

SKRIPSI

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

OLEH:

MUH. RACHMAD IMANUDDIN UMAR

D21116503



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK ALIRAN MELEWATI TIGA SILINDER
PERSEGI TERSUSUN TANDEM PARALEL**

OLEH:

MUH. RACHMAD IMANUDDIN UMAR

D21116503

Disusun dalam rangkai memenuhi salah satu persyaratan
Untuk menyelesaikan program Strata-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

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

MUHL, RACHMAD IMANUDDIN UMAR
D211 16 503

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Tanggal : 1 Desember 2020

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Nasaruddin Salam, MT.
NIP. 19591220 148601 1 001



Dr. Rustan Tarakka, ST., MT.
NIP. 19750827 200501 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin,

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda -- tangan dibawah ini:

NAMA : Muh. Rachmad Imanuddin Umar
NIM : D211 16 503
JUDUL SKRIPSI : Karakteristik Aliran Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Paralel

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 26 / 11 / 2020

Yang membuat pernyataan,



Muh. Rachmad Imanuddin Umar

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang senantiasa menjadi penopang dan teman terbaik penulis sepanjang hidupnya. Hanya karena kebaikan rahmat dan hidayah-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi ini yang berjudul **“KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER PERSEGI TERUSUSUN TANDEM PARALEL”**. Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 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 menyampaikan ucapan terima kasih yang terdalam untuk kedua orangtua penulis atas cinta, doa dan dukungan moril maupun materil yang diberikan kepada penulis. Terimakasih atas setiap doa yang selalu mengiringi tiap langkah penulis.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Nasaruddin Salam, MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Rustan Tarakka, ST., MT. 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. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.

4. 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.
5. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Kak Sury, Pak Irwan dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
6. Teman-teman yang setia menemani selama masa penulisan, khususnya Irfanita, teman-teman Laboratorium Mekanika Fluida.
7. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin angkatan 2016 COMPREZZOR yang telah memberi bantuan, dukungan, kerjasama yang sudah dijalani selama ini dan kiranya kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
8. Kanda-kanda 2014 dan 2015 dan adik-adik tingkat yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan dan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada oran orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

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

Gowa, 1 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	2
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 Separasi Aliran.....	12
2.3 Streamline.....	13
2.4 Mekanisme Terjadinya Separasi Aliran.....	14
2.5 Aliran Laminar dan Turbulen.....	17
2.6 Pola Aliran Vortex.....	18
2.7 Bilangan Reynolds.....	21
2.8 Koefisien Drag.....	22
2.9 Drag Tekanan.....	23
2.10 Pengukuran Kecepatan Aliran.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Benda Uji.....	27
3.4 Pendekatan eksperimen.....	32
1) Alat yang Digunakan.....	32

2) Alat Penunjang Penelitian.....	39
3.5 Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV.....	42
4.1 Hasil	42
4.1.1 Contoh perhitungan.....	42
4.1.2 Hubungan koefisien tahanan (CD) terhadap perbandingan jarak silinder pada model persegi tersusun tandem.....	44
1) Hubungan koefisien tahanan (CD) terhadap perbandingan jarak silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi model 1.	44
2) Hubungan koefisien tahanan (CD) terhadap perbandingan jarak silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi model 2.	46
4.1.3 Karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel	49
1) Hasil visualisasi dan komputasi aliran melalui benda uji pada model 1.....	49
2) Hasil eksperimental dan komputasi visualisasi aliran melalui benda uji pada model 2.....	52
3) Karakteristik separasi aliran yang terbentuk pada benda uji pada benda tersusun tandem paralel.....	55
4.1.4 Hubungan koefisien tekanan (CP) terhadap perbandingan jarak silinder pada model persegi tersusun tandem.....	58
1) Hubungan koefisien tekanan (CP) terhadap perbandingan jarak silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi model 1.	58
2) Hubungan koefisien tekanan (CP) terhadap perbandingan jarak silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi model 2.	59
4.2 Pembahasan.....	62
4.2.1 Hubungan koefisien tahanan (CD) terhadap perbandingan jarak silinder pada model persegi tersusun tandem.....	62
4.2.2 Karakteristik Visualiasasi Aliran Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Dengan Konfigurasi Paralel	64
4.2.3 Hubungan koefisien tekanan (CP) terhadap perbandingan jarak silinder pada model persegi tersusun tandem.....	66
4.2.4 Hubungan antara koefisien tahanan (C_D), koefisien tekanan (C_P), pemisahan aliran dan olakan (wake).....	66
BAB V.....	69
PENUTUP.....	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Skema posisi jarak antar silinder persegi.....	28
Tabel 3.2	Kondisi batas model uji.....	29
Tabel 4.1	Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Tahanan dengan metode metode eksperimental pada Model 1.....	43
Tabel 4.2	Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Tahanan dengan metode metode komputasional pada Model 1.....	44
Tabel 4.3	Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Tahanan dengan metode eksperimental pada Model 2	46
Tabel 4.4	Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Tahanan dengan metode metode simulasi pada Model 2.....	47
Tabel 4.5	Tabel hasil perhitungan rata-rata koefisien tekanan dengan metode eksperimental pada Model 2.....	55
Tabel 4.6	Tabel hasil perhitungan distribusi tekanan tandem silinder persegi Model 1	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakteristik dari lapisan batas yang terbentuk pada pelat datar	7
Gambar 2.2	Karakter aliran tunak viskos melewati sebuah silinder bundar	9
Gambar 2.3	Separasi Aliran pada Benda Tegak.....	11
Gambar 2.4	Karakteristik aliran pada <i>Tractor-trailer</i>	13
Gambar 2.5	Pembentukan dan pemisahan lapisan batas pada silinder	14
Gambar 2.6	Profil kecepatan yang berhubungan dengan separasi pada silinder bulat	15
Gambar 2.7	Efek turbulensi pada separasi	16
Gambar 2.8	Skema terbentuknya Lapisan Geser (<i>Shear Layer</i>) yang selanjutnya akan membentuk vortek A dan B	18
Gambar 2.9	Skema mekanisme terjadinya pelepasan vortex (<i>Vortex Shedding</i>) pada sebuah silinder dalam aliran steady (penampang 2-D).....	19
Gambar 2.10	Distribusi tekanan pada airfoil	23
Gambar 2.11	Tabung Pitot	25
Gambar 3.1	Benda uji koefisien tahanan	27
Gambar 3.2	Benda uji koefisien tahanan	26
Gambar 3.3	Skema posisi benda uji.....	28
Gambar 3.4	<i>Sub-sonic Wind Tunnel</i>	32
Gambar 3.5	Motor listrik penggerak fan.....	33

