

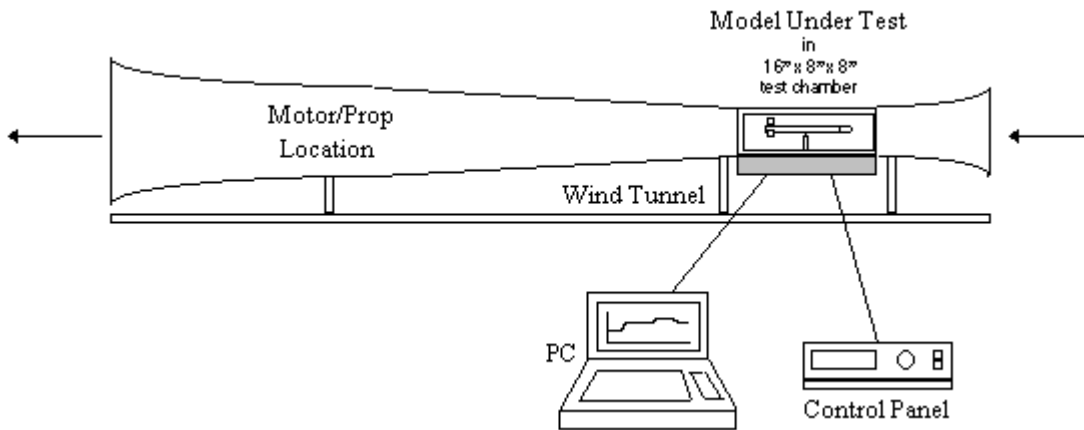
Tajuk : Flow In Wind Tunnel

Objektif

- Untuk menentukan Daya Seretan ke atas badan selinder.
- Untuk menentukan tekanan , halaju, pekali seretan dan jenis aliran yang jadi pada permukaan silinder yang diuji..

Radas

Paip selinder berdiameter 160mm, Anemometer, tolok tekanan, plaster sin, tiub tembaga, tiub plastic, penimbang air, gergaji, gerudi, pembaris, jangka sudut dan Mesin terowong angin



Gambarajah Mesin terowong angin

Teori

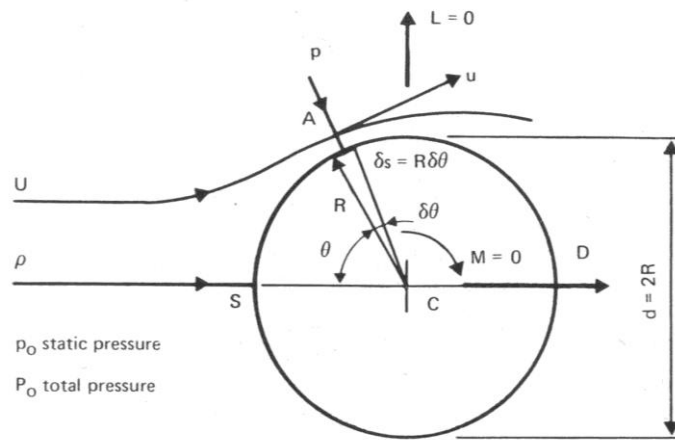
- Daya seretan ditakrifkan sebagai daya mekanikal yang dihasilkan oleh bahan pepejal melalui bendalir (fluid).
- Persamaan daya seretan ialah satu praktikal yang digunakan untuk mengira satu daya yang bertindak ke atas satu objek melalui aliran bendalir. Persamaan ini digunakan oleh Lord Rayleigh yang pada asalnya menggunakan L^2 sebagai A (L adalah linear dimensi).

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A$$

Daya bagi objek yang bergerak untuk suatu bendalir adalah seperti berikut:

- F_D Daya Seretan. SI Unit: N
- C_D Pekali Seretan. SI Unit: Dimensi
- A Luas keratan rentas objek . SI Unit: m^2
- ρ Ketumpatan bendalir. SI Unit: kg/m^3
- v Halaju relatif. SI Unit: m/s

- Dengan menganggap tekanan dan pekali geseran permukaan mempunyai kaitan dengan pekali seretan. Pertimbangkan luas suatu permukaan kecil sebagai δs di sepanjang permukaan pada titik dimana daya normal bertindak pada sudut, θ pada arah halaju U_∞ , seperti dalam gambarajah di bawah:



Rajah 2 Selinder bulat

- Elemen seretan δD yang berkaitan p dan τ adalah:

$$\delta D = \oint (p \cos \theta + \tau \sin \theta) dS \quad (2)$$

dimana $dS = R d\theta$.

