

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah subdisiplin dari mekanika kontinyu yang mempelajari tentang fluida (dapat berupa cairan dan gas). Fluida sendiri merupakan zat yang bisa mengalami perubahan bentuk secara kontinyu atau terus-menerus bila terkena tekanan atau gaya geser walaupun relatif kecil atau bisa juga dikatakan suatu zat yang mengalir. Sedangkan, seperti batu dan benda-benda keras lainnya seluruh zat padat tidak digolongkan ke dalam fluida karena tidak bisa mengalir.

Mekanika fluida dapat dibagi menjadi fluida statis dan fluida dinamis. Fluida statis mempelajari fluida pada keadaan diam, sementara fluida dinamis mempelajari fluida yang bergerak.

Semua fluida (gas dan zat cair) memiliki besaran-besaran khusus yang dapat diketahui, antara lain: massa jenis (*density*), kekentalan (*viscosity*), tekanan fluida, massa jenis campuran, kecepatan aktual aliran fluida, fraksi volumetrik fluida, kecepatan superficial aliran fluida, bilangan reynolds.

2.1.1 Massa Jenis

Massa jenis (ρ) atau *density* adalah ukuran konsentrasi massa zat cair dan dinyatakan dalam bentuk massa (m) per satuan volume (V).

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.1}$$

2.1.2 Kekentalan

Viskositas atau *viscosity* (μ) merupakan salah satu ukuran dari kekentalan dari suatu bahan. Viskositas dapat ditulis dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{C_{\mu}}{\rho} \quad (2.2)$$

dengan : C_{μ} = Koefisien viskositas

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

2.1.3 Tekanan Fluida

Tekanan fluida dipancarkan dengan kekuatan yang sama ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Dalam bidang datar yang sama kekuatan tekanan dalam suatu cairan sama. Tekanan fluida (p) dapat ditulis dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

dengan : F = Gaya (N)

A = Luas penampang pipa (m^2)

2.1.4 Massa Jenis Campuran (*Mixture Density*)

Dalam aliran fluida multifasa, massa jenis campuran (ρ_m) adalah perbandingan laju aliran massa total (W_T) dengan laju aliran total (Q_T). Massa jenis campuran dapat ditulis dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$\rho_m = \frac{W_T}{Q_T} \quad (2.4)$$

2.1.5 Kecepatan Aktual Aliran Fluida

Kecepatan aktual aliran fluida (u) adalah rasio dari laju aliran fluida (Q) terhadap luas penampang pipa alir (A) dikalikan dengan massa jenis fluida (ρ).

Kecepatan aktual dapat ditulis ke dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$u_L = \frac{Q_L}{\rho_L A} \quad (2.5)$$

$$u_S = \frac{Q_S}{\rho_S A} \quad (2.6)$$

2.1.6 Fraksi Volumetrik

Fraksi volumetrik fluida (H) adalah rasio dari laju alir fluida suatu fasa (Q_A) dengan laju alir total (Q_T) (Bello, 2008). Fraksi volumetrik untuk sebarang fasa A dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$H_A = \frac{Q_A}{Q_T} \quad (2.7)$$

Jumlah dari aliran fluida dapat dinyatakan sebagai volume atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m^3/s) dan laju aliran massa (kg/s). Fraksi volumetrik untuk masing-masing fasa dapat dinyatakan ke dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$H_L = \frac{Q_L}{Q_T} \quad (2.8)$$

dengan : $H_L + H_S = 1$

2.1.7 Kecepatan Superfisial Aliran Fluida

Kecepatan superfisial aliran fluida (u_s) adalah rasio dari laju aliran fluida (Q) terhadap luas penampang pipa alir (A) (Menon, 2005). Persamaan kecepatan superfisial aliran fluida dapat ditulis ke dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$Q = u_s A \quad (2.9)$$

$$u_s = \frac{Q}{A} \quad (2.10)$$

Jadi, untuk masing-masing fasa kecepatan superfisialnya adalah

$$u_{SL} = \frac{Q_L}{A} \quad (2.11)$$

$$u_{SS} = \frac{Q_S}{A} \quad (2.12)$$

dengan : u_{SL} = Kecepatan superfisial fluida fasa liquid (m/s)

u_{SS} = Kecepatan superfisial fluida fasa solid (m/s)

Q_L = Laju aliran fasa liquid (m³/s)

Q_S = Laju aliran fasa solid (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

2.1.8 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds (Re) merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran memiliki pola dinamakan laminar, transisi atau turbulen. Bilangan Reynolds dapat ditulis ke dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{u_s D \rho}{\mu} \quad (2.13)$$

dengan : D = Diameter dalam pipa (m)

2.2 Hukum Kekekalan Massa

Hukum kekekalan massa atau dikenal juga sebagai hukum Lamonosov-Lavoisier adalah suatu hukum yang menyatakan massa dari suatu sistem tertutup akan konstan meskipun terjadi berbagai perubahan fisika dan kimia.

