



**TUGAS AKHIR - TM 091486**

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK TENTANG  
ALIRAN *BOUNDARY LAYER* YANG MELINTASI *BUMP*  
LINGKARAN DENGAN PENGGANGGU BERUPA  
KAWAT MELINTANG**

“Studi kasus untuk  $Re = 21000$  dan  $\theta = 30^\circ, 40^\circ, \text{ dan } 50^\circ$ ”

**RADIAPRIMA KARTIKA WIJAYA**  
2110 100 119

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



**FINAL PROJECT - TM 091486**

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON THE  
BOUNDARY LAYER FLOW ACROSS SEMI-CIRCULAR  
BUMP WITH BISTURBANCE WIRE**

“ Study case for  $Re = 21000$  and  $\theta = 30^\circ, 40^\circ, \text{ and } 50^\circ$  ”

**RADIAPRIMA KARTIKA WIJAYA**  
2110 100 119

Advisor  
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng., Ph.D.

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014



**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK TENTANG  
ALIRAN *BOUNDARY LAYER* MELINTASI *BUMP*  
SETENGAH LINGKARAN DENGAN PENGGANGGU  
BERUPA KAWAT MELINTANG**

**Nama Mahasiswa** : Radiaprima Kartika Wijaya  
**NRP** : 2110 100 119  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D.

**ABSTRAK**

*Telah banyak penelitian-penelitian yang dilakukan tentang karakteristik boundary layer melintasi suatu pelat datar dengan bump. Pada penelitian ini akan dikaji tentang karakteristik aliran yang melintasi suatu bump setengah lingkaran dengan inlet disturbance berupa kawat melintang pada sisi upstream bump. Adanya inlet disturbance berupa kawat melintang diharapkan separasi yang terjadi dapat tertunda. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui titik separasi, distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ), koefisien pressure drag ( $C_{D,p}$ ) berdasarkan tekanan, dan koefisien total drag sepanjang pelat datar ( $C_D$ ).*

*Penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu metode eksperimen dan numerik. Studi eksperimen dilakukan pada subsonic wind tunnel yaitu pada kecepatan freestream 16.5 m/s ( $Re = 21,000$ ). Benda uji berupa plat datar yang diberi bump setengah lingkaran dengan inlet disturbance kawat melintang pada upstream bump dan pelat datar tanpa inlet disturbance. Koefisien tekanan ( $C_p$ ) didapatkan dari pengukuran tekanan statis yang dilakukan sepanjang kontur bump dan pada permukaan pelat datar dengan menggunakan wall pressure tap, sedangkan koefisien pressure drag ( $C_{D,p}$ ) didapatkan dari perhitungan berdasarkan tekanan. Pengukuran kecepatan aliran fluida yang melalui permukaan plat datar dengan bump menggunakan Pitot tube. Studi numerik menggunakan perangkat*



## *Tugas Akhir Konversi Energi*

---

*lunak yaitu program Fluent 6.3.26 dengan model turbulen k- $\omega$  shear-stress transport (SST) 2D steady flow.*

*Pada penelitian ini didapatkan dengan adanya pengganggu berupa kawat melintang pada sisi upstream bump memberikan kenaikan nilai koefisien drag ( $C_D$ ). Kenaikan nilai koefisien drag ( $C_D$ ) terjadi ketika bump diganggu dengan kawat pada sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , maupun pada sudut  $50^\circ$ . Hal ini terjadi pada hasil eksperimen maupun hasil dari simulasi numerik.*

***Kata Kunci : Bump, boundary layer turbulen, separasi, koefisien drag ( $C_D$ ), koefisien tekanan ( $C_p$ ), koefisien pressure drag ( $C_{D,p}$ ), studi eksperimen, dan studi numerik.***



**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON THE  
BOUNDARY LAYER FLOW ACROSS SEMI-CIRCULAR  
BUMP WITH DISTURBANCE WIRE**

**Name** : Radiaprima Kartika Wijaya  
**NRP** : 2110 100 119  
**Major** : Mechanical Engineering  
**Advisor** : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D.

**ABSTRACT**

*There have been many studies conducted on the characteristics of the boundary layer over a flat plate with a bump. This study will be assessed on the flow characteristics over a semi-circular bump with inlet disturbance in the form of wire on the upstream side of the bump. The presence of transverse inlet disturbance in the form of wire, separation is expected to occur may be delayed. The purpose of this study was to determine the point of separation, the distribution of the pressure coefficient ( $C_p$ ), pressure drag coefficient ( $C_{D,p}$ ) based on the pressure, and the total drag coefficient along the flat plate ( $C_D$ ).*

*This study was conducted by two methods: experimental and numerical methods. Studies experiments on subsonic wind tunnel freestream velocity is at 16.5 m/s ( $Re = 21,000$ ). Specimens in the form of a flat plate is given a semi-circular bump with inlet disturbance in the transverse wire bump upstream inlet and a flat plate without disturbance. Pressure coefficient ( $C_p$ ) obtained from static pressure measurements were performed along the contour of the bump and the flat plate surface using the wall tap pressure, while the pressure coefficient of drag ( $C_{D,p}$ ) obtained from calculations based on pressure. Measurement of fluid flow velocity through the surface of a flat plate with a bump using a Pitot tube. Numerical studies using the software Fluent 6.3.26 is a program with  $k-\omega$  turbulent model of shear - stress transport (SST) 2D steady flow.*



*In this study, obtained with the bullies in the form of wire on the upstream side of the bump gives rise in the value of the coefficient of drag ( $C_D$ ). Increase of drag coefficient ( $C_D$ ) occurs when a bump plagued with wire at an angle of  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , respectively  $50^\circ$ . This happened on the experimental results and the results of numerical simulations.*

***Keywords: Bump, turbulent boundary layer, separation, drag coefficient ( $C_D$ ), the pressure coefficient ( $C_p$ ), pressure coefficient of drag ( $C_{D,p}$ ), experimental studies, and numerical studies.***

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK TENTANG  
ALIRAN *BOUNDARY LAYER* YANG MELINTASI *BUMP*  
SETENGAH LINGKARAN DENGAN PENGGANGGU  
BERUPA KAWAT MELINTANG**

“Studi kasus pada angka Reynolds ( $Re$ ) = 21000 dan  $\theta = 30^\circ, 40^\circ$ , dan  $50^\circ$ ”

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Konversi Energi Program  
Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**RADIAPRIMA KARTIKA WIJAYA**  
NRP. 2110100119

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. <u>Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D.</u> (NIP. 196412281990031002)	 ..... (Pembimbing)
2. <u>Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT</u> (NIP.197104051997021001)	 ..... (Penguji I)
3. <u>Nur Ikhwan, ST, M.Eng.</u> (NIP.196709151995121001)	 ..... (Penguji II)
4. <u>Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, Ph.D.</u> (NIP.197512062005011002)	 ..... (Penguji III)

**SURABAYA  
JANUARI 2014**



---

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali penulis yang selalu mengarahkan dan memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
2. Kedua orang tua tercinta yang senantiasa memberi dukungan dan doa hingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng. PhD selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST. MT, Nur Ikhwan ST. M.Eng, dan Dedy Zulhidayat Noor, ST. MT. Ph.D, selaku dosen penguji tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
5. Bapak Dr. Ir. Soeharto, DEA. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan demi kelancaran studi penulis.
6. Orang tua tercinta yang selalu memberikan nasehat kepada penulis untuk selalu menjadi orang yang baik dan selalu mendoakan penulis.
7. Rekan satu tim tugas akhir penulis Adityas, Danis “Susno”, Edwin, Thomas, dan Mega yang selalu memberikan dukungan dan kerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.



8. Sahabat penulis Hayyu Maharani terima kasih atas motivasinya yang selalu memberikan inspirasi dan semangat penulis untuk selalu menjadi lebih maju.
9. Bapak Nur Rochman dan Bapak Sutrisno selaku pembimbing di lab. Mekanika Fluida yang telah membimbing dan memberikan saran-saran selama dalam pembuatan alat dan pengambilan data eksperimen.
10. Teman-teman lab. mekanika fluida, Ageng, Ferdi, Kresna, Bayu, Hanggar, Gani, Farouq, Fasya, Imam, Rizky, Kenan, Arif, Fikri, dan Samsul terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
11. Teman-teman M53, terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini. Semoga kita semua tidak lupa satu sama lain setelah keluar dari jurusan kita tercinta.
12. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS,
13. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Februari 2014

**Penulis**



---

**DAFTAR ISI**

JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR SIMBOL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Aliran Viscous dan Non Viscous .....	7
2.2 Aliran Laminar dan Turbulen .....	8
2.3 Konsep Lapisan Batas ( <i>boundary layer</i> ).....	9
2.4 <i>Pressure Gradient</i> .....	11
2.5 <i>Bubble Separation</i> .....	13
2.6 Efek <i>Turbulent Boundary Layer</i> terhadap Separasi .....	13
2.7 Angka Reynolds.....	14
2.8 Geometri <i>Shape Factor</i> .....	15
2.9 Koefisien Tekanan dan Koefisien <i>Drag</i> .....	16
2.10 Penelitian Terdahulu .....	18
BAB III METODA PENELITIAN.....	27
3.1 Metoda Penelitian .....	27
3.1.1 Benda Uji dan Peralatan Penelitian .....	27
3.1.2 Parameter Penelitian.....	32
3.1.3 Prosedur Pengambilan Data .....	34
3.2 Metoda Numerik .....	35
3.3 Pemrosesan Hasil Eksperimen dan Numerik .....	37



BAB IV ANALISA DATA .....	39
4.1 Analisa <i>Grid Independensi</i> .....	39
4.2 Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> .....	40
4.2.1 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> Tanpa Pengganggu, Penggangu Sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari hasil eksperimen.....	40
4.2.2 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> Tanpa Pengganggu, Pengganggu Sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari hasil Numerik.....	42
4.2.3 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> Tanpa Pengganggu dari Hasil Eksperimen dan Numerik .....	45
4.2.4 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> dengan Pengganggu Sudut $50^\circ$ dari Hasil Eksperimen dan Numerik .....	47
4.3 Profil Kecepatan pada Pelat Datar dan <i>Bump</i> .....	49
4.3.1 Perbandingan Profil Kecepatan pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> Tanpa Penggangu dari Hasil Eksperimen dan Numerik.....	49
4.3.2 Perbandingan Profil Kecepatan pada Pelat Datar dengan <i>Bump</i> dengan Pengganggu Sudut $50^\circ$ dari Hasil Eksperimen dan Numerik .....	51
4.4 Visualisasi Numerik.....	53
4.5 Koefisien Drag ( $C_D$ ).....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	62



DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN .....	65
BIODATA PENULIS.....	75



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 (a) Profil kecepatan aliran *inviscid* ..... 8

Gambar 2.1 (b) Profil kecepatan aliran *viscous* ..... 8

Gambar 2.2 Aliran turbulen dan laminar ..... 9

Gambar 2.3 *Boundary layer* laminar dan turbulen sepanjang pelat datar ..... 10

Gambar 2.4 Evolusi profil kecepatan pada profil lengkung ..... 11

Gambar 2.5 Laminar *separation bubble* karena *adverse pressure gradient* ..... 13

Gambar 2.6 Aliran fluida melalui suatu bola ..... 14

Gambar 2.7 Pelat datar sejajar arah aliran fluida ..... 16

Gambar 2.8 Pelat datar tegak lurus aliran fluida ..... 16

Gambar 2.9 Gaya tekan dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan bodi ..... 17

Gambar 2.10 Benda uji dari penelitian Akbar (2011) ..... 19

Gambar 2.11 Distribusi koefisien tekan sebagai fungsi dari  $x/a$  pada  $Re = 26000$  dari hasil eksperimen dan simulasi numerik dengan benda uji yang diberi ketirusan (Akbar, 2011) ..... 19

Gambar 2.12 Profil kecepatan pada *bump* tanpa ketirusan (Akbar, 2011) ..... 20

Gambar 2.13 Benda uji dari penelitian Wijanarko (2005) ..... 23

Gambar 2.14 Distribusi koefisien tekan sebagai fungsi dari  $x/d$  pada *bump* setengah lingkaran (Wijanarko, 2005) ..... 23

Gambar 2.15 Profil kecepatan pada *bump* setengah lingkaran (Wijanarko, 2005) ..... 25