- Kamiran disekeliling silinder

$$D = \int_S (p \cos \theta + \tau \sin \theta) dS \quad (3)$$

dimana S adalah keluasan silinder

- Seterusnya ia boleh ditulis sebagai

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 dl} = \frac{1}{dl} \int_S \left(\frac{p}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \cos \theta + \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \sin \theta \right) dS \quad (4)$$

atau

$$C_D = \frac{1}{dl} \int_S (c_p \cos \theta + c_f \sin \theta) dS \quad (5)$$

- Ini juga boleh ditulis sebagai

$$C_L = \frac{1}{dl} \int_S (-c_p \sin \theta + c_f \cos \theta) dS \quad (6)$$

- Ini menunjukkan, seretan bagi silinder mungkin boleh didapati dengan mengukur p dan τ pada permukaan dan mengira pekali seretan dengan menggunakan persamaan (5). Dengan ini adalah mudah untuk mendapatkan taburan p di permukaan silinder dengan membuat lubang-lubang pada permukaan silinder tersebut. Bagi silinder, nilai seretan yang wujud daripada tegasan ricih ('*skin friction drag*') adalah terlalu kecil daripada tekanan ('*pressure drag*') dan boleh diabaikan.

$$\delta s = lR\delta\theta = \frac{ld}{2}d\theta \quad (7)$$

- Bagi silinder, persamaan (5) boleh diringkaskan menjadi ;

$$C_D = \frac{1}{2} \int_C p \cos\theta \, d\theta \quad (8)$$

- Pertimbangkan silinder adalah simetri, kita boleh menganggap $C_L = C_M = 0$
- Kita boleh menggunakan persamaan (8) untuk mengira nilai C_D dengan mendapatkan taburan tekanan di permukaan silinder.
- Pada titik S pada rajah 2, aliran udara adalah daripada keadaan rehat. S dikenali sebagai titik kekal dan aliran udara yang tiba di titik S membahagi aliran tersebut. Bergerak mengelilingi selinder di titik S, kita jangkakan kelajuan bertambah melebihi permukaan dan meningkat dari 0 ke titik S. Daripada analisis yang dibuat, kelajuan tangen, u melebihi permukaan yang diberi dalam sudut θ seperti persamaan ringkas berikut:

$$\frac{u}{U_\infty} = 2\sin\theta \quad (9)$$

- Persamaan Bernoulli dapat di tulis sebagai tekanan mutlak, p_a pada A adalah seperti berikut:

$$P_\infty = p_\infty + \frac{1}{2}\rho U_\infty^2 = p_a + \frac{1}{2}\rho u^2 \quad (10)$$

- Tolok tekanan pada A:

$$p = p_a - p_\infty = \frac{1}{2}\rho U_\infty^2 - \frac{1}{2}\rho u^2 \quad (11)$$

- Daripada persamaan (9)

$$p = \frac{\rho U_{\infty}^2}{2} (1 - 4 \sin^2 \theta) \quad (12)$$

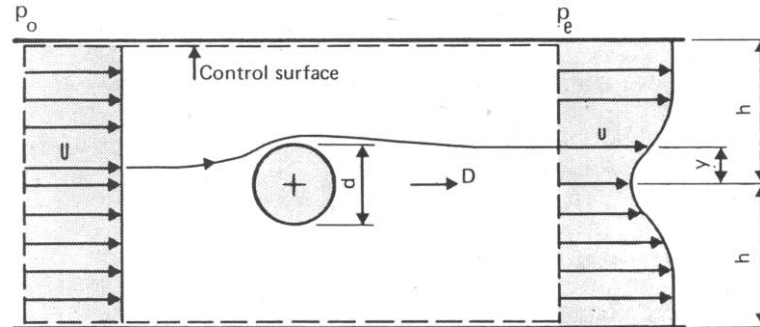
- Jadi pekali tekanan c_p ialah:

$$c_p = 1 - 4 \sin^2 \theta \quad (13)$$

Keputusan daripada teori ini adalah untuk *incompressible, inviscid fluid, and forms the basis of comparison* dengan keputusan ujikaji.

