

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER
PERSEGI TERSUSUN TANDEM SERI**

**Disusun dan diajukan oleh :
ADHYETA MARCHELLY TAHIR
D21116320**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

SKRIPSI
KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER
PERSEGI TERSUSUN TANDEM SERI

Disusun dan diajukan oleh:
ADHYETA MARCHELLY TAHIR
D21116320

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021

LEMBAR PENGESAHAN

KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER PERSEGI TERSUSUN TANDEM SERI

Disusun dan diajukan oleh :

ADHYETA MARCHELLY TAHIR

D211 16 320

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka

Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin


Pada tanggal 12 April 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T
NIP. 19591220 148601 1 001


Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T
NIP. 19750827 200501 1 002

Ketua Departemen Teknik Mesin



Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP. 19720825 200003 1 001

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Adhyeta Marchelly Tahir
Tempat Tanggal Lahir : Ujung Pandang, 29 Maret 1998
Alamat : Jl. Paccinang Raya IV no. 71/123. Tello Baru
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Kristen Protestan
Telepon : 08970444735
E-mail : adhyetamarchelly29@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMAS Santo Antonius Jakarta (2013 – 2016)
SMPS Santo Markus 1 Jakarta (2010 – 2013)
SDS Santo Markus 1 Jakarta (2004 – 2010)
Riwayat Organisasi : HMM FT-UH
OKFT-UH
MARCH HMM FT-UH
KOMTEK09 FT-UH
CSR FT-UH
Pengalaman Kerja : ASISTEN LABORATORIUM MEKANIKA FLUIDA
(September 2020 - Desember 2020)
ASISTEN LABORATORIUM MESIN FLUIDA
(Januari 2019 - Desember 2020)
PT. DIRGANTARA INDONESIA (PERSERO)
(Desember 2018 - Februari 2019)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Adhyeta Marchelly Tahir

NIM : D211 16 320

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER PERSEGI TERSUSUN TANDEM SERI”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang satu tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 5 April 2021

Yang membuat pernyataan,



Adhyeta Marchelly Tahir

ABSTRAK

Adhyeta Marchelly Tahir. *Karakteristik Aliran Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Seri* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir Nasaruddin Salam, M.T. dan Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T.).

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tujuan penelitian ini untuk (1) menganalisis karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri (2) menganalisis koefisien tahanan, koefisien tekanan dan pemisahan aliran fluida melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri (3) menentukan nilai koefisien tahanan dan koefisien tekanan yang optimum melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.

Pendekatan eksperimental dilakukan dengan *wind tunnel* untuk mengukur gaya tahanan dan distribusi tekanan aliran fluida serta divalidasi dengan pendekatan komputasi melalui software *Computational Fluid Dynamics (CFD)* Fluent 6.3.26. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder persegi berdiameter 50 mm dengan ketebalan 2 mm sebanyak tiga buah yang disusun secara tandem seri. Dengan 7 variasi jarak antar silinder persegi (N/D) dan (M/D), yaitu 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 dan 1.1 dengan 9 tingkat kecepatan, yaitu 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s, 11 m/s, 13 m/s, 15 m/s, 17 m/s, 19 m/s, 21 m/s. Penelitian berlangsung pada bilangan Reynolds (Re) = 13971 sampai dengan $Re = 58678$. Hasil penelitian menunjukkan semakin kecil jarak antar silinder maka separasi aliran yang terjadi bisa lebih ditunda sehingga olakan aliran yang ditimbulkan teredam dan menghasilkan nilai koefisien tahanan sebesar $C_D = 1.449$ dan rata-rata nilai koefisien tekanan sebesar $C_{p_{min}} = -0.65$ pada $Re = 58678$.

Kata Kunci: Karakteristik aliran, koefisien tahanan, koefisien tekanan, tiga silinder persegi, tandem seri, *CFD* Fluent 6.3.26.

ABSTRACT

Adhyeta Marchelly Tahir. *Flow Characteristics Through Three Square Cylinders Arranged Tandem Series* (supervised by Prof. Dr. Ir Nasaruddin Salam, MT and Dr. Rustan Tarakka, ST., MT).

The research was conducted at the Laboratory of Fluid Mechanics, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The purpose of this research is to (1) analyze the flow characteristics through three square cylinders arranged in tandem series (2) analyze the resistance coefficient, pressure coefficient and fluid flow separation through three square cylinders arranged in tandem series (3) determine the optimum resistance coefficient and pressure coefficient through three square cylinders arranged in series tandem.

The experimental approach was carried out with a wind tunnel to measure the resistance force and pressure distribution of the fluid flow and validated with a computational approach through the Computational Fluid Dynamics (CFD) Fluent 6.3.26 software. This study used three specimens in the form of a square cylinder with a diameter of 50 mm and a thickness of 2 mm, arranged in tandem series. With 7 variations of the distance between square cylinders (N/D) and (M/D), namely 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 dan 1.1 with 9 levels of velocity, namely 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s, 11 m/s, 13 m/s, 15 m/s, 17 m/s, 19 m/s, 21 m/s. The research took place at Reynolds number (Re) = 13971 up to Re = 58678. The results showed that the smaller the distance between the cylinders, the more delay the flow separation occurs so that the resulting flow process is damped and results in a resistance coefficient value of 1.449 and the average pressure coefficient value of = -0.65 with Re = 58678.

Keywords: Flow characteristics, resistance coefficient, pressure coefficient, three square cylinder, tandem series, CFD Fluent 6.3.26.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur hanya bagi Tuhan Yesus, oleh karena anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia yang besar akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul **“KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER PERSEGI TERUSUSUN TANDEM SERI”**. Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Disamping itu, penulisan skripsi ini diharapkan dapat memperluas pengetahuan pembaca, secara khusus mahasiswa/i Departemen Teknik Mesin.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak menghadapi kendala dan masalah, oleh karena usaha dan kemampuan yang Tuhan berikan kepada penulis serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka penulisan skripsi ini dapat selesai. Penulis juga berterimakasih atas setiap doa yang selalu mengiringi tiap langkah penulis.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Nasaruddin Salam, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yenny Laitalo dan Alm. M. Tahir selaku orang tua penulis yang sangat tercinta dan juga Alm. Yohannis Laitalo selaku Opa tersayang, dan Fedora Dheaty Tahir selaku adik penulis yang selama ini telah memberikan doa, kasih sayang, dorongan dan semangat kepada penulis dalam penyusunan skripsi walaupun ayah dan opa belum sempat melihat penulis menyelesaikan skripsi ini.
2. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin.

3. Yth Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sudah dibagikan terhadap penulis. Ilmu dan pengetahuan yang membuat penulis semakin mengerti fenomena-fenomena dalam bidang teknik terutama bidang teknik mesin.
6. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Bu Sury, Pak Iwan dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu dalam pengurusan kelengkapan berkas-berkas skripsi ini sampai selesai.
7. Teman-teman di Laboratorium Mekanika Fluida terkhusus Muhammad Rachmad Imanuddin Umar dan Fachrul Rasyidin Kadir Thalib yang setia menemani selama masa penulisan dan yang tidak dapat saya sebutkan.
8. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin angkatan 2016 “COMPRESSOR” terkhusus Lulu Fajriani Pasrah Arunsae yang telah memberi bantuan, dukungan, kerjasama yang sudah dijalani selama ini dan kiranya kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.