Gambar 3.1 Benda uji ..... 28

Gambar 3.2 Perbesaran benda uji ..... 28

Gambar 3.3 *Subsonic Open Circuit Wind Tunnel* ..... 29

Gambar 3.4 *Test section* pada *wind tunnel* ..... 30

Gambar 3.5 *Inclined* manometer ..... 30

Gambar 3.6 *Total pressure tube* dan micrometer ..... 31

Gambar 3.7 Sketsa pemodelan penelitian ..... 35



Gambar 3.8 Contoh hasil <i>meshing</i> .....	36
Gambar 3.9 Perbesaran <i>meshing</i> pada daerah sekitar <i>bump</i> .....	36
Gambar 4.1 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $x/d$ pada pelat datar dengan <i>bump</i> setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu pada sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari hasil eksperimen .....	41
Gambar 4.2 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $\theta$ pada <i>bump</i> setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari hasil eksperimen .....	41
Gambar 4.3 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $x/d$ pada pelat datar dengan <i>bump</i> setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari hasil numerik .....	44
Gambar 4.4 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $\theta$ pada <i>bump</i> setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari hasil numeric .....	44
Gambar 4.5 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $x/d$ pada pelat datar dengan <i>bump</i> tanpa pengganggu dari hasil eksperimen dan simulasi numerik .....	46
Gambar 4.6 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $\theta$ pada <i>bump</i> tanpa pengganggu dari hasil eksperimen dan simulasi numeric.....	46
Gambar 4.7 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $x/d$ pada pelat datar dan <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ dari hasil eksperimen dan simulasi numeric.....	48
Gambar 4.8 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari $\theta$ pada <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ dari hasil eksperimen dan simulasi numeric .....	48
Gambar 4.9 Profil kecepatan pada pelat datar dan <i>bump</i> tanpa pengganggu secara eksperimen .....	50
Gambar 4.10 Profil kecepatan pada pelat datar dan <i>bump</i> tanpa pengganggu secara numerik .....	50



---

Gambar 4.11 Profil kecepatan pada pelat datar dan <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ secara eksperimen.....	51
Gambar 4.12 Profil kecepatan pada pelat datar dan <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ secara numerik.....	51
Gambar 4.13 Plot kontur tekanan statis pada pelat datar dan <i>bump</i> tanpa pengganggu.....	54
Gambar 4.14 Plot kontur tekanan statis pada pelat datar dan <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ .....	54
Gambar 4.15 Plot kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan <i>bump</i> tanpa pengganggu .....	55
Gambar 4.16 Plot kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ .....	55
Gambar 4.17 <i>Pathline</i> kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan <i>bump</i> tanpa pengganggu .....	57
Gambar 4.18 <i>Pathline</i> kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan <i>bump</i> dengan pengganggu sudut $50^\circ$ .....	57
Gambar 4.19 Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada <i>bump</i> tanpa pengganggu dan dengan pengganggu secara eksperimen dan numerik.....	59



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

DAFTAR SIMBOL

$d$	: Lebar <i>bump</i>	(mm)
$L$	: Panjang pelat datar	(mm)
$W$	: Lebar pelat datar	(mm)
$t$	: Tebal pelat datar	(mm)
$x$	: Sumbu horizontal	(mm)
$y$	: Sumbu vertikal	(mm)
$x/d$	: Rasio titik pada sumbu $x$ dengan lebar <i>bump</i>	
$P_o$	: Tekanan stagnasi	(Pa)
$P_c$	: Tekanan statis	(Pa)
$P_\infty$	: Tekanan statis <i>freestream</i>	(Pa)
$\partial u/\partial y$	: Gradient kecepatan aliran	(s <sup>-1</sup> )
$\mu$	: Viskositas absolut udara	(Ns/m <sup>2</sup> )
$\nu$	: Viskositas kinematik udara	(m <sup>2</sup> /s)
$C_D$	: Koefisien <i>drag</i>	
$C_p$	: Koefisien tekanan	
$C_{D,f}$	: Koefisien gesek	
$C_{D,p}$	: Koefisien <i>pressure drag</i>	
$F_D$	: Gaya <i>drag</i>	(N)
$g$	: Percepatan gravitasi	(m/s <sup>2</sup> )
$H$	: <i>Shape factor</i>	
$Re$	: Bilangan Reynolds	
$U_\infty$	: Kecepatan <i>freestream</i>	(m/s)
$u$	: Kecepatan lokal aliran	(m/s)
$\pi$	: Group bilangan tak berdimensi	
$\rho$	: Massa jenis udara	(Kg/m <sup>3</sup> )



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 <i>Koefisien Drag (<math>C_D</math>)</i> yang terjadi pada <i>bump</i> (Akbar, 2011) .....	21
Tabel 2.2 koefisien drag dari masing-masing <i>bump</i> (Wijanarko, 2005) .....	24
Tabel 3.1 Langkah – langkah pada fluent dan inputanya .....	36
Tabel 4.1 Analisa <i>grid independensi</i> pelat datar dengan <i>bump</i> tanpa pengganggu .....	39
Tabel 4.2 Letak titik separasi .....	53
Tabel 4.3 Koefisien <i>Drag (<math>C_D</math>)</i> pada <i>bump</i> dengan pengganggu dan tanpa pengganggu .....	58
Tabel L1 Integrasi <i>bump</i> setengah lingkaran tanpa pengganggu Sisi <i>upstream</i> .....	69
Tabel L2 Integrasi <i>bump</i> setengah lingkaran tanpa pengganggu Sisi <i>downstream</i> .....	70



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada zaman modern seperti saat ini kebutuhan manusia tidak dapat dipisahkan dengan teknologi dan ilmu pengetahuan. Pesatnya perkembangan berbagai bidang ilmu mendorong majunya peradaban kehidupan manusia. Ilmu teknik sebagai salah satu bidang yang mengaplikasikan ilmu dan teknologi tentu memegang peranan penting bagi kehidupan manusia. Khususnya dalam bidang mekanika fluida mendorong manusia untuk meneliti aliran fluida yang melintasi suatu benda. Hal ini dikarenakan manusia tidak bisa terlepas dari aliran fluida, misalnya: angin yang berhembus melewati tiang listrik, gedung bertingkat, dan sayap pesawat. Penelitian tentang aliran fluida ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang melewati suatu benda.

Aliran *viscous* yang melewati *bump* berbentuk setengah lingkaran akan mengalami penurunan tekanan dan kenaikan kecepatan di sisi *upstream* serta kenaikan tekanan dan penurunan kecepatan di sisi *downstream*. Kenaikan tekanan pada sisi *downstream* ini adalah salah satu penyebab aliran fluida mengalami separasi. Separasi aliran terjadi saat momentum aliran fluida tidak dapat melawan kenaikan tekanan pada sisi *downstream* dan gesekan dengan permukaan *bump*, titik dimana mulai terjadi gejala separasi disebut titik separasi. Daerah setelah titik separasi mempunyai tekanan yang lebih kecil daripada daerah di sisi *upstream* sehingga mengakibatkan perbedaan tekanan yang besar. Akibat perbedaan tekanan ini maka akan terjadi gaya *drag* pada benda.

Telah banyak penelitian yang berkaitan dengan *boundary layer*, seperti penelitian yang dilakukan oleh **Wijanarko (2005)**. Penelitian yang dilakukan adalah tentang separasi dan *reattachment* aliran di belakang gundukan (*bump*) setengah lingkaran, segitiga, dan persegi panjang. Dari penelitian



ini didapatkan bahwa separasi masif pada *bump* setengah lingkaran terjadi akibat momentum aliran tidak mampu mengatasi *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, sedangkan pada *bump* segitiga dan persegi panjang, separasi masif terjadi karena *adverse pressure gradient* yang tajam akibat perubahan sudut yang tajam pada permukaan *bump*. Dari penelitian ini juga didapatkan bahwa pada *bump* berbentuk setengah lingkaran, besarnya bilangan Reynolds ( $Re$ ) berpengaruh terhadap titik separasi, sedangkan pada *bump* berbentuk segitiga dan persegi panjang, besarnya bilangan Reynolds ( $Re$ ) tidak berpengaruh terhadap titik separasi.

Penelitian lain tentang *boundary layer* dilakukan oleh **Joongnyon dan Hyung (2006)**. Penelitian yang dilakukan adalah tentang fluktuasi tekanan yang terjadi pada dinding *boundary layer* turbulen yang melintasi sebuah *bump*. Pengetahuan tentang fenomena fluktuasi tekanan pada dinding ini sangat penting untuk diketahui, salah satu contohnya adalah timbulnya kebisingan yang disebabkan oleh aliran yang melintasi *sonar transducer* yang dirangkai pada sebuah kapal. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kelengkungan terhadap fluktuasi tekanan pada dinding lengkungan dan hasilnya adalah terjadinya perubahan tekanan di sepanjang lengkungan dari sisi *upstream* sampai sisi *downstream*.

**Hadi (2011)** melakukan penelitian tentang pengaruh radius kelengkungan yang kecil pada *bump* setengah lingkaran terhadap letak titik separasi. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan numerik, penelitian ini didapatkan titik separasi pada *bump* setengah lingkaran dengan radius kelengkungan yang kecil mampu menunda terjadinya separasi.

Penelitian tentang pengaruh radius kelengkungan yang besar pada *bump* setengah lingkaran terhadap letak titik separasi telah dilakukan oleh **Akbar (2011)**. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan numerik, dari penelitian ini didapatkan bahwa dengan adanya radius kelengkungan yang besar pada



bump akan menunda terjadinya separasi dan terjadi penurunan harga koefisien drag ( $C_D$ ).

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut maka muncul pemikiran untuk melakukan penelitian tentang aliran melewati *bump* setengah lingkaran dengan diberi *inlet disturbance* berupa kawat melintang yang dipasang pada sisi *upstream* pada *bump* setengah lingkaran. Penelitian ini akan dilakukan secara eksperimen dan numerik dengan bilangan Reynolds ( $Re$ ) tertentu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Karakteristik aliran yang melewati *bump* tergantung dari beberapa faktor, antara lain: bentuk *bump* dan bilangan Reynolds. Pada permukaan pelat melengkung yang dialiri fluida *viscous* di atasnya akan terbentuk *boundary layer* di sepanjang permukaan dan suatu saat *boundary layer* ini akan mengalami separasi akibat adanya *adverse pressure gradient* yang besar dan gesekan antara fluida *viscous* dan permukaan solid, sehingga akan muncul tegangan geser dan gaya hambat pada aliran fluida. Penelitian **Wijanarko (2005)** menunjukkan bahwa *bump* berbentuk setengah lingkaran mengalami separasi masif di titik  $x/d = 0.75$ , segitiga di titik  $x/d = 0.5$ , dan persegi panjang terjadi di titik  $x/d = 1.0$  dimana  $d$  adalah lebar *bump*. Separasi masif untuk *bump* setengah lingkaran terjadi karena adanya *adverse pressure gradient* yang kuat di sisi *upstream bump*, sedangkan separasi masif pada *bump* berbentuk segitiga dan persegi panjang terjadi karena adanya perubahan sudut yang tajam. Penelitian **Hadi (2011)** menunjukkan bahwa *bump* berbentuk setengah lingkaran tanpa adanya radius kelengkungan yang kecil pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di titik  $x/d = 0.95$  dan pada *bump* berbentuk setengah lingkaran yang memiliki radius kelengkungan yang kecil pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di titik  $x/d = 1$ . Penelitian **Akbar (2011)** menunjukkan bahwa *bump* berbentuk setengah lingkaran tanpa adanya radius kelengkungan yang besar pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di



*downstream bump*, yaitu di titik  $x/d = 0,84$  dan pada *bump* berbentuk setengah lingkaran yang memiliki radius kelengkungan yang besar pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di *downstream bump*, yaitu di titik  $x/d = 0,89$ . Dari penelitian-penelitian tersebut didapatkan bahwa radius kelengkungan pada *bump* sangat berpengaruh terhadap terjadinya separasi, dengan kata lain bentuk dari *bump* sangat berpengaruh terhadap terjadinya separasi. Penelitian-penelitian tersebut belum membahas tentang *bump* yang diberi *inlet disturbance*, karena itu perlu dilakukan penelitian tentang aliran fluida melewati *bump* dengan variasi *inlet disturbance* berupa kawat melintang yang dipasang pada sisi *upstream bump* dengan bilangan Reynolds ( $Re$ ) tertentu. Pengaruh adanya *inlet disturbance* berupa kawat melintang pada *upstream bump* terhadap gejala separasi yang akan terjadi menarik untuk dikaji terutama terkait letak dari separasi aliran tersebut.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji gejala separasi aliran yang melewati *bump* setengah lingkaran dengan memodifikasi adanya kawat melintang pada sisi *upstream bump* setengah lingkaran yang diharapkan dapat meningkatkan turbulensi aliran yang lebih besar sehingga aliran mempunyai ketahanan yang lebih terhadap terjadinya separasi. Secara garis besar tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk:

1. Mengetahui karakteristik aliran fluida yang melintasi *bump* berbentuk setengah lingkaran yang diberi kawat melintang pada sisi *upstream* dengan bilangan Reynolds ( $Re = \frac{U \infty d}{\nu}$ ) tertentu, sehingga akan diperoleh:
  - a) Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sepanjang pelat datar dan *bump*.
  - b) Profil kecepatan sebelum, sesudah, dan di atas *bump*.
  - c) Perhitungan koefisien *pressure drag* ( $C_{D,p}$ ) pada kontur *bump* berdasarkan tekanan.