PENGUKURAN GESERAN DARIPADA KAEDAH PEMERHATIAN *WAKE*

Terdapat perbezaan untuk mendapatkan seretan pada selinder diman bergantung kepada aplikasi daripada persamaan kamiran momentum kepada aliran udara.



Rajah 3, Aplikasi daripada persamaan momentum untuk aliran udara sepanjang terowong melepasi badan selinder.

Halaju adalah U_{∞} dan tekanan adalah p_{∞} *in the oncoming flow*. Aliran arus di bawah silinder tidak lagi seragam, biarkan arus u pada jarak y dari garis pusat saluran. Tekanan yang melintasi bahagian aliran bawah dianggap seragam dan mempunyai nilai P_e . Ia mudah dirujuk pada bahagian sempadan aliran atas, bahagian aliran bawah dan dinding saluran sebagai isipadu dikawal dan terbentuk permukaan oleh sempadan sebagai pengawal permukaan. Daya dalam arah-x bertindak ke atas bendalir dalam isipadu terkawal adalah :

pada bahagian aliran atas, $2hp_\infty l$

pada bahagian aliran bawah, $-2hp_e l$

pada silinder, $-D$

Tanda negatif menunjukkan daya silinder ke atas bendalir, di mana ia adalah sama dan bertentangan dengan daya bendalir ke atas silinder. Daya tegasan ricih dan berat bendalir diabaikan. *Momentum flux* pada bahagian aliran bawah :

$$l \int_{-h}^h \rho u^2 dy \quad (14)$$

Dan pada bahagian aliran atas

$$l \int_{-h}^h \rho U_\infty^2 dy \quad (15)$$

Daya bersih dalam arah-x kepada *momentum flux* (Reynolds transport theorem) memberikan :

$$2hlp_\infty - 2hlp_e - D = l \int_{-h}^h (\rho u^2 - \rho U_\infty^2) dy \quad (16)$$

Disusun semula

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 dl} = \frac{2h(p_\infty - p_e)}{\frac{1}{2} \rho d U_\infty^2} + \frac{2}{d} \int_{-h}^h \left(1 - \frac{u^2}{U_\infty^2} \right) dy \quad (17)$$

Dengan menggantikan $y = \eta h$ kita memperolehi:

$$C_D = \frac{2h(P_\infty - P_e)}{\frac{1}{2} \rho d U_\infty^2} + \frac{2h}{d} \int_{-1}^1 \left(1 - \frac{u^2}{U_\infty^2} \right) d\eta \quad (18)$$

Persamaan (18) memberikan nilai purata untuk mengira nilai C_D daripada kejatuhan tekanan sepanjang saluran dan taburan halaju. Pembuktian di atas tidak untuk mendapatkan keputusan tekanan seretan sahaja. Taburan tekanan dan daya geseran juga menyumbang kepada perubahan momentum dan termasuk dalam nilai D .

Daripada persamaan (19) dapat dihubungkan bahawa Nombor Reynolds boleh menentukan pekali seretan C_d melalui bacaan daripada graf Re lawan C_d pada paip licin

$$Re = \frac{\rho V_{\infty} d}{\mu} \quad (19)$$

Di mana

- l = panjang selinder
- d = diameter selinder
- μ = kelikatan udara
- ρ = ketumpatan udara
- V_{∞} = halaju udara

Data Analisis

Data Asas	:Diameter Paip	= 160 mm
	Panjang Paip	= 470 mm
	Bahan Paip	= PVC

Untuk Udara pada 28° C

Kelikatan dinamik, μ = $1.850 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

(Daripada Jadual Sutherland's Relation)

