



Efek Lapisan Batas (*Boundary Layer*) pada *Skin Friction Drag*

Purwadi¹

¹ Akademi Angkatan Udara, Jogjakarta, Indonesia
e-mail : purwadi.jogjakarta@gmail.com

Abstrak—

Telah dilakukan penelitian terhadap pengaruh lapisan batas (*boundary layer*) terhadap koefisien Skin Friction Drag. Percobaan dilakukan dengan cara mengalirkan variasi kecepatan aliran pada permukaan pelat halus dan kasar, lalu dibandingkan bagaimana karakter lapisan batas dan kaitannya dengan koefisien Skin Friction Drag C_f . Masalah yang diteliti adalah bagaimana ketebalan lapisan batas terhadap variasi kecepatan aliran, besarnya perbedaan antara tebal lapisan teoritik dan real yang diukur, besarnya bilangan Reynold Re pada pelat pada jarak dari leading edge terhadap variasi kecepatan aliran serta bagaimana efek variasi kecepatan terhadap nilai C_f . Didapatkan bahwa tebal lapisan batas untuk pelat kasar memang lebih tebal dibandingkan dengan pelat halus. Variasi kecepatan pada pelat halus dan kasar sama-sama menunjukkan sifat aliran laminar dengan nilai Re dibawah 500000, sedangkan yang berkarakter turbulen ditemukan pelat halus dengan kecepatan 30,98 m/s di titik 25 cm. Nilai C_f cenderung menurun untuk kecepatan menaik untuk pelat halus dengan aliran laminar dan naik pada saat kecepatan 30,98 m/s. Sedangkan nilai C_f untuk pelat kasar mengalami penurunan juga untuk kecepatan naik hingga 30,98 m/s. Disarankan penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan yang lebih tinggi dari 30,98 m/s untuk memahami perilaku C_f pada pelat halus dan kasar untuk kecepatan yang lebih tinggi terutama yang aliran termampatkan dengan kecepatan sekitar 100 m/s.

Kata Kunci— Lapisan Batas, Skin Friction Drag, Pelat, bilangan Reynold

I. PENDAHULUAN

A. Umum

Drag adalah gaya hambat yang muncul ketika airfoil melewati suatu aliran udara. Klasifikasi Drag ada dua yaitu Induced Drag dan Parasite Drag. Sedangkan Parasite Drag terbagi menjadi tiga jenis yaitu Form Drag, Interference Drag dan Skin Friction Drag[4]. Yang akan menjadi pokok bahasan penelitian ini adalah tentang Skin Friction Drag, yaitu Drag yang muncul akibat adanya gesekan pada permukaan airfoil; gesekan ini muncul terkait dengan tingkat kehalusan permukaan airfoil itu sendiri, serta jenis aliran yang melewati airfoil tersebut.

Ketika suatu airfoil bergerak di aliran udara maka ada gaya interaksi yang muncul antara udara dan permukaan airfoil tersebut. Gaya interaksi tersebut berupa Gaya Tekan yang bersifat normal (tegak lurus) pada permukaan tersebut dan Gaya Gesek yang menggesek pada permukaan benda bersifat tangensial atau menyinggung bentuk kurva permukaan. Gaya tekan ini menimbulkan distribusi stress normal p , sedangkan gaya gesek menimbulkan distribusi

*Penulis Korespondensi (Purwadi)

E-mail: purwadi.jogjakarta@gmail.com

stress geser τ pada permukaan. Bentuk distribusi stress normal p dan distribusi stress geser bergantung pada tipe aliran dan bentuk benda yang akan menimbulkan terbentuknya gaya Lift dan gaya *Drag* [1].

Ketika aliran bersifat kental (*viscous*) mengalir pada suatu airfoil akan menjadi faktor utama terbentuknya *Skin Friction Drag* yang terbentuk karena adanya distribusi stress geser [1]. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, untuk penentuan *Skin Friction Drag* pada airfoil bisa dilakukan pada sebuah pelat.



Gambar 1. Asumsi penentuan *Skin Friction Drag* dari airfoil dengan analogi pada pelat

Penelitian ini bertujuan menentukan bagaimana pengaruh jenis permukaan terkait dengan nilai Koefisien *Skin Friction Drag*.

B. Perumusan Masalah

1. Bagaimanakah bentuk lapisan batas pada variasi kecepatan aliran terhadap besarnya lapisan batas pada pelat halus dan pelat kasar ?
2. Berapakah nilai koefisien *Skin Friction Drag* untuk variasi kecepatan aliran pada pelat halus dan pelat kasar?

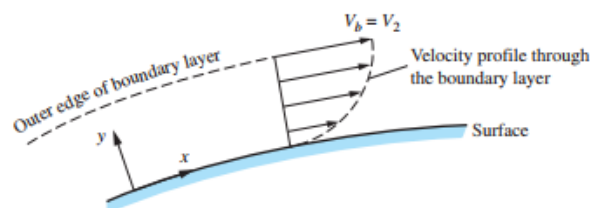
C. Batasan Masalah

1. Penentuan koefisien *Skin Friction Drag* dilakukan pada pelat kuningan yang halus dan kasar.
2. Variasi kecepatan dilakukan pada kecepatan aliran hingga maksimal 30,98 m/s
3. Lapisan Batas yang diteliti hanya terkait ketebalan dan tidak membahas profil kecepatan, tetapi tetap diasumsikan sebagai gradien kecepatan mulai dari *no slip* hingga *free stream*.

