

**Studi Lapisan Batas Aliran Fluida
Melalui SelinderPersegi**
**(A Study the Boundary Layer of the Fluid Flow
Through a Square Cylinder)**

NASARUDDIN SALAM¹

¹*Mechanical Engineering Study Program,
Faculty of Engineering, Hasanuddin University,
Perintis Kemerdekaan Km.10, Makassar, 90245, Indonesia
Corresponding author :nassalam.unhas@yahoo.co.id*

Abstract

The loss of fluid energy when flowing through a square cylinder was cause by the occurrence of the drag force resulting from the effect of the boundary layer and the fluid flow separation. At a low velocity of the flow, the drag coefficient is merely a friction of the Reynolds number of the object [5], for a square cylinder at Reynolds number of 2.10^4 , the ratio aspect influence to the comparison of drag coefficient with friction drag coefficient [2].

The study was conducted with an experimental approach. Square cylinder (specimen) is made of steel plate with a thickness of 2 mm by seven levels of aspect ratio h / b (ratio between the height h with width b cylinder) is 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0 and 1.2. The width and length of the test specimen is a constant that is 50 mm and 100 mm, while the size of the height of seven levels (5, 10, 20, 30, 40, 50, and 60) mm. Single specimen made of the same size with the journal reference [2], the width 100 mm, length 100 mm and height 40 mm or aspect ratio is 0.4. Specimens mounted on a single wind tunnel by treating ten velocity levels for each test specimen. Head distribution measurements on the surface of the specimen in the horizontal direction as much as eleven points or any distance 10 mm starting from a point upstream to the end of the end (downstream) cylindrical, while in the vertical direction of the average total of seventeen points a distance of 1 mm each point of observation.

This research aims to determined relationship between ratio aspect, drag coefficient, pressure drag coefficient, friction drag coefficient, Reynolds number, and thickness boundary layer of a square cylinder.

The result of this research showed that the sufficiently significant correlation, 0.8592 to 0.9908, for relation of the drag coefficient (C_D), pressure drag coefficient (C_{DP}); friction drag coefficient (C_{DF}); the comparison between the drag coefficient with friction drag coefficient (C_D/C_{DF}), at the different of the Reynolds number (Re) and aspect ratio (B). Then by using multi regression equation, would be produced an equation from the drag coefficient as a function of the Reynolds number and ratio aspect, $C_D(R_{eL}, B)$ and drag coefficient as a function of the thickness boundary layer and aspect ratio, $C_D(\delta, B)$.

Key words: *Square Cylinder, Aspect ratio, Thickness of boundary layer, Fluid flow separation and Drag coefficient.*

1. Pendahuluan

Ketika suatu fluida mengalir melalui suatu benda, sebagai contoh silinder persegi, maka akan terjadi kehilangan energi akibat adanya gaya tahanan yang ditimbulkan oleh pengaruh lapisan batas dan oleh adanya pemisahan aliran. Dalam kategori pertama, tahanan disebabkan secara langsung oleh efek viskos, jadi oleh tegangan tangensial dan disebut tahanan viskos atau tahanan gesek. Kategori ke dua, walaupun secara tak langsung disebabkan oleh viskositas, namun disebabkan karena tekanan, jadi karena gaya normal dan disebut tahanan bentuk atau tahanan tekanan. Hal ini merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi industri transportasi, dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistemnya.

Untuk mengurangi kehilangan energi ini, bisa dirancang suatu bentuk penampang melintang benda secara tepat, sehingga aliran bisa melewati benda tanpa terjadi pemisahan dan menghasilkan aliran yang seragam setelah melewati benda tersebut. Dalam aliran berkecepatan rendah yang melalui benda yang secara geometris bentuknya serupa dan orientasi serta kekasarnya persis sama, koefisien tahanan haruslah merupakan fungsi bilangan Reynolds benda itu saja. [5].

Aspek ratio atau perbandingan lebar dan tinggi pelat datar sangat berpengaruh terhadap koefisien tahanan aliran, pada bilangan Reynolds lebih besar dari 1000 [1]. Sedangkan untuk benda berbentuk silinder persegi, aspek ratio berpengaruh terhadap perbandingan koefisien tahanan dengan koefisien tahanan karena gesekan aliran fluida pada bilangan Mach 0.2, bilangan Reynolds 2×10^4 pada perbandingan lebar dengan panjang silinder persegi tetap [2].

Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa, koefisien tahanan bukan merupakan fungsi bilangan Reynolds saja, bila bentuk geometris,

luas penampang *frontal area* dan kekasarnya sama, melainkan juga di pengaruhi oleh aspek ratio.

Suatu bentuk korelasi antara koefisien tahanan dan koefisien tahanan karena gesekan, dengan bilangan Reynolds dan tebal lapisan batas pada pelat datar, hal ini terlihat dalam persamaan Blasius untuk aliran berlapis (laminer) dan persamaan Prandtl serta hukum momentum Karman untuk aliran bergolak (turbulen)[2]. Sedangkan untuk benda berbentuk silinder persegi, korelasi seperti ini belum dikemukakan dalam bentuk persamaan.

Berdasarkan kenyataan tersebut, maka yang menjadi pertanyaan adalah, apakah perubahan koefisien tahanan terhadap perubahan aspek ratio benda berbentuk silinder persegi pada bilangan Reynolds tertentu, dipengaruhi oleh lapisan batas aliran fluida, dan bagaimanakah lapisan batas aliran fluida mempengaruhi koefisien tahanan.

2. Metoda Eksperimen dan Fasilitas yang Digunakan

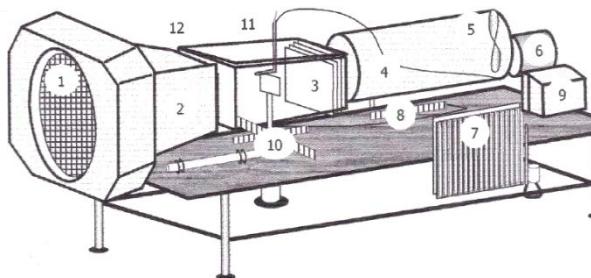
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, dengan menggunakan satu buah Sub-Sonic Wind Tunnel, buatan Plint & Partners Ltd. Engineers England [4].

Benda uji dibuat dari bahan besi pelat dengan ketebalan 2.0 mm, sedangkan tumpuannya dibuat dari besi as dengan diameter 4.1 mm ukuran benda uji dibuat sebanyak tujuh tingkat, dengan lebar danpanjang yang konstan yaitu 50 mm dan 100 mm, sedangkan ukurantingginya dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Ukuran benda uji dan nilai aspek ratio-nya.

Benda Uji	Tinggi, h(mm)	Lebar, b(mm)	Aspek Ratio h/b ₁ [B]
1	5,0	50,0	0,1
2	10,0	50,0	0,2
3	20,0	50,0	0,4
4	30,0	50,0	0,6
5	40,0	50,0	0,8
6	50,0	50,0	1,0
7	60,0	50,0	1,2

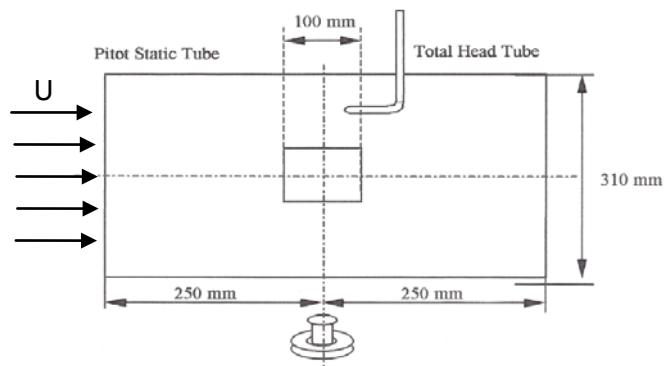
Satu buah benda uji dibuat dengan lebar 100 mm, panjang 100 mm dan tingginya 40 mm atau aspek rationya 0.4. Benda uji ini dibuat sebagai pembanding dengan jurnal acuan [2]. Instalasi penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1. Instalasi penelitian terdiri atas *protective screen*, difuser, seksi uji, seksi divergen, fan, motor listrik, manometer tekanan, manometer kecepatan, regulator tegangan, pengukur gaya tahanan, tabung pitot, dan *static tapping*.



Gambar 1. Instalasi Penelitian
Keterangan gambar :

1. Prototipe Screen.7. Manometer tekanan
2. Diffuser 8. Manometer kecepatan
3. Seksi uji 9. Regulator tegangan
4. Seksi divergen 10. Pengukur tahanan
5. Fan 11. Tabung pitot
6. Motor listrik 12. Static tapping.