- d) Perhitungan koefisien *total drag* ( $C_D$ ) sepanjang pelat datar berdasarkan perubahan perubahan momentum kecepatan sebelum dan sesudah melewati *bump*.
2. Mempelajari karakteristik *boundary layer* secara kuantitatif dengan visualisasi numerik.
3. Membandingkan hasil analisa secara eksperimen dan numerik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk mempermudah dalam penyusunan penelitian ini maka diperlukan adanya batasan masalah dan asumsi yang kiranya berhubungan dengan penelitian ini, batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Fluida kerja yang digunakan adalah udara dengan kondisi aliran *freestream* bersifat *steady*, *incompressible*, dan *uniform* di sisi masuk *test section*.
2. Intensitas turbulensi pada *freestream* tidak dianalisa.
3. Perpindahan panas yang mungkin terjadi diabaikan.
4. Kekasaran permukaan sepanjang pelat dan *bump* diabaikan.
5. Metoda numerik menggunakan analisa 2D.



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aliran *Viscous* dan *Non Viscous*

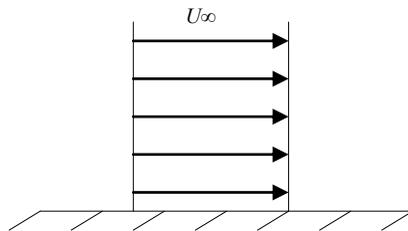
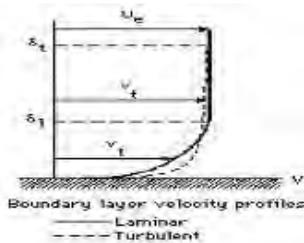
Jika dilihat dari pengaruh viskositasnya, aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua macam aliran, yaitu aliran *viscous* (*viscous flow*) dan aliran *non viscous* (*inviscid flow*). Suatu aliran fluida dimana efek viskositasnya tidak diabaikan maka aliran fluida tersebut merupakan aliran *viscous* dan jika aliran fluida efek viskositasnya diabaikan maka aliran fluida tersebut merupakan aliran *non viscous*. Pada aliran *viscous* terbentuk *boundary layer* sedangkan pada aliran *non viscous* tidak terbentuk *boundary layer*. Sebagian besar analisa aliran fluida, gaya *viscous* atau gaya geser diabaikan untuk mempermudah perhitungan.

Tegangan geser pada aliran *viscous* laminar dipengaruhi secara langsung oleh viskositas fluida dan gradien kecepatan yang ada di dalam aliran fluida tersebut. Hal ini dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy}, \quad (2.1)$$

dimana:  $\tau_{yx}$  = tegangan geser (*shear stress*)  
 $\mu$  = viskositas absolut fluida  
 $\frac{du}{dy}$  = gradien kecepatan

Aliran *inviscid* memiliki profil kecepatan yang *uniform* di atas permukaan pelat datar (gambar 2.1a). Pada profil aliran *viscous* (gambar 2.1b) kecepatan tepat pada permukaan pelat datar adalah nol dan tidak terjadi slip hingga suatu batas ketebalan tertentu terjadi gradasi kecepatan sampai pada suatu titik dimana kecepatan di titik itu sama dengan kecepatan aliran bebas (*freestream*). Gambar 2.1 menunjukkan perbandingan profil kecepatan aliran *inviscid* dan *viscous* di atas sebuah pelat datar.

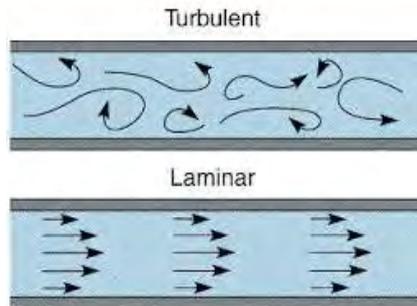
Gambar 2.1 (a) Profil kecepatan aliran *inviscid*.Gambar 2.1 (b) Profil kecepatan aliran *viscous* (Akbar, 2011).

## 2.2 Aliran Laminar dan Turbulen

Berdasarkan karakteristiknya aliran fluida dibedakan menjadi aliran laminar dan turbulen. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami oleh suatu aliran yang mempengaruhi gerak dari partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran mempunyai kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat *viscous*, gangguan yang mungkin dialami oleh medan aliran akibat getaran serta ketidakteraturan permukaan batas dan sebagainya relatif lebih cepat teredam oleh viskositas fluida tersebut dan aliran fluida tersebut disebut sebagai aliran laminar. Fluida dapat dianggap bergerak dalam bentuk lapisan- lapisan dengan pertukaran molekul yang hanya terjadi di antara lapisan-lapisan yang berbatasan untuk kondisi tersebut, gangguan yang timbul semakin besar hingga tercapai kondisi peralihan (*transition state*) pada kecepatan aliran yang bertambah besar atau efek viskositas yang berkurang. Terlampauinya kondisi peralihan menyebabkan sebagian gangguan tersebut menjadi



semakin kuat dimana partikel bergerak secara fluktuasi atau acak dan terjadi pencampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatasan. Kondisi aliran yang demikian disebut sebagai aliran turbulen. Gambar 2.2 menunjukkan perbandingan antara aliran laminar dan turbulen di dalam saluran tertutup.



Gambar 2.2 Aliran turbulen dan laminar (Hadi, 2011).

Aliran laminar dan turbulen mempunyai perbedaan yang mendasar, yaitu gerak acak pada aliran turbulen jauh lebih efektif dalam pengangkutan massa serta momentum fluidanya daripada gerak molekulernya di dalam aliran turbulen, tidak ada hubungan yang bisa dipastikan secara teoritis antara medan tekanan dan kecepatan rata-rata, sehingga pada analisa aliran turbulen dilakukan dengan pendekatan semi empiris. Kondisi aliran laminar dan turbulen ini dapat dibedakan berdasarkan bilangan Reynolds.

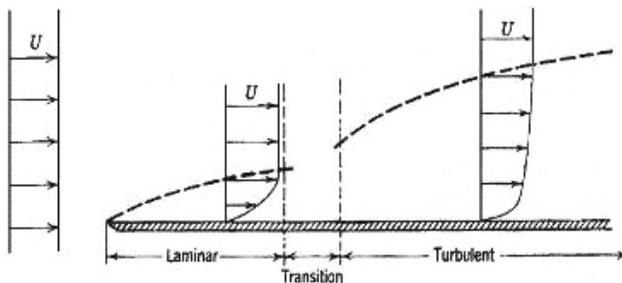
### **2.3 Konsep Lapisan Batas (*boundary layer*)**

Lapisan tipis yang terbentuk akibat fluida yang mengalir diatas permukaan padat disebut juga *boundary layer*. Pada aliran fluida selalu menunjukkan adanya suatu daerah yang alirannya terhambat, yaitu daerah di dekat permukaan mempunyai kecepatan relatif terhadap permukaan bervariasi antara nol hingga sekitar 99% kecepatan *freestream*. Daerah yang terhambat ini merupakan lapisan batas (*boundary layer*). Konsep lapisan batas



ini pertama kali diperkenalkan oleh Ludwig Prandtl dalam tahun 1904. Efek-efek viskositas akan terkonsentrasi dalam lapisan batas ini (*viscous region*) sedangkan di luar lapisan batas efek viskositas dapat diabaikan (*inviscid region*).

Lapisan batas dapat terbentuk ketika aliran fluida melintasi pelat datar, pada bagian partikel-partikel fluida yang cukup dekat dengan pelat datar terhambat oleh adanya tegangan geser yang besar. Lapisan batas menebal dalam arah yang sama dengan arah aliran fluida. Ketika lapisan batas mulai menebal ketidakstabilan pun mulai terjadi dan mengakibatkan pencampuran partikel dan pertukaran momentum di dalam fluida hingga menyebabkan terbentuknya lapisan batas turbulen. Pada lapisan batas turbulen, profil kecepatan yang terbentuk lebih tebal dengan gradien kecepatan di permukaan pelat dan tegangan gesernya lebih tinggi daripada kondisi laminar maupun transisi. Pada lapisan batas ini terjadi perubahan kecepatan dari nol di permukaan pelat hingga kecepatan mendekati  $U$  pada jarak  $\delta$  dari pelat. Proses pembentukan lapisan batas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Boundary layer* laminar dan turbulen sepanjang pelat datar (Fox and McDonald, 1998).

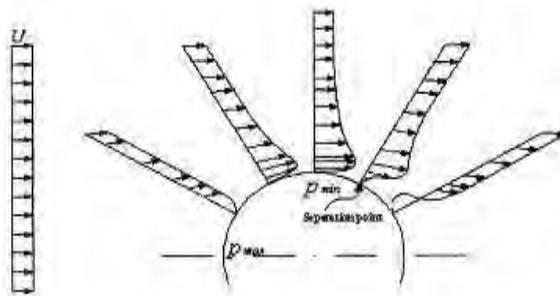
Lapisan batas pada permukaan padat akan berkembang dari ujung pelat (*leading edge*). Tebal lapisan batas pada daerah *leading edge* masih tipis, dimana partikel – partikel bergerak secara berlapis-lapis dan lapisan batas yang terjadi disebut lapisan



batas laminar. Semakin jauh fluida bergerak dari ujung pelat, lapisan batas akan semakin berkembang dan aliran akan berubah mendekati turbulen meskipun belum sepenuhnya turbulen, pada saat itu aliran berada pada daerah transisi dan lapisan batasnya disebut lapisan batas transisi. Faktor yang mempengaruhi lamanya proses transisi adalah gradien tekanan, kekasaran permukaan, gaya bodi, dan gangguan aliran bebas. Semakin jauh dari ujung pelat, aliran fluida tidak stabil dan terjadi pergolakan gerakan partikel sehingga terjadi pertukaran energi antar partikel. Aliran ini adalah aliran turbulen dan lapisan batasnya disebut lapisan batas turbulen.

## **2.4 Pressure gradient**

*Pressure gradient* di sepanjang permukaan benda padat mempunyai pengaruh yang sangat besar dan signifikan terhadap pertumbuhan *boundary layer*, seperti aliran yang melintasi suatu silinder bulat dalam gambar 2.4. Gambar tersebut menunjukkan pertumbuhan *boundary layer* pada permukaan silinder bulat yang mana pertumbuhannya lebih banyak dipengaruhi oleh adanya *pressure gradient* akibat bentuk silinder. Pada gambar tersebut tiap titik digambarkan dengan sumbu  $x$  searah horizontal dan sumbu  $y$  yang tegak lurus sumbu  $x$ .



Gambar 2.4 Evolusi profil kecepatan pada profil lengkung (Helmizar, 2008).



Aliran fluida akan mencapai harga kecepatan sama dengan nol atau stagnasi tepat di depan silinder dan seiring dengan pergerakan aliran, kecepatannya akan bertambah besar sehingga mencapai harga maksimum pada bagian atas dari silinder. Setelah mencapai harga maksimum, kecepatan fluida akan berangsur-angsur menurun saat fluida menuju ke daerah buritan (*aft edge*).

Kecepatan fluida akan mengalami perubahan di sepanjang permukaan benda padat. Sementara itu, tekanan pada permukaan benda padat juga akan mengalami perubahan yaitu berharga maksimum pada daerah depan dan belakang silinder, dan berharga minimum pada daerah di atas silinder. Seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.4 *boundary layer* mulai terbentuk pada titik stagnasi depan, kemudian seiring dengan pergerakan aliran fluida, *boundary layer* mengalami pertumbuhan dimana ketebalannya akan meningkat.