LANDASAN TEORI

A. Lapisan Batas

Sejak awal tentang analisis aliran oleh Prandtl (1904) dinyatakan bahwa aliran yang luas dan jauh dari permukaan disebut aliran tak kental (*inviscid*) dimana tidak ada disipasi karena gesekan, konduksi panas, atau difusi massa. Tetapi lapisan tipis yang menempel pada permukaan disebut aliran kental (*viscous*) dimana proses disipasi tersebut terjadi. Lapisan tipis tersebut disebut dengan Lapisan Batas (*Boundary layer*), seperti ditunjukkan pada gambar. Secara dimensi, ukuran lapisan batas ini terlalu kecil dibanding aliran besar, tetapi lapisan ini yang berperan besar pada *Skin Friction Drag*.

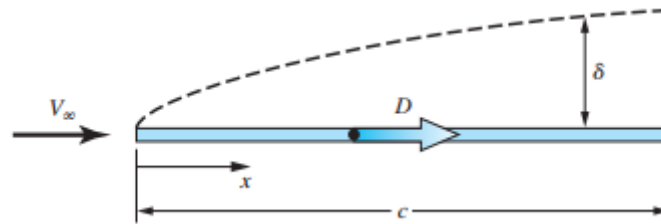


Gambar 2. Bentuk profile kecepatan pada lapisan batas

Pada bagian yang menempel langsung pada permukaan maka besarnya kecepatan adalah nol dan disebut daerah *No-Slip* yang ditunjukkan oleh $V_a = 0$ selanjutnya terjadi gradien kecepatan hingga mencapai titik b dimana kecepatannya tepat sama dengan kecepatan *free stream* $V_b = V_\infty$. Bentuk profil kecepatan adalah berubah ke arah y dan untuk setiap titik x berbeda pula profil kecepatannya.

B. Aliran Laminar

Asumsi yang diterapkan adalah nilai *Skin Friction Drag* pada pelat dengan sudut serang nol sama dengan nilai *Skin Friction Drag* pada airfoil[1]. Dengan asumsi ini, maka besarnya koefisien *Skin Friction Drag* pada airfoil bisa didekati dengan pengamatan nilai yang sama dengan pada pelat.



Gambar 3. Total drag gesekan pada permukaan pelat [1]

Bentuk lapisan batas yang muncul pada aliran laminar ditunjukkan pada Gambar 3, dengan ketebalan sebesar δ pada pelat sepanjang c :

$$\delta = \frac{5,0x}{\sqrt{Re_x}} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan Re_x adalah bilangan Reynold searah x , yaitu jarak diukur dari *leading edge* pelat. Bilangan Reynold Re_x dinyatakan sebagai :

$$Re_x = \frac{xV_\infty}{\nu} \dots\dots\dots(2)$$

V_∞ adalah kecepatan aliran udara bebas dan ν adalah viskositas kinematik udara, sedangkan besarnya koefisien *Skin Friction Drag* untuk permukaan atas pelat dinyatakan sebagai :

$$C_f = \frac{1,328}{\sqrt{Re_c}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan indeks c adalah bilangan Reynold pada $x = c$.

C. Aliran Turbulen

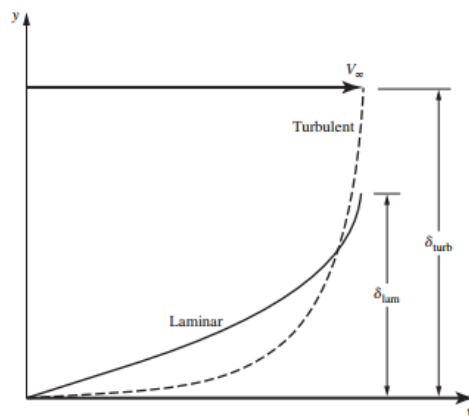
Pendekatan untuk tingginya lapisan batas pada permukaan pelat dengan aliran turbulen mengalir di atasnya, didekati dengan persamaan :

$$\delta = \frac{0,37x}{Re_x^{1/5}} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan besarnya koefisien *Skin Friction Drag* untuk aliran turbulen dinyatakan sebagai :

$$C_f = \frac{0,074}{Re^{1/5}} \dots\dots\dots(5)$$

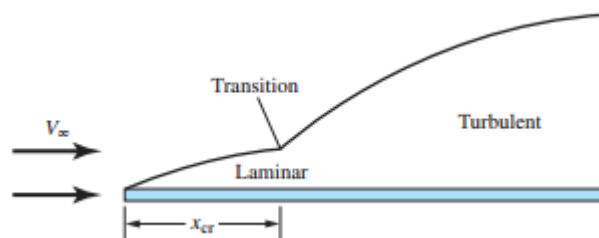
Dari persamaan (1) dan (4) menunjukkan tebal lapisan batas pada aliran laminar memiliki fungsi satu per akar kuadrat sedangkan aliran turbulen memiliki fungsi satu per pangkat seperlima. Secara praktis, bentuk lapisan batas selalu diawali dengan bentuk laminar pada jarak tertentu dari *leading edge* kemudian memasuki transisi dan menjadi turbulen di daerah *leading edge*[1]. Menurut pendapat Riefler[2], aliran akan mengalami transisi dari laminar ke turbulen pada permukaan pelat saat bilangan Reynold *Re* sekitar 500.000, dan dalam praktek bisa mencapai nilai 1.000.000 untuk aliran dengan kecepatan rendah [1][3]. Untuk ketebalan lapisan turbulen lebih besar dibanding lapisan laminar seperti gambar berikut.