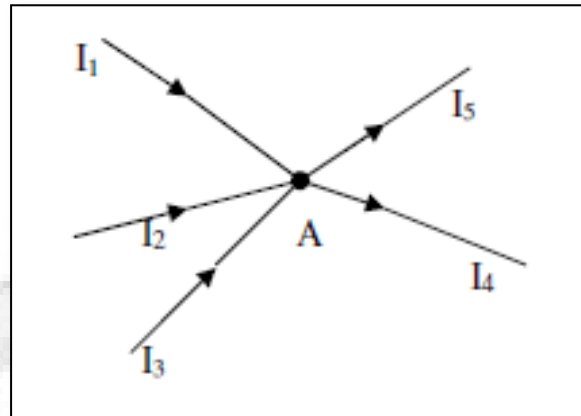
2.3 Hukum Kirchoff

Robert Gustav Kirchoff menemukan suatu hukum pada rangkaian tertutup. Ia menemukan dua buah hukum yaitu sebagai berikut :

2.3.1 Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I digunakan untuk menganalisis suatu jaringan yang kompleks. Hukum Kirchoff I disebut dengan hukum titik cabang. Suatu titik cabang dalam suatu jaringan adalah tempat bertemunya beberapa buah konduktor. Hukum Kirchoff I menyatakan bahwa jumlah arus yang menuju suatu titik cabang jaringan listrik adalah jumlah arus yang meninggalkan titik cabang tersebut. Secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$\sum I_{\text{menuju titik cabang}} = \sum I_{\text{meninggalkan titik cabang}} \quad (2.14)$$



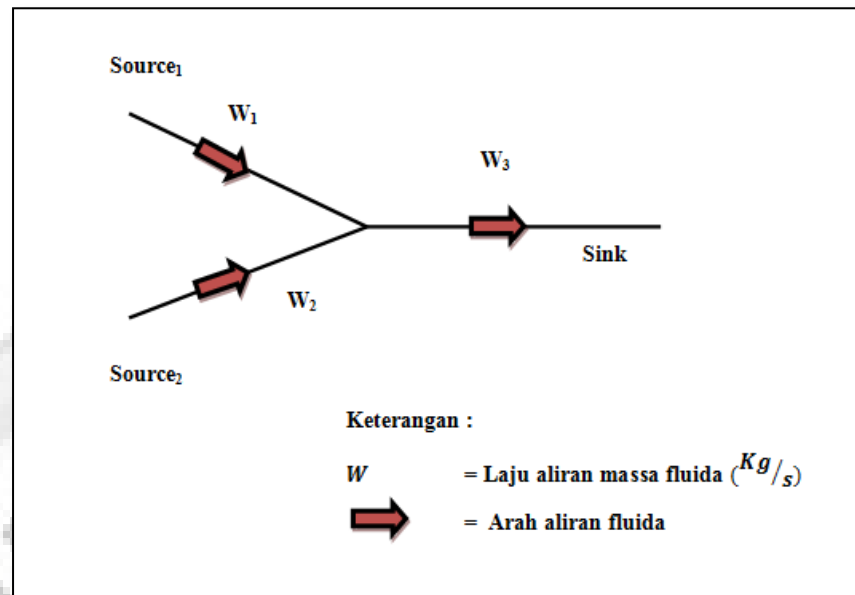
Gambar 2.1 Arus-Arus pada Titik Cabang

Pada Gambar 2.4 arus I_1 , I_2 , dan I_3 menuju titik cabang A. Sedangkan arus I_4 dan I_5 meninggalkan titik cabang A. Pada titik cabang A berlaku persamaan:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \quad (2.15)$$

Dengan menggunakan prinsip Hukum Kirchoff I, jika jaringan pipa yang terdiri dari dua buah *source* menuju sebuah *sink* yang di dalamnya mengalir tiga buah fasa, yaitu gas-minyak-pasir tidak mengalami perubahan massa ketika mengalir di pipa alir, maka laju aliran massa fluida yang masuk (W_{masuk}) dan laju aliran massa fluida yang keluar (W_{keluar}) dari setiap cabang harus nol atau dengan kata lain :

$$\Sigma W_{masuk} = \Sigma W_{keluar} \quad (2.16)$$



Gambar 2.2 Laju Aliran Massa Fluida pada Titik Cabang

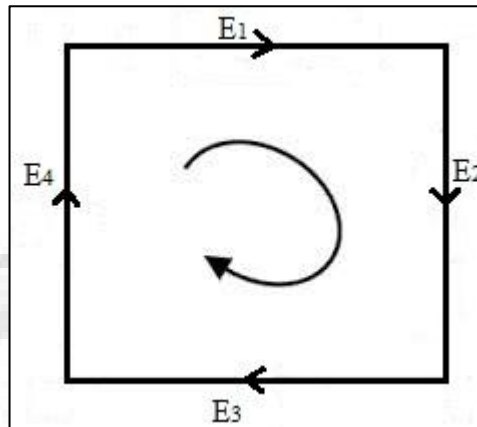
Pada Gambar 2.5 laju aliran massa fluida dari $source_1$ dan $source_2$ masing-masing adalah W_1 , dan W_2 menuju $sink$. Sedangkan besarnya laju aliran massa (W_3) di $sink$ adalah sebagai berikut :

