

Experimental study of the boundary layer development on the flat plate at laminar flow

A. Grummy Wailanduw¹, Priyo Heru Adiwibowo¹, Budihardjo Achmadi Hasyim¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Jl. Rektorat Unesa, Lidah Wetan, Kota Surabaya 60213
Email korespondensi: grummywailanduw@unesa.ac.id

Abstrak

Pengaruh adanya plat datar terhadap silinder maupun susunan silinder yang diletakan dekat dengannya dapat dijelaskan melalui adanya informasi karakteristik aliran yang terjadi pada plat datar tersebut itu sendiri. Kajian eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan open-circuit sub-sonic wind tunnel ini bertujuan untuk mendapatkan informasi perkembangan boundary layer (lapis batas) yang terjadi di plat datar pada kondisi aliran laminar. Pengujian model plat datar ini dilakukan pada jarak 0,350 m; 0,409 m; 0,438 m; 0,680 m; dan 0,750 m dari leading edge plat datar. Kecepatan free stream yang digunakan adalah $10,4 \pm 0,1$ m/s. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan boundary layer thickness seiring dengan penambahan jarak dari leading edge plat datar.

Kata kunci: boundary layer, plat datar, laminar flow.

Abstract

The development of boundary layer over flat plate could explain an effect to a flow characteristic around a single cylinder or a cylinders arrangement near a plane wall. This experiment is conducted to an open-circuit sub-sonic wind tunnel within the laminar flow condition. The flat plate is placed in the middle of a test section, and the development of boundary layer is measured at a various distance of 0.350 m, 0.409 m, 0.438 m, 0.680 m, and 0.750 m from a leading edge. A free-stream velocity is 10.4 ± 0.1 m/s. The result shows the boundary layer development increase when the distance from a leading edge increasing.

Keywords: boundary layer, flat plat, laminar flow.

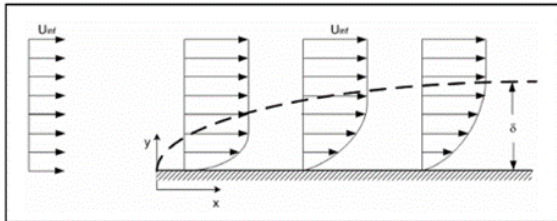
1. Pendahuluan

Geometri plat datar sering digunakan sebagai objek penelitian untuk merepresentasikan dinding, Misalkan penelitian tentang karakteristik aliran di sekitar objek dekat dinding. Beberapa penelitian terdahulu meneliti pengaruh variasi jarak silinder tunggal dengan dinding terhadap besaran gaya aerodinamik yang timbul pada silinder [1]. Sama dengan peneliti sebelumnya, melakukannya pada bentuk dan diameter silinder yang lebih kecil, tetapi nilai Re relatif sama [2]. Sementara peneliti berikutnya, memvariasi posisi penempatan center silinder terhadap leading edge plat datar [3]. Selain itu, penelitian menggunakan metode visualisasi, mengamati fenomena aliran di upstream silinder dekat dinding [4]. Penelitian-penelitian di atas dilakukan pada kondisi plat datarnya diam, sementara kondisi lain yakni pada kondisi plat datarnya bergerak [5]. Peneliti memfokuskan pada besaran vortex yang menimbulkan getaran atau VIV pada silinder dekat dinding, apabila kecepatan aliran divariasikan [6]. Peneliti mengamati susunan dua silinder secara tandem dekat dinding [7]. Penelitian tersebut memvariasikan jarak susunan silinder tersebut terhadap dinding. Sementara peneliti yang lain meneliti pada susunan dua silinder secara side-by-side dekat dinding [8]. Kedua penelitian tersebut

mengukur distribusi tekanan di sekeliling silinder dan sepanjang plat datar, dan dengan bantuan simulasi numerik untuk menggambarkan fenomena aliran di daerah sekitar silinder. Berikutnya peneliti, meneliti susunan empat silinder secara in-line dekat dinding [9,10,11,12]. Selain memvariasikan besaran jarak susunan silinder terhadap dinding, memvariasikan besaran jarak antar silinder, juga memvariasikan bilangan Reynolds. Penelitian-penelitian tersebut mengukur distribusi tekanan di sekeliling silinder dan sepanjang plat datar, dan dengan bantuan simulasi numerik untuk menggambarkan fenomena aliran di sekitar susunan silinder.

Hasil penelitian-penelitian di atas menunjukkan bahwa adanya dinding yang ditempatkan dekat silinder ataupun susunan silinder mempengaruhi karakteristik aliran. Terjadi perubahan fenomena aliran di sekitar silinder. Seperti hasil yang diperoleh oleh peneliti, menunjukkan bahwa ketika susunan silinder tersebut di tempatkan dekat dinding membuat distribusi tekanan dan pola aliran di sekeliling susunan empat silinder berubah menjadi tidak simetri [10]. Fenomena berbeda apabila dibandingkan dengan susunan di center line. Tetapi kondisi menjadi sama ketika jarak susunan silinder dengan dinding diseting pada besaran tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa pada besaran jarak tertentu dengan dinding ada

interferensi aliran dinding terhadap aliran di sekitar silinder ataupun susunan silinder. Aliran pada plat datar mengikuti pola seperti Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Aliran pada plat datar.