Gambar 4 . Perbandingan bentuk lapisan batas turbulen yang lebih besar dari laminar

D. Transisi

Proses transisi dari lapisan batas laminar menuju turbulen ditunjukkan pada Gambar 3 seperti di bawah ini.



Gambar 5. Letak x_{cr} dalam proses transisi laminar turbulen

Lokasi transisi dipengaruhi salah satu faktornya oleh kekasaran permukaan[1]. Kekasaran permukaan berpengaruh kepada bentuk laminar dan turbulen. Bentuk lapisan batas laminar dari *leading edge* berbentuk parabola dan berubah menjadi turbulen pada titik x_{cr} yang nilainya didekati dengan persamaan berikut:

$$x_{cr} = \frac{Re_{xcr} \cdot \nu}{V_\infty} \dots\dots\dots(6)$$

E. Penentuan kecepatan aliran

Kecepatan aliran ditentukan dengan menggunakan manometer pipa Pitot [3], yang menggunakan prinsip perbedaan tekanan stagnasi dan tekanan statik. Persamaan yang dipakai untuk menentukan kecepatan aliran V adalah :

$$V = 4\sqrt{h} \dots\dots\dots(7)$$

h adalah tinggi air dalam manometer dalam milimeter, sedangkan V dalam satuan m/s.

II. ALAT DAN BAHAN

A. Alat. Alat yang digunakan meliputi sebagai berikut :

1. Airflow Bench

Airflow Bench TecEquipment seri AF-10, merupakan terowongan angin skala kecil yang bisa memberikan variasi kecepatan aliran udara. Pada outlet terowongan angin, terpasang secara vertikal sebuah *throat* dengan pelat ada di dalamnya.



Gambar 6 Setting Airflow TecQ AF-10

2. Pipa Pitot

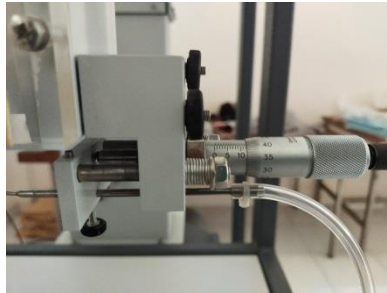
Pipa Pitot digunakan untuk mengukur laju aliran pada pelat dari tepat menempel sampai batas lapisan batas.



Gambar 7 Pipa Pitot yang terinegrasi dengan Manometer

3. Mikrometer Sekrup.

Mikrometer sekrup yang digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan batas.



Gambar 8 Mikrometer sekrup yang terintegrasikan dengan pipa Pitot

4. Manometer air

Manometer air digunakan untuk mengukur besarnya selisih tekanan stagnasi dan tekanan statik dari Pitot. Besarnya ketinggian air h dikonversi ke kecepatan aliran sesuai persamaan (7). Warna air dibuat biru untuk memudahkan pembacaan.



Gambar 9 Manometer air

5. Pelat Logam

Pelat logam terbuat dari kuningan dengan tebal 3 mm panjang 27,5 cm, untuk melihat bentuk aliran di permukaan logam kuningan pada jarak 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm dari *leading edge*. Pada bagian depan pelat dibuat tajam dengan tujuan untuk menghindari adanya turbulensi pada awal aliran, sehingga urutan aliran diasumsikan berurutan dari laminar, transisi dan turbulen.



Gambar 10 Pelat kuningan halus dengan amblas

B. Bahan

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini meliputi kain amblas kasar, yang digunakan untuk membuat model aliran turbulen pada pelat yang ditempelkan pada permukaan pelat.



Gambar 11. Pelat kasar dari amplas

III. METODE PENELITIAN

A. Penentuan lapisan batas pelat

1. Setting Modul Airflow TecQ AF-10
2. Pasang pelat halus kemudian dialiri udara dengan variasi kecepatan tertentu.
3. Dilakukan pengukuran pada jarak x tertentu dari *leading edge* yaitu 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm.
4. Menentukan besarnya tebal lapisan batas δ pada tiap jarak x .
5. Menentukan besarnya penurunan tinggi air manometer h .
6. Melakukan hal yang sama pada pelat yang dilapisi amplas.