Aliran fluida akan mengalami penurunan tekanan pada saat bergerak menuju bagian atas dari silinder atau *pressure gradient* lebih kecil dari nol ( $dp/dx < 0$ ), hal ini disebut juga *favorable pressure gradient*. Adanya *favorable pressure gradient* ini aliran fluida yang dekat dengan permukaan akan mengalami kenaikan kecepatan. Hal ini berakibat ketebalan *boundary layer* semakin lama semakin bertambah, saat aliran fluida mencapai puncak silinder dan mulai bergerak turun ke daerah belakang silinder, aliran fluida akan mengalami kenaikan tekanan. Tekanan ini akan terus naik dan mencapai harga maksimum tepat pada titik belakang silinder. *Pressure gradient* yang terjadi mulai dari puncak silinder ke daerah belakang silinder harganya lebih besar dari nol ( $dp/dx > 0$ ) dan disebut *adverse pressure gradient*.

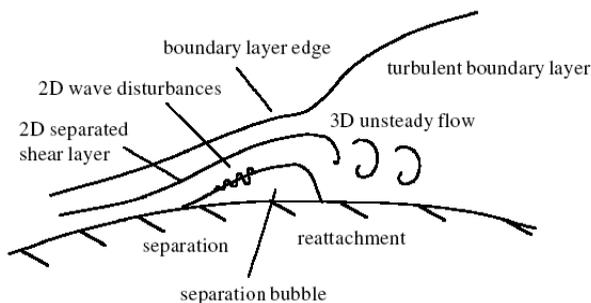
Ketika aliran tidak sanggup lagi mengatasi *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, maka pada saat itu aliran fluida di dalam *boundary layer* akan mengalami separasi dan titik tersebut dinamakan titik separasi. Di belakang titik separasi terdapat sebagian fluida yang mengalami aliran balik dan aliran fluida tidak mengikuti lagi bentuk dari *solid body*. Aliran mulai



tidak stabil dan akan terjadi pergolakan aliran. Daerah dimana terjadi pergolakan aliran disebut *wake*.

### **2.5 Bubble Separation**

Ketika aliran fluida yang melintasi permukaan padat dan terjadi *adverse pressure gradient* memungkinkan terbentuknya *bubble separation*. Aliran yang melintasi dinding dengan *adverse pressure gradient* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Laminar separation bubble* karena *adverse pressure gradient* (Wijanarko, 2005).

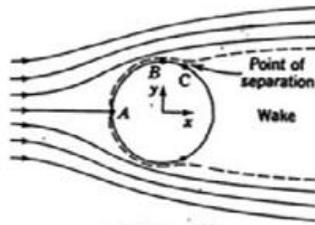
Daerah *low-velocity* yang dinamakan *bubble separation* dikelilingi oleh lapisan geser yang terpisah dari permukaan dinding. Lapisan geser ini akan kembali ke permukaan dinding di arah *downstream* dari titik separasi. Separasi pada *laminar boundary layer* disebabkan oleh aliran eksternal yang terhambat karena *adverse pressure gradient*, sedangkan kembalinya lapisan geser ke permukaan dinding disebabkan adanya transfer energi dari aliran eksternal ke aliran separasi sehingga aliran separasi dapat melawan *adverse pressure gradient*.

### **2.6 Efek Turbulent Boundary layer terhadap Separasi**

Jika kita bandingkan profil kecepatan yang terjadi di dalam *laminar boundary layer* dan *turbulent boundary layer*



terlihat bahwa dalam *turbulent boundary layer* kecepatan fluida yang dekat dengan permukaan mempunyai harga yang lebih besar daripada dalam *laminar boundary layer*. Kecepatan yang lebih besar ini akan berakibat energi kinetik fluida juga lebih besar yang pada akhirnya akan menjaga agar fluida tetap mengalir sebelum akhirnya fluida tidak sanggup lagi mengatasi tegangan geser dan *adverse pressure gradient* yang mengakibatkan terjadinya separasi. Sehingga dengan adanya *turbulent boundary layer* separasi yang terjadi dapat ditunda dan gaya *drag* yang terjadi akan semakin kecil. Gambar 2.6 menunjukkan aliran fluida melalui suatu bola, didalam *laminar boundary layer* separasi terjadi lebih awal, sedangkan di dalam *turbulent boundary layer* terjadi penundaan separasi.



Gambar 2.6 Aliran fluida melalui suatu bola (Fox and McDonald, 1998).

## 2.7 Angka Reynolds ( $Re$ )

Ketika mengukur gaya-gaya yang bekerja pada suatu bodi, dalam suatu penelitian sering kali kita tidak bisa melakukan secara langsung, akan tetapi kita harus mengukurnya dengan suatu perbandingan. Dalam perbandingan ini kedua bodi haruslah mempunyai kesamaan, baik kesamaan geometris dan kesamaan kinematis. Cara membandingkannya adalah dengan menyatakan gaya-gaya tersebut dalam bentuk bilangan yang tidak berdimensi. Salah satu bilangan tak berdimensi yang cukup terkenal dan sering dipakai di dalam mekanika fluida adalah angka Reynolds ( $Re$ ).



Angka Reynolds merupakan parameter kunci dari berbagai macam persoalan dalam berbagai macam aliran fluida. Secara umum angka Reynolds dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Re} = \frac{\rho VL}{\mu}, \quad (2.2)$$

dimana:

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

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/det)

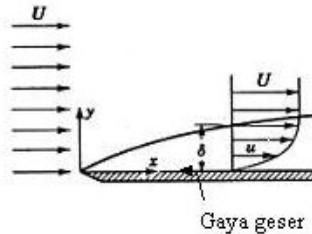
$\mu$  = viskositas absolut fluida (Pa.s)

$L$  = panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran (m)

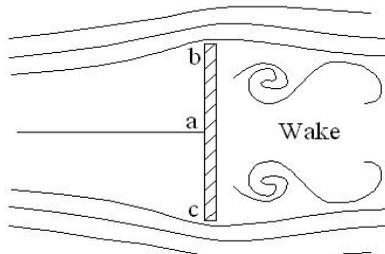
## 2.8 Geometri *Shape Factor*

Ketidakstabilan momentum aliran fluida diakibatkan oleh terjadinya gejala separasi, karena pada saat itu aliran mengalami pergolakan partikel fluida. Separasi hanya dapat terjadi pada daerah *adverse pressure gradient* ( $dp/dx > 0$ ) pada saat momentum aliran fluida tidak dapat melawan gaya geser pada permukaan benda.

Aliran fluida pada pelat datar tidak mengalami *adverse pressure gradient* karena tidak terjadi perubahan penampang sehingga aliran fluida hanya mendapat hambatan dari kekasaran permukaan dan terjadi *skin friction drag* (gambar 2.7). Hal ini mengakibatkan pada pelat datar aliran fluida tidak mengalami separasi, sebaliknya jika permukaan datar diletakkan tegak lurus terhadap arah aliran fluida (gambar 2.8), maka tidak akan terjadi *skin friction drag*, tetapi terjadi separasi karena adanya perubahan sudut yang tajam. Saat pelat datar dalam posisi tegak lurus arah aliran, pada permukaan pelat bagian depan tetap terdapat gaya geser tetapi arahnya tegak lurus terhadap aliran fluida sehingga tidak menyebabkan *skin friction drag*.



Gambar 2.7 Pelat datar sejajar arah aliran fluida (Wijanarko, 2005).



Gambar 2.8 Pelat datar tegak lurus aliran fluida (Wijanarko, 2005).

## 2.9 Koefisien Tekanan dan Koefisien Drag

### Koefisien Tekanan

Distribusi tekanan yang terjadi pada kontur benda bisa dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan ( $C_p$ ) adalah selisih antara tekanan statis lokal dan tekanan statis *freestream* dibagi dengan tekanan dinamis.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}, \quad (2.3)$$

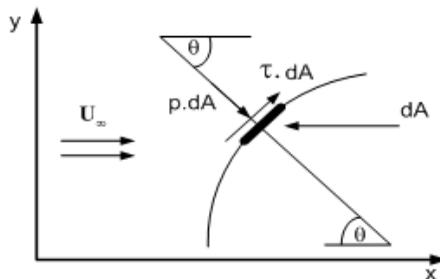
dimana:

- $p$  = tekanan statis lokal
- $p_\infty$  = tekanan statis *freestream*
- $U_\infty$  = kecepatan *freestream*.



### Koefisien Drag

Aliran fluida yang mengalir melalui permukaan datar akan mendapat hambatan. Gaya hambat yang terjadi berupa *skin friction force* ( $F_f$ ), yaitu gaya yang menyinggung permukaan secara tangensial sebagai akibat adanya viskositas (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda). Gaya hambat yang kedua adalah *pressure force* ( $F_p$ ), yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Gambar 2.9 menunjukkan resultan antara *friction* dengan *pressure force*. Resultan gaya ini disebut sebagai gaya tekan dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan bodi (gaya total).



Gambar 2.9 Gaya tekan dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan bodi (Sudarianto, 2006).

Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan akan menghasilkan komponen gaya-gaya sebagai berikut:

$$dF_x = (pdA) \cos \theta + (\tau dA) \sin \theta \quad (2.4)$$

$$dF_y = -(pdA) \sin \theta + (\tau dA) \cos \theta \quad (2.5)$$

Komponen gaya ke arah sumbu- $x$  adalah gaya hambat, sedangkan komponen gaya ke arah sumbu- $y$  adalah gaya *lift*. Gaya hambat yang terbentuk dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F_d = F_{d,p} + F_{d,f} \quad (2.6)$$

$$F_d = \int \cos \theta (pdA) + \int \sin \theta (\tau dA) \quad (2.7)$$



Gaya hambat sering diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi yaitu koefisien *drag* ( $C_d$ ) yang didefinisikan sebagai total *drag force* dibagi dengan  $\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A$ :

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} \quad (2.8)$$

Koefisien *skin-friction* ( $C_f$ ) secara matematis didefinisikan sebagai:

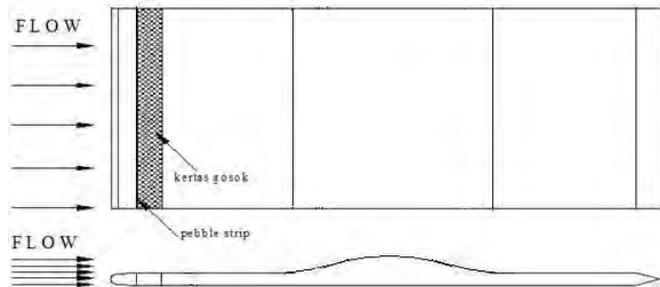
$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (2.9)$$

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pengaruh radius kelengkungan pada *bump* setengah lingkaran terhadap karakteristik *boundary layer* dan gejala separasi telah dilakukan oleh **Hadi (2011)**. Pada penelitian ini dilakukan variasi pada *bump* berupa radius kelengkungan yang kecil pada sisi *upstream* dan sisi *downstream*. Panjang dari pelat adalah 691 mm dan lebarnya 310 mm, sedangkan *bump* mempunyai radius 191 mm dengan ketinggian 25,6 mm.

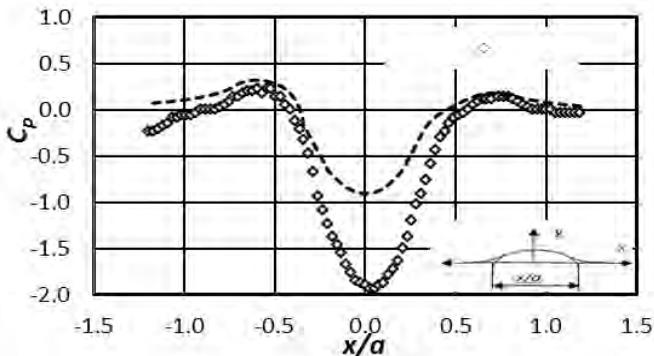
Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *bump* berbentuk setengah lingkaran tanpa adanya radius kelengkungan yang kecil pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di titik  $x/d = 0,95$  dan pada *bump* berbentuk setengah lingkaran yang memiliki radius kelengkungan yang kecil pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di titik  $x/d = 1$ .