Tampak aliran pada plat datar merupakan *zero pressure gradient flow*, artinya tidak terjadi perubahan tekanan dalam aliran selama mengalir di atas plat datar. Dengan demikian penyebab dari gradiasi kecepatan di dalam lapisan batas karena adanya tegangan geser pada bidang datar akibat viskositas dari fluida yang mengalir. Dalam lapisan batas tepat di atas permukaan plat datar kecepatannya sama dengan 0 (nol), atau dikatakan aliran tidak terjadi slip (*no slip condition*) pada bidang tempatnya mengalir. Sampai batas ketebalan tertentu dari permukaan tempat mengalir terjadi gradiasi kecepatan hingga pada suatu titik tertentu di mana kecepatannya sama dengan 99% kecepatan aliran *free stream*. Perkembangan aliran yang terjadi didalam lapisan batas dapat berupa laminar atau turbulen, hal ini dapat diketahui dari besaran *shape factor* (H).

$$\delta^* = \int \left(1 - \frac{u}{u_\infty}\right) dy \quad (1)$$

$$\theta = \int \frac{u}{u_\infty} \left(1 - \frac{u}{u_\infty}\right) dy \quad (2)$$

$$H = \frac{\delta^*}{\theta} \quad (3)$$

Dimana:

δ^* = displacement thickness

θ = momentum thickness

H = shape factor

Dalam kajian ini akan didapatkan informasi terkait aliran di atas plat datar, khususnya perkembangan lapis batas. Pengujian ini dilakukan pada kecepatan *free stream* $10,4 \pm 0,1$ m/s. Apabila dihitung berdasarkan jarak dari *leading edge*, maka diperoleh seperti Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Bilangan reynolds dan jenis aliran.

Variasi	Jarak dari leading edge (mm)	Bilangan Reynolds	Jenis aliran
1	350	$2,49 \times 10^5$	Laminar
2	409	$2,91 \times 10^5$	Laminar
3	438	$3,12 \times 10^5$	Laminar
4	680	$4,84 \times 10^5$	Laminar
5	750	$5,34 \times 10^5$	Transisi

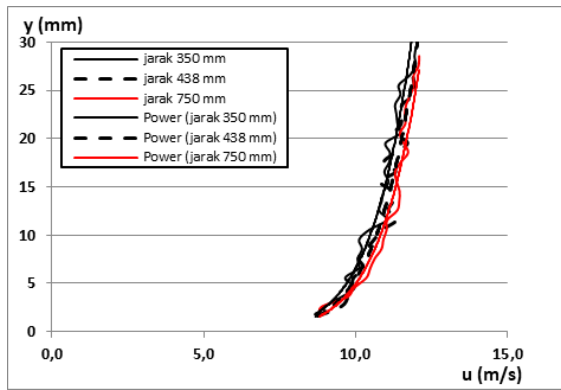
Sesuai dengan yang telah dikaji bahwa apabila bilangan Reynolds lebih kecil dari 5×10^5 , diklasifikasikan dalam aliran laminar, selanjutnya aliran transisi [13]. Informasi yang diperoleh melalui kajian ini diharapkan dapat menjelaskan faktor penyebab terjadinya perbedaan karakteristik aliran di silinder atau susunan silinder dekat dinding tersebut.

2. Metode

Kajian ini dilakukan pada *open-circuit sub-sonic wind tunnel* dengan spesifikasi *test section* 365 mm x 365 mm x 1220 mm. Model plat datar terbuat dari akrilik dengan ketebalan 10 mm, dan ukuran panjang x lebar adalah 1220 mm x 340 mm. Pada bagian *leading edge* permukaan sisi bawah plat datar dibuat runcing dengan sudut 30° agar mendapatkan aliran masuk yang *uniform*. Sementara pada bagian *trailing edge* dibuat tumpul 90° untuk mencegah terjadinya aliran ke atas. Pengujian perkembangan *natural boundary layer* ini dilakukan pada jarak 350 mm, 409 mm, 438 mm 680 mm dan 750 mm dari *leading edge* plat datar.

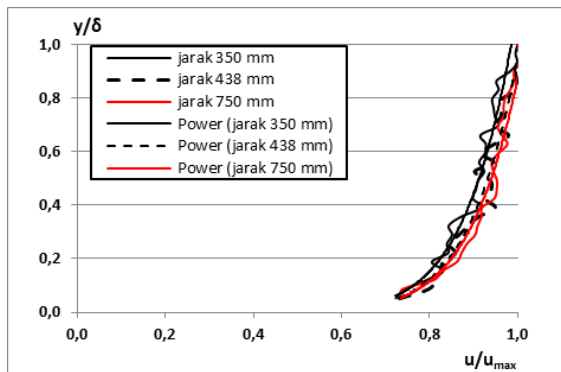
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan profil kecepatan dalam boundary layer untuk 3 (tiga) jenis jarak dari *leading edge* plat datar. Melalui gambar tersebut terlihat bahwa ketika aliran melintasi plat datar terjadi gradiasi kecepatan, dimulai dari kecepatan sama dengan 0 (tepat pada dinding) dan meningkat sampai besaran kecepatannya sama dengan 0,99 kecepatan *free stream*. Besaran jarak dari plat datar hingga kecepatan tersebut tercapai sebesar ± 30 mm, dan makin besar (perubahannya tidak terlalu signifikan) seiring dengan bertambah jauhnya jarak dari *leading edge*. Gradiasi kecepatan ini dikarenakan adanya efek gesekan atau *friction* antara fluida dengan permukaan plat, dan antara partikel fluida dengan partikel fluida itu sendiri.