Sebagai manusia biasa, tentunya penulis masih memiliki banyak kekurangan pengetahuan dan pengalaman pada topik yang diangkat dalam Skripsi ini, begitu pula dalam penulisannya. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima masukan atau kritik dari para pembaca maupun saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan penulisan skripsi di masa yang akan datang.

Gowa, 29 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Lapisan Batas.....	7
2.2 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen	11
2.3 Pemisahan Aliran (Separasi)	12
2.4 Aliran <i>Vortex</i>	13
2.5 Bilangan Reynolds.....	14
2.6 Koefisien Drag.....	15

2.7 Drag Tekanan (C_p).....	17
2.8 Pengukur Kecepatan Aliran.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Benda Uji.....	20
3.3 Pendekatan Komputasi.....	25
3.4 Pendekatan Eksperimental	27
3.4.1 Alat yang digunakan.....	27
3.4.2 Alat penunjang penelitian.....	32
3.4.3 Prosedur pengujian pendekatan eksperimental.....	34
3.5 Diagram Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil.....	37
4.1.1 Contoh perhitungan	37
4.1.2 Karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.....	39
4.1.3 Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder persegi tersusun tandem seri.....	48
4.1.4 Hubungan koefisien tekanan (C_p) terhadap perbandingan jarak tiga silinder persegi tersusun tandem seri.....	54
4.1.5 Perbandingan hasil simulasi CFD dengan eksperimental pada tiga silinder persegi tersusun tandem seri.....	57
4.2 Pembahasan	60
4.2.1 Karakteristik visualisasi aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri	60

4.2.2 Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak silinder persegi tersusun tandem seri.....	62
4.2.3 Hubungan koefisien tekanan (C_P) terhadap perbandingan jarak silinder persegi tersusun tandem seri.....	64
4.2.4 Hubungan antara koefisien tahanan (C_D), koefisien tekanan (C_P), pemisahan aliran dan olakan (<i>wake</i>).....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	72
Lampiran A	73
Lampiran B.....	102

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skema posisi jarak antar silinder persegi	22
Tabel 2. Kondisi batas model	26
Tabel 3. Hasil perhitungan koefisien tahanan (C_D) pada $Re = 13971$, dengan pendekatan komputasi.....	48
Tabel 4. Hasil perhitungan koefisien tahanan (C_D) pada $Re = 13971$, dengan pendekatan eksperimental	49
Tabel 5. Hasil perhitungan koefisien tahanan (C_D) pada $Re = 36325$, dengan pendekatan komputasi.....	50
Tabel 6. Hasil perhitungan koefisien tahanan (C_D) pada $Re = 36325$, dengan pendekatan eksperimental	51
Tabel 7. Hasil perhitungan koefisien tahanan (C_D) pada $Re = 58678$, dengan pendekatan komputasi.....	52
Tabel 8. Hasil perhitungan koefisien tahanan (C_D) pada $Re = 58678$, dengan pendekatan eksperimental	53
Tabel 9. Hasil perhitungan rata-rata koefisien tekanan (C_P) dengan metode eksperimental pada $Re = 13971$	54
Tabel 10. Hasil perhitungan rata-rata koefisien tekanan (C_P) dengan metode eksperimental pada $Re = 36325$	55
Tabel 11. Hasil perhitungan rata-rata koefisien tekanan (C_P) dengan metode eksperimental pada $Re = 58678$	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gaya-gaya yang terjadi pada permukaan benda.....	2
Gambar 2. Karakteristik lapisan batas pada plat datar.....	7
Gambar 3. Karakteristik aliran tunak viskos melewati sebuah silinder bundar	8
Gambar 4. Peralihan kondisi lapisan batas pada pelat datar	9
Gambar 5. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap bilangan reynolds (Re) pada aspek ratio (B) yang bervariasi	10
Gambar 6. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap koefisien tahanan (C_D) pada silinder persegi dengan aspek ratio variasi	10
Gambar 7. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap panjang silinder (x) pada aspek ratio 0.4 dengan bilangan reynolds variasi	11
Gambar 8. Separasi yang bekerja pada silinder persegi panjang vertikal.....	12
Gambar 9. Proses terbentuknya <i>vortex</i> pada sebuah silinder sirkular	13
Gambar 10. Detail aliran yang melalui benda tumpul	14
Gambar 11. Tabung pitot	18
Gambar 12. Benda uji koefisien tahanan	20
Gambar 13. Benda uji koefisien tekanan	20
Gambar 14. Ilustrasi benda uji koefisien tahanan.....	21
Gambar 15. Ilustrasi benda uji koefisien tekanan.....	21
Gambar 16. Instalasi visualisasi aliran.....	27
Gambar 17. <i>Sub-sonic wind tunnel</i>	28
Gambar 18. Seksi uji.....	28
Gambar 19. Tabung pitot (<i>total head tube</i>).....	29

Gambar 20. Motor listrik penggerak fan.....	29
Gambar 21. Airflowmeter kecepatan.....	30
Gambar 22. Pengukur gaya tahanan	30
Gambar 23. Loadcell.....	31
Gambar 24. Manometer tekanan.....	32
Gambar 25. Termometer	32
Gambar 26. Barometer arenoid	33
Gambar 27. Diagram alir penelitian	36
Gambar 28. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1A pada $Re = 13971$	39
Gambar 29. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1D pada $Re = 13971$	39
Gambar 30. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1G pada $Re = 13971$	39
Gambar 31. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2A pada $Re = 13971$	40
Gambar 32. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2D pada $Re = 13971$	40
Gambar 33. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2G pada $Re = 13971$	40
Gambar 34. Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3A pada $Re = 13971$	41

Gambar 35.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3D pada $Re = 13971$	41
Gambar 36.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3G pada $Re = 13971$	41
Gambar 37.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1A pada $Re = 36325$	42
Gambar 38.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1D pada $Re = 36325$	42
Gambar 39.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1G pada $Re = 36325$	42
Gambar 40.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2A pada $Re = 36325$	43
Gambar 41.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2D pada $Re = 36325$	43
Gambar 42.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2G pada $Re = 36325$	43
Gambar 43.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3A pada $Re = 36325$	44
Gambar 44.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3D pada $Re = 36325$	44
Gambar 45.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3G pada $Re = 36325$	44

Gambar 46.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1A pada $Re = 58678$	45
Gambar 47.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1D pada $Re = 58678$	45
Gambar 48.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 1G pada $Re = 58678$	45
Gambar 49.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2A pada $Re = 58678$	46
Gambar 50.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2D pada $Re = 58678$	46
Gambar 51.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 2G pada $Re = 58678$	46
Gambar 52.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3A pada $Re = 58678$	47
Gambar 53.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3D pada $Re = 58678$	47
Gambar 54.	Karakteristik aliran melintasi benda uji model 3G pada $Re = 58678$	47
Gambar 55.	Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder pada $Re = 13971$ dengan metode komputasi.....	48
Gambar 56.	Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder pada $Re = 13971$ dengan metode eksperimental	49

Gambar 57. Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder pada $Re = 36325$ dengan metode komputasi.....	50
Gambar 58. Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder pada $Re = 36325$ dengan metode eksperimental	51
Gambar 59. Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder pada $Re = 58678$ dengan metode komputasi.....	52
Gambar 60. Hubungan koefisien tahanan (C_D) terhadap perbandingan jarak tiga silinder pada $Re = 58678$ dengan metode eksperimental	53
Gambar 61. Hubungan koefisien tekanan (C_P) terhadap perbandingan jarak tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada $Re = 13971$	54
Gambar 62. Hubungan koefisien tekanan (C_P) terhadap perbandingan jarak tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada $Re = 36325$	55
Gambar 63. Hubungan koefisien tekanan (C_P) terhadap perbandingan jarak tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada $Re = 58678$	56
Gambar 64. Perbandingan hasil simulasi CFD dengan eksperimental pada tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada $Re = 13971$	57
Gambar 65. Perbandingan hasil simulasi CFD dengan eksperimental pada tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada $Re = 36325$	58
Gambar 66. Perbandingan hasil simulasi CFD dengan eksperimental pada tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada $Re = 58678$	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

