

BAB V

KINEMATIKA FLUIDA

Tujuan Intruksional Umum (TIU)

Mahasiswa diharapkan dapat merencanakan suatu bangunan air berdasarkan konsep mekanika fluida, teori hidrostatisa dan hidrodinamika.

Tujuan Intruksional Khusus (TIK)

1. Mahasiswa dapat menjelaskan pengertian garis arus dan pipa arus
2. Mahasiswa dapat menerangkan pengertian percepatan dan debit aliran
3. Mahasiswa dapat merumuskan persamaan kontinuitas

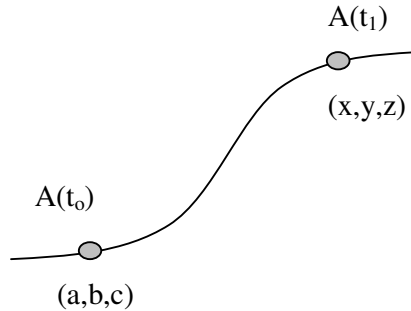
5.1. Pendahuluan

Kinematika adalah tinjauan gerak partikel zat cair tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkan gerak tersebut. Kinematika mempelajari kecepatan di setiap titik dalam medan aliran pada setiap saat. Di dalam aliran zat cair, pergerakan partikel-partikel zat tersebut sulit diamati, oleh karena itu biasanya digunakan kecepatan pada suatu titik sebagai fungsi waktu untuk mendefinisikan pergerakan partikel. Setelah kecepatan didapat, maka dapat diperoleh distribusi tekanan dan gaya yang bekerja pada zat cair.

5.2. Garis Arus (*streamlines*) Dan Pipa Arus (*streamtubes*)

Garis arus (*streamline*) adalah kurva khayal yang ditarik di dalam aliran zat cair untuk menunjukkan arah gerak di berbagai titik dalam aliran dengan mengabaikan fluktuasi sekunder yang terjadi akibat turbulensi. Partikel-partikel

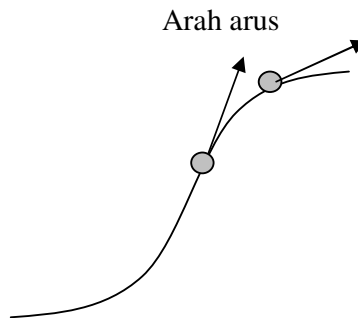
zat cair pada pergerakannya akan bergerak melalui suatu garis lintasan (*path line*) tertentu.



Gambar 5.1. Lintasan gerak partikel zat cair

Koordinat partikel $A(x,y,z)$ pada waktu t_1 , adalah tergantung pada koordinat awalnya (a,b,c) pada waktu t_0 . Oleh karena garis lintasan sulit digambarkan untuk masing-masing partikel, maka untuk menggambarkan gerakan fluida dikenalkan suatu karakteristik aliran yaitu *kecepatan* (v) dan *tekanan* (p).

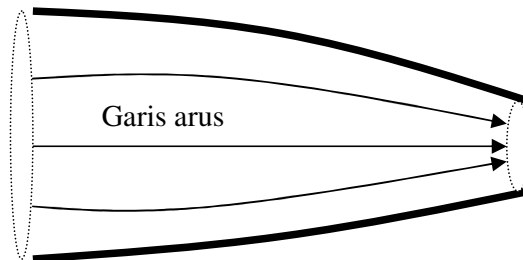
Garis singgung yang dibuat di sembarang titik pada lintasan partikel menunjukkan arah arus dan kecepatan partikel zat cair tersebut.