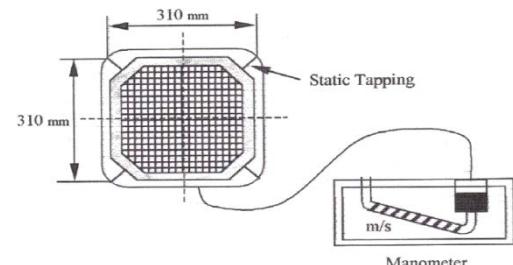
Ukuran seksi uji dapat dilihat pada gambar 2 berikut iniyaitu panjang 500 mm, lebar 310 mm, tingg 310 mm (500 x 310 x 310) mm, yang terbuat dari bahan kaca dan kayu sebagai dudukan tabung pitot, sehingga posisi benda uji dapat dilihat dengan jelas.



Gambar 2. Seksi Uji

Untuk mengukur kecepatan luar dan kecepatan lokal di atas benda uji pada penelitian ini, digunakan satu buah tabung pitot jenis *total head tube*.

Sedangkan untuk pembanding kecepatan luar dari seksi uji, digunakan sebuah alat ukur kecepatan buatan Airflow Development Ltd. High Wycombe England sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3 berikut ini, yang dapat mengukur kecepatan aliran udara dalam jangkauan 0 - 26 m/s[4].



Gambar 3. Alat Ukur Kecepatan Luar

Untuk mengukur tekanan atau head stagnasi dari tabung pitot dan head statis pada tiap titik tekanan atau head stagnasi dari pengukuran dari static tapping tabung pitot dan head digunakan manometer biasa (terbuka) yang dibuat oleh Phillips Harris Ltd. Shentones England, International Services to Science Education[4].

Manometer ini terdiri atas dua puluh buah tabung gelas dengan ketinggian 360 mm, dan posisinya dapat diletakkan pada sudut 20°, 30°, 45°, dan 90°.

Gambar 4 berikut ini memperlihatkan posisi pengukuran benda uji disepanjang permukaan

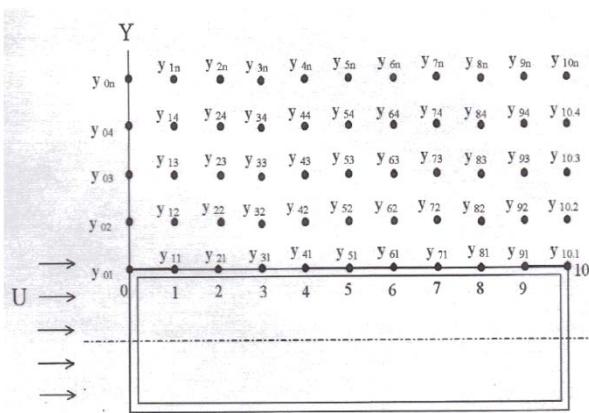
setiap benda uji (dalam arah horisontal) distribusi head di ukur pada 11 titik, sehingga jarak setiap titik adalah 10 mm karena panjang benda uji 100 mm sedangkan pada arah vertikal dilakukan pengukuran rata-rata 17 titik yang jaraknya 1 mm, sehingga jumlah titik pengukuran untuk satu tingkat kecepatan luar adalah 187 titik. Atau jumlah titik pengukuran adalah :

$$187 \frac{\text{titik pengukuran}}{\text{tingkat kecepatan}} \times 10 \frac{\text{tingkat kecepatan}}{\text{benda uji}} \times 8 \text{ benda uji} = 14,960 \text{ titik pengukuran.}$$

Pengukuran gaya tahanan untuk setiap benda uji 10 titik, karena setiap benda uji diberi perlakuan 10 tingkat kecepatan, maka titik pengukuran adalah:

$$10 \frac{\text{titik pengukuran}}{\text{benda uji}} \times 8 \text{ benda uji} = 80 \text{ titik pengukuran.}$$

Jadi, jumlah total titik pengukuran: $14,960 + 80 = 15,040$ titik pengukuran.