Ketumpatan Udara, ρ = $1.172 \text{ kg}/\text{m}^3$

Nilai C_D (Di baca daripada jadual Lampiran 1) = 1.2 & 1 (1th edition in SI Units , John M.Cimbala. lihat m/s 585

Kaedah/Prosedur

- 1) Radas seperti di dalam rajah disediakan.
- 2) Selinder nipis berdiameter 160mm diletakkan di bahagian pengujian mesin terowong angin.
- 3) Muncung tiub pitot dilekatkan pada bahagian selinder mengikut sudut yang ditetapkan.
- 4) Manometer tiub U disambungkan pada bahagian tiub pitot untuk mengukur turus tekanan mengikut sudut 0° , 30° , 60° dan 90° .
- 5) Mesin terowong angin dihidupkan dan bacaan angin dicatatkan serta bacaan Anemometer di ambil.
- 6) Ujikaji ini diulangi dengan empat (4) kelajuan yang berbeza.

Keputusan Dan Pengiraan

Contoh Pengiraan Bagi Data Ujikaji

Gunakan persamaan Bernoulli di antara bahagian terowong udara dari 1 ke 2

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\omega} = z_1 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\omega}$$

Sekiranya paid silinder berkeadaan mendatar $Z_1 = Z_2$ dan V_2 dianggapkan 0 kerana udara bahagian mulut tiub pitot tidak bergerak.

Persamaan Bernoulli menjadi,

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\omega_U} = \frac{P_2}{\omega_U}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\omega_U} \text{ (1)}$$

Tekanan pada monometer tiub-U adalah $P_2 - P_1$

$P_C = P_D$, pada aras yang sama

$$P_C = P_1 + \omega_U (x) + \omega_a (h_2)$$

$$P_D = P_2 + \omega_U (x) + \omega_a (h_1)$$

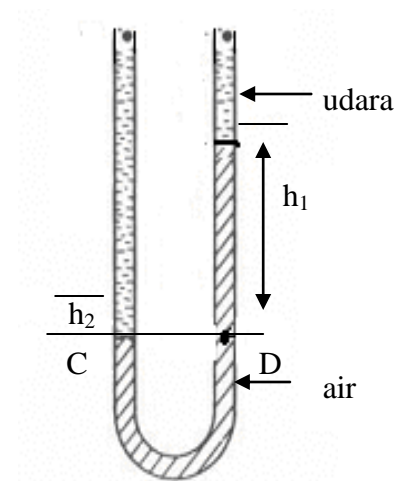
$$P_C = P_D$$

$$P_1 + \omega_U (x) + \omega_a (h_2) = P_2 + \omega_U (x) + \omega_a (h_1)$$

$$P_2 - P_1 = \omega_a (h_1 - h_2)$$

Masukkan $P_2 - P_1$ dalam persamaan (1)

$$\begin{aligned} \frac{V_1^2}{2g} &= \frac{\omega_a (h_1 - h_2)}{\rho_{u g}} \\ &= \frac{\rho_a g (h_1 - h_2)}{\rho_u g} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_1 &= \sqrt{(h_1 - h_2) \frac{(\rho_a - 1) \times 2g}{\rho_u}} \\
 &= \sqrt{(0.015) \frac{(1000 - 1) \times 19.62}{1.172}} \\
 &= 15.84 \text{ m/s.}
 \end{aligned}$$

Oleh itu,

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan } P_2 &= \rho g (h) \\
 &= 1000 \times (9.81) \times (0.015) \\
 &= 147.15 \text{ N / m}^2
 \end{aligned}$$

Renolds Nombor.

Dengan menggunakan data halaju pada terowong angin, Nombor Reynolds boleh didapati berdasarkan pada suhu bilik semasa ujikaji dijalankan bersamaan dengan 28°C, kelikatan yang didapati daripada jadual Sutherland's Relation yang diperolehi daripada www.aoe.vt.edu adalah , $\mu = 1.850 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Data yang diambil: $\rho_{\text{udara}} = 1.172 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.850 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $V_{\infty} = 10.6 \text{ m/s}$, $d = 160 \text{ mm}$ & $L = 470 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{\rho v d}{\mu} \\
 &= \frac{(1.17)(10.6)(0.16)}{1.850 \times 10^{-5}}
 \end{aligned}$$