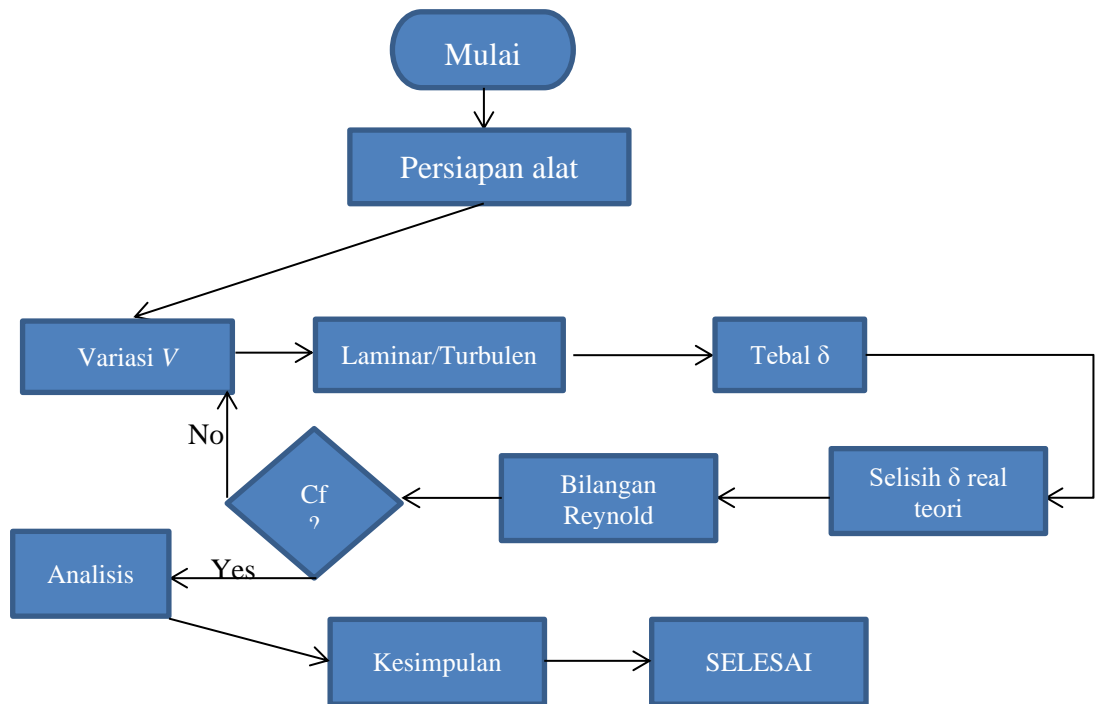
B. Penentuan nilai δ , bilangan Reynold Re , jenis aliran laminar/turbulen, Koefisien Skin Friction Drag (C_f) untuk pelat halus

1. Penentuan nilai δ pelat halus dilakukan dengan memasukkan persamaan(1).
2. Penentuan bilangan Re pelat halus pada jarak x dengan persamaan (2), bila nilai dibawah 500.000 dikatakan aliran laminar.
3. Penentuan besarnya nilai C_f dengan menggunakan persamaan (3).

C. Penentuan nilai δ , bilangan Reynold Re , jenis aliran laminar/turbulen, Koefisien Skin Friction Drag (C_f) untuk pelat kasar

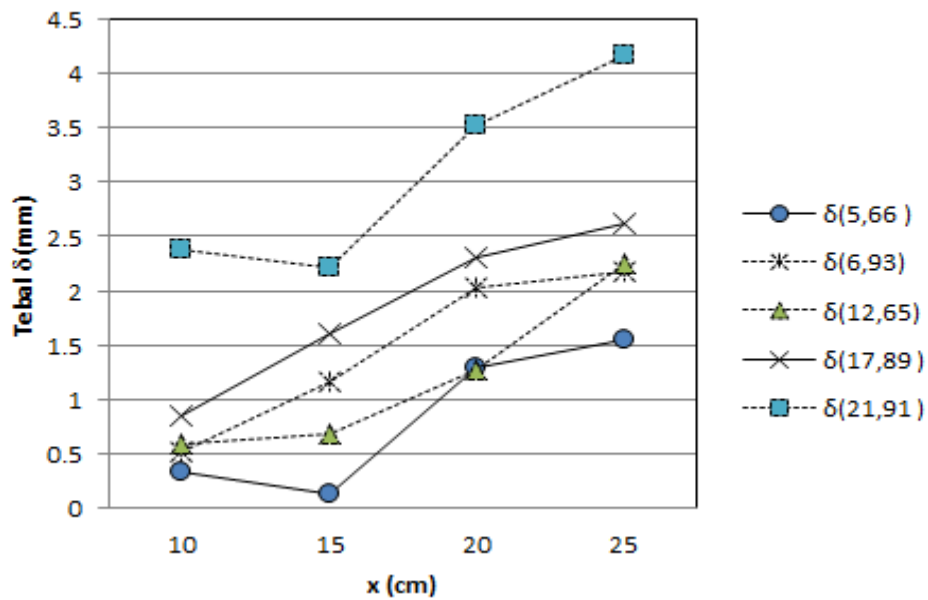
1. Penentuan nilai δ pelat kasar dilakukan dengan memasukkan persamaan(4).
2. Penentuan bilangan Re pelat kasar pada jarak x dengan persamaan (2), bila nilai dibawah 500.000 dikatakan aliran laminar, nilai transisi berkisar antara Re antara 500.000 dan 1.000.000, di atas nilai ini dikatakan aliran turbulen.
3. Penentuan besarnya nilai C_f dengan menggunakan persamaan (5)