Gambar 3. 6	Seksi uji.....	34
Gambar 3. 7	Tabung Pitot.....	35
Gambar 3. 8	Alat ukur tekanan	35
Gambar 3. 9	Alat ukur kecepatan luar	36
Gambar 3. 10	Alat ukur gaya tahanan.....	36
Gambar 3. 11	Kontrol listrik.....	38
Gambar 3. 12	Instalasi Visualisasi Aliran.....	39
Gambar 3. 13	Termometer	39
Gambar 3. 14	Barometer	40
Gambar 3. 15	Diagram alir penelitian.	41
Gambar 4.1	Hubungan koefisien tahanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode komputasi pada model 1.....	44
Gambar 4.2	Hubungan koefisien tahanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode komputasi pada model 1.....	45
Gambar 4.3	Hubungan koefisien tahanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode eksperimental pada model 2.....	46
Gambar 4.4	Hubungan koefisien tahanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode komputasi pada model 2.....	47
Gambar 4.5	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 1 _A dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 11$ m/s.....	48
Gambar 4.6	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 1 _A dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 17$ m/s.....	53
Gambar 4.7	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 1 _c dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 11$ m/s.....	49

Gambar 4.8	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 1 _C dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 17$ m/s	50
Gambar 4.9	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 1 _F dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 11$ m/s	50
Gambar 4.10	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 1 _F dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 21$ m/s	50
Gambar 4.11	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _A dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 5$ m/s	51
Gambar 4.12	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _A dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 17$ m/s	51
Gambar 4.13	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _C dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 11$ m/s	52
Gambar 4.14	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _C dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 21$ m/s	52
Gambar 4.15	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _E dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 11$ m/s	53
Gambar 4.16	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _E dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 17$ m/s	53
Gambar 4.17	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _G dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 11$ m/s	54
Gambar 4.18	Karakteristik aliran melintasi benda uji pada model 2 _G dengan kecepatan <i>upstream</i> $U_0 = 21$ m/s.....	54

Gambar 4.19	Hubungan koefisien tekanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode eksperimental pada model 1 _A	55
Gambar 4.20	Hubungan koefisien tekanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode eksperimental pada model 1 _D	56
Gambar 4.21	Hubungan koefisien tekanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode eksperimental pada model 2 _A	
Gambar 4.22	Hubungan koefisien tekanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode eksperimental pada model 2 _c	58
Gambar 4.22	Hubungan koefisien tekanan terhadap perbandingan jarak silinder dengan metode eksperimental pada model 2 _G	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

- Tabel A1.** Rumus konversi celcius ($^{\circ}\text{C}$) ke Kelvin (K)
- Tabel A2.** Konversi atm ke Pascal
- Tabel A3.** Kecepatan aliran fluida (U_0) melintasi benda uji dan bilangan Reynolds (Re)
- Tabel A4.** Panjang benda uji eksperimen pada model 1 dan model 2
- Tabel A5.** Luas *frontal area* pada model 1 dan model 2
- Tabel A6.** Nilai gaya *drag* pendekatan eksperimental pada model 1
- Tabel A7.** Nilai Nilai gaya *drag* pendekatan eksperimental pada model 2
- Tabel A8.** Nilai Nilai gaya *drag* pendekatan komputasional pada model 1
- Tabel A9.** Nilai Nilai gaya *drag* pendekatan komputasional pada model 2
- Tabel A10.** Data pengamatan distribusi tekanan model 1_A
- Tabel A11.** Data hasil distribusi tekanan pada Model 2_C
- Tabel A12.** Karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel pada model 2_C pada semua tingkat kecepatan *upstream*.
- Tabel A13.** Sifat fisis udara.

Lampiran B

Gambar 1. Dokumentasi pengambilan data

ABSTRAK

Muh. Rachmad Imanuddin Umar, *Karakteristik Aliran Melewati Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Paralel*. (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir Nasaruddin Salam, MT. dan Dr. Rustan Tarakka, ST., MT.)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel dan menentukan nilai koefisien tahanan dan koefisien tekanan yang optimum melalui benda uji. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental di Lab. Mekanika Fluida FT-UH serta pendekatan komputasi dengan *software* CFD Fluent 6.3.26. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder persegi terbuat dari akrilik dengan ketebalan 2 mm berdiameter 5 cm sebanyak tiga buah yang disusun secara tandem konfigurasi paralel. Variasi jarak antar silinder persegi (N/D) ada 7 yaitu 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 dan 1.1 serta dilintasi aliran fluida dengan 9 tingkat kecepatan adalah 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. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terjadi penundaan separasi aliran dan pengurangan olakan yang terbentuk pada bagian belakang benda uji terbaik pada rasio M/D dan N/D adalah 0.3 dengan kecepatan *upstream* 21 m/s. Sementara, nilai minimum koefisien tahanan juga diperoleh pada rasio N/D adalah 0.3 dengan kecepatan sebesar 0.997 dengan kecepatan *upstream* 21 m/s.

Abstract

The purpose of this study was to analyze the characteristic of the fluid flow through three square cylinders arranged in parallel and determine the minimum drag coefficient and pressure coefficient value across the specimen. This research uses an experimental approach in the Lab. FT-UH Fluid Mechanics and computational approach with CFD Fluent 6.3.26 software. The test object used is a square cylinder made of acrylic with a thickness of 2 mm with a diameter of 5 cm, three pieces arranged in tandem with a parallel configuration. There are 7 variations of distance between square cylinders (N/D), namely 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 and 1.1 and crossed by fluid flow with 9 levels of velocity are 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 results obtained indicate that there is a delay in flow separation and a reduction in the edible formed on the back of the best specimen at the ratio M/D and N/D is 0.3 with an upstream speed of 21 m/s. Meanwhile, the minimum value of the resistance coefficient is also obtained at the N/D ratio of 0.3 with a speed of 0.997 with an upstream speed of 21 m/s.

Kata Kunci: CFD, koefisien tahanan, Koefisien tekanan, silinder persegi, tandem paralel

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menginspirasi manusia untuk menciptakan sesuatu hal yang berguna bagi kehidupan manusia itu sendiri. Demikian halnya dengan aplikasi di bidang mekanika fluida, baik dalam dunia industri maupun kehidupan sehari-hari. Salah satu bagian yang dipelajari dalam ilmu mekanika fluida yaitu aliran eksternal yang melintasi suatu benda.