Gambar 4. Posisi Pengukuran Benda Uji

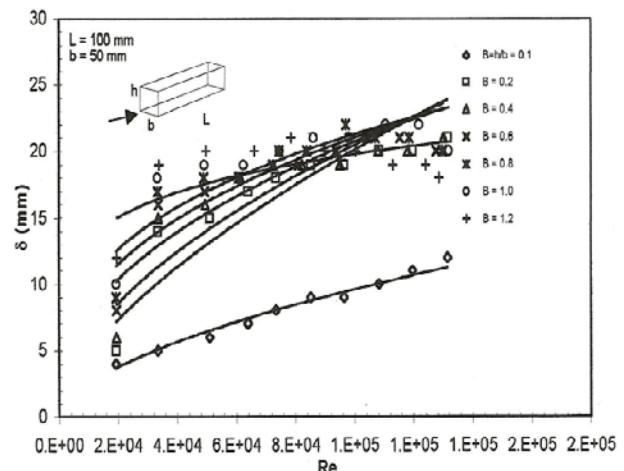
3. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada daerah aliran laminer atau pada bilangan Reynolds 19,288 sampai 132,000.Untuk jelasnya berikut ini ditampilkan hasil penelitian dalam bentuk grafik, yaitu :

1. Tebal lapisan batas sebagai fungsi bilangan Reynolds.

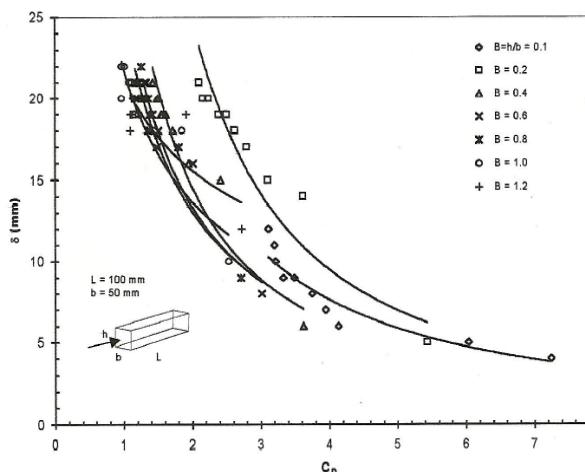
Hasil Penelitian tebal lapisan batas menunjukkan kecenderungan karakteristik yang sama pada aspek ratio 0.1 sampai 1.0, sedangkan aspek ratio 1.2 memperlihatkan suatu pola yang sangat berbeda pada bilangan Reynolds 75,000 sampai 125,000.



Gambar 5. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap bilangan Reynolds (Re) pada aspek ratio (B) yang bervariasi.

2. Tebal lapisan batas sebagai fungsi koefisien tahanan.

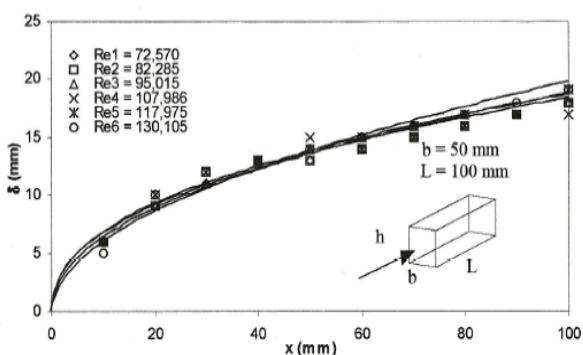
Dari hasil penelitian ini terlihat dengan jelas pengaruh lapisan batas terhadap besarnya koefisien tahanan. Keseluruhan aspek ratio memberikan kecenderungan perubahan yang sama yaitu makin besar lapisan batas, koefisien tahanan semakin kecil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini. Fenomena menarik terlihat pada aspek ratio 0.1 dan 0.2, dimana nilai perubahan koefisien tanananya lebih besar dibanding B lainnya.



Gambar 6. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap koefisien tahanan (C_D) pada silinder persegi dengan aspek ratio (B) bervariasi.

3.Tebal lapisan batas sebagai fungsi panjang silinder persegi.

Pertumbuhan lapisan batas untuk setiap aspek ratio cenderung menunjukkan bentuk kurva yang sama, kecuali untuk aspek ratio 1.2, dimana lapisan batasnya akan mengalami penurunan setelah melewati panjang 40 mm dari panjang silinder persegi. Hal ini terlihat dengan jelas pada bilangan Reynolds 112,852 sampai 128,597, pada gambar 7 berikut ini,



Gambar 7. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap panjang silinder persegi (x) pada aspek ratio 0.4 dengan bilangan Reynolds bervariasi.