D. Diagram Alir Penelitian



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

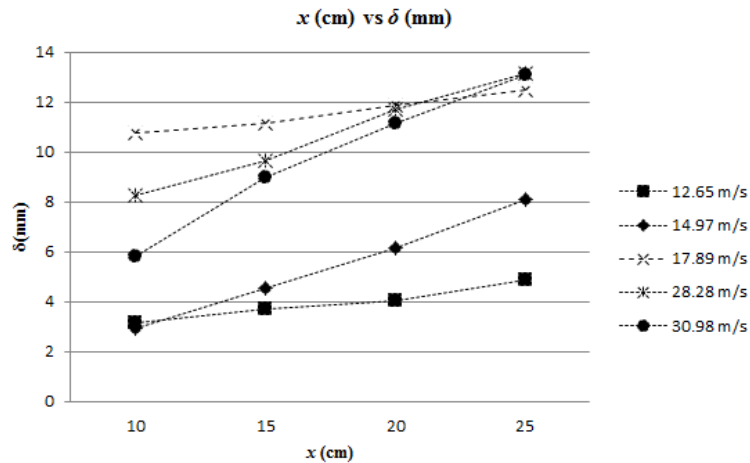
1. Pengukuran tebal lapisan batas δ sebagai fungsi dari jarak pelat halus x dari leading edge.
tebal δ (mm) vs x (cm)



Gambar 12 Tebal lapisan batas δ sebagai fungsi dari jarak pelat halus x dari leading edge.

Terlihat dari variasi kecepatan akan menimbulkan peningkatan ketebalan δ lapisan batas, meski pada kecepatan rendah antara 5,66 m/s hingga 12,65 m/s terjadi random, tetapi pada kecepatan 17,89 m/s dan 21,91 m/s terlihat peningkatan signifikan.

2. Pengukuran tebal lapisan batas δ sebagai fungsi dari jarak pelat kasar x dari leading edge.



Gambar 13 Tebal lapisan batas δ sebagai fungsi dari jarak pelat kasar x dari leading edge.

Dari gambar terlihat bahwa tren menaik dari tebal lapisan batas untuk kecepatan yang makin menaik yaitu pada 17,89 m/s, 28,28 m/s dan 30,98 m/s, tetapi bila dibandingkan dengan pelat halus tetap pelat kasar menunjukkan ketebalan lapisan batas yang lebih, sesuai prediksi teori. Seperti

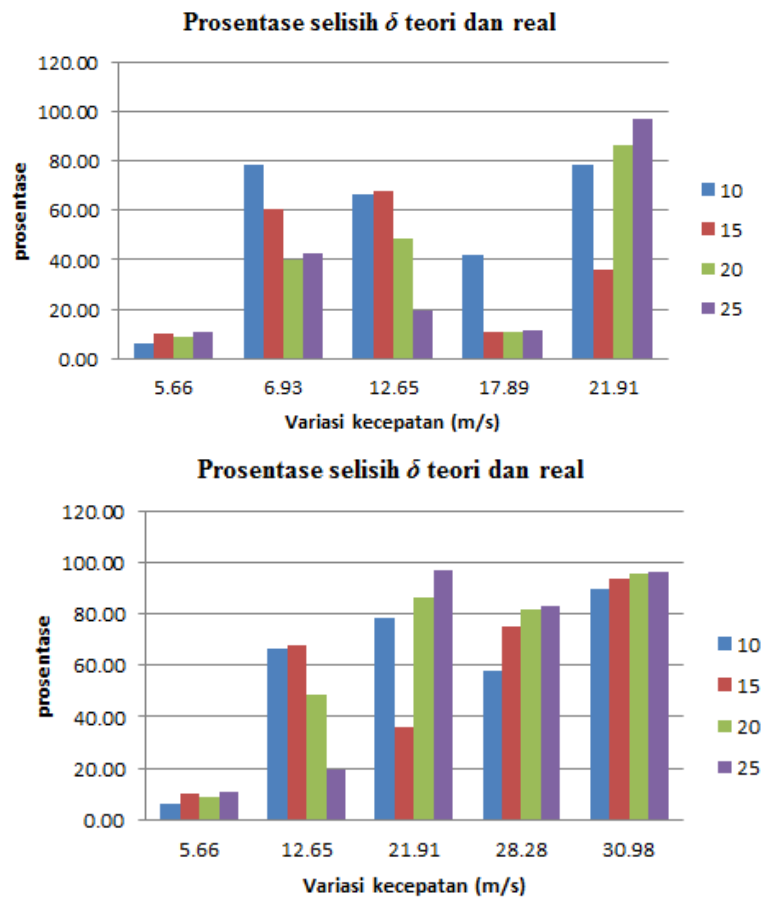
3. Perbedaan antara δ real dan teoritik pelat halus

Untuk perhitungan δ teoritik dari tiap tiap kecepatan V_∞ pada variasi jarak x didapatkan tabel sebagai berikut :

Tabel 1 Nilai δ teoritik untuk variasi kecepatan dan jarak

Kec (m/s)		5.66	12.65	17.89	21.92	28.28	30.98
No.	x (cm)	δ teo(mm)	δ teo(mm)	δ teo(mm)	δ teo(mm)	δ teo(mm)	δ teo(mm)
1	10	2.63	1.76	1.76	2.37	57.93	89.58
2	15	3.23	2.15	2.15	2.22	75.12	93.40
3	20	3.72	2.49	2.49	3.52	81.51	95.33
4	25	4.16	2.79	2.79	4.16	82.86	96.03