Tabel A 1. Rumus konversi celcius ($^{\circ}\text{C}$) ke kelvin (K)	73
Tabel A 2. Konversi atm ke Pascal.....	73
Tabel A 3. Kecepatan <i>Upstream</i> (U_0) dan bilangan Reynolds (Re)	74
Tabel A 4. Diameter Hidraulik benda uji eksperimen pada model 1, model 2 dan model 3.	74
Tabel A 5. Luas frontal area (A) pada model 1, model 2 dan model 3.....	74
Tabel A 6. Nilai gaya tahanan (F_D) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 1 untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.	75
Tabel A 7. Nilai gaya tahanan (F_D) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 2 untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.	76
Tabel A 8. Nilai gaya tahanan (F_D) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 3 untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.	77
Tabel A 9. Nilai koefisien tahanan (C_D) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 1 untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.	78
Tabel A 10. Nilai koefisien tahanan (C_D) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 2 untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.	79

Tabel A 11. Nilai koefisien tahanan (C_D) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 3 untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.	80
Tabel A 12. Hasil pengamatan distribusi tekanan (<i>head</i>) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 1.	81
Tabel A 13. Hasil pengamatan distribusi tekanan (<i>head</i>) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 2.	85
Tabel A 14. Hasil pengamatan distribusi tekanan (<i>head</i>) tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada pengujian model 3.	89
Tabel A 15. Karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri pada model 1, 2 dan 3 dengan $Re = 13971$, $Re = 36325$ dan $Re = 58678$	93
Tabel A 16. Sifat fisis Udara	101
Lampiran B	
Tabel B 1. Pembuatan model benda uji	102
Tabel B 2. Pengambilan data simulasi CFD	102
Tabel B 3. Pengambilan data eksperimental pada <i>wind tunnel</i>	103
Tabel B 4. Pengambilan data visualisasi aliran	103

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Rekayasa struktur dan transportasi sangat sering sekali digunakan dalam kebutuhan masyarakat. Kebutuhan akan rekayasa struktur dan transportasi semakin lama semakin meningkat, misalnya pada industri transportasi. Pada industri transportasi, rekayasa sangat membantu para desainer kendaraan dalam mendesain sebuah kendaraan yang lebih aerodinamis. Kendaraan diperuntukkan untuk mempermudah pemindahan sebuah barang dari suatu tempat ke tempat lain, apalagi barang yang akan dipindahkan berskala besar. Besarnya kapasitas kendaraan membuat semakin besar pula usaha yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan tersebut.

Ketika kendaraan melaju pada suatu kecepatan, viskositas fluida menyebabkan udara cenderung menempel pada permukaan kendaraan sehingga membentuk lapisan batas (*boundary layer*). Aliran udara di sekitar kendaraan menyebabkan tekanan ke dalam lapisan batas. Ketika aliran udara mencapai bagian belakang kendaraan, aliran mengalami separasi. Hal tersebut menyebabkan terjadinya daerah turbulen yang besar dengan tekanan yang rendah di bagian belakang kendaraan yang disebut dengan olakan (*wake*). Olakan tersebut menyebabkan terjadinya gaya hambat tekanan (*pressure drag*) yang dapat mengganggu performa kendaraan saat melaju. [1]

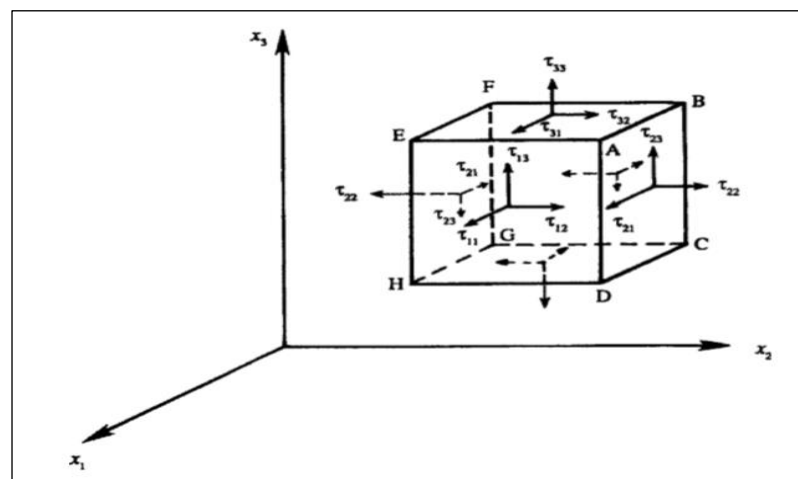
Fluida berviskositas rendah yang bergerak pada kecepatan yang relatif tinggi, di daerah medan aliran dimana aliran mengalami percepatan. Dalam kondisi tersebut kita umumnya mendapatkan bahwa pengaruh viskositas dibatasi hanya pada lapisan batas tipis yang terbentuk pada sebuah batas padat. Diluar lapisan batas tersebut, distribusi kecepatan dan distribusi tekanan dapat diperkirakan cukup dekat dengan penyelesaian aliran potensial. Namun di daerah-daerah medan aliran dimana aliran mengalami perlambatan (misalnya, dibagian belakang dari sebuah *bluff body* atau daerah yang membesar dalam saluran),

tekanan didekat sebuah batas padat akan meningkat dalam arah aliran. Gradien tekanan yang berlawanan ini dapat menyebabkan separasi aliran. [2]

Ketika sebuah aliran fluida mengalir melalui suatu benda, maka terjadi kehilangan energi akibat adanya gaya tahanan yang ditimbulkan oleh pengaruh lapisan batas dan oleh adanya pemisahan aliran (separasi). Ketika gaya tahanan besar maka energi yang dibutuhkan untuk bergerak pun akan semakin besar. Beban aliran fluida pada suatu struktur menjadi salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam desain. [3]

Sebelumnya banyak penelitian dilakukan untuk mencari solusi mengurangi kehilangan energi akibat gaya tahanan tersebut. Oleh karena itu perlu dirancang suatu bentuk penampang yang sesuai, sehingga aliran fluida dapat melintasi benda tanpa terjadi pemisahan aliran atau menunda sampai keujung sehingga menghasilkan aliran seragam setelah melewati benda tersebut.

