

BAB II

JENIS - JENIS ALIRAN

II.1 PENDAHULUAN

Dalam fluida dikenal berbagai jenis aliran. Pengelompokan aliran -aliran tersebut antara lain dipengaruhi massa jenis, kecepatan dan kekentalan aliran serta gaya yang bekerja pada aliran.

Selain dipengaruhi hal tersebut diatas, terjadinya pengelompokan aliran ditentukan juga oleh bilangan Reynold dan bilangan Froude, yaitu suatu bilangan tanpa dimensi yang merupakan hasil dari perbandingan gaya - gaya yang mempengaruhi fluida.

Untuk memudahkan melakukan analisis gerakan fluida digunakan konsep sinambung dimana menunjukkan bahwa semua sifat fluida adalah terus menerus dari satu titik ke titik lain pada seluruh isi fluida yang ditentukan.

II.2 BILANGAN REYNOLD dan FROUDE

Mula - mula diperkirakan dulu derajat besaran (*order of magnitude*) dari gaya inersia, gaya gravitasi gaya kekentalan (*viscous force*). Parameter - parameter yang digunakan ; panjang l , kecepatan v , massa jenis fluida ρ , percepatan gravitasi g koefisien kekentalan fluida μ . Untuk masing - masing gaya diperoleh derajat besaran sebagai berikut :

TIPE GAYA	DERAJAT BESARAN
1. Inersia	$\rho v^2 l^2$
2. Gravitasi	$\rho g l^3$
3. Kekentalan	$\mu v l$

Perkiraan ini tidak dapat ditafsirkan (diinterpretasikan) dengan tepat, namun perkiraan ini adalah sah dalam pengertian bahwa perubahan besarnya parameter l , v , r dan μ akan berpengaruh pada gaya.

Prinsip utama yang diperhatikan adalah bahwa ketiga gaya bekerja bersamaan dan besaran relatif dipertahankan sehingga menghasilkan aliran yang mempunyai gerakan sama. Untuk hal tersebut diperjelas dengan membentuk perbandingan dari ketiga gaya tersebut

$$\frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya gravitasi}} = \frac{\rho v^2 l^2}{\rho g l^3} = \frac{v^2}{g l}$$

$$\frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya kekentalan}} = \frac{\rho v^2 l^2}{\mu v l} = \frac{\rho v l}{\mu}$$

$$\frac{\text{gaya gravitasi}}{\text{gaya kekentalan}} = \frac{\rho g l^3}{\mu v l} = \frac{\rho g l^2}{\mu v}$$

Perbandingan dari gaya inersia terhadap gaya kekentalan dikenal sebagai Bilangan Reynold yang dapat disajikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_n = \frac{\rho v l}{\mu} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$= \frac{vl}{\nu}$$

di mana :

R_n = bilangan Reynold

ν (nu) = $\frac{\mu}{\rho}$ adalah kekentalan kinematis

fluida (*kinematic viscosity coefficient*).

Sedangkan perbandingan gaya inersia dengan gaya gravitasi disebut dengan Bilangan Froude yang bisa ditulis sebagai berikut :

$$F_n = \frac{v^2}{gl} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$= \frac{v}{\sqrt{gl}}$$

di mana :

F_n : bilangan Froude

Dan diketahui dimensi dari :

ρ adalah $\frac{M}{L^3}$

v adalah $\frac{L}{T}$

l adalah L

μ adalah $\frac{M}{LT}$

g adalah $\frac{L}{T^2}$

dengan :

M : dimensi Massa

L : dimensi Panjang

T : dimensi Waktu

Sehingga :

$$R_n = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{\left[\frac{M}{L^3} \right] \left[\frac{L}{T} \right] \left[L \right]}{\left[\frac{M}{LT} \right]} = 1$$

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{gl}} = \frac{\left[\frac{L}{T} \right]}{\sqrt{\left[\frac{L}{T^2} \right] \left[L \right]}} = 1$$

Dengan demikian R_n dan F_n merupakan bilangan tanpa dimensi.

II.3 JENIS - JENIS ALIRAN

Aliran dapat dikelompokkan ke dalam jenis - jenis aliran seperti yang akan dibahas dibawah ini

II.3.1 ALIRAN LAMINAR dan TURBULEN

Gaya - gaya dalam aliran yang disebabkan oleh inersia, gravitasi dan kekentalan berpengaruh dalam berbagai masalah yang nyata mengenai aliran ini.

Berdasarkan besarnya bilangan Reynold dikenal aliran dengan harga R_n rendah yang mengikuti garis lintasan tertentu. Garis tersebut menggambarkan lintasan dari suatu partikel fluida tertentu. Aliran dari harga R_n rendah dapat diamati dan ditandai dengan meluncurnya satu lapisan diatas lapisan yang lain. Aliran yang demikian dikenal sebagai aliran LAMINAR (*Laminar Flow*). Campuran antara lapisan - lapisan fluida yang berbeda terjadi

dengan harga bilangan Reynold yang lebih tinggi. Jenis aliran ini, di mana hampir tidak terdapat garis lintasan tertentu yang dapat diamati, dikenal sebagai aliran TURBULEN (*Turbulent Flow*). Jadi, karena gaya kental (*Viscous Force*) terlalu kecil untuk meredam gangguan pada bilangan Reynold yang tinggi, maka aliran menjadi turbulen.