Gambar 5.2. Arah arus gerak partikel zat cair

Garis arus tidak akan saling berpotongan atau bertemu. Apabila sejumlah arus ditarik melalui setiap titik di sekeliling suatu luasan kecil maka akan terbentuk suatu tabung arus (*streamtubes*). Oleh karena tidak ada aliran yang memotong

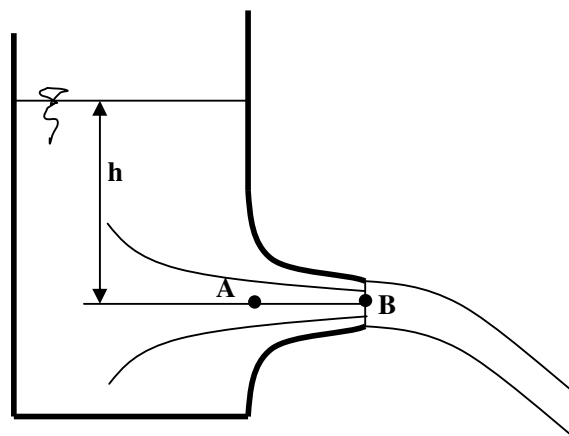
garis arus, maka zat cair tidak akan keluar melalui dinding tabung. Aliran hanya akan masuk dan keluar melalui kedua ujung tabung arus. Gambar 5.3 menunjukkan suatu tabung arus.



Gambar 5.3. Tabung arus

5.3. Percepatan Dalam Aliran Air

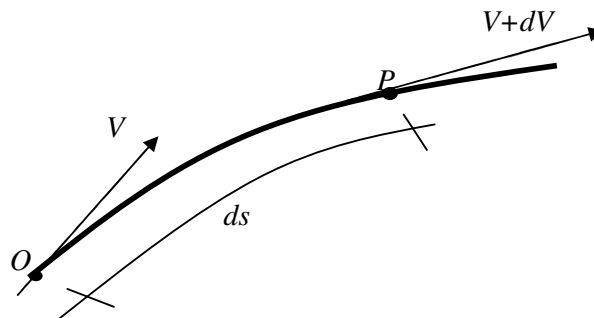
Percepatan partikel zat cair yang bergerak didefinisikan sebagai laju perubahan kecepatan. Laju perubahan kecepatan ini bisa disebabkan oleh perubahan geometri medan aliran atau karena perubahan waktu. Dipandang suatu aliran melalui curat dengan tampang lintang mengecil dari sebuah tangki seperti tampak pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Aliran melalui curat

Apabila tinggi muka air dari sumbu curat adalah tetap, maka aliran melalui curat akan permanen dan kecepatan pada suatu titik adalah tetap terhadap waktu. Tetapi karena adanya pengecilan tampang curat, maka aliran disepanjang curat akan dipercepat. Perubahan kecepatan karena adanya perubahan tampang aliran disebut dengan percepatan konveksi. Apabila tinggi muka air berubah (bertambah atau berkurang) maka kecepatan aliran di suatu titik dalam curat akan berubah dengan waktu, yang berarti aliran di titik tersebut mengalami percepatan. Percepatan ini disebut dengan percepatan lokal yang terjadi karena adanya perubahan aliran menurut waktu. Dengan demikian apabila permukaan zat cair selalu berubah maka aliran di dalam curat akan mengalami percepatan konveksi dan lokal. Gabungan dari kedua percepatan tersebut dikenal dengan percepatan total, dan aliran yang terjadi merupakan aliran tak mantap.

Perhatikan Gambar 5.5 yang menunjukkan lintasan dari gerak partikel zat cair. Partikel tersebut bergerak dari titik O sampai ke titik P . Panjang lintasan OP adalah ds . Di titik O kecepatan partikel adalah V dan di titik P kecepatannya menjadi $V+dV$. Selama gerak tersebut kecepatan partikel tidak tetap, tetapi berubah dengan waktu dan ruang.



Gambar 5.5. Lintasan gerak zat cair

Secara matematis dapat ditulis :

$$V = V(t, s) \quad (5.1)$$

Percepatan partikel selama gerak tersebut adalah :

$$a = \frac{dV}{dt} \quad (5.2)$$

Diferensial dV ditulis dalam bentuk diferensial parsial :

$$dV = \frac{\partial V}{\partial t} dt + \frac{\partial V}{\partial s} ds \quad (5.3)$$

Substitusi persamaan (5.3) ke dalam persamaan (5.2) dan karena $V = ds/dt$ maka di dapat :