$$= 10.74 \times 10^4$$

Oleh itu nilai Cd yang dibaca pada lampiran 1 adalah 1.2

Dengan menggunakan data halaju yang diukur dengan persamaan Bernoulli, Nombor Reynolds akan didapati berdasarkan pada suhu bilik semasa ujikaji dijalankan pada suhu 28°C, kelikatan yang didapati daripada jadual Sutherland's Relation yang diperolehi daripada www.aoe.vt.edu adalah , $\mu = 1.850 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Data yang diambil: $\rho_{\text{udara}} = 1.172 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.850 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $V = 15.85 \text{ m/s}$, $d = 160 \text{ mm}$ & $L = 470 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{\rho v d}{\mu} \\
 &= \frac{(1.17)(15.85)(0.16)}{1.850 \times 10^{-5}}
 \end{aligned}$$

$$= 16.03 \times 10^4$$

Merujuk daripada gambarajah pekali daya seretan untuk silinder & sfera didapati pada Nombor Reynolds bernilai 16.03×10^4 dan pada keadaan silinder licin bacaan C_d bernilai 1.00. Data tersebut diperolehi daripada Graf Drag Coeficient, C_d melawan Reynolds Number. Aliran yang berlaku pada ketika itu ialah aliran gelora

Oleh itu daya seretan,

$$\text{Bila } R_e = 16.03 \times 10^4,$$

$$\begin{aligned} \text{Dan } A &= dL \\ &= (0.16)(0.470) \\ &= 0.0752 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_d &= \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A \\ &= \frac{1}{2} (1.172)(15.85)^2 (1.2) (0.0752) \\ &= 13.26 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadual 1

$$V_u = 10.6 \text{ m/s}$$

$$R_e = 10.743 \times 10^4$$

$$C_d = 1.2$$

Sudut (θ)	P_2 (N/m^2)	Turus Tekanan Manometer Tiub U					
		h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1-h_2 (m)	Halaju v_1 (m/s)	Re $\times 10^4$	F_D (N)
0	147.5	305	290	0.015	15.84	16.07	13.26
30	98.1	240	230	0.010	12.93	13.1	8.84
60	0	235	235	0.000	0.00	0	0
90	-49.05	295	300	-0.005	-9.14	9.3	4.42

Jadual 2

$$V_u = 14.4 \text{ m/s}$$

$$R_e = 14.6 \times 10^4$$

$$C_d = 1$$

Sudut (θ)	P_2 (N/m^2)	Turus Tekanan Manometer Tiub U					
		h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1-h_2 (m)	Halaju v_1 (m/s)	Re $\times 10^4$	F_D (N)
0	294.3	310	280	0.030	22.40	22.7	22.10
30	49.05	235	230	0.005	9.14	92.8	3.68
60	-196.2	225	245	-0.020	-18.29	18.6	14.74
90	-196.2	285	305	-0.020	-18.29	18.6	14.74

Jadual 3

$$V_u = 20 \text{ m/s}$$

$$R_e = 20.3 \times 10^4$$

$$C_d = 1$$

Sudut (θ)	P_2 (N/m^2)	Turus Tekanan Manometer Tiub U					
		h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1-h_2 (m)	Halaju v_1 (m/s)	Re $\times 10^4$	F_D (N)
0	686.7	265	195	0.070	34.21	34.74	51.58
30	196.2	289	269	0.020	18.29	18.6	14.74
60	-196.2	285	305	-0.020	-18.29	18.6	14.74
90	-392.4	212	252	-0.040	-25.86	26.3	29.47

Jadual 4

$$V_u = 31 \text{ m/s}$$

$$R_e = 31.4 \times 10^4$$

$$C_d = 1$$

Sudut (θ)	P_2 (N/m^2)	Turus Tekanan Manometer Tiub U					
		h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1-h_2 (m)	Halaju v_1 (m/s)	Re $\times 10^4$	F_D (N)
0	735.75	330	255	0.075	35.41	36	55.26
30	49.05	160	155	0.005	9.14	92.8	3.68
60	-343.35	280	315	-0.035	-24.19	24.6	25.79
90	-882.90	185	275	-0.090	-38.79	39.4	66.31

Soalan

1. Lengkapkan jadual 1,2,3, dan 4
2. Lakarkan graf P melawan θ
3. Lakarkan graf F_D melawan θ
4. Bincangkan setiap graf yang telah dilakarkan.