Hal yang menarik dari Gambar 7, besarnya lapisan batas cenderung tidak terlalu dipengaruhi oleh perubahan bilangan Reynolds. Namun demikian kenaikan lapisan batas sangat besar sekali pada daerah ujung depan sampai 40 mm sesudah

itu kenaikan lapisan batas tidak terlampaui besar sampai mencapai ujung belakang.

B. Pembahasan

1. Koefisien Tahanan (C_D)

Koefisien tahanan benda berbentuk silinder persegi pada bilangan Reynolds di atas 100 adalah 2.0 , sedangkan menurut Hughes (1991) nilai koefisien tahanan sebesar 2.0 sampai batas bilangan Reynolds 3.5×10^4 [8]. Hal menarik dari nilai-nilai tersebut di atas, adalah koefisien tahanan pada aspek ratio 0.8 dan 1.0 karena nilai bilangan Reynolds yang diperoleh hampir sama, begitu pula pada aspek ratio 0.6 dan 1.2. Kenyataan ini menunjukkan bahwa, ada suatu daerah dimana perbedaan aspek ratio tidak berpengaruh akan tetapi hanya ditentukan oleh besarnya nilai bilangan Reynolds.

Koefisien tahanan dari hasil penelitian ini, yang mendekati nilai koefisien tahanan teori adalah pada aspek ratio 0.6, hal ini disebabkan karena besarnya koefisien tahanan karena tekanan sebanding dengan besarnya koefisien tahanan karena gesekan.Pada aspek ratio 0.4 besarnya koefisien tahanan karena tekanan lebih kecil dari koefisien tahanan karena gesekan, sedangkan pada aspek ratio 0.8 besarnya koefisien tahanan karena tekanan lebih besar dari koefisien tahanan karena gesekan.

Secara umum persamaan regresi untuk koefisien tahanan silinder persegi pada aspek ratio 0.1 sampai 1.2 dari hasil penelitian ini, adalah:

$$C_D = k \cdot Re_L^{-Z}$$

Dimana : $k = 98.152 - 223.2$

$$Z = 0.3815 - 0.4718$$

$$Re_L = 19,288 - 131,954.$$

Untuk membandingkan hasil penelitian ini dengan teori, maka diambil persamaan regresi yang bilangan Re-nya berpangkat mendekati 0.5, karena untuk daerah aliran laminer salah satu cirinya untuk hubungan C_D dengan Re pangkat dari Re adalah 0.5. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Blasius untuk pelat datar yaitu:

$$C_D = 1.328 Re^{-0.5}$$

Persamaan regresi C_D terhadap Re yang mendekati hubungan ini adalah pada aspek ratio 0.2 yaitu:

$$C_D = 530.1 Re^{-0.4718}$$

2. Pengaruh lapisan batas terhadap bilangan Re dan C_D .

Persamaan regresi yang diperoleh dari hubungan δ dengan Re pada aspek ratio 0.1 sampai 1.0 secara umum dapat dituliskan:

$$\delta = k \cdot Re^z$$

Dimana: $k = 0.0126 - 0.5209$.

$$z = 0.3222 - 0.6287.$$

$$Re = 19,288 - 131,954.$$

Konstanta pengali k dari bilangan Reynolds bertambah besar seiring dengan naiknya aspek ratio, sedangkan pangkat z dari bilangan Reynolds bertambah kecil seiring dengan aspek ratio, hal ini menunjukkan bahwa δ sangat dipengaruhi oleh perubahan B , begitu pula terhadap bilangan Reynolds, karena semakin besar B dan bilangan Reynolds aliran akan cenderung mengalami separasi (pemisahan aliran) maka dengan sendirinya δ akan bertambah besar pula.

Menurut teori[7] untuk pelat datar hubungan δ dengan Re adalah:

$$\text{Blasius} \quad \delta/x \approx 5.0 / Re_x^{1/2}$$

$$\text{Karman} \quad \delta/x \approx 5.5 / Re_x^{1/2}$$

Sehingga sebagai pembanding, yang mendekati aspek ratio 0.4, yaitu:

$$\delta = 0.0402 \cdot Re^{0.5414}$$

Persamaan regresi yang diperoleh dari hubungan δ dengan C_D pada aspek ratio 0.1 sampai 1.2 secara umum dapat dituliskan:

$$\delta = k \cdot Re^{-z}$$

Dimana: $k = 21.086 - 39.373$.

$$z = 0.4356 - 1.1827.$$

$$Re = 19,288 - 131,954.$$

Hubungan δ dengan C_D yang ditinjau adalah pada aspek ratio 0.4, karena pada aspek ratio ini hubungan δ dengan Re mendekati teori, yaitu:

$$\delta = 34.016 \cdot C_D^{-1.221}$$

Dari persamaan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa tebal lapisan batas (δ) sangat mempengaruhi besar C_D , begitu pula sebaliknya C_D dipengaruhi oleh B , karena bila B berubah maka δ akan berubah juga, selanjutnya akan mempengaruhi besarnya gaya tahanan.