Aliran luar yang melewati benda-benda meliputi berbagai variasi fenomena mekanika fluida yang sangat beragam. Karakteristik dari medan aliran adalah sebuah fungsi dari bentuk benda. Aliran-aliran yang melewati bentuk-bentuk geometri yang relatif sederhana (misalnya bola atau silinder bundar) diperkirakan memiliki medan-medan aliran yang lebih sederhana dibandingkan aliran yang melewati sebuah bentuk yang kompleks seperti sebuah pesawat terbang atau sebuah pohon. Meskipun demikian bahkan benda yang bentuknya paling sederhana sekalipun menghasilkan aliran-aliran yang agak kompleks. [1]

Setiap benda dengan sembarang bentuk bila terbenam di dalam aliran fluida akan mengalami gaya-gaya dan momen-momen dari aliran tersebut. Bila benda itu berbentuk atau orientasinya sembarang, aliran tersebut akan mengerjakan gaya-gaya pada arah dan momen-momen sekeliling sumbu koordinatnya, sedangkan pada aliran berkecepatan rendah,

maka koefisien tahanan haruslah merupakan fungsi bilangan Reynold itu saja. Aliran fluida yang melalui bentuk geometri yang relatif sederhana (misalnya bola atau silinder bundar) diperkirakan memiliki medan aliran yang lebih sederhana dibandingkan aliran yang melalui sebuah bentuk yang kompleks seperti pesawat terbang atau sebuah pohon. Meskipun demikian, bahkan benda yang bentuknya paling sederhana sekalipun menghasilkan aliran yang agak kompleks. [16]

Aliran melintasi silinder persegi tersusun tandem adalah salah satu bentuk yang sering digunakan pada rekayasa struktur dan transportasi. Berbagai aplikasi dari silinder persegi yang membentuk susunan tertentu seperti *inline*, *staggered*, atau *square arrays*, yaitu pada penukar kalor *shell and tube* atau *tube banks*, *cooling tower*, cerobong, struktur penyangga anjungan lepas pantai dan pelabuhan, kereta api, kapal gandeng (kapal tongkang) dan truk gandeng. Beban angin dan air pada suatu struktur menjadi salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam desain. Seperti diketahui bahwa beban angin dan air pada suatu struktur yang berkelompok memiliki karakteristik berbeda dengan struktur tunggal dengan bentuk yang sama. Karena *interferensi* gabungan dari aliran di sekeliling struktur yang berkelompok menunjukkan berbagai fenomena yang menarik dan tak terduga. Upaya mengurangi gaya tahanan telah dilakukan banyak peneliti. Penelitian tersebut berisi tentang cara mengurangi gaya tahanan pada silinder tunggal ataupun tersusun secara tandem dengan berbagai metode. [17]

pada aliran eksternal viscous yang mengalir melalui silinder akan mengalami stagnasi, lapisan batas, pemisahan dan *wake* aliran dibelakang silinder. Untuk benda yang bergerak dalam viscous, gaya tahanan dan gaya angkat erat hubungannya dengan pemisahan aliran. Adanya pemisahan aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* dibelakang silinder yang mengakibatkan hambatan. Semakin cepat terjadinya pemisahan aliran, *wake* atau vorteks akan semakin lebar sehingga *drag* semakin besar.[18]

Dalam penelitian tentang karakteristik suatu aliran dengan berbagai konfigurasi yang mendukung penelitian ini, misalnya saja yang telah dilakukan Nasaruddin Salam, dkk (2013) melakukan penelitian dengan menempatkan tiga silinder persegi tersusun tandem paralel yang menghasilkan Hasil eksperimen aliran udara melintasi tandem tiga silinder persegi konfigurasi paralel dengan. Perubahan M/D (Jarak antara silinder) akan mempengaruhi besarnya Cd pada semua tingkat bilangan Reynolds (Re). Dalam penelitiannya, hasil koefisien tahanan aliran mendapatkan nilai maksimal pada $M/D = 0,5$, untuk $Re = 9395$ nilai $Cd = 1.50$.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, banyak faktor yang mempengaruhi karakteristik suatu aliran yang melewati suatu benda. Dengan mengganti ataupun menambahkan beberapa variabel terhadap penelitian sebelumnya, maka dari itu muncul pemikiran untuk melakukan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul : “**Karakteristik Aliran Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Paralel.**”

Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel?
2. Bagaimana koefisien tahanan, koefisien tekanan dan pemisahan aliran fluida melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel?
3. Bagaimana nilai koefisien hambatan dan nilai koefisien tekanan yang optimum melalui tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel?

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisa karakteristik visualisasi aliran melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel.
2. Menganalisa koefisien hambatan, koefisien tekanan dan pemisahan aliran fluida melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem dengan konfigurasi paralel.
3. Menentukan nilai koefisien hambatan dan koefisien tekanan yang optimum melalui benda uji.

Batasan Masalah

Dengan melihat bahwa luasnya permasalahan yang perlu dikaji dan data data pengujian yang dibutuhkan maka dalam penelitian ini, kami membatasi dalam beberapa hal diantaranya adalah :

1. Karakteristik aliran yang diteliti adalah aliran laminar.

2. Profil yang digunakan adalah silinder persegi.
3. Fluida yang dipakai adalah fluida termampatkan (*compressible*) dan aliran fluida dianggap aliran yang tidak berubah dengan waktu (*steady flow*).
4. Kemungkinan terjadinya perpindahan panas diabaikan.
5. Laju aliran angin yang melewati *wind tunnel* dalam beberapa variasi
6. 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.
7. Variasi jarak antar silinder persegi 0 cm, 0.5 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.5 cm, 4.5 cm dan 5.5 cm.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis
Menambah pengetahuan baru mengenai karakteristik aliran melewati tiga silinder persegi tersusun tandem paralel.
2. Bagi akademik
Sebagai bahan referensi atau perbandingan dalam melakukan pengujian atau percobaan yang berhubungan dengan aliran fluida terhadap bentuk benda persegi tersusun tandem paralel.
3. Bagi industri dan masyarakat
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

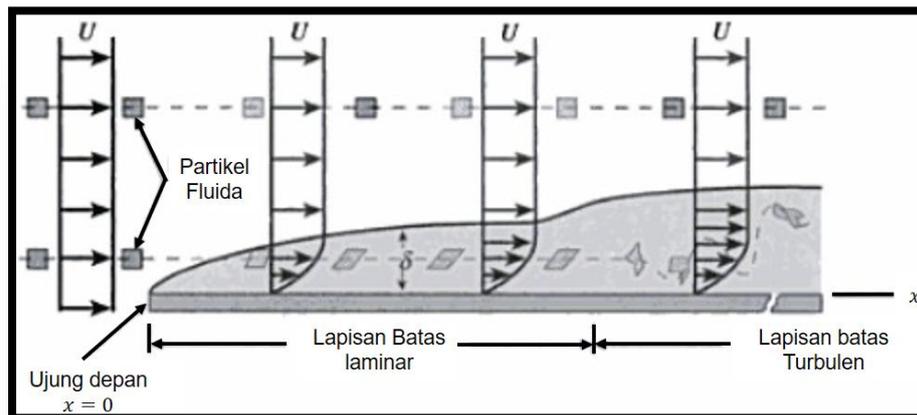
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapisan Batas

Pengertian 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 karena gesekan viskos [1].