$$\sum W_{source} = \sum W_{sink} \quad (2.17)$$

$$W_1 + W_2 = W_3 \quad (2.18)$$

2.3.2 Hukum Kirchoff II

Hukum Kirchoff II digunakan untuk menghitung besaran-besaran yang terdapat pada rangkaian listrik. Besaran itu di antaranya kuat arus pada suatu cabang ataupun beda tegangan antara dua titik. Hukum Kirchoff II menyatakan bahwa pada rangkaian tertutup jumlah gaya gerak listrik sumber arus dengan penurunan tegangan adalah nol.



Gambar 2.3 Arus – Arus dalam Rangkaian *Loop*

$$\sum E_i = 0 \quad (2.19)$$

Secara umum, dapat diartikan bahwa total tegangan yang mengalir di dalam suatu *loop* adalah nol atau tidak ada energi yang hilang sama sekali di dalam rangkaian *loop* tersebut.

Hukum Kirchoff II dapat diaplikasikan untuk menganalisis suatu jaringan kompleks. Pada jaringan kompleks yang mengandung *loop*, akan terdapat suatu hukum Kirchoff II. Untuk menerapkan hukum Kirchoff II pada suatu jaringan kompleks digunakan aturan dan langkah sebagai berikut :

- a. Membuat arah putaran *loop* pada suatu jaringan kompleks dengan arah sembarang.
- b. Membuat suatu persamaan laju alir fluida pada setiap *node* dengan menggunakan hukum Kirchoff I.
- c. Menerapkan hukum Kirchoff II pada suatu *loop* dengan ketentuan :
 - Apabila laju alir searah dengan arah *loop*, maka laju alir tersebut bernilai positif.

- Apabila laju alir berlawanan arah dengan arah *loop*, maka laju alir tersebut bernilai negatif.

2.4 *Linear Theory Method* dalam Jaringan Pipa

Linear Theory Method (LTM) yang diterapkan pada suatu jaringan digunakan untuk menyelesaikan suatu sistem persamaan jaringan pipa secara simultan (Wood dan Charles, 1972). Penerapan *Linear Theory Method* dilakukan dengan proses linearisasi suku non-linear pada persamaan perubahan tekanan di setiap segmen pipa. Berikut adalah transformasi persamaan energi non-linear dengan aproksimasi perubahan tekanannya :

$$\sum R_i |Q_i^{(m)}|^{n-1} Q_i = \Delta E \quad (2.20)$$

Metode ini telah dimodifikasi sehingga dapat diterapkan pada jaringan-jaringan yang berbeda seperti pompa air dan reservoir. Secara implisit, Wood dan Charles menjelaskan asumsi dari perkiraan awal pada aliran di setiap segmen pipa yang menghilangkan kebutuhan untuk proses inisialisasi sebagai berikut :

$$\Delta p_i = R_i Q_i |Q_i|^{n-1} = R_i |Q_i^{(m)}|^{n-1} Q_i \quad (2.21)$$

dengan : $Q_i^{(m)}$ = Estimasi awal atau nilai dari iterasi sebelumnya pada aliran pipa i

R = Konstanta hasil perhitungan

n = Iterasi

i = Segmen pipa

2.5 Model Aliran Tiga Fasa Bello pada Pipa Horizontal

O.Bello membuat model aliran tiga fasa (gas-minyak-pasir) pada pipa horizontal sebagai berikut :

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_T = \left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_{LG} + \left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_{LS} - \left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_L \quad (2.22)$$

dengan : $\left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_T$ = Perubahan tekanan total terhadap panjang pipa (Pa)

$\left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_{LG}$ = Perubahan tekanan fasa liquid-gas terhadap panjang pipa (Pa)

$\left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_L$ = Perubahan tekanan liquid terhadap panjang pipa (Pa)

$\left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_{LS}$ = Perubahan tekanan fasa liquid-solid terhadap panjang pipa (Pa)

Berdasarkan model di atas, dapat diketahui perubahan tekanan total terhadap panjang pipa adalah perubahan tekanan fasa gas dan minyak terhadap panjang pipa ditambah perubahan tekanan fasa minyak dan pasir terhadap panjang pipa dikurangi perubahan tekanan fasa minyak terhadap panjang pipa.

Dari model aliran tiga fasa (gas-minyak-pasir) yang dikemukakan oleh Bello pada pipa horizontal, dapat diketahui suatu perubahan tekanan dalam suatu segmen pipa. Pada skripsi ini dibahas tentang model aliran pasir dalam minyak yaitu $\left(\frac{\Delta p}{\Delta x}\right)_{LS}$.