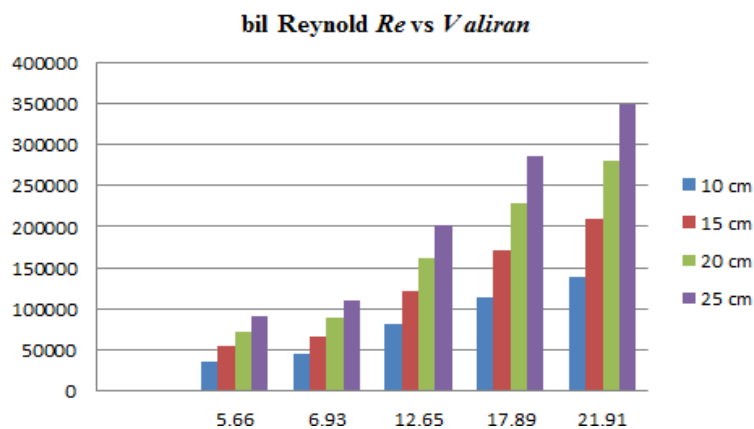
4. Perbandingan dengan δ real dinyatakan dalam gambar berikut ini :



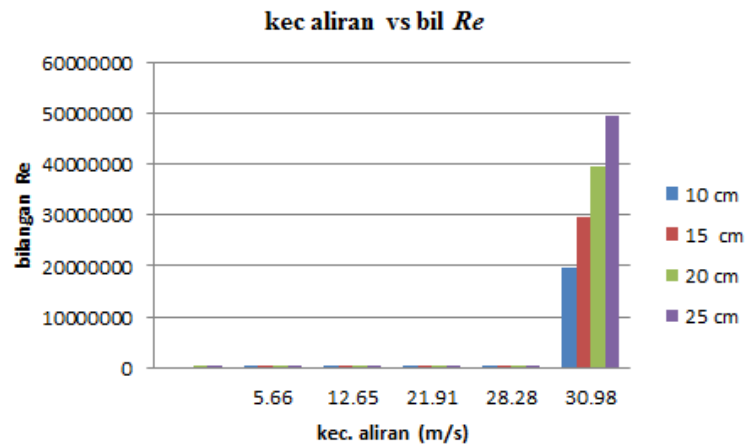
Gambar 14 Variasi δ teori real dengan variasi kecepatan

Terlihat dari gambar bahwa untuk kecepatan rendah yaitu 5,66 m/s maka besar tebal lapisan prosentase selisih antara teoritik dan real tidak jauh dibandingkan dengan kecepatan tinggi di atas 10 m.s. Pada kecepatan 5,66 m/s tebal teori lebih kecil dari tebal real, pada kecepatan 6,93 m/s, tebal teori lebih kecil dibanding tebal real, untuk kecepatan 12,65 m/s tebal teori lebih besar dibanding tebal real, untuk kecepatan 28,28 m/s tebal teori lebih kecil dibanding tebal real, untuk kecepatan 30,98 m/s tebal teori lebih rendah dibanding tebal real.

5. Gambar nilai Bilangan Reynold Re untuk variasi kecepatan dan jarak pada pelat halus



Gambar 15 Bilangan Reynold Re vs kecepatan aliran dalam m/s



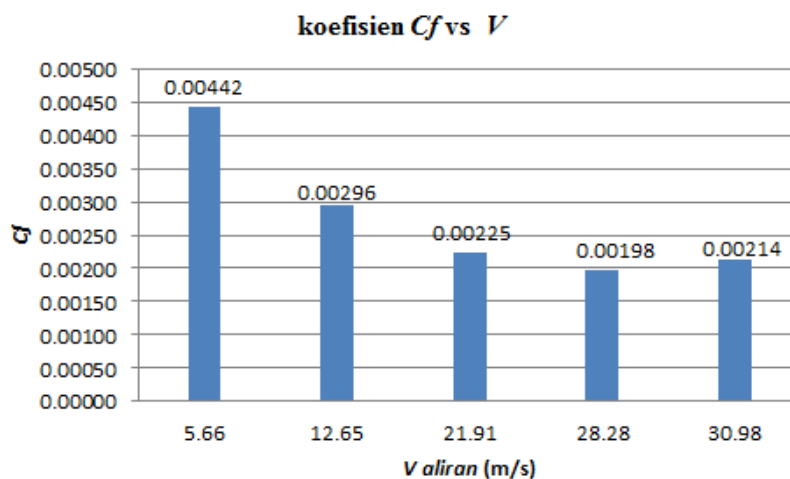
Gambar16 Bilangan Reynold vs kecepatan aliran

Dari gambar ini menunjukkan bahwa aliran yang terjadi pada pipa halus pada kecepatan di bawah 30,98 m/s semuanya laminar, sedangkan pada 30,98 m/s maka nilai bilangan Reynold Re melampaui 1.000.000 dan disimpulkan bahwa itu adalah turbulen.