Percobaan - percobaan pada saluran terbuka, menunjukkan bahwa aliran itu tetap laminar apabila $R_n \leq 500$ dan aliran itu menjadi turbulen apabila $R_n \geq 2000$; dan diantara kedua batas tersebut aliran berada dalam keadaan peralihan.

II.3.2 ALIRAN SUBKRITIS dan SUPERKRITIS

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude sama dengan satu. Aliran disebut subkritis apabila $F_n < 1,0$ dan dikatakan superkritis apabila $F_n > 1,0$.

Aliran subkritis kadang - kadang dinamakan aliran Tenang (*Tranquil Flow*), sedangkan istilah aliran Cepat (*Rapid Flow*) dan aliran Mengeram (*Shooting Flow*) juga digunakan untuk menyatakan aliran superkritis [5].

II.3.3 ALIRAN TETAP dan TAK TETAP

Pada setiap Aliran Tetap (*Steady Flow*) keadaan setiap titik didalam aliran tidak berubah menurut waktu.

Untuk aliran Tetap, nilai rata - rata (pada suatu titik) dari kecepatan (\bar{v}), massa jenis fluida ($\bar{\rho}$), tekanan (\bar{p}) atau temperatur ($\bar{\theta}$) tidak berubah menurut waktu, sehingga secara matematis :

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = 0 ; \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} = 0 ; \frac{\partial \bar{p}}{\partial t} = 0 ; \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} = 0$$

Dari persamaan differensial parsial menunjukkan bahwa nilai - nilai ini dapat bervariasi dalam ruang.

Aliran Tak Tetap (*Unsteady Flow*) terjadi apabila setiap titik didalam aliran berubah menurut waktu. Aliran Tak Tetap tidak boleh disalah artikan dengan aliran Turbulen.

Sebagai contoh, aliran pada saluran irigasi adalah tetap untuk periode yang panjang. Aliran dalam sungai selama banjir dengan perbedaan debitnya yang besar menurut waktu, adalah suatu contoh yang khas dari aliran tak tetap.

II.3.4 ALIRAN SERAGAM dan TAK SERAGAM

Aliran dapat dikatakan aliran Seragam (*Uniform Flow*) apabila vektor kecepatan rata - rata \bar{v} sama (besar dan arahnya) pada setiap titik dan waktu. Apabila suatu perubahan sebesar δs diambil pada setiap arah, aliran seragam harus memenuhi $\frac{\partial \bar{v}}{\partial s} = 0$ pada setiap waktu.

Dalam hal fluida nyata mengalir pada suatu pipa tertutup atau terbuka, definisi aliran seragam dapat juga digunakan, walaupun vektor kecepatan pada lapisan batas

selalu sama dengan nol.

Apabila profil pipa sama, yaitu pipa berbentuk prisma dan kecepatan rata - rata pada setiap penampang sama menurut waktu, maka aliran disebut seragam.

Dan untuk suatu aliran Tak Seragam (*Nonuniform Flow*) berlaku $\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0$.

II.3.5 ALIRAN YANG DAPAT DIMAMPATKAN dan TAK DAPAT DIMAMPATKAN

Dalam keadaan statis cairan mengalami sangat sedikit perubahan massa jenis, meskipun dalam keadaan bertekanan tinggi. Oleh karena itu cairan tersebut dikatakan Tidak Dapat Dimampatkan (*Incompressible*), dan dalam melakukan penghitungan, massa jenisnya dapat dianggap tetap.

Pada gas, massa jenis tidak dapat dianggap tetap dalam keadaan statis apabila tekanan berubah. Fluida demikian dinamakan Dapat Dimampatkan (*Compressible*) dan diperlakukan sebagai udara statik (*Aerostatic*).

II.4 CONTOH - CONTOH ALIRAN

Dari penjelasan diatas, aliran fluida dapat digolongkan menjadi 5 kelompok besar. Namun pada kenyataannya suatu aliran adalah merupakan gabungan dari jenis - jenis diatas .

- Suatu aliran yang besarnya tetap melalui pipa yang

panjang dan penampangnya sama adalah merupakan aliran tetap dan seragam.