Selain penelitian tersebut ada juga penelitian tentang pengaruh radius kelengkungan yang besar pada sisi *upstream* dan sisi *downstream bump* setengah lingkaran terhadap karakteristik *boundary layer* dan gejala separasi, yaitu yang dilakukan oleh **Akbar (2011)**. Pada penelitian ini menggunakan pelat dengan panjang 691 mm dan lebarnya 310 mm, sedangkan *bump* mempunyai radius 191 mm dengan ketinggian 25,6 mm.



Gambar 2.10 Benda uji dari penelitian Akbar (2011).

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Akbar (2011), diperoleh grafik hubungan koefisien pressure fungsi dari  $x/a$  dari metode eksperimen maupun numerik.

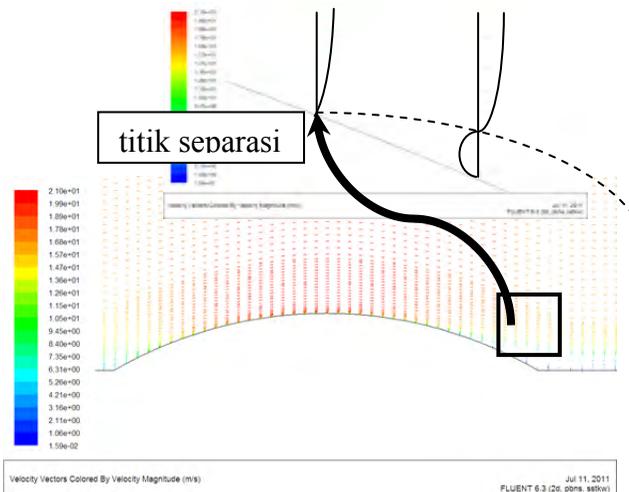


Gambar 2.11 Distribusi koefisien tekan sebagai fungsi dari  $x/a$  pada  $Re = 26000$  dari hasil eksperimen dan simulasi numerik dengan benda uji yang diberi ketirusan (Akbar, 2011).

Gambar 2.11 menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada pelat datar dan *bump* berbentuk pelat lengkung dengan ketirusan secara eksperimen dan simulasi numerik. Pada grafik tersebut nilai dari koefisien tekanan antara



hasil eksperimen dan numerik relatif sama. Dari kecenderungan kurva yang terdapat dalam grafik pada gambar 2.11 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekanan mengalami peningkatan yang relatif kecil saat mendekati sisi upstream *bump*, yaitu pada titik  $x/a = -0.5$ . Hal ini berbeda dibandingkan dengan *bump* tanpa ketirusan. Dengan adanya ketirusan dapat menurunkan *adverse pressure gradient*. Adanya peningkatan koefisien tekanan ini mengindikasikan bahwa aliran mengalami perlambatan pada daerah dekat permukaan pelat datar, karena *streamtube* yang membesar pada saat aliran mendekati *bump* (seolah-olah aliran melalui luas penampang yang membesar). Aliran mengalami percepatan akibat *favorable pressure gradient* yang kuat disisi *upstream bump* ( $-0.5 \leq x/a \leq 0.0$ ) sampai mencapai kecepatan maksimum di titik  $x/a = 0$ , yaitu pada puncak *bump*. Hal itu terlihat dari hasil eksperimen maupun simulasi numerik. Setelah itu aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*), hingga pada suatu saat dimana tekanan aliran fluida relatif konstan.



Gambar 2.12 Profil kecepatan pada *bump* tanpa ketirusan (Akbar, 2011).



Gambar 2.12 menunjukkan bahwa aliran mengalami percepatan sebelum melewati *bump* pada daerah di atas *boundary layer*. Percepatan ini ditunjukkan oleh harga  $u/U$  yang semakin membesar searah dengan aliran yang mendekati *bump*. Percepatan ini terjadi karena saat aliran mendekati *bump*, aliran mengalami perlambatan pada daerah dekat dengan permukaan pelat datar sehingga agar massa yang mengalir konstan maka aliran mengalami percepatan pada daerah di atas *boundary layer*. Saat aliran melewati *bump* juga terjadi percepatan aliran, percepatan aliran ini disebabkan oleh pengecilan luas permukaan akibat adanya *bump*. Percepatan ini ditunjukkan oleh profil kecepatan di  $x/a = 0.0$  untuk benda uji tanpa ketirusan yang mempunyai kecepatan  $u/U = 1.78$ .

Tabel 2.1 Koefisien Drag ( $C_D$ ) yang terjadi pada *bump* (Akbar, 2011).

	$C_{Df}$	$C_{Dp}$	$C_{D\ total}$
	<b>Eksperimen</b>		
<i>Bump</i> tanpa ketirusan	0.3229	0.459	0.78196
<i>Bump</i> dengan ketirusan	0.2296	0.421	0.6506
Penurunan			<b>16.79 %</b>
	<b>Numerik</b>		
<i>Bump</i> tanpa ketirusan	0.23375	0.57974	0.81349
<i>Bump</i> dengan ketirusan	0.21336	0.435475	0.64883
Penurunan			<b>20 %</b>

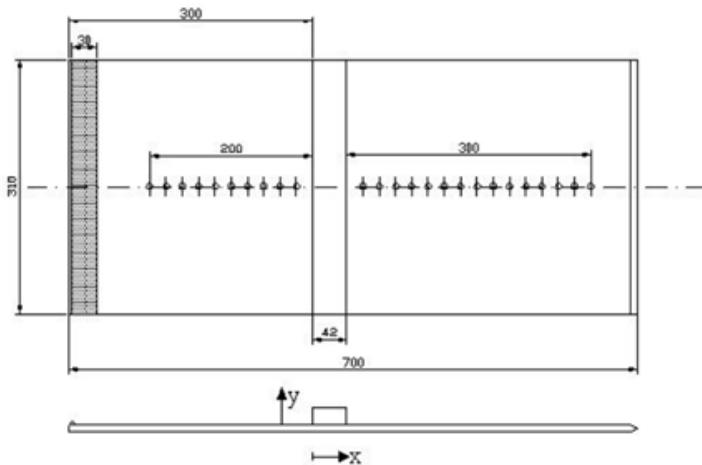
Pada Tabel 2.1. terlihat besar masing-masing nilai  $C_D$  dengan nilai-nilai pembentuknya. Pada Tabel 2.1 dibandingkan nilai  $C_D$  yang didapat dari data hasil eksperimen dengan nilai  $C_D$  yang didapat dari data hasil simulasi numerik. Hasil dari keduanya menunjukkan fenomena yang sama, yaitu sama-sama mengalami penurunan gaya drag ketika benda uji diberi ketirusan. Dari hasil data eksperimen didapat harga koefisien *drag* untuk



*bump* tanpa ketirusan adalah  $C_D = 0.78196$ . Sedangkan untuk *bump* dengan ketirusan nilainya adalah  $C_D = 0.6506$ . Pada data ini didapat penurunan nilai  $C_D$  sebesar 16.79 %. Dari data hasil simulasi numerik didapat nilai koefisien *drag* untuk *bump* tanpa ketirusan adalah  $C_D = 0.81349$ . Sedangkan untuk *bump* dengan ketirusan nilainya adalah  $C_D = 0.7533$ . Pada data ini didapat penurunan nilai  $C_D$  sebesar 20 %. Pada *bump* dengan ketirusan separasi yang terjadi lebih kecil, sehingga penurunan momentum dan tekanan statis aliran yang melewati *bump* pada benda uji yang diberi ketirusan lebih kecil dari pada *bump* tanpa ketirusan. Hal ini mengakibatkan gaya total *drag* yang diterima pelat datar dengan *bump* yang diberi ketirusan lebih kecil daripada pelat datar dengan *bump* tanpa ketirusan.

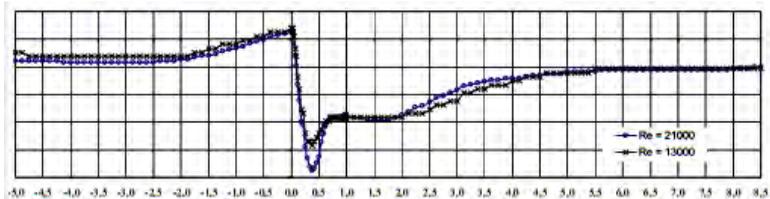
Penelitian tersebut menunjukkan bahwa *bump* tanpa radius kelengkungan yang besar pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di *downstream bump*, yaitu di titik  $x/d = 0,84$  sedangkan pada *bump* yang memiliki radius kelengkungan yang besar pada sisi *upstream* dan *downstream bump* mengalami separasi di *downstream bump*, yaitu di titik  $x/d = 0,89$ . Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar radius kelengkungan pada *bump* maka separasi akan terjadi lebih awal.

Penelitian mengenai pengaruh dari bentuk *bump* terhadap karakteristik *boundary layer* dan gejala separasi dilakukan oleh **Wijanarko (2005)**. Pada penelitian ini dengan variasi bentuk dari *bump*, antara lain: setengah lingkaran, segitiga, dan persegi panjang. Pada penelitian ini menggunakan pelat dengan panjang 700 mm dan lebar 310 mm, serta lebar *bump* 42 mm dan tinggi 21 mm. Di bawah ini adalah gambar dari benda ujinya.



Gambar 2.13 Benda uji dari penelitian Wijanarko (2005).

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Wijanarko (2005), diperoleh grafik hubungan koefisien pressure fungsi dari  $x/w$  dan tabel koefisien drag dari masing-masing bentuk *bump*.



Gambar 2.14 Distribusi koefisien tekan sebagai fungsi dari  $x/w$  pada *bump* setengah lingkaran (Wijanarko, 2005).

Dari gambar 2.14 menunjukkan bahwa aliran mengalami percepatan akibat *favourable pressure gradient* yang kuat di sisi upstream *bump* ( $0.0 \leq x/w \leq 0.5$ ) sampai mencapai kecepatan maksimum di titik  $x/w = 0.37$ . Setelah itu aliran mengalami perlambatan akibat *adverse pressure gradient* yang kuat sampai



akhirnya aliran terseparasi di titik  $x/w = 0.75$ . Setelah mengalami separasi aliran kembali mengalami percepatan yang kecil sampai titik  $x/w = 1.75$ . Percepatan ini dikarenakan aliran mengalami pengecilan luas penampang akibat efek dari daerah separasi yang membesar. Aliran mulai mengalami perlambatan kembali pada titik  $x/w = 1.75$ . Perlambatan ini terjadi karena daerah separasi yang sebelumnya membesar kembali mengecil sampai akhirnya hilang sehingga mengakibatkan aliran mengalami perluasan penampang. Pengecilan daerah separasi ini disebabkan karena adanya transfer energi antara aliran yang berada di daerah yang tidak terseparasi menuju ke aliran yang berada di daerah yang terseparasi sehingga aliran yang terseparasi berangsur-angsur kembali normal.

Tabel 2.2 koefisien drag dari masing-masing *bump* (Wijanarko, 2005).

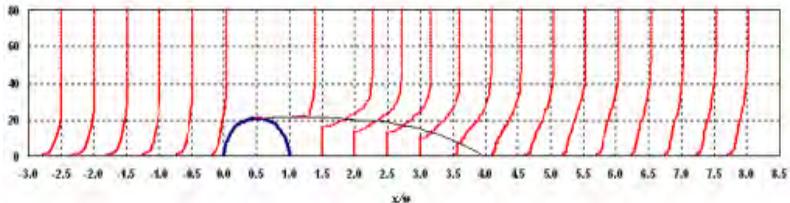
BUMP		$C_D$	$C_{Dp}$	$C_f$
$Re = 21000$	Setengah Lingkaran	0.986	0.793	0.193
	Segitiga	3.022	1.330	1.692
	Persegi Panjang	1.678	1.571	0.107
$Re = 13000$	Setengah Lingkaran	1.136	0.942	0.193
	Segitiga	3.057	1.186	1.870
	Persegi Panjang	1.598	1.509	0.089

Tabel 2.2 menunjukkan harga koefisien total drag ( $C_D$ ) pada masing-masing *bump* yang dihitung berdasarkan perubahan momentum dan tekanan statis aliran sebelum melewati *bump* dengan sesudah daerah separasi. Dari Tabel 2.2 diketahui bahwa harga koefisien total drag ( $C_D$ ) *bump* setengah lingkaran lebih kecil daripada *bump* persegi panjang, hal ini dikarenakan aliran yang melewati *bump* persegi panjang lebih terseparasi daripada aliran yang melewati *bump* setengah lingkaran sehingga penurunan momentum dan tekanan statis aliran yang melewati *bump* persegi panjang lebih besar daripada aliran yang melewati *bump* setengah lingkaran. Sehingga secara keseluruhan



mengakibatkan gaya total drag yang diterima pelat datar dengan *bump* persegi panjang lebih besar daripada pelat datar dengan *bump* setengah lingkaran. Dari Tabel 2.2 juga diketahui bahwa harga koefisien total drag ( $C_D$ ) *bump* persegi panjang lebih kecil daripada *bump* segitiga, hal ini dikarenakan aliran yang melewati *bump* segitiga lebih terseparasi daripada aliran yang melewati *bump* persegi panjang sehingga penurunan momentum dan tekanan statis aliran yang melewati *bump* segitiga lebih besar daripada aliran yang melewati *bump* persegi panjang. Sehingga secara keseluruhan mengakibatkan gaya total drag yang diterima pelat datar dengan *bump* segitiga lebih besar daripada pelat datar dengan *bump* persegi panjang.