Bila benda itu berbentuk atau orientasinya sembarang, aliran tersebut akan mengerjakan gaya-gaya pada arah dan momen-momen sekeliling ketiga sumbu koordinatnya, sedangkan pada aliran berkecepatan rendah, maka koefisien tahanan haruslah merupakan fungsi bilangan Reynolds benda itu saja, seperti pada gambar 1. [4]



Gambar 1. Gaya-gaya yang terjadi pada permukaan benda [5]

Beban angin mempunyai struktur yang yang berkelompok dan memiliki karakteristik berbeda dari struktur tunggal dengan bentuk yang sama, karena *interferensi* gabungan dari aliran disekeliling struktur yang berkelompok menunjukkan fenomena yang menarik dan tak terduga. Dalam kategori pertama, tahanan disebabkan secara langsung oleh efek viskos atau biasa tegangan geser. Kategori kedua, walaupun secara tidak langsung biasanya disebabkan tekanan oleh gaya normal atau biasa disebut tahanan bentuk atau tahanan tekanan. [6]

Dalam aplikasi teknik, banyak sekali konstruksi yang menggunakan silinder. Hal ini yang mendorong banyak peneliti untuk melakukan penelian tentang aliran yang melintasi silinder. Oleh karena itu sampai saat ini penelitian aliran melintasi silinder tetap menjadi salah satu hal yang penting dalam mekanika fluida. Selain itu, mengapa penting untuk melakukan studi dengan objek silinder sebagai objek karena proyeksi bentuk silinder dapat diaplikasikan pada berbagai benda atau peralatan yang digunakan di industri maupun masyarakat. [7]

Bila aliran melalui silinder persegi yang mengalami perubahan aspek ratio atau perbandingan antara panjang dan lebar silinder persegi (L/D_m) dari 1 sampai dengan 8 pada bilangan Reynolds 5000, maka pola vorteks aliran pada bagian belakang silinder berubah dan diperoleh koefisien hambatan terkecil sekitar 0,9 pada $L/D_m = 4$ dan bilangan Strouhal $St = 0,6$. [8]

Pengaruh interferensi dua silinder persegi yang dipasang tandem. Perlakuan yang diberikan adalah merubah perbandingan jarak kedua silinder (L) dengan lebar (d) dari 2 sampai dengan 7 dan parameter geser tak berdimensi (K) dari 0 sampai dengan 4, pada bilangan Reynolds (Re) yang tetap sebesar 100. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai K dan L/d sangat berpengaruh terhadap besarnya bilangan Strouhal (St). [9]

Sebuah penelitian tentang distribusi tekanan aliran fluida melalui silinder segitiga dan silinder persegi pada $d/D = 0,5$ dianalisis secara eksperimental dengan $Re_D = 48,708; 64,435; 94,480; 119,509$ dan $152,449$ dan $L/D = 0,5; 1,0$ dan $1,5$ menunjukkan bahwa koefisien tekanan berubah dengan jarak antara dua silinder dan mencapai terkecil di $L/D = 1,0$. Pola distribusi koefisien tekanan hampir serupa untuk semua nomor Reynolds dan L/D meskipun nilai koefisien tekanan berubah dengan bilangan Reynolds dan L/D . Pola distribusi tekanan sebagian besar tergantung pada geometri silinder baik segitiga atau silinder persegi, sedangkan rasio jarak dari dua silinder ke diameter silinder utama hanya mempengaruhi nilai tinggi dan rendah dari koefisien tekanan. Koefisien tekanan negatif dominan di bagian depan silinder persegi, menunjukkan bahwa pada saat silinder segitiga berada didepan silinder persegi maka akan terjadi penurunan *drag*. [10]

Penelitian tentang reduksi tahanan dan koefisien tahanan pada silinder persegi tersusun tandem dengan tambahan silinder sirkular sebagai pengganggu dengan perlakuan yang diberikan adalah jarak silinder dibuat konstan, 5 tingkat kecepatan aliran udara, 8 tingkat perbandingan jarak antara silinder *IDB* (*Inlet Disturbance Body*) dengan silinder persegi (L/D) serta 3 tingkat perbandingan diameter antara silinder *IDB* dengan silinder persegi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa perubahan d/D tidak berpengaruh dengan pola karakteristik C_D terhadap Re_D , dimana bila Re_D diperbesar, maka nilai C_D akan kecil. Perubahan Re juga tidak mempengaruhi pola karakteristik C_D terhadap L/D , dimana ketika L/D diperbesar maka nilai C_D akan kecil. Hal ini menjelaskan bahwa *vortex* aliran didepan silinder adalah kecil, sehingga pertumbuhan lapisan batas menjadi kecil. Dan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penempatan silinder pengganggu dengan jarak yang tepat akan menurunkan reduksi tahanan aliran yang melewati benda tersebut. [3]

Berdasarkan uraian di atas, saya tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul **“Karakteristik Aliran Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Seri”**.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang menjadi sumber pertimbangan untuk melaksanakan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran saat melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.
2. Bagaimana koefisien tahanan, koefisien tekanan dan pemisahan aliran yang melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.
3. Bagaimana nilai koefisien tahanan dan koefisien tekanan yang optimum saat melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini, sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik aliran saat melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.
2. Menganalisis koefisien tahanan, koefisien tekanan dan pemisahan aliran yang melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.
3. Menentukan nilai koefisien tahanan dan koefisien tekanan yang optimum saat melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem seri.

1.4. Batasan Masalah

Dengan melihat bahwa luasnya permasalahan yang dikaji maka untuk itu saya membatasinya menjadi beberapa hal, yaitu:

1. Karakteristik aliran yang digunakan adalah aliran laminar.
2. Profil (benda uji) yang digunakan adalah silinder persegi dengan ukuran diameter 50 mm.
3. Fluida yang di gunakan adalah udara yang dimampatkan (*compressible*) dan aliran fluida dianggap tidak berubah terhadap waktu (*steady flow*).
4. Perpindahan panas yang terjadi akan diabaikan.
5. Laju aliran angin yang melewati *wind tunnel* ada beberapa variasi kecepatan, yaitu 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s, 11 m/s, 13 m/s, 15 m/s, 17 m/s, 19 m/s, dan 21 m/s.
6. Variasi jarak yang digunakan, yaitu 0 mm; 5 mm; 15 mm; 25 mm; 35 mm; 45 mm; dan 55 mm.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Bagi penulis

Menambah pengetahuan baru mengenai karakteristik aliran melewati tiga silinder persegi tersusun tandem seri.

2. Bagi akademik

Sebagai bahan referensi atau perbandingan dalam melakukan pengujian atau percobaan yang berhubungan dengan aliran fluida terhadap bentuk benda persegi tersusun tandem seri.

3. Bagi masyarakat atau industri

Memberi masukan kepada pihak industri dan masyarakat mengenai masalah konstruksi untuk mendapatkan suatu jarak yang tepat untuk suatu benda tandem berbentuk silinder persegi yang setepat mungkin.

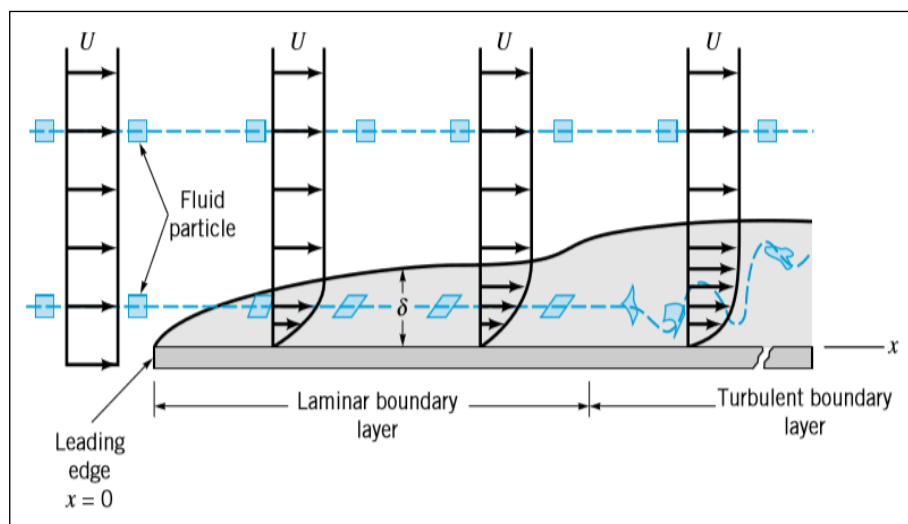
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapisan Batas