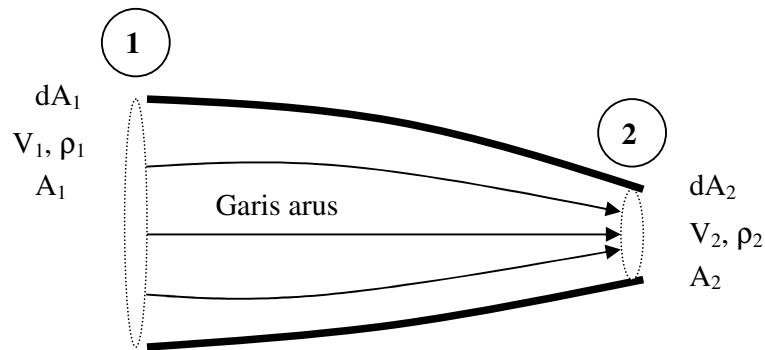
$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial s} \quad (5.4)$$

Dimana dV/dt merupakan percepatan total yang terdiri dari percepatan lokal ($\partial V/\partial t$) dan percepatan konveksi ($\partial V/\partial s$).

5.4. Persamaan Kontinuitas

Apabila zat cair tak mampu mampat (*incompressible*) mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran, dengan tampang aliran tetap ataupun tidak tetap, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Keadaan ini disebut dengan persamaan kontinuitas aliran zat cair.

Dipandang tabung aliran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6, untuk aliran satu dimensi dan mantap, kecepatan rerata dan tampang lintang pada titik 1 dan 2 adalah V_1, dA_1 dan V_2, dA_2 .



Gambar 5.6. Tabung aliran

Volume zat cair yang masuk melalui tampang 1 tiap satuan waktu adalah $V_1 dA_1$, dan volume zat cair yang keluar dari tampang 2 tiap satuan waktu adalah $V_2 dA_2$.

Oleh karena tidak ada zat cair yang hilang di dalam tabung aliran, maka:

$$V_1 \cdot dA_1 = V_2 \cdot dA_2 \quad (5.5)$$

Untuk seluruh luasan pipa

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (5.6)$$

Atau

$$Q = A \cdot V = \text{tetap} \quad (5.7)$$

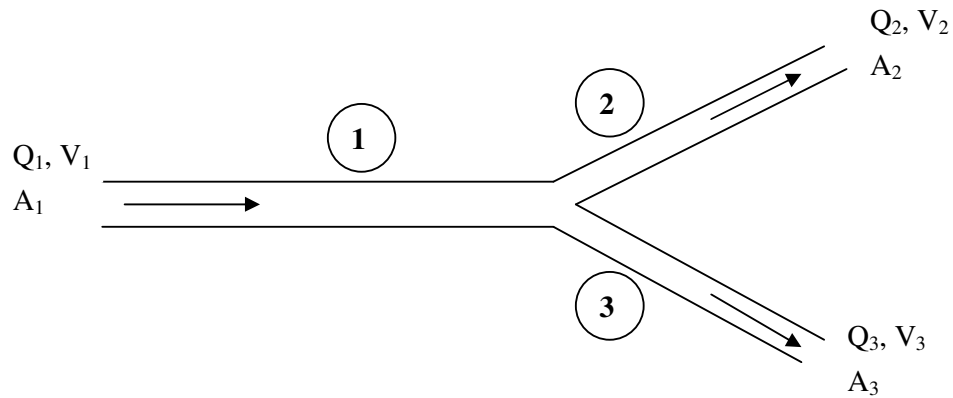
Dimana :

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan aliran (m/det)

Persamaan (5.7) dikenal dengan persamaan kontinuitas untuk zat cair tak mampu mampat.

Pada pipa bercabang (Gambar 5.7), maka debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit aliran yang meninggalkan titik tersebut.