Aliran fluida sejati manapun selalu menunjukkan adanya suatu daerah yang alirannya terhambat, yaitu dekat batas yang kecepatannya relatif terhadap batas bervariasi antara nol pada batas hingga suatu harga yang dapat diduga dari solusi aliran potensial di titik yang agak jauh dari situ. Daerah yang alirannya terhambat ini disebut lapisan batas (*boundary layer*) dan ketebalan lapisan batas itu sendiri dinyatakan dengan δ .

Proses pembentukan lapisan batas mungkin paling baik bila divisualisasikan dengan membayangkan aliran di sepanjang sebuah pelat rata. Seperti yang terlihat pada gambar 2.1, misalkan ada aliran seragam sebuah fluida tak dapat mampat mendekati pelat dengan kecepatan arus bebas U .



Gambar 2.1 Karakteristik dari lapisan batas yang terbentuk pada pelat datar [1]

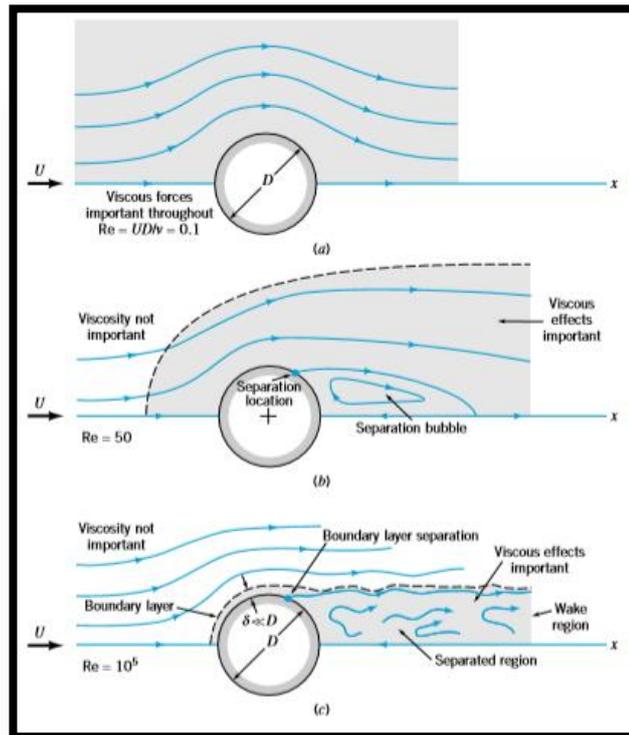
Ketika fluida mencapai tepi sebelah depan, tegangan geser yang besar terbentuk dekat dengan permukaan pelat karena partikel-partikel fluida yang tiba di situ terpaksa berhenti dan partikel-partikel yang cukup dekat dan normal terhadap pelat dihambat oleh geseran viscous.

Lapisan batas menebal dalam arah yang sama dengan arah aliran, akibatnya perubahan kecepatan dari nol di permukaan pelat hingga u_s pada jarak δ semakin jauh menjadi semakin besar.

Laju perubahan kecepatan tadi menentukan gradient kecepatan di permukaan pelat dan karena itu tegangan gesernya juga. Pada jarak memanjang tertentu di sepanjang pelat x_c , aliran dalam lapisan batas laminar. Jika kecepatan u_s untuk suatu fluida bertambah, x_c justru berkurang sedemikian rupa sehingga hasil kali $u_s x_c$ pada dasarnya tidak berubah. Harga tetapan ini bervariasi secara langsung menurut viskositas kinematik fluida yang bersangkutan, dan bila fluida yang digunakan berbeda, rasio $\frac{u_s x_c}{\nu}$ boleh dikatakan tidak berubah. Rasio ini adalah salah satu bentuk angka Reynolds.

Peralihan dari lapisan batas laminar ke lapisan batas turbulen bergantung pada kekasaran pelat dan tingkat turbulensi dalam arus bebas, selain bergantung pada rasio $\frac{u_s x_c}{\nu}$. Baik kekasaran pelat, tingkat turbulensi yang tinggi dalam arus bebas, atau jika arus bebas tidak seragam, perlambatan yang dialami oleh arus bebas akan menyebabkan terjadinya peralihan di daerah dekat pangkal pelat (dengan harga x_c lebih kecil).

Untuk benda-benda yang ramping, seperti pelat airfoil yang sejajar dengan aliran yang datang, dapat kita simpulkan bahwa asumsi terbaiknya interaksi antara lapisan batas dan distribusi tekanan ini merupakan pendekatan yang sangat baik. Untuk aliran yang melewati benda tumpul, bahkan untuk bilangan Reynolds yang tinggi sekali pun, terjadi perbedaan dalam konsep penambalan kental – encer. Gambar 2.2 dibawah menunjukkan dua sketsa aliran yang melalui sebuah benda berbentuk bola / bundar. [1]



Gambar 2.2 Karakter 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. [1].

Ilustrasi interaksi yang kuat antara daerah kental dan daerah encer dibagian belakang aliran yang melewati benda tumpul. Teori interaksi yang kuat antara lapisan kental dan lapisan encer pada aliran benda tumpul belum berkembang dengan baik, sehingga perlu pengkajian yang mendalam mengenai ilmu mekanika fluida yang membahas tentang karakteristik aliran ketika melewati benda yang ramping.