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa *bump* berbentuk setengah lingkaran mengalami separasi *massive* di titik  $x/d = 0.75$ , segitiga di titik  $x/d = 0.5$ , dan persegi panjang terjadi di titik  $x/d = 1.0$ . Separasi masif untuk *bump* setengah lingkaran terjadi karena adanya *adverse pressure gradient* yang kuat di sisi *upstream bump*, sedangkan separasi masif pada *bump* berbentuk segitiga dan persegi panjang terjadi karena adanya perubahan sudut yang tajam.



Gambar 2.15 Profil kecepatan pada *bump* setengah lingkaran (Wijanarko, 2005).

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa aliran mengalami percepatan sebelum melewati *bump* pada daerah di atas *boundary layer*. Percepatan ini ditunjukkan oleh harga  $u/U$  yang semakin membesar searah dengan aliran yang mendekati *bump*. Percepatan ini terjadi karena saat aliran mendekati *bump*, aliran mengalami perlambatan pada daerah dekat dengan permukaan pelat datar



sehingga agar massa yang mengalir konstan maka aliran mengalami percepatan pada daerah di atas *boundary layer*. Saat aliran melewati *bump* juga terjadi percepatan aliran, percepatan aliran ini disebabkan oleh pengecilan luas permukaan akibat adanya *bump*. Percepatan ini ditunjukkan oleh profil kecepatan di  $x/w = 0.5$  yang mempunyai kecepatan  $u/U = 1.78$ . Setelah melewati *bump* aliran akan mengalami perlambatan hingga kekecepatannya kembali seperti semula.

Dari penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan sudut yang semakin tajam akan menyebabkan terjadi *adverse pressure gradient* yang tajam pula sehingga menyebabkan terjadinya separasi aliran serta semakin besar radius kelengkungan pelat maka separasi akan terjadi lebih awal. Adanya *inlet disturbance*, seperti kekasaran permukaan atau kawat melintang pada sisi *upstream* dapat meningkatkan turbulensi aliran yang lebih besar sehingga aliran mempunyai ketahanan yang lebih terhadap terjadinya separasi.

Pada penelitian ini penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh adanya kawat melintang pada sisi *upstream bump* setengah lingkaran terhadap karakteristik *boundary layer* turbulen dan gejala separasi. Perbedaan mendasar penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah bahwa pada penelitian ini proses pengambilan data tidak hanya dilakukan melalui eksperimen saja, tetapi juga melalui simulasi numerik dengan menggunakan *software Fluent 6.3.26*. Hal ini dilakukan agar ada data pembanding saat dilakukan proses analisa data. Selain itu juga, simulasi numerik memiliki daya jangkauan medan eksplorasi aliran yang lebih dalam dibandingkan dengan eksperimen sehingga data yang didapatkan bisa lebih lengkap.



### **BAB III**

## **METODA PENELITIAN**

Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah secara eksperimen dan numerik. Metoda eksperimen menggunakan terowongan angin (*wind tunnel*) untuk mendapatkan data yang dibutuhkan pada profil benda uji yang telah ditentukan, sedangkan metoda numerik menggunakan *Software Fluent 6.3.26*. Data hasil pengukuran akan diolah menggunakan suatu perumusan tertentu sehingga dapat dianalisa untuk memperoleh hasil yang diinginkan.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika dan Mesin-mesin Fluida dan Laboratorium Computer Aided Engineering (CAE) Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS Surabaya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada penelitian ini antara lain:

1. Benda uji dan peralatan penelitian.
2. Parameter-parameter dalam penelitian.
3. Prosedur pengambilan data.
4. Pemodelan dengan metoda numerik.
5. Pemrosesan hasil eksperimen dan numerik.

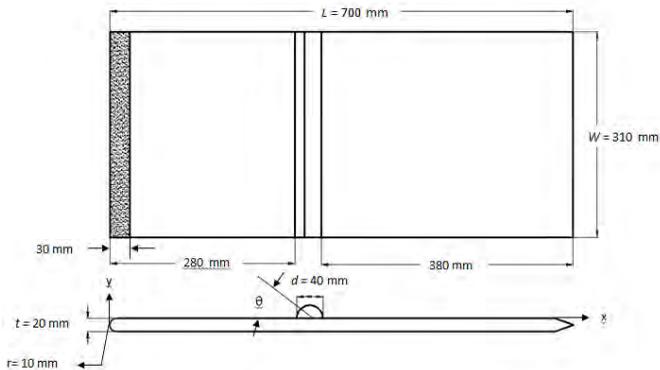
### **3.1 Metoda Eksperimen**

#### **3.1.1 Benda Uji dan Peralatan Penelitian**

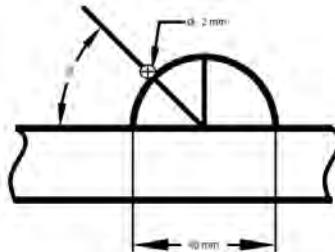
Peralatan dan benda uji yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

##### **a. Benda Uji Penelitian**

Benda uji pada penelitian ini berupa pelat datar yang terdapat *bump* pada bagian tengahnya dengan gangguan kawat melintang pada sisi *upstream* dari *bump*. Ilustrasi dari benda uji dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Benda uji.



Gambar 3.2 Perbesaran benda uji.

keterangan :

$L$  = panjang pelat

$W$  = lebar pelat

$t$  = tebal pelat

$d$  = lebar *bump*

$D$  = diameter kawat pengganggu

$r$  = radius *rounded*

$\theta$  = posisi sudut pengganggu (  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  )

### b. Peralatan Penelitian

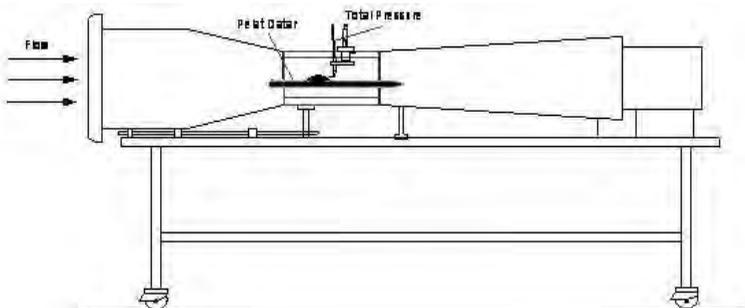
#### ➤ Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

Terowongan angin (*wind tunnel*) merupakan peralatan utama pada percobaan ini. *Wind Tunnel*

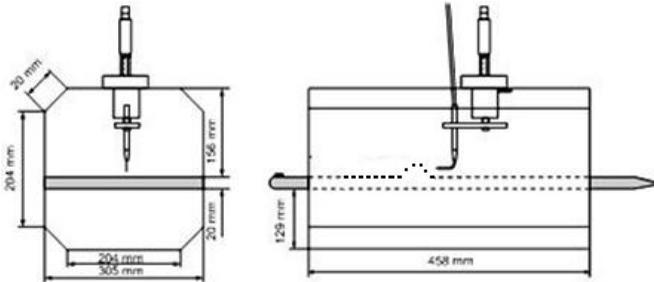


yang digunakan dalam percobaan ini adalah *wind Tunnel* jenis *open circuit wind tunnel*, dimana udara yang dialirkan dalam *wind tunnel* langsung lepas bebas ke udara luar setelah melalui *test section*. Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 memperlihatkan daerah pengujian (*test section*) terowongan angin, penempatan *total pressure* beserta mikrometer, dan penempatan benda uji pada *test section* terowongan angin. Spesifikasi terowongan angin yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jenis : *Subsonic Open Circuit Wind Tunnel*
- Dimensi : Panjang = 400 mm  
Lebar = 300 mm  
Tinggi = 300 mm
- Kecepatan alir maksimum : 20 m/s
- Catu Daya : 240 volt / single phase /  
50 Hz – 1,5 KW



Gambar 3.3 *Subsonic Open Circuit Wind Tunnel*.

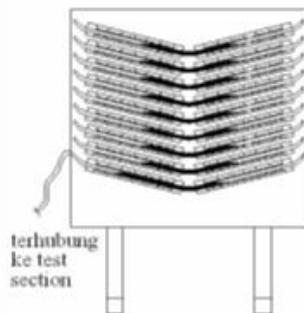


Gambar 3.4 Test section pada wind tunnel.

### ➤ Manometer

Manometer (Gambar 3.5) digunakan sebagai alat pengukur tekanan pada benda uji penelitian. Manometer yang digunakan adalah *inclined* manometer dengan sudut kemiringan  $15^\circ$  yang dimaksudkan untuk mempermudah pembacaan  $\Delta h$ . Spesifikasi manometer yang digunakan adalah sebagai berikut:

Sudut inklinasi	: $15^\circ$
Skala maksimum	: 150 mm
Skala minimum	: 1 mm
Fluida pengisi manometer	: Red Oil (SG = 0,817)



Gambar 3.5 Inclined manometer.



➤ **Pressure Tap**

*Pressure tap* berbentuk lubang – lubang kecil berdiameter 1 mm yang dipasang sepanjang kontur benda uji yang searah aliran dan tegak lurus permukaan benda uji, *Pressure tap* ini dihubungkan dengan manometer pipa yang berfungsi untuk mengukur tekanan statis di sepanjang permukaan benda uji.

➤ **Total Pressure Tube**

*Total pressure tube* (gambar 3.6) digunakan untuk mengukur tekanan stagnasi pada setiap titik di atas permukaan benda uji, sehingga akan diperoleh distribusi kecepatan di atas benda uji. Pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan *total pressure tube* dengan *inclined manometer*. *Total pressure tube* yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter luar *tube* sebesar 0,7 mm.



Gambar 3.6 *Total pressure tube* dan mikrometer.

➤ **Mikrometer**

Mikrometer digunakan untuk melakukan pergeseran titik pengukuran kecepatan di atas permukaan benda uji. Alat ukur ini mempunyai pembacaan terkecil 10  $\mu\text{m}$ .

➤ **Termometer**

Termometer ini digunakan untuk mengukur temperatur udara di ruangan tempat *wind tunnel* berada. Pengukuran



temperatur udara ditujukan untuk mengukur properti udara guna menghitung bilangan Reynolds aliran.

### 3.1.2 Parameter Penelitian

Untuk mengetahui karakteristik dari suatu aliran, diperlukan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi. Parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tegangan geser pada dinding ( $\tau_w$ ), perbedaan tekanan ( $\Delta p$ ), massa jenis fluida ( $\rho$ ), viskositas fluida ( $\mu$ ), kecepatan aliran *freestream* ( $U_\infty$ ), diameter pengganggu ( $D$ ), tinggi pengganggu ( $h$ ), tebal pelat ( $t$ ), dan lebar *bump* ( $d$ ). Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan koefisien tekanan ( $C_p$ ) dan koefisien drag ( $C_D$ ). Parameter - parameter yang dianggap *dependent* dalam penelitian ini adalah perbedaan tekanan ( $\Delta p$ ) dan gaya *drag* ( $F_D$ ).

#### a. Analisa Dimensi untuk Tekanan Benda Uji

Pada penelitian ini tekanan yang diukur adalah tekanan statis yang ada pada permukaan pelat datar dan juga pada permukaan *bump*. Parameter-parameter yang mempengaruhi adanya perbedaan tekanan ( $\Delta p$ ) adalah massa jenis fluida ( $\rho$ ), viskositas fluida ( $\mu$ ), kecepatan *freestream* fluida ( $U_\infty$ ), lebar benda uji ( $W$ ), lebar *bump* ( $d$ ), diameter pengganggu ( $D$ ), jarak bidang horizontal ( $x$ ), dan kekasaran permukaan ( $e$ ).