6. Penentuan nilai koefisien Skin Friction Drag C_f net pelat halus

Tabel 2. Nilai Koefisien Skin Friction Drag C_f pada pelat halus

No.	$V(m/s)$	Re_c	C_f	tipe
1	5.66	90127.39	0.00442	laminar
2	12.65	201433.1	0.00296	laminar
3	21.91	348867.9	0.00225	laminar
4	28.28	450386.5	0.00198	laminar
5	30.98	49337367	0.00214	turbulen

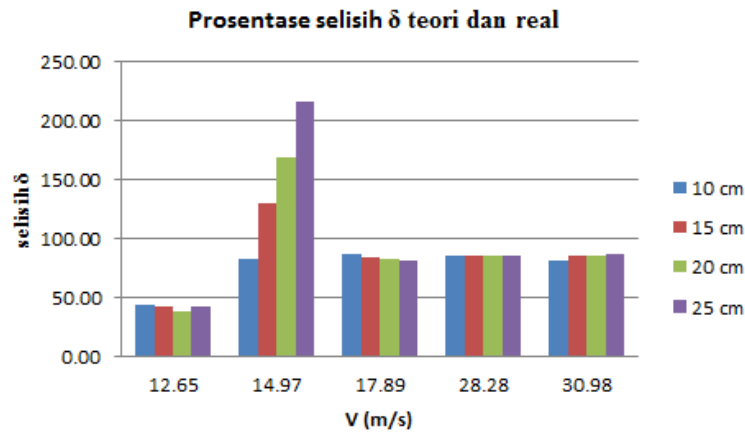


Gambar 17 Nilai C_f sebagai fungsi kecepatan aliran

Dari tabel dan gambar terlihat bahwa untuk kecepatan 5,66 m/s, 12,65 m/s, 21,91 m/s dan 28,28 m/s yang merupakan aliran laminar, maka nilai C_f mengalami penurunan. Sedangkan di kecepatan 30,98 m/s ditemukan adanya kenaikan nilai C_f .

7. Perbedaan antara δ real dan teoritik pelat kasar**Tabel 3** selisih tebal δ real dan teoritik pelat kasar (angka dalam mm)

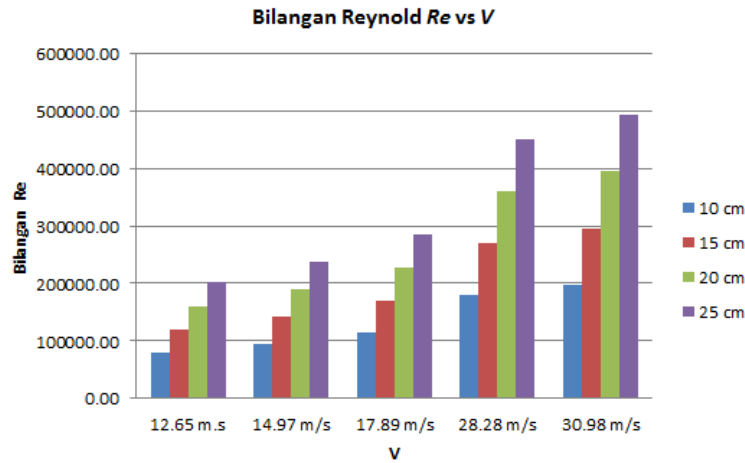
x(cm)	$\delta(12.65 \text{ m/s})$		$\delta(14.97 \text{ m/s})$		$\delta(17.89 \text{ m/s})$		$\delta(28.28 \text{ m/s})$		$\delta(30.98 \text{ m/s})$	
	real	teori	real	teori	real	teori	real	teori	real	teori
10 cm	3.15	1.76	1.62	2.95	10.77	1.48	8.27	1.13	5.83	1.13
15 cm	3.7	2.16	1.98	4.55	11.17	1.81	9.67	1.38	9	1.38
20 cm	4.04	2.49	2.29	6.15	11.85	2.09	11.73	1.59	11.15	1.59
25 cm	4.86	2.79	2.56	8.08	12.51	2.34	13.15	1.78	13.07	1.78

**Gambar 18.** Selisih tebal lapisan δ sebagai fungsi kecepatan aliran

Terlihat dari tabel dan gambar bahwa selisih tebal lapisan yang diprediksi teori dan real diukur selisihnya cukup jauh di atas 50%. Data menunjukkan bahwa tebal lapisan real selalu lebih besar dibandingkan dengan tebal lapisan teoritik.

8. Gambar nilai Bilangan Reynold Re untuk variasi kecepatan dan jarak pada pelat kasar

Dari gambar terlihat bahwa dari kecepatan 12,65 m/s meningkat hingga 30,98 m/s itu terjadi kecenderungan meningkat bilangan Reynoldnya tetapi nilai bilangan Reynold masih di bawah nilai aliran transisi, dan belum menjadi turbulen. Jadi meskipun tebal lapisan batas yang terjadi pada lapisan kasar ini lebih besar dibandingkan yang pelat halus, tetapi jenis alirannya dengan kecepatan naik hingga 30,98 m/s masih laminar karena di bawah nilai 500.000. Berbeda dengan pelat halus yang untuk kecepatan 30,98 m/s pada jarak 25 cm menunjukkan pola turbulen secara drastis.