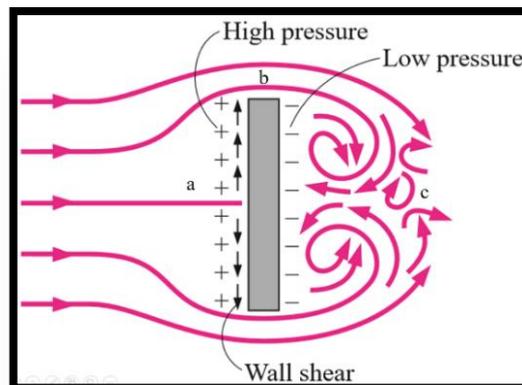
Seperti aliran yang melewati pelat yang terlihat pada gambar 2.2, aliran yang melewati sebuah benda yang tumpul (seperti silinder bundar) juga bervariasi sebagai bilangan Reynolds. Secara umum, semakin besar bilangan

Reynoldsnya, semakin kecil daerah di dalam medan aliran di mana efek viskos menjadi penting. Namun demikian untuk benda-benda yang tidak cukup

Seperti ditunjukkan dalam gambar 2.2 (a), untuk $Re = UD/v = 0,1$, efek viskos penting dalam beberapa diameter pada segala arah dari silinder. Suatu karakteristik yang mengejutkan dari aliran ini adalah bahwa garis-garis arus pada dasarnya simetris terhadap pusat silinder – pola garis arus sama di depan dan di belakang silinder. Dengan bilangan Reynolds yang meningkat, daerah di depan silinder di mana efek viskos penting menjadi lebih kecil, dengan daerah viskos berada hanya pada jarak yang pendek di depan silinder. Efek viskos dikonveksikan kehilir dan aliran kehilangan kesimetrisannya. Sebuah karakteristiknya lain dari aliran luar menjadi penting – aliran berpisah dari benda pada lokasi separasi seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2 (b). Dengan meningkatnya bilangan Reynolds, inersia fluida menjadi lebih penting dan di beberapa tempat pada benda, yang ditandai sebagai lokasi separasi, inersia fluida tersebut sedemikian besar sehingga tidak dapat mengikuti lintasan melengkung di sekitar bagian belakang benda. Hasilnya adalah terbentuknya suatu gelembung separasi (*separation bubble*) di belakang silinder di mana sebagian fluida sesungguhnya mengalir ke arah sumbu hulu, yang melawan arah dari aliran hulu [1]

2.2 Separasi Aliran

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* [2]. Pada kendaraan, separasi aliran yang terjadi sangat kompleks. Separasi aliran pada bagian bawah body, roda, dinding bagian samping, tepi atas dan samping kaca belakang, memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kompleksitas aliran. Perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang kendaraan merupakan kontributor utama dari keseluruhan *drag* yang disebabkan oleh adanya separasi aliran pada bagian belakang kendaraan [3]



Gambar 2.3 Separasi Aliran pada Benda Tegak [4]

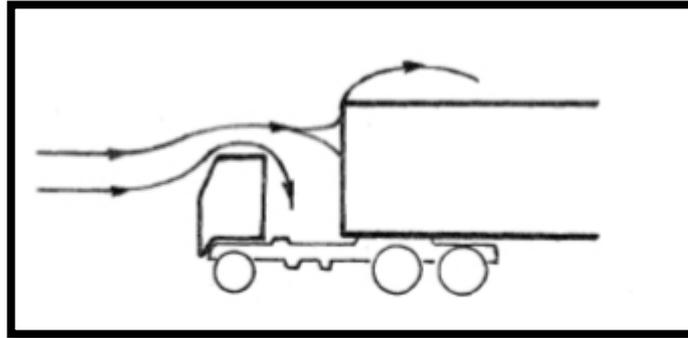
Pada gambar diatas jelas menunjukkan skema terjadinya separasi aliran pada benda tegak. Adanya separasi aliran merupakan bentuk efek dari viskositas fluida. Karena disebabkan efek viskos, fluida di titik b pada permukaan benda kehilangan energi kinetik sehingga tidak memiliki

momentum untuk mengalir dalam lapisan. Titik a adalah titik dimana separasi aliran terjadi. Sedangkan di titik c terjadi aliran balik (*wake*) karena perbedaan tekanan yang cukup besar antara sisi depan dan sisi belakang benda. Perbedaan tekanan inilah penyebab timbulnya gaya *drag*. [4]

2.3 *Streamline*

Klasifikasi aliran pada bentuk benda dapat tergantung pada apakah benda tersebut dibuat mulus mengikuti garis arus (*streamlined*) atau tumpul. Karakteristik aliran sangat bergantung pada seberapa banyak bagian yang dibuat mulus tersebut. Secara umum, benda-benda *streamlined* (seperti *airfoil*, mobil balap, dan lain-lain.) memiliki pengaruh kecil pada fluida yang mengelilinginya, dibandingkan dengan pengaruh yang dimiliki benda tumpul (misalnya parasut, gedung-gedung, dan lain-lain) pada fluida. Biasanya, tapi tidak selalu, akan lebih mudah untuk mendorong sebuah benda *streamlined* melewati suatu fluida daripada mendorong sebuah benda tumpul yang ukurannya sama agar bergerak dengan kecepatan yang sama [1].

Salah satu fokus merancang benda yang konstruksinya tandem agar dapat *streamlined*, selain merubah bentuk, memvariasikan jarak antar kedua benda yang saling tandem juga lebih efektif dan praktis, dengan konfigurasi seperti ini, pengurangan gaya *drag* tercatat 10 sampai 15%. Dengan terbentuknya olakan (*wake*) diantara benda tandem, tekanan stagnasi serta separasi aliran bisa ditunda sehingga aliran menjadi *streamlined* dan gaya *drag* menurun. Salah satu aplikasi dari penelitian ini, yaitu pada kendaraan tractor-trailer seperti yang terlihat pada gambar berikut. [5]



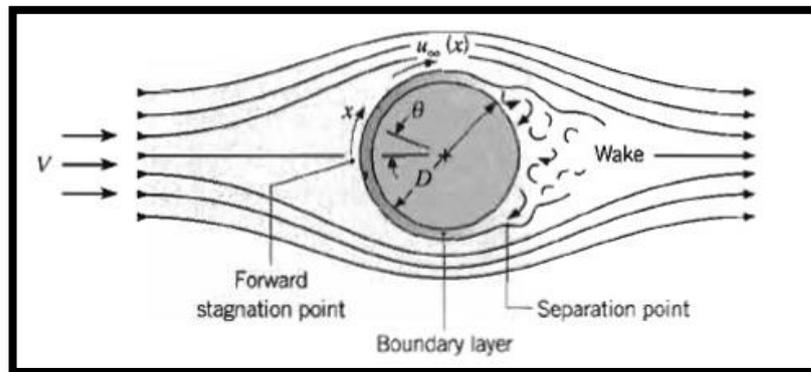
Gambar 2.4 Karakteristik aliran pada Tractor-trailer [5]