Lapisan batas adalah daerah dimana aliran mengalami hambatan karena adanya tegangan geser yang besar pada permukaan benda, sehingga partikel-partikel fluida terpaksa berhenti pada sekitar permukaan benda karna gesekan viskos. [2]

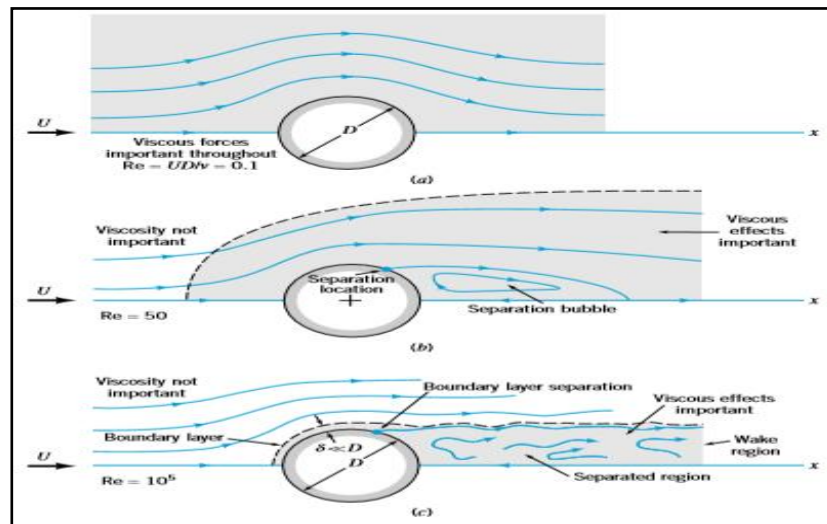
Proses pembentukan lapisan batas mungkin paling baik bila divisualisasikan dengan membayangkan aliran di sepanjang sebuah pelat rata, dilihat dari gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik lapisan batas pada plat datar [11]

Dari gambar 2 menunjukkan lapisan batas yang disebabkan oleh fluida yang mengalir pada plat datar. Partikel fluida yang berada cukup dekat dengan permukaan pelat akan terhambat karena gesekan sehingga kecepatannya mendekati nol. Saat lapisan batas laminar tidak mampu mempertahankan kondisi *steady* yang dimilikinya, maka akan terbentuk lapisan turbulen. Kondisi lapisan batas tergantung pada kekasaran permukaan benda dan tingkat turbulensi aliran *free stream*. [11]

Jika bilangan Reynolds cukup besar, hanya fluida didalam lapisan batas relatif tipis pada pelat yang akan merasakan efeknya. Artinya, kecuali didaerah dekat pelat, kecepatan aliran pada dasarnya akan sebesar $V = U$, yaitu kecepatan *upstream*. Untuk pelat dengan panjang tak terhingga yang membentang dari $x = 0$ sampai $x = \infty$, tidaklah jelas bagaimana mendefinisikan bilangan Reynolds karena tidak ada panjang karakteristiknya. Untuk pelat dengan panjang tertentu, jelas bahwa panjang pelat L dapat digunakan sebagai panjang karakteristik. Namun untuk pelat dengan panjang tak terhingga, jarak koordinat sepanjang pelat dari ujung depan, sebagai panjang karakteristik dan bilangan Reynolds di definisikan sebagai $Re_x = U_x/v$. [11]



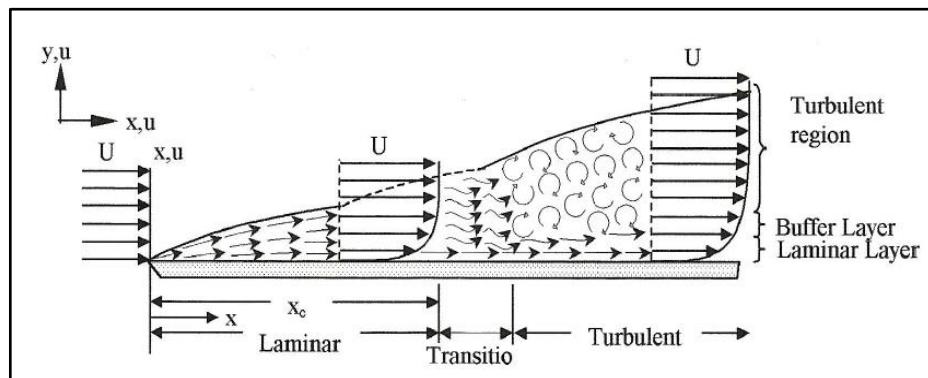
Gambar 3. Karakteristik aliran tunak viskos melewati sebuah silinder bundar

- (a) Aliran dengan bilangan reynolds rendah.
- (b) Aliran dengan bilangan reynolds sedang
- (c) Aliran dengan bilangan reynolds besar [11]

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. [6]

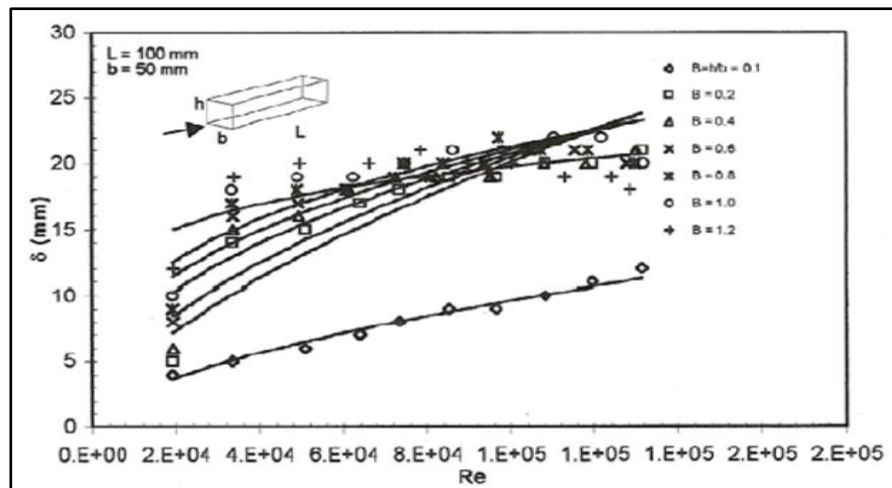
Lapisan batas muncul pada permukaan benda karena sifat viskos dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan yang bersifat stasioner yang menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi tumbukan antar molekul fluida dan permukaan benda. Daerah yang alirannya terhambat disebut dengan lapisan batas (*boundary layer*) dan ketebalan dari lapisan batas tersebut dinyatakan dengan simbol δ . Kecepatan pada daerah lapisan batas meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas (*free-stream*). Aliran fluida yang berada diluar lapisan batas disebut aliran tak berotasi, namun pada saat aliran tersebut masuk ke dalam lapisan batas maka aliran disebut aliran berotasi. Pada bagian down-stream lapisan batas, ada bagian dimana alirannya menjadi turbulen yang dikarenakan partikel fluida menjadi sangat terdistorsi, seperti dilihat pada gambar 4. [12]



Gambar 4. Peralihan kondisi lapisan batas pada pelat datar [12]