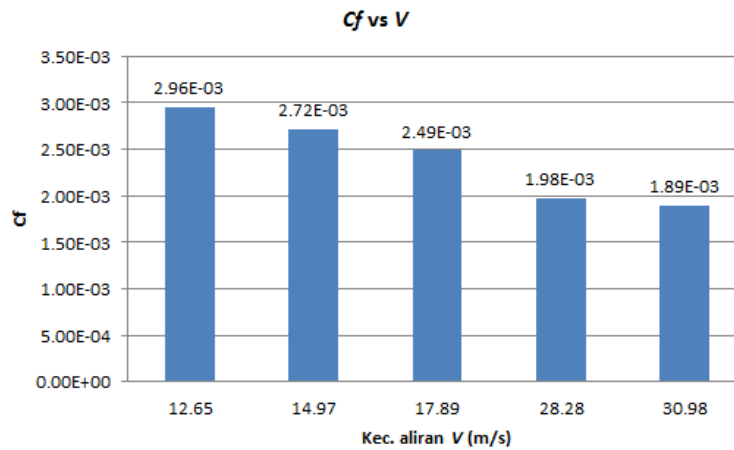


Gambar 19 Bilangan Reynold vs V

9. Pengukuran tebal lapisan batas δ sebagai fungsi dari jarak pelat kasar x dari leading edge.

Tabel Nilai koefisien skin friction drag net C_f pada pelat kasar

No	V(m/s)	Re_c	tipe	C_f
1	12.65	2.01E+05	laminar	2.96E-03
2	14.97	2.38E+05	laminar	2.72E-03
3	17.89	2.85E+05	laminar	2.49E-03
4	28.28	4.50E+05	laminar	1.98E-03
5	30.98	4.93E+05	laminar	1.89E-03



Gambar 20 Koefisien Skin Friction Drag C_f vs V untuk pelat kasar

Dari tabel dan gambar terlihat bahwa , untuk kecepatan yang meningkat hingga 30,98 m/s maka nilai C_f mengalami kecenderungan penurunan.

V. KESIMPULAN

1. Pada pelat kasar dibandingkan pelat halus, maka tebal lapisan batas lebih besar untuk variasi kecepatan aliran yang sama. Pada pelat halus, tebal lapisan teoritik pada kecepatan rendah 5,66 m/s tidak jauh berbeda dibandingkan dengan tebal real sedangkan untuk kecepatan tinggi selisihnya lebih besar.

2. Pada pelat halus bilangan Reynold untuk kecepatan di bawah 30,98 m/s adalah laminar semua, sedangkan pada 30,98 m/s didapatkan aliran turbulen.
3. Pada pelat halus, ditemukan bahwa makin cepat kecepatan aliran laminar maka akan mengurangi nilai C_f , bahkan pada kecepatan rendah aliran laminar, nilai C_f pun masih lebih tinggi dibanding nilai C_f pada kecepatan tinggi untuk aliran turbulen.
4. Pada pelat kasar, selisih tebal lapisan teoritik berbeda jauh dengan tebal real. Pada pelat kasar, semua aliran pada variasi kecepatan hingga 30,98 m/s masih laminar.
5. Pada pelat kasar, didapatkan nilai C_f yang cenderung turun untuk kecepatan meningkat hingga 30,98 m/s.
6. Persamaan yang dipakai dalam penelitian memang bersifat pendekatan saja karena empirik tidak selalu tepat sama dengan apa yang diukur, tetapi tidak memberikan simpangan jauh, tapi cukup memberi pendekatan.
7. Variasi kecepatan yang maksimal hanya sampai 30,98 m/s belum bisa memberi gambaran bagaimana nilai C_f terhadap kenaikan kecepatan, karena nilai *Skin Friction Drag* seharusnya meningkat dengan naiknya kecepatan aliran[4]. Dari nilai C_f untuk pelat kasar, ternyata tidak berbeda dengan pelat halus untuk 12,65 m/s, 28,28 m/s. Sedangkan untuk pelat halus, nilai C_f untuk 30,98 m/s memberi nilai C_f yang lebih besar dibanding C_f untuk pelat kasar karena sifat aliran yang turbulen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, A., *Fundamentals of Aerodynamics*, Mc.Grawhill, Edisi 6, New York, 2017.
 [2] Riefler, Guy, Friction Drag, Ohio University, video Youtube, 2011
 [3] Markland, E, A First Course in Airflow, TecQuipment, U.K., 2016
 [4] Flight Club, What is Drag?, no date, You Tube, 2015



Purwadi, S.Si., M.Pd.Si., adalah lulusan dari FMIPA Fisika UGM tahun 1994. Sedangkan gelar Magister Pendidikan Fisika didapat dari Program Pascasarjana UAD tahun 2014 dengan thesis berjudul “Pengembangan Bahan Ajar Gerak Parabola dengan pengaruh gaya Drag dan spin efek Magnus bola dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Mathematics*”. Profesi keseharian penulis adalah tenaga pengajar untuk mata kuliah Fisika, Mekanika Fluida, Mekanika Teknik dan Termodinamika, kegiatan mengajar Taruna sudah dilakukan sejak tahun 1996, penulis saat ini berdinasi sebagai Dosen Golongan VI AAU, selain sebagai anggota Dosen dan Instruktur AAU juga menjadi Dosen Tetap Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan. Sekarang ini penulis sedang meneliti tentang aspek Fisika dalam Mekanika Fluida terkait dengan aplikasinya di dunia kedirgantaraan.