Pola olakan (*wake*) yang terjadi pada celah benda tandem pada rasio jarak yang ideal, membuat aliran yang lewat dapat streamline sehingga menunda terjadinya separasi. Fungsi olakan dapat dilihat pada gambar 2.4 menjelaskan tentang gambaran arus yang ditandai dengan stream function (ψ) yang bersirkulasi pada kecepatan tertentu. Dengan hal ini dapat menurunkan koefisien drag [5]

2.4 Mekanisme Terjadinya Separasi Aliran

Salah satu contoh pada aliran eksternal yang meliputi aliran fluida pada kondisi normal adalah aliran eksternal di luar silinder. Sebagai contoh adalah gambar 2.5 dibawah ini, aliran fluida bebas dibawa menuju ke titik forward stagnation point, suatu keadaan posisi dimana kondisi fluidanya tidak mengalami perubahan/tetap (*stag*). Dari posisi ini, tekanan menurun dengan meningkatnya jarak x , koordinat dari streamline, dan lapisan batas dikembangkan atas pengaruh favorable pressure gradient ($dP/dx < 0$). Bagaimanapun, tekanan harus mencapai nilai minimumnya dan mendekati bagian pinggir dari silinder hal itu dapat terjadi. Perkembangan yang terjadi pada daerah setelah melewati pinggir silinder adalah fenomena lapisan batas

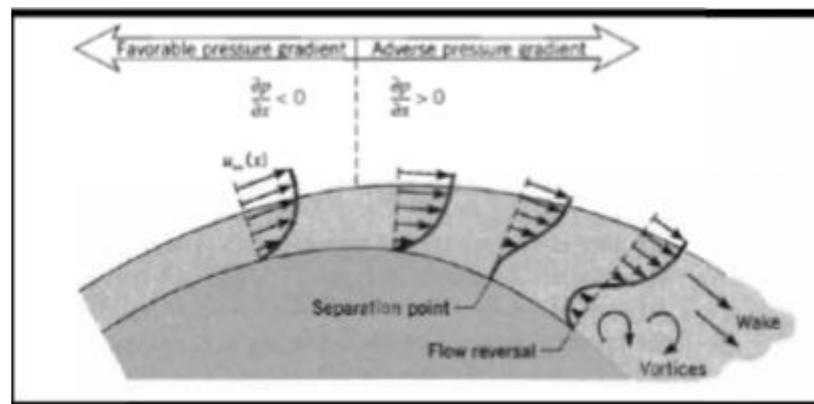
yang berbeda dengan profil lapisan batasan pada sebelumnya. Didapatkan setelah melewati pinggir silinder terdapat profil yang menunjukkan adverse pressure gradient ($dP/dx > 0$).



Gambar 2.5 Pembentukan dan pemisahan lapisan batas pada silinder [6]

Pada gambar 2.5 didapatkan perbedaan antara kecepatan upstream V dan kecepatan stream bebasnya u_{∞} . Tidak seperti kondisi pada plat datar dengan aliran sejajar, kecepatan aliran ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan, dengan nilai u_{∞} yang bergantung pada fungsi jarak x dari titik stagnan. Dari persamaan Euler untuk aliran yang tidak bergantung pada nilai viskositasnya, $u_{\infty}(x)$ harus menghasilkan profil yang berbeda dari $P(x)$. Batasannya adalah dari $u_{\infty} = 0$ pada titik stagnan, dimana fluida terakselerasi karena adanya perbedaan tekanan yang diinginkan ($du_{\infty}/dx > 0$ ketika $dp/dx < 0$), mencapai nilai kecepatan maksimum pada $dP/dx = 0$, dan berkurang akselerasinya karena adanya aliran balik ($du_{\infty}/dx < 0$ ketika $dP/dx > 0$). Pada saat fluida terdeselerasi, gradient kecepatan pada permukaan $\partial u/\partial y|_{y=0}$, pada akhirnya akan mencapai nilai minimumnya yaitu nol. Fenomena ini dapat terlihat pada gambar 2.6 Pada posisi ini, istilah titik separasi dipakai dengan definisinya adalah posisi pada fluida yang dekat dengan permukaan

mengalami kekurangan momentum untuk mengatasi perbedaan tekanan dan tidak mungkin melanjutkan pergerakan aliran. Karena aliran fluida juga menghasilkan aliran balik, akan menimbulkan lapisan batas pada posisi setelah melewati bagian pinggir silinder, dimana aliran tersebut menghasilkan dua lapisan batas pada aliran sehingga munculah pemisahan lapisan batas. Aliran pada daerah ini ditandai dengan pembentukan vortex yang bersifat tidak beraturan. Titik separasi adalah lokasi dimana $\partial u/\partial y|_{y=0}$.



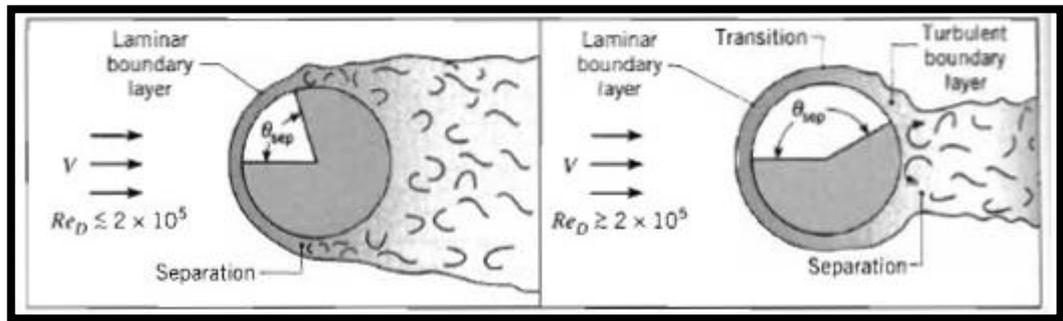
Gambar 2.6 Profil kecepatan yang berhubungan dengan separasi pada silinder bulat [6]

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

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (1)$$

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 $Re_D \leq 2 \times 10^5$, lapisan batas akan tetap pada kondisi laminarnya dan

separasi akan muncul pada $\theta \approx 80^\circ$ (gambar 2.7) Akan tetapi, jika $Re_D \geq 2 \times 10^5$, lapisan batas transisi akan muncul dan separasi akan tertunda pada $\theta \approx 140^\circ$