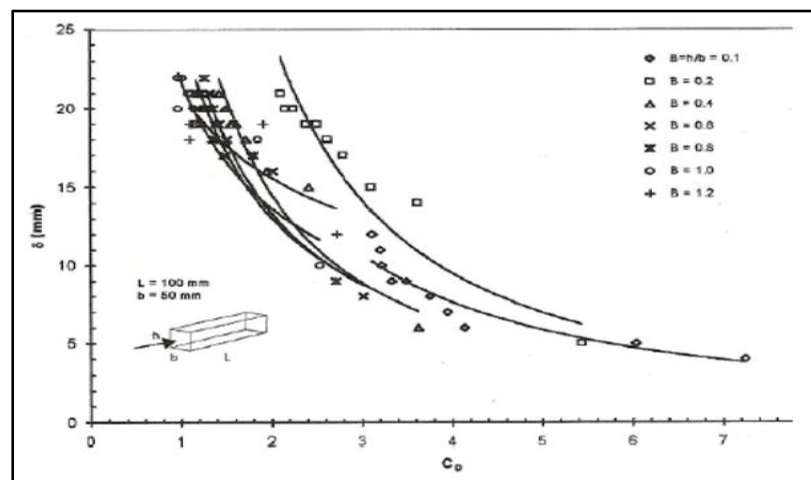
Untuk mengurangi kehilangan energi, bisa dirancang suatu bentuk penampang melintang benda secara tepat, sehingga aliran bisa melewati benda tanpa terjadi pemisahan dan menghasilkan aliran yang seragam setelah melewati benda tersebut. Dalam aliran berkecepatan rendah yang melalui benda yang secara geometris bentuknya serupa dan orientasi serta kekasarannya persis sama. Koefisien tahanan haruslah merupakan fungsi bilangan Reynolds benda itu saja. [12]

Tebal lapisan batas adalah fungsi dari bilangan Reynolds dan aspek ratio itu sendiri. Dari penelitiannya menunjukkan bahwa tebal lapisan batas kecenderungan sama pada aspek ratio 0.1 sampai 1.0, sedangkan aspek ratio 1.2 memperlihatkan pola yang sangat berbeda pada bilangan reynolds 75,000 sampai 125,000. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 5. [6]



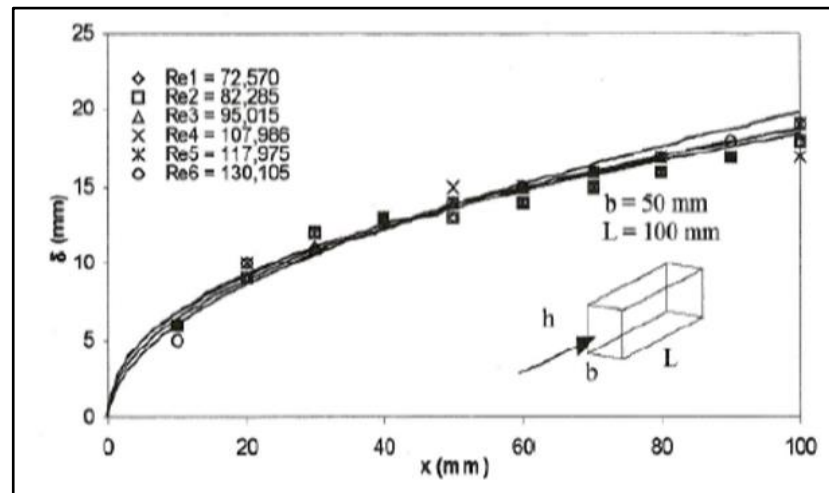
Gambar 5. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap bilangan reynolds (Re) pada aspek ratio (B) yang bervariasi [6]

Tebal lapisan batas juga adalah fungsi dari koefisien tahanan. Dari keseluruhan aspek ratio memberikan kecenderungan perubahan yang sama, yaitu makin besar lapisan batas maka koefisien tahanan akan semakin kecil. Dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap koefisien tahanan (C_d) pada silinder persegi dengan aspek ratio variasi [6]

Tebal lapisan batas pun sebagai fungsi dari panjang silinder persegi. Pertumbuhan lapisan batas untuk setiap aspek ratio cenderung menunjukkan bentuk kurva yang sama, seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik tebal lapisan batas (δ) terhadap panjang silinder (x) pada aspek ratio 0.4 dengan bilangan reynolds variasi [6]

2.2 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen

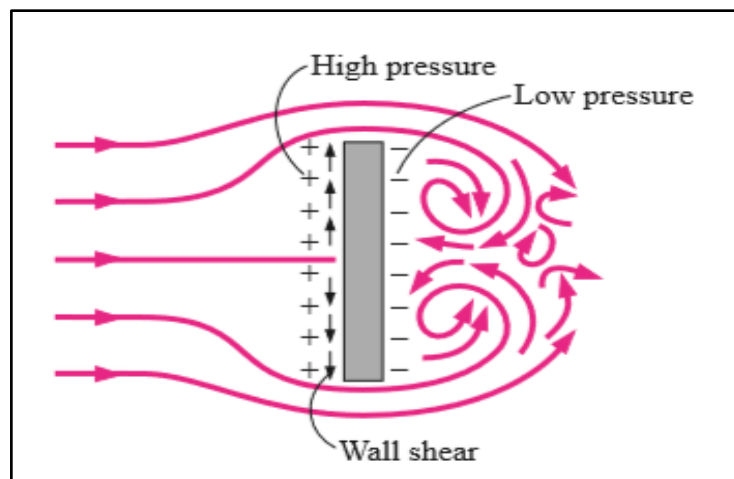
Aliran laminar dan turbulen dibedakan berdasarkan karakteristik internal aliran. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami suatu aliran yang mempengaruhi gerak partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran mempunyai kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat viscous, gangguan yang mungkin dialami medan aliran akibat getaran, ketidakraturan permukaan batas dan sebagainya, relatif lebih cepat teredam oleh viskositas fluida dan aliran fluida tersebut disebut dengan aliran laminar. Saat gangguan yang timbul semakin besar hingga mencapai kondisi peralihan (*transitionstate*) pada kecepatan aliran yang bertambah besar atau efek viskositas yang mulai berkurang. Terlampauinya kondisi peralihan menyebabkan sebagian gangguan tersebut menjadi semakin kuat, dimana partikel bergerak fluktuatif atau acak dan terjadi percampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatas atau disebut dengan aliran turbulen.

Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah gerak olakan atau *wake* pada aliran turbulen jauh lebih efektif dalam pengangkutan massa serta momentum fluida dibandingkan gerak molekuler. Kondisi aliran laminar dan turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds.

2.3 Pemisahan Aliran (Separasi)

Pemisahan aliran atau biasa disebut dengan separasi sangat diusahakan untuk dihindari atau diperlambat agar tidak terjadi lapisan batas dengan cepat. Pemisahan aliran mengakibatkan kehilangan energi yang besar. Bila pemisahan aliran semakin kehilir atau dihambat, maka hambatan aliran atau koefisien tahanan dan koefisien tekanan serta tebal lapisan batas akan semakin kecil.