Perbincangan

Data keputusan ujikaji yang kami perolehi, menepati teori-teori yang berkaitan yang telah dijelaskan. Di sekeliling silinder terdapat kawasan positif dan negatif bagi tekanan, P.

1. Merujuk pada jadual 1 apabila $\theta=0^\circ$ dan $\theta=30^\circ$ nilai tekanan, P adalah positif. Apabila $\theta=60^\circ$ diperolehi nilai tekanan, $P=0 \text{ N/m}^2$. Apabila $\theta=90^\circ$ nilai tekanan, P adalah negative. Keputusan ini mematuhi teori yang diberi pada persamaan (14) di mana bacaan pada graf F_D melawan sudut daya, F seretan mempunyai nilai 13.26N apabila

berada pada sudut, $\theta=0^\circ$ tiada menunjukkan daya seretan, ini menunjukkan garisan pemisah antara kawasan positif dan negative. Daya seretan akan kembali meningkat selepas garisan pemisah. Hanya Aliran gelora sahaja yang akan terjadi semasa aliran udara melintasi sistem . Dari pemerhatian, Nombor Reynolds $Re>4000$ terjadi disepanjang uji kaji dijalankan.

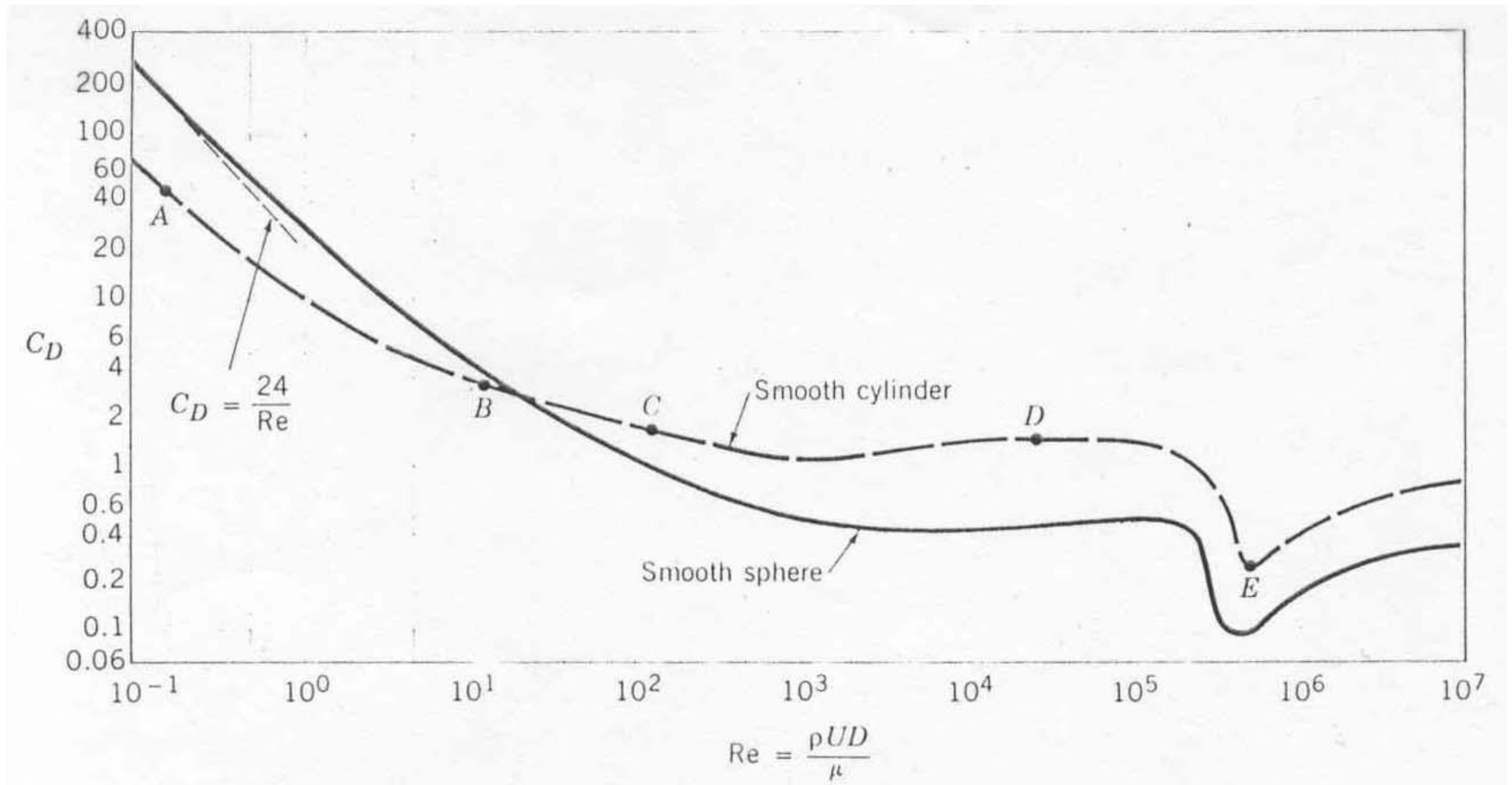
2. C_d adalah jumlah C_d tekanan ditambah dengan C_d geseran mengikuti teori. Dari pemerhatian C_d yang digunakan dari jenis paip licin ini bermakna tiada pekali geseran oleh itu C_d adalah C_d tekanan. Untuk paip licin C_d yang diperolehi dari pemerhatian dari lampiran 1 menunjukkan nilai C_d 1.2 hingga 1 hasil daripada nilai halaju udara semasa amali dijalankan iaitu (10.6 ,14.4 , 20 , 31)m/s dan Re , (10.743 hingga 31.4) $\times 10^4$.
3. Dari pemerhatian pada ketiga – tiga graf F_d melawan θ , semakin besar sudut daya seretan yang terhasil semakin berkurang. Pada sudut 30° daya seretan menghampiri nilai 0 kerana daya seretan ini menghampiri puncak lengkungan graf. Ini kerana pada kedudukan puncak lengkungan graf, daya seretan akan 0 iaitu kedudukan normal terhadap garis lengkung graf. Nilai daya seretan ini akan bertambah selepas melalui puncak graf lengkungan iaitu daya normal pada arah tangen.

