam medan aliran pada satu garis lurus dinyatakan dengan:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\lambda} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (3.16)$$

3.7. Kondensasi

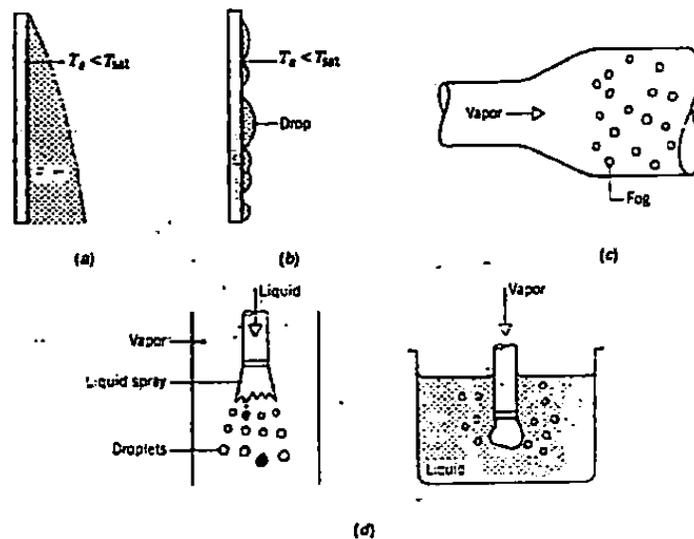
Kondensasi adalah proses melepaskan kalor dari suatu sistem yang menyebabkan uap (*vapor*) berubah menjadi cair (*liquid*). Kondensasi memainkan peranan yang penting di alam semesta, dimana kondensasi menjadi bagian penting dari siklus air, begitu pula perannya penting dalam industri. Proses kondensasi merupakan proses yang cukup kompleks, yang terjadi dalam banyak contoh kasus.

Karena prosesnya yang beragam, proses kondensasi diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya:

1. Jenis kondensasi: *homogenous*, *heterogenous*, *dropwise*, *film*, atau *direct contact*.
2. Kondisi uap: satu komponen, banyak komponen dengan semua komponen mampu terkondensasi, banyak komponen beserta komponennya yang tidak mampu terkondensasi.
3. Geometri sistem: *plane surface*, *external*, *internal*, dan lain-lain.

Dari klasifikasi di atas sangat mungkin ada kategori dari metode klasifikasi yang berbeda terdiri *overlapp*, artinya pada kategori proses kondensasi

yang satu masih berhubungan dengan kategori proses kondensasi yang lain. Diantara klasifikasi di atas, kondensasi berdasarkan jenisnya paling banyak digunakan.



Gambar 3.4. Jenis kondensasi (a) *film*, (b) *dropwise condensation* pada permukaan, (c) kondensasi homogen, atau pembentukan kabut sebagai hasil kenaikan tekanan karena ekspansi, (d) *direct contact condensation*

Kondensasi homogen (*homogenous*) terjadi ketika uap didinginkan di bawah temperatur jenuhnya untuk menghasilkan *droplet nucleation*. Hal ini disebabkan oleh campuran dua aliran uap pada temperatur yang berbeda, pendinginan radiaktif (memancar) pada campuran uap dan komponen uap yang

... .. pembentukan kabut (fog) di atmosfer atau