

9.3.2 Drag Tekanan

Drag tekanan, \mathcal{D}_p , adalah bagian dari drag yang langsung disebabkan oleh tekanan, p , pada sebuah benda. Drag ini sering disebut sebagai drag bentuk karena ketergantungan yang sangat kuat pada bentuk dari benda. Drag tekanan adalah fungsi dari besarnya tekanan dan orientasi arah elemen permukaan di mana gaya tekanan tersebut bekerja. Sebagai contoh, gaya tekanan pada kedua sisi pelat datar sejajar aliran mungkin saja sangat besar, tetapi gaya tersebut tidak berkontribusi pada drag karena gaya tersebut bekerja pada arah tegak lurus terhadap kecepatan hulu. Sebaliknya, gaya tekanan pada pelat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan keseluruhan drag.

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, pada sebagian besar benda, terdapat bagian pada permukaan yang sejajar dengan aliran hulu, dan yang lainnya tegak lurus terhadap kecepatan hulu, dan sebagian besar lainnya pada orientasi arah dengan sudut di antaranya. Drag tekanan dapat juga diperoleh dari Persamaan 9.1 jika terdapat gambaran terperinci dari distribusi tekanan dan bentuk benda yang diberikan. Artinya,

$$\mathcal{D}_p = \int p \cos \theta \, dA$$

yang dapat dituliskan kembali dalam koefisien drag tekanan, C_{Dp} , sebagai

$$C_{Dp} = \frac{\mathcal{D}_p}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} = \frac{\int p \cos \theta \, dA}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} = \frac{\int C_p \cos \theta \, dA}{A} \quad (9.37)$$

Di sini $C_p = (p - p_o)/(\rho U^2/2)$ adalah koefisien tekanan, di mana p_o adalah tekanan acuan. Besarnya tekanan acuan tidak mempengaruhi drag secara langsung karena gaya tekanan netto pada benda adalah nol jika tekanan konstan (yaitu p_o) pada seluruh permukaan.

Untuk aliran-aliran yang efek inersianya relatif besar terhadap efek viskos (yaitu aliran dengan bilangan Reynolds besar), perbedaan tekanan, $p - p_o$ berbanding langsung dengan tekanan dinamik, $\rho U^2/2$, dan koefisien tekanan tidak tergantung pada bilangan Reynolds. Dalam situasi tersebut, kita perkirakan bahwa koefisien drag relatif tidak tergantung pada bilangan Reynolds.

Untuk aliran-aliran yang efek viskosnya relatif lebih besar terhadap efek inersia (yaitu aliran dengan bilangan Reynolds kecil), didapati bahwa baik perbedaan tekanan dan tegangan geser dinding berbanding langsung dengan tegangan viskos karakteristik, $\mu U/\ell$, di mana ℓ adalah panjang karakteristik. Dalam situasi seperti itu kita perkirakan koefisien drag sebanding dengan $1/Re$. Artinya $C_D \sim \mathcal{D}/(\rho U^2/2) \sim (\mu U/\ell)/(\rho U^2/2) \sim \mu/\rho U \ell = 1/Re$. Karakteristik ini serupa dengan ketergantungan faktor gesekan $f \sim 1/Re$ untuk aliran pipa laminar dan $f \sim \text{konstan}$ untuk aliran dengan bilangan Reynolds besar (lihat Subbab 8.4)

Jika viskositas nol, drag tekanan pada setiap benda berbentuk apapun (simetris atau tidak) dalam aliran tunak akan bernilai nol. Mungkin akan terdapat gaya tekanan yang besar pada bagian depan benda, tetapi mungkin akan terdapat gaya tekanan yang sama besar (dan arahnya berlawanan) pada bagian belakang. Jika viskositasnya tidak nol, drag tekanan netto mungkin

Drag tekanan (bentuk) adalah drag yang dihasilkan oleh tegangan normal

Koefisien tekanan adalah bentuk tak berdimensi dari tekanan.

tidak nol karena separasi lapisan batas seperti yang dibahas pada Subbab 9.2.6. Contoh 9.9 mengilustrasikan hal ini.

CONTOH 9.9

Fluida viskos tak mampu-mampat mengalir melewati sebuah silinder bundar yang ditunjukkan dalam Gambar C9.9a. Koefisien tekanan pada permukaan silinder (yang ditentukan dari pengukuran eksperimen) ditunjukkan dalam Gambar C9.9a. Tentukan koefisien *drag* tekanan untuk aliran ini. Gabungkan hasil dari Contoh 9.8 dan 9.9 untuk menentukan koefisien *drag* pada silinder bundar. Bandingkan hasil tersebut dengan yang diberikan oleh Gambar 9.21.