Kesimpulan

Kesimpulan daripada uji kaji yang dijalankan adalah semakin besar nilai halaju, nilai Reynold Number (Re) semakin bertambah. Pernyataan ini boleh dianggap bahawa nilai Reynold Number (RE) berkadar langsung dengan halaju. Ketepatan keputusan ujikaji dipengaruhi oleh beberapa faktor antaranya ialah ralat paralaks yang disebabkan oleh kedudukan mata yang tidak tepat semasa mengambil bacaan pada manometer. Penyambungan tiub pitot yang tidak kemas dan penyambungan pada tiub U yang tidak sambungkan kepada semua tiub pitot juga telah mempengaruhi keputusan ujikaji ini. Selain itu, faktor usia peralatan yang telah terlalu lama menyebabkan ketepatan bacaan sukar diperolehi.

Rujukan

1. **Huntley, H. E. (1967).** *Dimensional Analysis*. Dover. **LOC 67-17978.**
2. **Bertin J.J., 2002,** *Aerodynamics for Engineers* , 4th edition, Prentice Hall.
3. **Panton R.L., 2005,** *Incompressible Flow*, Wiley.
4. **von Kármán T., 1963,** *Aerodynamics*, McGraw-Hill, pp. 68-72, 85.
5. **van Dyke M., 1982,** *An Album of Fluid Motion*, Parabolic Press, pp. 28-31
6. **Yunus A . Cengel.,2006,** *Fundamentals and Applications*, 1th edition in SI Units , John M.Cimbala.



Drag Coefficient as a Function of Reynolds Number for a Smooth Circular Cylinder and a Smooth Sphere