Separasi adalah kondisi dimana aliran udara yang mengalir disepanjang permukaan benda tidak mampu lagi menempel pada permukaan tersebut. Separasi aliran berakibat pada terbentuknya aliran balik disekitar benda. Aliran yang bergerak secara teratur akan terpecah saat terjadinya separasi dan mengakibatkan terjadinya penurunan distribusi tekanan dan menimbulkan gaya *drag*. [1]



Gambar 8. Separasi yang bekerja pada silinder persegi panjang vertikal [13]

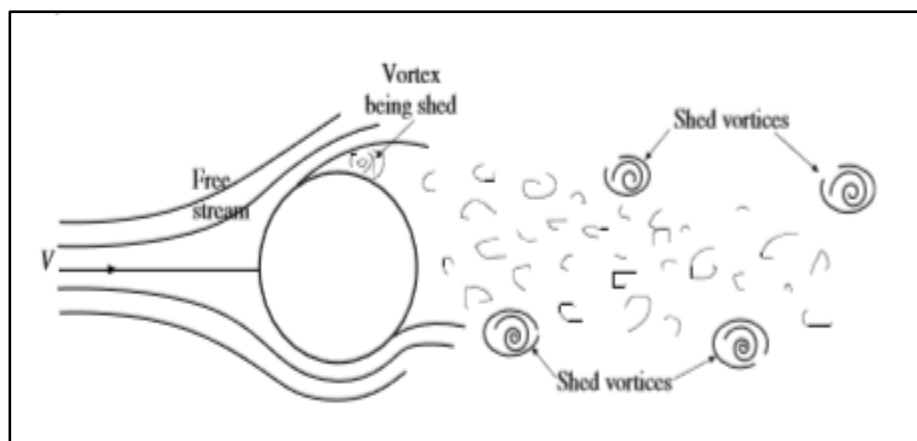
Pada gambar 8 menunjukkan bahwa pemisahan aliran saat melalui silinder persegi panjang vertikal. Pemisahan aliran dipengaruhi oleh apek ratio silinder. Pada gambar terlihat tekanan yang tinggi berada di bagian depan silinder karena pengaruh dari tumbukan, sebaliknya terjadi pada bagian belakang silinder yang

menunjukkan terjadinya penurunan tekanan. Perbedaan tekanan mengakibatkan terjadinya pemisahan, dari gambar menunjukkan pemisahan terjadi dibagian belakang silinder. [13]

2.4 Aliran *Vortex*

Vortex adalah sebuah daerah di dalam fluida dimana aliran sebagian besar bergerak memutar. Biasanya pada kecepatan rendah, aliran fluida masih bergerak seragam atau halus, tetapi pada saat kecepatan mulai meningkat, partikel dari fluida mulai bergerak acak bahkan tak terkendali. Keadaan tak terkendali ini akan menimbulkan terjadinya *vortex*. *Vortex* sangat tidak diharapkan, karena akan meningkatnya tahanan geser. Bila suatu medan aliran fluida terhalang oleh sebuah benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi stasionernya lalu akan mencari kondisi kesetimbangan barunya.

Beberapa di antaranya misalnya, bila nilai $Re < 5$, maka yang terjadi adalah pola aliran yang mulus, tanpa terjadi pusaran-pusaran lokal fluida (*vortex*) dan tidak terjadi pula pemisahan aliran pada saat aliran sudah melewati silinder (*creeping flow*). Namun ketika nilai Re ini terus dinaikkan, maka medan aliran makin menjadi tidak stabil, yang mana lambat-laun formasi *vortex* yang terbentuk mulai berantakan dengan pola-pola yang tertentu. Maka pada saat itu akan timbul suatu fenomena yang dinamakan Pelepasan *vortex shedding*, yang mulai terjadi pada saat nilai $Re > 40$, seperti pada gambar 9.



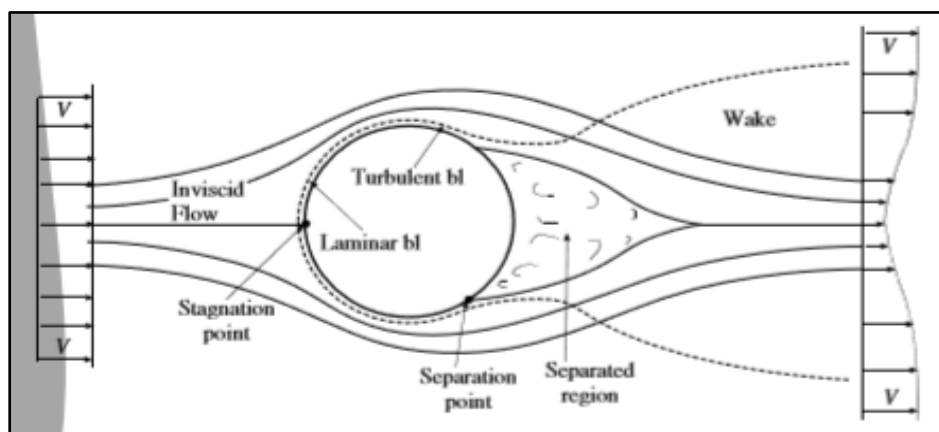
Gambar 9. Proses terbentuknya *vortex* pada sebuah silinder sirkular [14]

2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah suatu bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan jenis aliran, apakah aliran itu tergolong aliran laminar atau aliran turbulen. Hal ini dikemukakan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883. Bilangan Reynolds merupakan perbandingan antara gaya inersia dari terhadap gaya geser yang ditimbulkan oleh aliran fluida.

Bilangan Reynolds sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida dan kekentalan fluida. Bilangan Reynolds terbagi dua, yaitu aliran internal dan aliran eksternal. Pada penelitian ini bilangan Reynold yang digunakan adalah pada aliran eksternal.

Aliran eksternal adalah aliran fluida yang tempat alirannya berada diluar atau melalui benda padat. Tujuan aliran eksternal adalah memperhitungkan pengaruh perilaku fluida *viscous incompressible* pada aliran fluida yang melalui benda, biasanya terjadi pada *airfoil*, mobil, kincir angin, lambung kapal, dan masih banyak lagi, dapat dilihat seperti gambar 10. [15]



Gambar 10. Detail aliran yang melalui benda tumpul [14]

Munculnya lapisan batas bergantung pada bilangan Reynolds, sangat dipengaruhi oleh titik separasinya. Untuk bentuk silinder bulat, karakteristik panjangnya adalah diameternya dan bilangan Reynolds didefinisikan dengan persamaan (1) :

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

Karena momentum dari fluida dalam keadaan turbulen, lapisan batasnya lebih besar daripada lapisan batas dengan keadaan laminar, dimana sangat beralasan untuk mengharapkan menunda munculnya kondisi separasi. Jika $ReD \leq 2 \times 10^5$, lapisan batas akan tetap pada kondisi laminarnya dan separasi akan muncul pada $\theta \approx 80^\circ$ (gambar 2.7) Akan tetapi, jika $ReD \geq 2 \times 10^5$, lapisan batas transisi akan muncul dan separasi akan tertunda pada $\theta \approx 140^\circ$

2.6 Koefisien Drag

Aerodinamika menjadi hal yang sangat penting karena berkaitan dengan gaya *drag* yang akan mempengaruhi kecepatan suatu kendaraan. *Drag* adalah besarnya gaya yang bergerak diatas sebuah objek yang memiliki posisi sejajar dengan kecepatan aliran terhadap luas penampang dari suatu benda yang berlawanan arah aliran. *Drag* pada suatu benda disebabkan oleh dua hal yakni gesekan antara fluida dengan permukaan benda kerja dan tekanan. *Drag* karena gesekan biasa disebut dengan *friction drag* dan tergantung pada luas permukaan yang bersentuhan langsung dengan fluida, tegangan geser, viskositas, gradien kecepatan, kekasaran permukaan benda dan *streamline body*. Sedangkan drag karena perbedaan tekanan disebut *form drag*, yang tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, *wake*, bilangan Reynolds dan *bluff body* dari suatu benda yang dikenakan aliran. [11]