4. Kesimpulan

1. Hubungan antara aspek ratio, koefisien tahanan, bilangan Reynolds, dan tebal lapisan batas pada silinder persegi, adalah :

a. Hubungan antara tebal lapisan batas dengan bilangan Reynolds pada bilangan Reynolds 19,288 sampai 131,954 silinder persegi adalah:

$$\delta = k \cdot Re^z$$

Dimana: $k = 0.0126 - 0.5209$.

$$z = 0.3222 - 0.6287.$$

$$Re = 19,288 - 131,954.$$

b. Hubungan antara tebal lapisan batas dengan panjang silinder persegi dan koefisien tahanan pada bilangan Reynolds 73,000 sampai 132,000 dan aspek ratio 0.4 adalah:

$$\delta_{(B=0,4)} = 2.2635 \cdot X^{0.459}$$

$$\delta_{(B=0,4)} = 34.016 \cdot C_D^{-1.221}$$

2. Perubahan koefisien tahanan terhadap perubahan aspek ratio silinder persegi pada bilangan Reynolds tertentu (20,000 sampai dengan 130,000) dipengaruhi oleh lapisan batas aliran fluida.

3. Secara umum penelitian ini mendekati karakteristik teori atau jurnal acuan. Namun demikian pada aspek ratio 0.2 dan 0.4 yang paling mendekati, perbandingannya adalah :

$$* \text{ Blasius}, \quad C_D = 1.32 Re^{-0.5}$$

$$\# \text{ Hasil Penelitian}, C_{D(0,2)} = 530.1 Re_L^{-0.4718}$$

- Gaudet & Winter, $C_D/C_{Df} = 5.7$

- Hasil Penelitian, $C_D/C_{Df} = 5.8980$.

4. Hubungan antara koefisien tahanan dengan bilangan Reynolds rata-rata, tebal lapisan

batas dan aspek ratio untuk silinder persegi adalah:

$$C_D(Re_L, B) = \frac{4.372}{Re_L^{1.563 \cdot 10^{-3}} \cdot B^{1.924}}$$

$$C_D(\delta, B) = \frac{5.661}{\delta^{0.175} \cdot B^{1.009}}$$

Ucapan Terimakasih

Terimakasih dan penghargaan kepada Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang membantu fasilitas dan biaya penelitian ini. Terimakasih pula kepada saudara Syamsul Qamar Ngabito,S.T.(Alm) dan Hafrison, atas bantuan dalam pengambilan data dan analisis data.

Nomenklatur

- B : Aspek ratio
- C_D : Koefisien tahanan
- C_{Df} : Koefisien tahanan karena gesekan
- k : Konstanta persamaan
- Re : Bilangan Reynolds
- δ :Tebal lapisan batas
- U : Kecepatan aliran udara luar
- X : Panjang silinder persegi
- Z : Konstanta persamaan.

Daftar Pustaka

1. Fox R. & Winter K.G., Introduction to Fluid Mechanics, second Edition, John Willey & Sons, New York,1994.
2. Gaudet L. & Winter K.G., Measurement of The Drag of Some Characteristic Aircraft Exersciences Imwind in Turbulent Boundary Layer, AGARD Singapore. Conference Procedings No. 124 on Aerodinamics Drag, 1973.
3. Olson R.M. & Wright S.J., Essensials of Engineering Fluid Mechanics, Fith Edition, Harpu & Row Publishers, Inc., 1993.
4. Plint & Partner Ltd. Engineer, Manual Educational Wind Tunnel, England, 1982.

5. Schlichting Hermann, Boundary-Layer Theory, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1979.
6. Walpole, R.E. and R.H. Myers, Probability and Statistic for Engineer and Scientists, Third Edition, New York, Macmillion Publishing Co., Inc.,1995.
7. White Frank M., Viscous Fluid Flow, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York. 1991.
8. White Frank M., Fluid Mechanics, Third Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York. 1994.