PENYELESAIAN

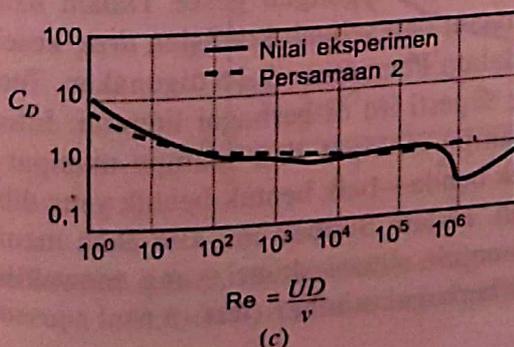
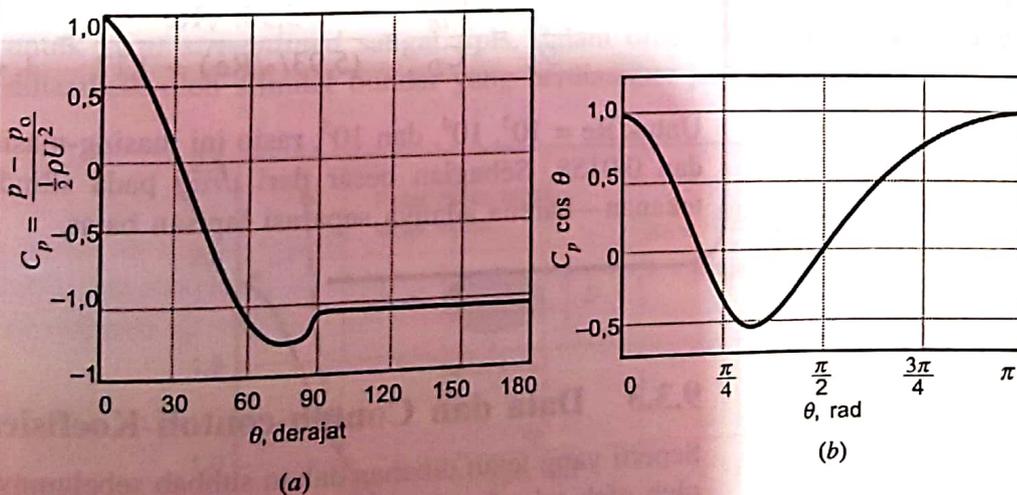
Koefisien *drag* tekanan (bentuk), C_{Dp} , dapat ditentukan dari Persamaan 9.37 sebagai

$$C_{Dp} = \frac{1}{A} \int C_p \cos \theta \, dA = \frac{1}{bD} \int_0^{2\pi} C_p \cos \theta \, b \left(\frac{D}{2}\right) d\theta$$

atau karena simetri

$$C_{Dp} = \int_0^{\pi} C_p \cos \theta \, d\theta$$

di mana b dan D adalah panjang dan diameter dari silinder. Untuk mendapatkan C_{Dp} , kita harus mengintegrasikan fungsi $C_p \cos \theta$ dari $\theta = 0$ sampai $\theta = \pi$ radian. Sekali lagi, hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengintegralan numerik atau dengan menentukan luas di bawah kurva yang ditunjukkan dalam Gambar C9.9b. Hasilnya adalah



■ GAMBAR C9.9

$$C_{Dp} = 1,17 \quad (1) \text{ (Jawaban)}$$

Perhatikan bahwa tekanan positif di bagian depan dari silinder ($0 \leq \theta \leq 30^\circ$) dan tekanan negatif (kurang dari nilai hulunya) di bagian belakang ($90 \leq \theta \leq 180^\circ$) menghasilkan kontribusi positif pada *drag*. Tekanan negatif pada bagian depan silinder ($30 < \theta < 90^\circ$) mengurangi *drag* dengan tarikan pada silinder ke arah hulu. Luas positif di bawah kurva $C_p \cos \theta$ lebih besar daripada luas negatif—terdapat *drag* tekanan netto. Jika tidak ada viskositas, kedua kontribusi ini akan sama besar—sehingga tidak akan terdapat *drag* tekanan (atau gesekan)

Drag netto pada silinder adalah jumlah dari *drag* gesekan dan tekanan. Jadi dari Persamaan 1, pada Contoh 9.8, dan Persamaan 1 pada contoh ini, kita mendapatkan koefisien *drag*

$$C_D = C_{Df} + C_{Dp} = \frac{5,93}{\sqrt{Re}} + 1,17 \quad (2) \text{ (Jawaban)}$$

Hasil ini dibandingkan dengan nilai eksperimental standar (yang diperoleh dari Gambar 9.21) di dalam Gambar C9.9c. Kesesuaiannya sangat baik untuk kisaran bilangan Reynolds yang cukup luas. Untuk $Re < 10$, kurva-kurva divergen karena aliran bukan lagi aliran jenis lapisan batas—tegangan geser dan distribusi tekanan yang digunakan untuk mendapatkan Persamaan 2 tidak berlaku di dalam kisaran ini. Divergensi yang drastis pada kurva-kurva untuk $Re > 3 \times 10^5$ disebabkan oleh perubahan dari lapisan batas laminar menjadi turbulen, dengan perubahan distribusi tekanan yang berkaitan. Hal ini dibahas dalam Subbab 9.3.3.

Menarik untuk membandingkan *drag* gesekan dengan *drag* total pada silinder. Artinya,

$$\frac{\mathcal{D}_f}{\mathcal{D}} = \frac{C_{Df}}{C_D} = \frac{5,93/\sqrt{Re}}{(5,93/\sqrt{Re}) + 1,17} = \frac{1}{1 + 0,197 \sqrt{Re}}$$

Untuk $Re = 10^3$, 10^4 , dan 10^5 , rasio ini masing-masing adalah 0,138, 0,0483 dan 0,0158. Sebagian besar dari *drag* pada silinder tumpul adalah *drag* tekanan—karena adanya separasi lapisan batas.