Gambar 5.7. Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang

Maka berlaku:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (5.8)$$

Atau :

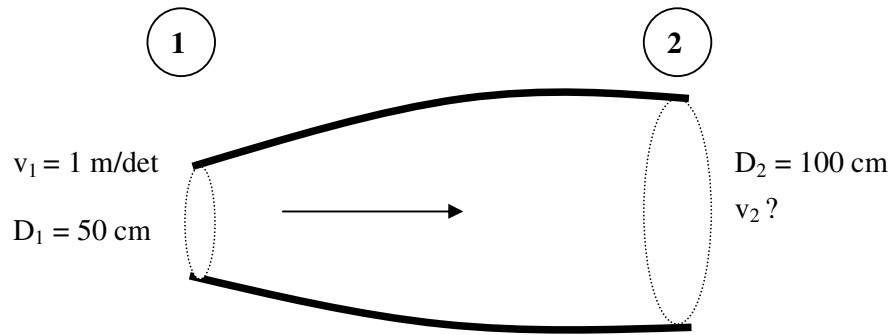
$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3 \quad (5.9)$$

Biasanya debit aliran menuju titik cabang diberi tanda positif dan yang meninggalkan diberi tanda negatif, sehingga jumlah aliran pada percabangan adalah nol.

$$\Sigma Q = 0 \quad (5.10)$$

5.5. Pelatihan

- 1). Diketahui air mengalir pada suatu pipa dengan diameter 50 cm dan pipa berubah beraturan sehingga pada ujung yang lain diameternya 100 cm. Ditanyakan berapakah kecepatan diujung 2 atau v_2



Penyelesaian

$$D_1 = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_1^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,5^2 = 0,1963 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 1 \text{ m/det}$$

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1$$

$$= 0,1963 \cdot 1$$

$$= 0,1963 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$D_2 = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1^2 = 0,7854 \text{ m}^2$$

Persamaan kontinuitas :

$$Q_1 = Q_2$$

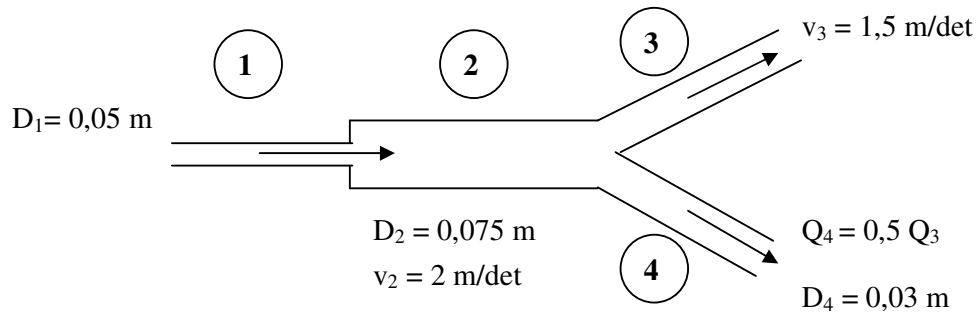
$$0,1963 = v_2 \cdot A_2$$

$$v_2 = \frac{0,1963}{0,7854}$$

$$= 0,25 \text{ m/det}$$

Jadi : kecepatan aliran diujung 2 adalah $v_2 = 0,25 \text{ m/det}$.

2). Suatu sistem pipa cabang sebagai berikut :



Hitunglah : Q_1 , v_1 , Q_2 , D_3 dan v_4 .

Penyelesaian

$$Q_2 = A_2 \cdot v_2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,075^2 \cdot 2 = 0,008836 \text{ m}^3/\text{det} = 8,836 \text{ l/det.}$$

$$Q_1 = Q_2 = 8,836 \text{ l/det}$$

$$A_1 \cdot v_1 = 8,836 \text{ l/det}$$

$$v_1 = \frac{8,836 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{4} \pi \cdot 0,05^2} = 4,5 \text{ m/det}$$

$$Q_2 = Q_3 + Q_4$$

$$= Q_3 + 0,5 Q_3$$

$$= 1,5 Q_3$$

$$Q_3 = \frac{Q_2}{1,5} = \frac{0,008836}{1,5} = 0,00589 \text{ m}^3/\text{det} = 5,89 \text{ l/det}$$

$$A_3 = \frac{Q_3}{v_3}$$

$$= \frac{0,00589}{1,5}$$

$$= 0,003927 \text{ m}^2$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{A_3}{\frac{1}{4} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003927}{\pi}}$$

$$= 0,071 \text{ m}$$

$$Q_4 = A_4 \cdot v_4$$

$$\frac{1}{2} \cdot v_3 \cdot A_3 = A_4 \cdot v_4$$

$$v_4 = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,003927}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,03^2} = 4,17 \text{ m/det}$$