- Aliran cairan yang besarnya sama dan tetap melalui suatu pipa dengan penampang yang semakin membesar atau mengecil, merupakan suatu contoh aliran tetap tak seragam.
- Jika besarnya aliran bertambah atau berkurang dalam hubungannya dengan waktu pada suatu penampang tetap atau penampang yang berubah, maka hasilnya masing - masing adalah suatu aliran tidak tetap, seragam dan suatu aliran tidak tetap tidak seragam.
- Antara aliran laminar dan turbulen dengan aliran subkritis dan superkritis dapat dilakukan penggolongan yang didasarkan pada harga bilangan Froude dan bilangan Reynold. Penggolongan itu adalah sebagai berikut :

a. Laminar Subkritis : $F_n < 1,0$; $R_n \leq 500$

b. Laminar Superkritis : $F_n > 1,0$; $R_n \leq 500$

c. Turbulen Subkritis : $F_n < 1,0$; $R_n \geq 2000$

d. Turbulen Superkritis: $F_n > 1,0$; $R_n \geq 2000$

Aliran adalah kritis apabila $F_n = 1,0$ dan selanjutnya aliran itu adalah dalam keadaan peralihan (transisi) apabila $500 < R_n < 2000$.

II.5 KONSEP SINAMBUNG

Fluida tersusun dari molekul - molekul yang mem-

punya ruangan dengan ciri - ciri tersendiri dalam gerakan dan tumbukan yang tetap. Analisis gerakan fluida yang tepat memerlukan pengetahuan tentang tingkah laku dari masing - masing molekul - molekul atau kelompok - kelompok molekul dalam gerakan. Namun demikian, di dalam kebanyakan masalah teknik indikasi yang dapat diukur secara rata - rata dari tingkah laku kelompok - kelompok molekul secara umum sudah cukup. Petunjuk tersebut dapat dianggap tepat untuk membangun distribusi molekul yang terus menerus, yang disebut sebagai Sinambung (*Continuum*) sebagai pengganti dari molekul yang mempunyai ciri - ciri tersendiri yang ada dalam kenyataan.

Dengan demikian didalam mekanika fluida umumnya (termasuk hidrodinamika didalamnya), istilah massa jenis, tekanan, temperatur, viskositas, kecepatan dan sebagainya merupakan manifestasi rata - rata dari jumlah tersebut pada suatu titik fluida yang merupakan kebalikan dari tingkah laku masing - masing molekul atau partikel - partikel. Penerapan model sinambung menunjukkan bahwa semua ukuran dalam ruang fluida sangat luas bila dibandingkan dengan lintasan bebas rata - rata molekuler (jarak rata - rata yang dilintasi oleh molekul - molekul antara tumbukan). Hal ini menunjukkan bahwa semua sifat fluida adalah terus menerus dari suatu titik ke titik lain pada seluruh isi fluida yang ditentukan dan tidak tergantung pada waktu.

Apabila diberikan suatu vektor v (kecepatan linier)

dari fluida pada suatu titik P (x,y,z) pada saat t detik, di mana v_x, v_y, v_z merupakan komponen - komponen dari v pada ketiga sumbu koordinatnya. Untuk menghitung harga variabel - variabel dari suatu fungsi $F(x,y,z,t)$ yang menggerakkan partikel dari fluida, pada saat $t + \delta t$, maka pada partikel yang tadinya P (x,y,z) sekarang menjadi Q (x + δx , y + δy , z + δz) dimana Q adalah komponen dari kecepatan linier yaitu Q (x + $v_x \delta t$, y + $v_y \delta t$, z + $v_z \delta t$). Maka harga F pada Q adalah

$$\begin{aligned}
 & F(x + v_x \delta t, y + v_y \delta t, z + v_z \delta t, t + \delta t) \\
 &= F + \frac{\partial F}{\partial x} v_x \delta t + \frac{\partial F}{\partial y} v_y \delta t + \frac{\partial F}{\partial z} v_z \delta t \\
 &\quad + \frac{\partial F}{\partial t} \delta t \dots\dots\dots(2.3)
 \end{aligned}$$

$$= F + \left[\frac{\partial F}{\partial x} v_x + \frac{\partial F}{\partial y} v_y + \frac{\partial F}{\partial z} v_z + \frac{\partial F}{\partial t} \right] \delta t \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk selanjutnya digunakan suatu simbol D/Dt yang dimaksudkan adalah differensial menurut gerak fluida, dengan demikian F bisa didefinisikan dengan lebih singkat sebagai $F + \left[\frac{DF}{Dt} \right] \delta t$

Dan dari (2.4) didapatkan :

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + v_x \frac{\partial F}{\partial x} + v_y \frac{\partial F}{\partial y} + v_z \frac{\partial F}{\partial z} \dots\dots(2.5)$$

atau dapat ditulis :

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + v \cdot \nabla F \dots\dots(2.6)$$

di mana persamaan (2.6) adalah scalar product dari vektor v dan vektor ∇F , ∇ (del) adalah operator gradien vektor, dan ∇F adalah gradien dari skalar F .

Untuk menambah kecepatan partikel pada fluida, substitusikan v pada F dari (2.6)

$$\frac{D v}{D t} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \quad \dots\dots(2.7)$$

Jika rata - rata kecepatan angular di mana saja adalah nol, maka v dapat didefinisikan sebagai vektor irrotasional yang bisa ditulis dengan :

$$v = - \nabla \phi \quad \dots\dots(2.8)$$