Karakteristik aerodinamis aliran akibat interaksi dua silinder persegi yang dipasang tandem pada aliran laminer atau bilangan Reynolds rendah, pusaran aliran dipengaruhi oleh besarnya bilangan Reynolds, sedangkan aksi gaya-gaya berbeda antara up-stream cylinder dibandingkan down-stream cylinder, hal ini berakibat pada perbedaan karakteristik nilai koefisien tahanan. [16]

Setiap benda yang bergerak melalui suatu fluida akan mengalami *drag*, yaitu suatu gaya netto dalam arah aliran karena tekanan dan gaya geser pada permukaan benda. Gaya netto ini, yang merupakan kombinasi komponen gaya pada arah aliran dari gaya-gaya normal dan tangensial pada benda, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2) [2] :

$$D = \int dFx = \int p \cos \theta dA + \tau_w \sin \theta dA \quad (2)$$

Pada aliran eksternal *viscous* yang mengalir melalui silinder akan mengalami stagnasi, lapisan batas, pemisahan dan *wake* aliran dibelakang silinder. Untuk benda yang bergerak dalam fluida *viscous*, gaya tahanan dan gaya angkat sangat erat hubungannya dengan pemisahan aliran. Adanya pemisahan aliran menyebabkan timbulnya *wake* di belakang silinder yang mengakibatkan hambatan. Semakin cepat terjadinya pemisahan aliran, *wake* atau *vortex* akan semakin lebar sehingga *drag* semakin besar. [17]

Koefisien *drag* merupakan sebuah gaya dari fluida yang mengalir melalui permukaan benda searah aliran. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien *drag* dapat dituliskan sebagai persamaan (3) [13]:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A} \quad (3)$$

dimana:

- C_D = Koefisien *drag*
- F_D = Gaya *drag*
- ρ = Densitas (kg/m³)
- U = Kecepatan fluida (m/s)
- A = Luas penampang silinder persegi (m)

Jika 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 pemisahan aliran. [10]

Untuk mengurangi kehilangan energi maka perlu dirancang suatu bentuk penampang melintang secara tepat, sehingga aliran fluida dapat melintasi benda uji tanpa terjadi pemisahan aliran dan menghasilkan aliran yang seragam setelah melewati benda tersebut.

Total gaya *drag* yang dialami kendaraan akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan udara hingga pada titik tertentu. Bentuk geometri kendaraan akan menentukan nilai koefisien *drag* dimana semakin aerodinamis bentuk kendaraan, maka nilai koefisien *drag* akan semakin kecil. [18]

Dimana koefisien *drag* sama dengan *drag* yang dihasilkan oleh tekanan dinamik yang bekerja pada daerah dengan luas A . Biasanya, ditetapkan sebagai *luas frontal* yaitu luas proyeksi yang di lihat oleh orang yang memandang benda dari suatu arah yang sejajar dengan kecepatan hulu (U). [2]

Besarnya gaya hambat yang terjadi akan mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar karena berpengaruh dengan energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan. Percepatan dari kendaraan pun akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya gaya hambat yang melewati kendaraan yang memiliki arah berlawanan dengan laju kendaraan. Artinya semakin kecil gaya hambat yang bekerja pada kendaraan, maka efisiensi energi bahan bakar akan dimaksimalkan untuk mendorong kendaraan karena sedikitnya kerugian energi mesin untuk melawan gaya hambat.

2.7 Drag Tekanan (C_p)

Drag tekanan adalah drag yang dihasilkan oleh tekanan pada suatu benda. *Drag* ini sering disebut sebagai *drag* bentuk karena ketergantungan yang sangat kuat pada bentuk. *Drag* tekanan adalah fungsi dari besarnya tekanan dan orientasi arah elemen permukaan dimana gaya tekan tersebut bekerja. Sebagai contoh, gaya tekan pada kedua sisi plat datar sejajar aliran mungkin saja sangat besar, tetapi gaya tersebut tidak berkontribusi pada *drag* karena gaya tersebut bekerja pada arah tegak lurus terhadap kecepatan *up-stream*. Sebaliknya gaya tekanan pada plat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan *drag* secara keseluruhan. Sehingga koefisien *drag* tekanan dapat dituliskan melalui persamaan (4) [11]:

$$C_p = \frac{h_{sm} - h}{h_{sm} - h_{tm}} \quad (4)$$

dimana:

C_p = Koefisien tekanan

h_{sm} = *Head* aliran udara statis manometer

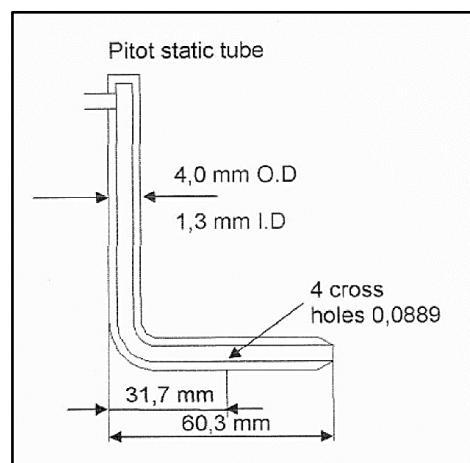
h_{tm} = *Head* aliran udara stagnasi manometer

h = *Head* aliran udara di titik uji permukaan benda

Besarnya tekanan acuan tidak mempengaruhi *drag* secara langsung karena total gaya tekanan pada benda adalah nol jika tekanan konstan pada seluruh permukaan. Jika viskositas nol, *drag* tekanan pada setiap benda berbentuk apapun (simetris atau tidak) dalam aliran tunak akan bernilai nol. Namun jika viscositasnya tidak nol, total *drag* tekanan mungkin tidak nol karena separasi lapisan batas. [11]

2.8 Pengukur Kecepatan Aliran

Untuk mengukur kecepatan luar dan kecepatan lokal di atas benda uji pada penelitian ini digunakan sebuah tabung pitot jenis *total head tube* dengan ukuran seperti tampak pada gambar 10.



Gambar 11. Tabung pitot [19]

Bila kecepatan U yang dikembangkan oleh gas dengan massa jenis akan berekspansi secara bebas mulai dari keadaan diam di bawah pengaruh perbedaan tekanan P_a dan bila P_a cukup kecil maka efek yang kompresibilitas

dapat diabaikan jika (untuk Ma 0,3), maka diperoleh persamaan (5) [19]:

$$P_a = \frac{\rho \cdot U^2}{2} \quad (5)$$

Perbedaan tekanan (h) di ukur dalam centimeter air dan karena $1 \text{ cm H}_2\text{O} = 98,1 \text{ N/m}^2$ persamaan (6) menjadi:

$$\frac{\rho U^2}{2} = 98,1 h \quad (6)$$

Massa jenis udara luar dibawah tekanan P_a dan pada temperatur T_a dapat diberikan persamaan (7) tentang gas,

$$\frac{P_a}{\rho} = R \cdot T_a \quad (7)$$

dimana:

P_a = Tekanan udara luar (N/m^2)

R = Konstantan gas = 287 Joule/kg.K

T_a = Temperatur udara luar, K

Dengan memasukkan persamaan (6) dan (7) dengan mengeliminasi ρ diperoleh [20]:

$$U = 237,3 \sqrt{\frac{h \cdot T_a}{P_a}} \quad (8)$$