Gambar 2.7 Efek turbulensi pada separasi [6]

2.5 Aliran Laminar dan Turbulen

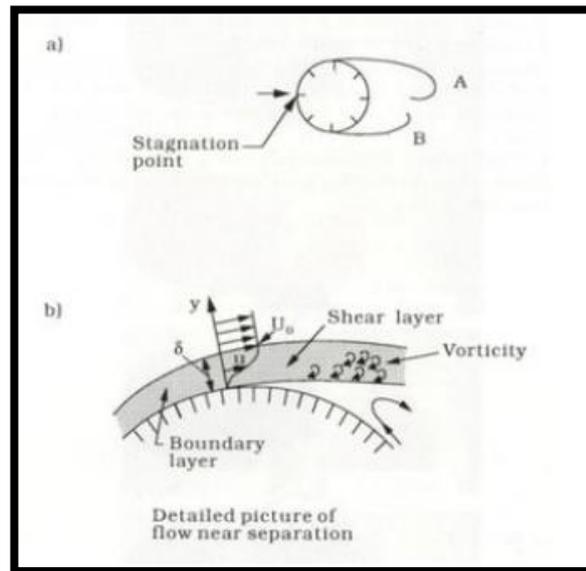
Aliran laminar dan turbulen dibedakan berdasarkan karakteristik internal aliran. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami suatu aliran yang mempengaruhi gerak partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran mempunyai kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat *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 (*transition state*) 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 pencampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatas atau disebut dengan aliran turbulen.

Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah gerak olakan atau ketidakteraturan 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.

2.6 Pola Aliran Vortex

Bila suatu medan aliran fluida (air atau udara, misalnya) terhalang oleh sebuah benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi stasionernya lalu akan mencari kondisi kesetimbangan barunya. Misalkan pada kasus sebuah silinder yang berada dalam aliran *steady*, maka akan terjadilah suatu pola aliran tertentu di sekeliling permukaan silinder tersebut. Ternyata, pola aliran ini salah satunya tergantung pada suatu parameter yang disebut angka Reynolds.

Fenomena pelepasan *vortex* ini memang biasa terjadi pada hampir semua jenis aliran fluida yang memiliki nilai angka $Re > 40$. Pada nilai Re ini, lapisan batas (*boundary layer*) di sekeliling permukaan silinder akan memisah akibat adanya gradien tekanan balik dari geometri yang divergen dari aliran di sekitar sisi belakang silinder. Akibatnya terbentuklah suatu lapisan geser (*shear layer*). Hal ini secara skematis diilustrasikan dalam gambar 2.8.



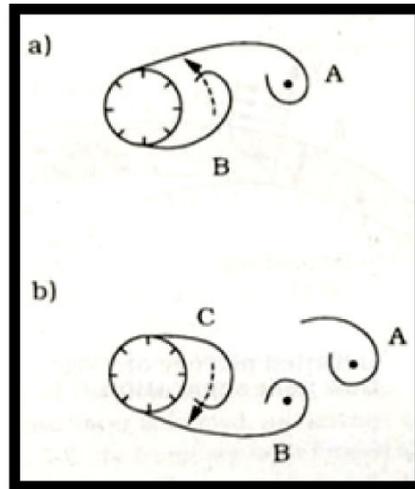
Gambar 2.8 Skema terbentuknya Lapisan Geser (*shear layer*) yang selanjutnya akan membentuk vortek A dan B [7]

Secara sederhana, mekanisme terjadinya pelepasan *vortex* pada kasus aliran air melalui sebuah silinder dapat diterangkan sebagai berikut:

Jika $Re > 40$, maka pasangan *vortices* yang terbentuk menjadi tidak stabil oleh gangguan/usikan kecil, sehingga salah satu *vortex* akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya (lihat gambar sketsa terjadinya *vortex shedding*). *Vorticity* dalam *Vortex A* berputar searah jarum jam (CW), sedangkan *vorticity* dalam *Vortex B* berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Selanjutnya gerakan aliran *vorticity* yang CCW akan memotong aliran *vorticity* yang menyuplai *Vortex A*, sehingga *Vortex A* terlepas lalu menjadi *vortex* bebas dan akhirnya terseret aliran ke arah belakang/menjauhi silinder.

Setelah *vortex A* terlepas, terbentuklah *vortex* baru menggantikan *Vortex A* yaitu *Vortex C*. Maka selanjutnya, *Vortex B* akan mengalami hal yang sama dengan *Vortex A* sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan

kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh *Vortex C* dan akhirnya terlepas menjadi *vortex* bebas. Proses seperti ini akan berlangsung terus-menerus setiap terjadi pelepasan *vortex* baru pada setiap sisi silinder lihat gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema mekanisme terjadinya pelepasan *vortex* (*vortex shedding*) pada sebuah silinder dalam aliran *steady* (penampang 2-D) [7]

Jadi dari hal tersebut dapat dipahami bahwa pelepasan *vortex* hanya akan terjadi jika terdapat interaksi antara dua lapisan geser (*shear layer*) pada dua sisi silinder. Secara teoritik hal ini bisa dihindarkan dengan cara meniadakan interaksi tersebut. Misalnya dengan cara memberikan suatu pelat pemisah di bagian belakang silinder diantara dua lapisan tersebut. Maksudnya agar interaksi antar *vortex* bisa dicegah, sehingga akhirnya tidak terjadi pelepasan *vortex*.

Maka pada perkembangan selanjutnya, konsep inilah yang mendasari timbulnya berbagai macam upaya dengan cara menambahkan struktur-struktur bentuk tertentu pada permukaan silinder (*suppression devices*) dalam rangka mengurangi terjadinya pelepasan *vortex*, selanjutnya getaran akibat

pelepasan *vortex*. Tetapi dalam prakteknya, bagaimanapun juga fenomena pelepasan *vortex* ini tidak bisa dihindari, sejauh ini hanya bisa diminimalisasi saja [7]

2.7 Bilangan Reynolds

Kondisi aliran laminar atau turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds untuk aliran *incompressible*. Bilangan Reynold adalah suatu bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara gaya inersia terhadap tegangan geser yang ditimbulkan aliran fluida.