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_\infty, W, d, D, x, e) \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan Buckingham Pi Theorema dengan parameter berulang  $\rho$ ,  $U_\infty$ , dan  $d$  diperoleh 8 grup tak berdimensi yaitu:

1.  $\pi_1 = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}$
2.  $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_\infty d}$



$$\begin{aligned} 3. \pi_3 &= \frac{D}{d} \\ 4. \pi_4 &= \frac{e}{d} \\ 5. \pi_5 &= \frac{x}{d} \\ 6. \pi_6 &= \frac{W}{d} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persamaan fungsi tanpa dimensi yang berhubungan yaitu:

$$\frac{\Delta p}{\rho U_\infty^2} = \left( \frac{\mu}{\rho U_\infty d}, \frac{D}{d}, \frac{e}{d}, \frac{x}{d}, \frac{W}{d} \right) \quad (3.2)$$

### b. Analisa Dimensi untuk Koefisien Drag

Gaya *drag* yang diukur pada penelitian ini meliputi gaya *drag* total dan gaya *drag* pada *bump*. Parameter-parameter yang mempengaruhi gaya *drag* ( $F_D$ ) meliputi massa jenis fluida ( $\rho$ ), viskositas fluida ( $\mu$ ), kecepatan *freestrem* fluida ( $U_\infty$ ), lebar benda uji ( $W$ ), dan diameter pengganggu ( $D$ ).

$$F_D = f(\rho, \mu, U_\infty, W, d, D, x, e) \quad (3.3)$$

Dengan menggunakan Buckingham Pi theorem dengan parameter berulang  $\rho$ ,  $U$ , dan  $d$  didapatkan grup tidak berdimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1. \pi_1 &= \frac{F_D}{\rho U_\infty^2 d^2} \\ 2. \pi_2 &= \frac{\mu}{\rho U_\infty d} \\ 3. \pi_3 &= \frac{D}{d} \\ 4. \pi_4 &= \frac{e}{d} \\ 5. \pi_5 &= \frac{x}{d} \end{aligned}$$



$$6. \pi_5 = \frac{W}{d}$$

Sehingga didapatkan persamaan fungsi tanpa dimensi yang berhubungan yaitu:

$$\frac{F_D}{\rho U_\infty^2 d^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_\infty d}, \frac{D}{d}, \frac{s}{d}, \frac{x}{d}, \frac{W}{d}\right) \quad (3.4)$$

### 3.1.3 Prosedur Pengambilan Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan benda uji pada *wind tunnel*.
2. *Set-up* alat ukur penelitian.
3. Pengukuran kecepatan sepanjang pelat datar dan di atas *bump*.  
Pengukuran kecepatan di atas pelat datar dilakukan dengan menghubungkan *total pressure tube* ke manometer. Pengukuran kecepatan dilakukan pada jarak 3d pada *upstream*, tepat pada *peak bump*, dan pada jarak 4d pada *downstream*. Pada masing-masing titik diambil 30 data ke arah vertikal dengan jarak antar titik 5 mm. Data yang diperoleh adalah data tekanan stagnasi sehingga akan didapatkan profil kecepatan pada masing-masing *section*.
4. Pengukuran tekanan statis.  
Pengukuran tekanan statis sepanjang pelat datar dan *bump* ini dilakukan dengan menggunakan *wall pressure tap* sepanjang pelat datar dan *bump*. Pengukuran tekanan statis sepanjang pelat datar dilakukan sebanyak 40 titik sebelum *bump* dan 60 titik sesudah *bump* dengan jarak antar titik sebesar 5 mm. Pengukuran tekanan statis pada *bump* setengah lingkaran sebanyak 35 titik dengan jarak antar titik sebesar 5°.
5. Mengulangi prosedur 1-4 untuk pelat datar dengan *bump* yang diberi variasi kawat melintang pada sisi *upstream bump* dengan sudut 30°, 40°, dan 50°.



### 3.2 Metoda Numerik

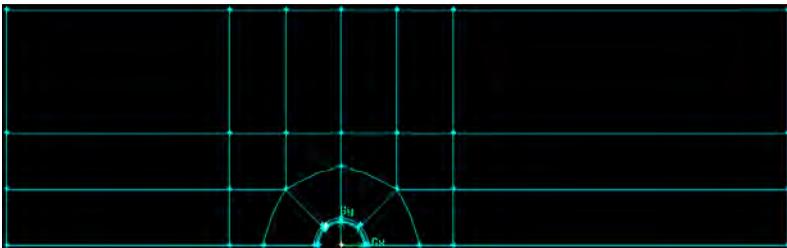
Untuk penyelesaian dengan metoda numerik digunakan bantuan *software* Fluent 6.3.26. Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan pemodelan adalah sebagai berikut:

#### 1. *Grid*

Pada langkah ini yang dilakukan adalah mengimpor *grid* yang telah dibuat pada *software* Gambit. Proses pembuatan *grid* ini perlu diberikan *grid independensi*, yaitu proses penambahan *meshing* sampai hasil yang didapat sudah tidak berubah signifikan lagi walaupun jumlah *cell*-nya ditambah. Proses yang telah dilakukan dalam *software* Gambit adalah sebagai berikut:

##### a. Membuat Geometri Model

Geometri model dibuat melalui *software* Gambit. Gambar 3.6. adalah model dari benda uji beserta *test section* dari simulasi numerik yang dilakukan. Benda uji yang dimodelkan pada Gambar 3.7. adalah pelat datar dengan *bump*.



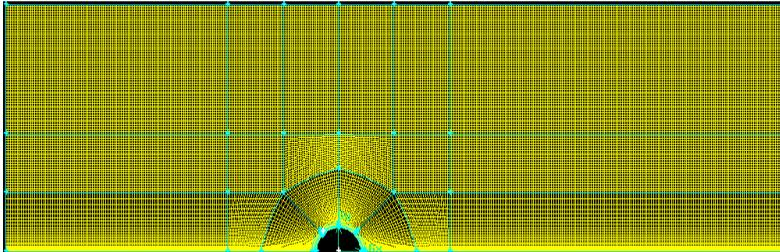
Gambar 3.7 Sketsa pemodelan penelitian.

##### b. Membuat *Meshing*

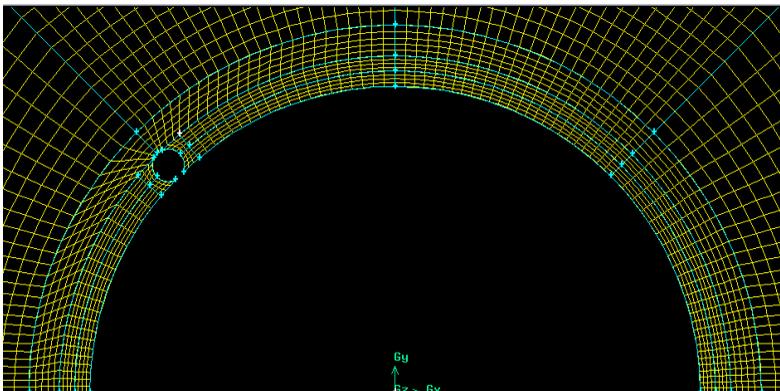
Cara membuat *mesh* elemen hingga yaitu dengan membagi model *solid* menjadi beberapa *face*, dari tiap *face* kemudian dibuat *meshing* yang sesuai. Pembagian *face* ini berfungsi untuk memperbaiki daerah yang kemungkinan hasil *meshing*-nya tidak terlalu baik. Bentuk *mesh* yang dipilih adalah *quadrilateral-map*. Hasil *meshing* ditunjukkan oleh gambar 3.8



dan Gambar 3.9 menunjukkan perbesaran *meshing* pada daerah sekitar *bump*.



Gambar 3.8 Hasil *meshing*.



Gambar 3.9 Perbesaran *meshing* pada daerah sekitar *bump*.

c. Menentukan Daerah Analisa

Yaitu menentukan kondisi batas serta jenis kondisi batas yang diinginkan.

Tabel 3.1 Langkah-langkah pada *fluent* dan inputannya.

Langkah		Input
<i>Boundary Condition</i>	<i>Upper wall, lower wall, bump, dan pengganggu</i>	<i>Wall</i>
	<i>Inlet</i>	<i>Velocity inlet (16.5)</i>



		m/s)
	<i>Outlet</i>	<i>Outflow</i>
	<i>Interior</i>	<i>Interior</i>
<i>Models</i>		k- $\omega$ SST
<i>Material</i>	Densitas ( $\rho$ )	1.18 kg/m <sup>3</sup>
	Viskositas ( $\mu$ )	1.85 kg/m.s
<i>Operating Condition</i>		STP Temperature = 28° C Pressure = 10 <sup>5</sup> Pa
<i>Solution</i>		<i>SIMPLEC dan Second Order</i>
<i>Monitor Residual</i>		10 <sup>-6</sup>

## 2. Iterasi

Iterasi adalah langkah untuk melakukan perhitungan pada fluent 6.3.26, maka diperlukan iterasi sampai menghasilkan solusi yang konvergen.

## 3. *Postprocessing*

*Postprocessing* merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh. Hasilnya dapat divisualisasikan dengan menampilkan *grid display* plot kontur.

### 3.3 Pemrosesan Hasil Eksperimen dan Numerik

1. Data kuantitatif yang diperoleh kemudian diplot menjadi grafik-grafik sebagai berikut:
  - a. Kecepatan pada setiap *section* yang telah di tentukan sebagai fungsi dari ketinggian  $y$ .
  - b. *Coefficient Pressure* ( $C_p$ ) fungsi lebar *bump* tak berdimensi  $x/d$  ( $C_p$  = koefisien tekanan).
  - c. Perhitungan *Coefficient of Drag* ( $C_D$ ).



2. Menganalisa secara kuantitatif dari hasil pemodelan numerik

Sesudah didapatkan data baik secara eksperimen maupun secara numerik. Data tersebut kemudian diproses dan dibuat grafik-grafik yang sesuai dan kemudian dianalisa dengan membandingkan hasil yang didapatkan secara eksperimen dan numerik, maupun perbandingan dengan hasil yang didapatkan pada penelitian sebelumnya.



## BAB IV ANALISA DATA

### 4.1 Analisa Grid Independensi

Studi numerik ini menggunakan *software Fluent 6.3.26* dan memerlukan keakuratan data baik pada langkah *post processing* maupun *pre processing*nya. Langkah *grid independensi* diperlukan untuk menentukan tingkat serta struktur *grid* terbaik dan terefisien agar hasil pemodelan mendekati sebenarnya.

Tabel 4.1 menunjukkan *meshing* model benda uji pelat datar dengan *bump* tanpa pengganggu pada pemodelan 2D. *Meshing A* merupakan *meshing* yang paling renggang dengan jumlah *faces* 74220, sedangkan *meshing D* adalah *meshing* yang paling rapat dengan jumlah *faces* 43960. Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa *mesh A* mempunyai nilai  $C_D$  yang paling kecil yaitu 1.1189 dan *mesh B* mempunyai nilai  $C_D$  yang paling besar yaitu 1.4998. Setelah dilakukan validasi dengan penelitian yang telah dilakukan oleh **Wijanarko (2005)** tentang aliran yang melintasi *bump* setengah lingkaran, maka *meshing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *meshing A* dengan nilai dari  $C_D$  yang mendekati nilai  $C_D$  dari penelitian yang terdahulu. Hal ini dilakukan agar simulasi numerik yang dilakukan dapat menghasilkan nilai yang akurat dan proses simulasi yang efektif serta efisien.

Tabel 4.1 *Analisa grid independensi pelat datar dengan bump tanpa pengganggu.*

<i>Meshing</i>	<i>Faces</i>	$C_D$	$CD$ (Wijanarko)	<i>Error</i>
A	74220	1.119	1.2	-6.75%
B	75412	1.400	1.2	16.67%
C	77200	1.492	1.2	24.33%
D	80792	1.440	1.2	20 %



## 4.2 Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan *Bump*

### 4.2.1 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan *Bump* Tanpa Pengganggu, Pengganggu Sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari Hasil Eksperimen.