Gambar 2. Profil kecepatan dalam boundary layer.

Gambar 3 di bawah ini menunjukkan profil kecepatan dalam *boundary layer* dalam bentuk non dimensional untuk 3 (tiga) variasi jarak *leading edge* dari plat datar. Melalui gambar tersebut terlihat bahwa profil kecepatan dalam *boundary layer* relatif sama untuk ketiga variasi tersebut.



Gambar 3. Profil non-dimensional boundary layer.

Tabel 2 menunjukkan perkembangan *boundary layer* untuk 5 (lima) variasi jarak dari *leading edge* plat datar. Melalui tabel tersebut terlihat bahwa dimulai jarak yang terdekat (350 mm) sampai dengan jarak yang terjauh (750 mm) dari *leading edge*, profil kecepatan yang terjadi dalam lapis batas atau *boundary layer* keseluruhannya adalah *turbulent boundary layer*. Hal ini dapat diketahui dari besaran *shape factor* (H). Berdasarkan pada aliran *turbulent boundary-layer*, H meningkat dari 1,3 dan mendekati 2,5 pada saat separasi [14]. Sementara $H = 2,5$ dan separasi mendekati 3,5 pada aliran *laminar boundary layer*.

Tabel 2. Perkembangan boundary layer.

No.	Jarak dari leading edge (mm)	Shape factor (H)
1	350	1,298
2	409	1,311
3	438	1,317
4	680	1,331
5	750	1,334

4. Kesimpulan

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan jarak dari *leading edge* plat datar terjadi peningkatan *boundary layer thickness*, walaupun relatif kecil. Dan pada lima variasi jarak dari *leading edge*, profil kecepatan yang terbentuk secara keseluruhan adalah *turbulent boundary layer*.

Ucapan Terima Kasih

Menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) melalui Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Direktorat Riset dan Pengabdian (DRPM) dengan surat kontrak perjanjian dengan No. B/21823/UN38.9/LK.04.00/2019, tanggal 29 Maret 2019.

Daftar Pustaka

- [1] M.M. Zdravkovich. 1985, Forces on a circular cylinder near a plane wall, Applied Ocean Research. 7: 4, 197-201.
- [2] J.H. Choi and S.J. Lee. 2000, Ground effect of flow around an elliptic cylinder in a turbulent boundary layer, Journal of Fluids and Structures. 14, 697-709.
- [3] C. Lei. et al.. 1999, Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 80, 263-286.
- [4] C. Lin et al.. 2005, Flow characteristics around a circular cylinder near a plane boundary, International Symposium on Transport Phenomena. 16, 1-9.
- [5] T. Nishino and G.T. Roberts. 2008, Absolute and convective instabilities of two dimensional bluff body wakes in ground effect, European Journal of Mechanics B/Fluids. 27, 539-551.
- [6] S.C. Hsieh et al.. 2016, Flow characteristics around a circular cylinder subjected to vortex-induced vibration near a plane boundary, Journal of Fluids and Structures. 65, 257-277.
- [7] T. Yuwono et al.. 2010, Flow around two circular cylinders in tandem arrangement near a plane wall, Proceeding Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology, February. 9-10.
- [8] A.G. Wailanduw et al.. 2015, Flow around two side-by-side circular cylinders with intermediate spaced near a plane wall, Advances and Application in Fluid Mechanics. 18-2, 277-290.
- [9] A.G. Wailanduw et al.. 2014, Flow characteristics around four circular cylinders in equispaced arrangement near a plane wall, Applied Mechanics and Materials. 493, 245-250.
- [10] A.G. Wailanduw et al.. 2016, Numerical simulation of cross-flow around four circular cylinders in-line square configuration near a

- plane wall, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11-2, 812-817.
- [11] A.G. Wailanduw and T. Yuwono. 2018, Numerical simulation of cross-flow around four circular cylinders in-line square configuration near a plane wall at supercritical Reynolds number, *AIP Conference Proceedings*. 1983: 020024.
- [12] A.G. Wailanduw and T. Yuwono. 2018. Numerical simulation of cross-flow around four circular cylinders in an in-line square configuration with the critical spacing ratio "L/D" near a plane wall, *AIP Conference Proceedings*. 1984: 020001.
- [13] K. Gemba. 2007, Measurement of boundary layer on a flat plate., California State University, Long Beach March. 25th, 1-12.
- [14] Fox, W. Robert et al.. 2010, *Introduction to fluid mechanics: Eight Edition*, John Wiley & Sons, Inc.