Adapun penurunan rumus dari bilangan Reynold untuk aliran luar (*eksternal flow*) [8] adalah sebagai berikut:

$$\text{Re} = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{Gaya geser}} \quad (2)$$

Dimana:

$$\text{Gaya inersia} = \rho \times A = \rho \cdot U^2 \cdot L^2$$

$$\text{Gaya geser} = \tau \times A = \left(\frac{\mu \cdot U}{L}\right) \cdot L^2$$

Sehingga,

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot U^2 \cdot L^2}{\left(\frac{\mu \cdot U}{L}\right) \cdot L^2}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot U_0 \cdot L}{\mu} \quad (3)$$

Dimana:

$$U_0 = \text{Kecepatan aliran fluida (m/s)}$$

$$L = \text{Panjang karakteristik (m)}$$

$$\rho = \text{Massa jenis fluida (kg/m}^3\text{)}$$

μ = Viskositas dinamis fluida (N.s/m²)

Bilangan Reynolds sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida dan kekentalan fluida. Berikut batasan bilangan Reynolds untuk aliran eksternal:

Turbulen : Re > 1000000

Laminar : Re < 500000

Transisi : 500000 < Re < 1000000

2.8 Koefisien Drag

Koefisien *drag* merupakan sebuah gaya dari fluida yang mengalir melalui permukaan benda searah aliran. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien *drag* dapat dituliskan sebagai berikut [4] :

$$C_D = \frac{F_D}{\rho U_0 L^2} \quad (4)$$

Dimana :

C_D = Koefisien *drag*

F_D = *Drag force*

ρ = *Density* (kg/m³)

U_0 = Kecepatan fluida (m/s)

L = Panjang karakteristik (m)

Total gaya *drag* yang dialami kendaraan akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan udara hingga pada titik tertentu.

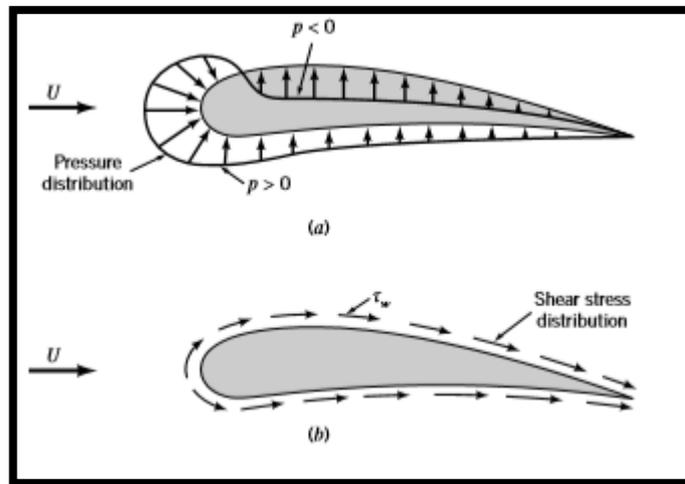
Bentuk geometri kendaraan akan menentukan nilai koefisien *drag* dimana semakin aerodinamis bentuk kendaraan, maka nilai koefisien *drag* akan semakin kecil [9]. Besarnya gaya hambat yang terjadi akan mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar karena energi yang dibutuhkan oleh mesin untuk mendorong kendaraan dan melakukan percepatan akan semakin kecil seiring dengan berkurangnya gaya hambat yang dikenakan pada 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.

Luas area (*frontal area*) juga sangat mempengaruhi nilai gaya hambat pada suatu kendaraan. Semakin kecil luas *frontal area* dari objek, maka semakin kecil pula gaya hambat yang dihasilkan [10].

2.9 Drag Tekanan

Drag tekanan merupakan komponen paling besar memberikan pengaruh terhadap *drag* total pada kendaraan yang disebabkan oleh separasi aliran pada bagian belakang [11]. *Drag* tekanan (C_p) merupakan bagian dari *drag* yang langsung disebabkan oleh tekanan P terhadap sebuah benda. *Drag* ini sering disebut sebagai *drag* bentuk karena ketergantungan yang sangat kuat pada bentuk dari kendaraan. *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 *upstream*. Sebaliknya gaya tekanan pada plat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan *drag* secara keseluruhan [1].



Gambar 2.10. Distribusi tekanan pada *airfoil* [1]

Koefisien tekanan (C_p) ditentukan dari perbandingan perubahan tekanan sebelum dan sesudah melalui benda uji. [12], persamaan (5)

$$C_p = \frac{P - P_s}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (5)$$

Atau lebih sederhana bila koefisien tekanan (C_p) ditentukan dari perbandingan antara tekanan atau head yang terjadi dititik uji permukaan benda uji terhadap tekanan atau head pada udara bebas [13] dengan persamaan (2)

$$C_p = \frac{h_{sm} - h}{h_{sm} - h_{tm}} \quad (6)$$

Dimana :

C_p = Koefisien tekanan

h_{sm} = Head aliran udara statis manometer

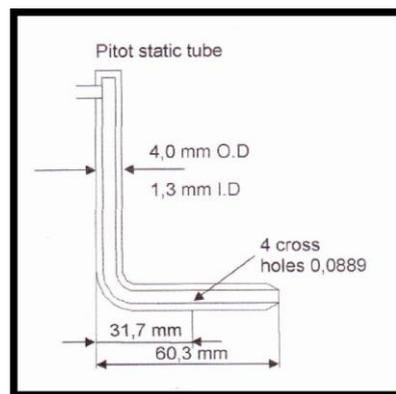
h_{tm} = Head aliran udara stagnasi manometer

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 viskositasnya tidak nol, total *drag* tekanan mungkin tidak nol karena separasi lapisan batas [1]

2.10 Pengukuran 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 2.8.



Gambar 2.11. Tabung Pitot [14]

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, [14]

$$P_a = \frac{\rho U^2}{2} \frac{N}{m^2} \quad (7)$$

Perbedaan tekanan (h) di ukur dalam centimeter air dan karena 1 cm H₂O = 98,1 N/m² persamaan menjadi:

$$\frac{\rho U^2}{2} = 98,1 h \quad (8)$$

Massa jenis udara luar dibawah tekanan Pa dan pada temperatur Ta dapat diberikan persamaan gas,

$$\frac{P a}{\rho} = R \cdot Ta \quad (9)$$

Dimana:

Pa = Tekanan udara luar (N/m²)

R = Konstantan gas = 287 Joule/kg.K

Ta = Temperatur udara luar, K

Dengan memasukkan persamaan (8) dan (9) dengan mengeliminasi ρ (Salam, 2003) [15] , diperoleh:

$$U = 237,3 \sqrt{\frac{h \cdot Ta}{Pa}} \quad (10)$$