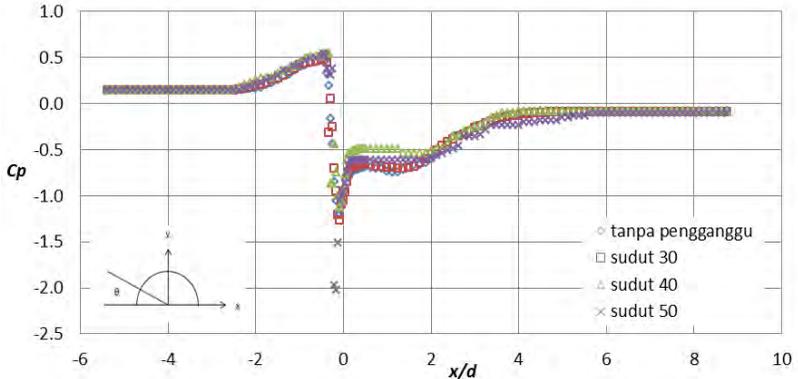
Koefisien tekanan ( $C_p$ ) adalah angka tak berdimensi yang menggambarkan tekanan statis relatif di dalam medan aliran. Setiap titik dalam medan aliran fluida memiliki koefisien tekanan tersendiri. Koefisien tekanan merupakan parameter yang sangat berguna untuk mempelajari karakteristik aliran fluida. Distribusi tekanan statis sepanjang pelat datar dengan *bump* berbentuk setengah lingkaran dalam koefisien tekanan ( $C_p$ ) ditunjukkan pada gambar 4.1 dan gambar 4.2. Gambar 4.1. menunjukkan distribusi koefisien tekanan sepanjang pelat datar dengan *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  dari hasil eksperimen sebagai fungsi dari  $x/d$ .

Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekanan cenderung konstan pada rentang  $-5.4 \leq x/d \leq -2.5$  dan mengalami peningkatan dari titik  $x/d = -2.5$  sampai mendekati titik *upstream bump*, yaitu pada titik  $x/d = -0.5$ . Pada  $-5.4 \leq x/d \leq -2.5$  keempat grafik mempunyai kecenderungan yang hampir sama, artinya adanya pengganggu pada *bump* tidak mempengaruhi distribusi koefisien tekanan sepanjang *upstream* pelat datar.

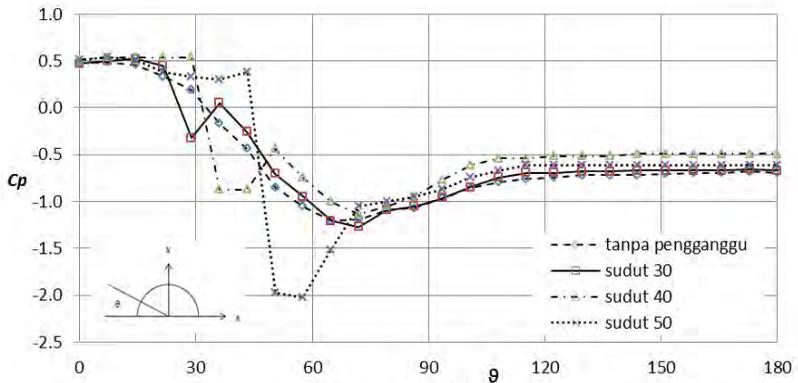
Gambar 4.2 merupakan bagian dari gambar 4.1 yang menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu pada sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  sebagai fungsi dari  $\theta$ . Dari gambar 4.2 terlihat bahwa keempat grafik mempunyai kecenderungan yang sama pada  $0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ . Ketika aliran melintasi pengganggu, aliran mengalami penurunan koefisien tekanan yang drastis dan yang paling ekstrim adalah pada pengganggu sudut  $50^\circ$ . Pada rentang  $80^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  keempat grafik kembali mempunyai kecenderungan yang sama, namun pada pengganggu sudut  $40^\circ$  mempunyai koefisien



tekanan yang terbesar dan pada *bump* tanpa pengganggu mempunyai koefisien tekanan yang terkecil.



Gambar 4.1 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $x/d$  pada pelat datar dengan *bump* setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu pada sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  dari hasil eksperimen.



Gambar 4.2 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $\theta$  *bump* setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  dari hasil eksperimen.



Aliran mengalami percepatan akibat *favorable pressure gradient* yang kuat disisi *upstream bump* ( $-0.5 \leq x/d \leq 0.0$ ). Hal ini terjadi pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu, namun penurunan koefisien tekanan yang paling ekstrim terjadi pada pengganggu pada sudut  $50^\circ$ . Ketika terjadi penurunan koefisien tekanan yang drastis aliran mengalami separasi *bubble*, selanjutnya aliran mengalami *reattach* ke *bump* kembali setelah melewati pengganggu. Hal ini hanya terjadi pada *bump* dengan pengganggu sudut  $30^\circ$  dan  $40^\circ$ , sedangkan pada sudut  $50^\circ$  aliran terjadi separasi *massif*. Setelah itu aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*), hingga pada suatu saat dimana tekanan aliran fluida relatif konstan. Pada saat itu diduga aliran fluida mengalami separasi. Pemberian pengganggu pada sisi *upstream bump* tidak memberikan efek yang signifikan dalam hal penundaan separasi baik pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , maupun  $50^\circ$ . Koefisien tekanan kembali cenderung konstan pada rentang  $4 \leq x/d \leq 8.75$ , hal ini terjadi pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu.

#### 4.2.2 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan *Bump* Tanpa Pengganggu, Pengganggu Sudut $30^\circ$ , $40^\circ$ , dan $50^\circ$ dari Hasil Numerik.

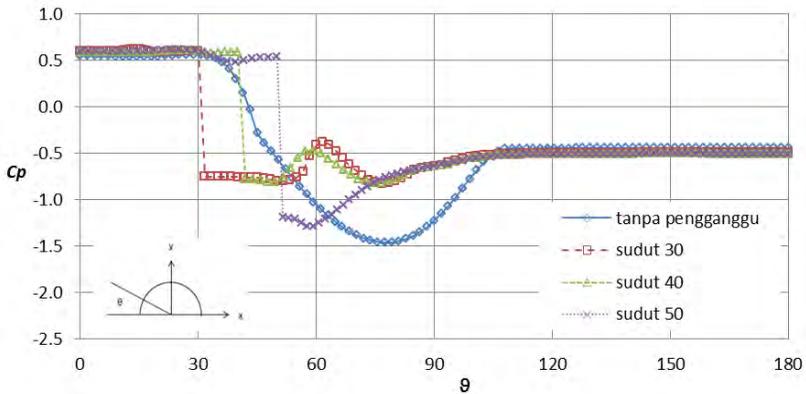
Distribusi tekanan statis sepanjang pelat datar dengan *bump* berbentuk setengah lingkaran dalam koefisien tekanan ( $C_p$ ) ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4. Gambar 4.3 menunjukkan distribusi koefisien tekanan sepanjang pelat datar dengan *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  dari hasil simulasi numerik fungsi dari  $x/d$ , sedangkan gambar 4.4 menunjukkan distribusi  $C_p$  sebagai fungsi dari  $\theta$ .

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekanan dari keempat grafik mempunyai kecenderungan yang sama pada rentang  $-5.4 \leq x/d \leq -2.5$ , namun pada *bump* tanpa pengganggu mempunyai nilai  $C_p$  yang paling kecil. Aliran

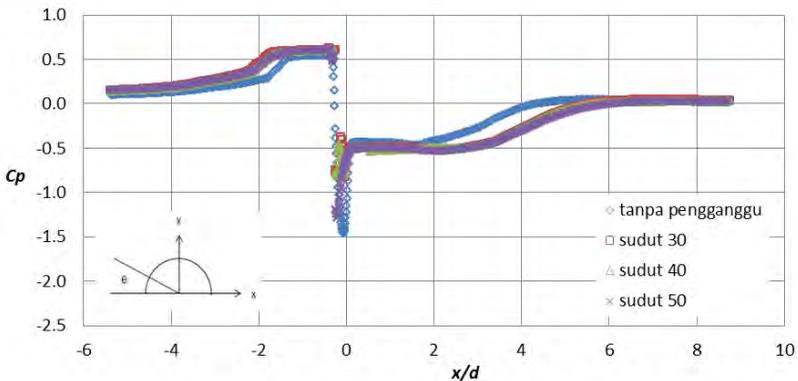


mengalami peningkatan koefisien tekanan dari titik  $x/d = -2.5$  sampai mendekati titik *upstream bump*, yaitu pada titik  $x/d = -0.5$ . Dari gambar 4.4 terlihat keempat grafik mempunyai nilai koefisien tekanan yang konstan dan besarnya sama pada rentang  $0^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$ . Masing - masing grafik mempunyai nilai koefisien tekanan yang turun derastis ketika melintasi pengganggu. Pada rentang  $10^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  keempat grafik mempunyai nilai koefisien tekanan yang sama.

Pada saat aliran melintasi *upstream bump* terjadi *vortex* yang kecil, hal ini ditandai dengan koefisien tekanan yang cenderung konstan pada sudut awal *bump*. Aliran mengalami percepatan akibat *favorable pressure gradient* yang kuat disisi *upstream bump*. Hal ini terjadi pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu. Ketika terjadi penurunan koefisien tekanan yang derastis aliran mengalami separasi *bubble*, selanjutnya aliran mengalami *reattach* ke *bump* kembali setelah melewati pengganggu. Hal ini hanya terjadi pada *bump* dengan pengganggu sudut  $30^\circ$  dan  $40^\circ$ , sedangkan pada sudut  $50^\circ$  aliran terjadi separasi *massif*. Setelah itu aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*), hingga pada suatu saat dimana tekanan aliran fluida relatif konstan. Pada saat itu diduga aliran fluida mengalami separasi. Dengan pemberian pengganggu pada sisi *upstream bump* tidak memberikan efek yang signifikan dalam hal penundaan separasi baik pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , maupun  $50^\circ$ . Koefisien tekanan kembali konstan pada rentang  $6.00 \leq x/d \leq 8.75$ , hal ini terjadi pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu.



Gambar 4.3 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $x/d$  pada pelat datar dengan *bump* setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  dari hasil numerik.



Gambar 4.4 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $\theta$  pada *bump* setengah lingkaran tanpa pengganggu, pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  dari hasil numerik.

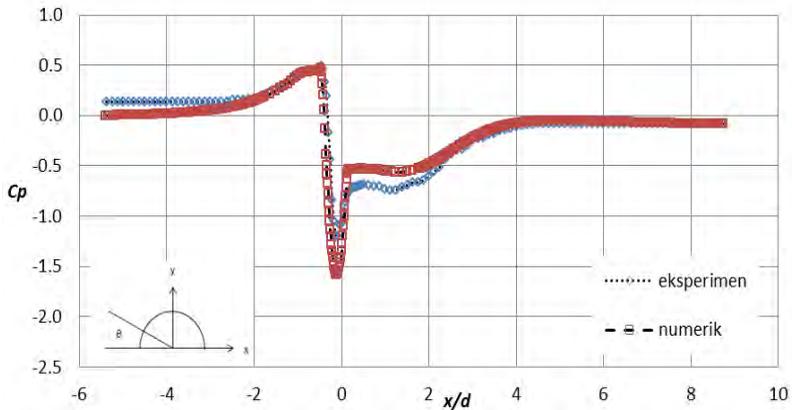


#### 4.2.3 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dengan *Bump* Tanpa Pengganggu dari Hasil eksperimen dan Numerik.

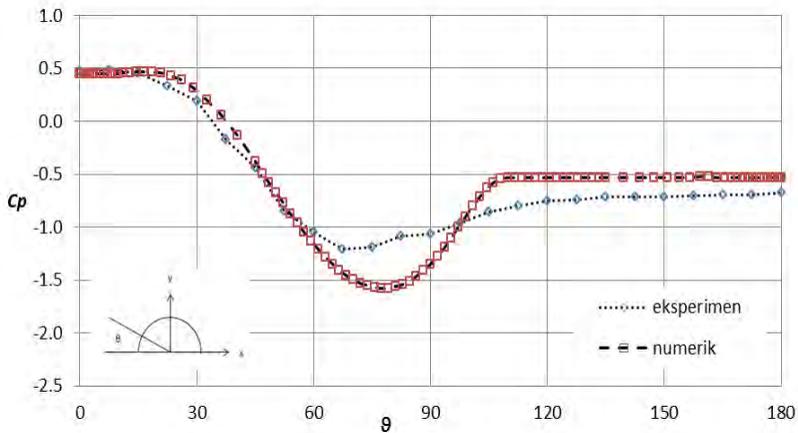
Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada pelat datar dengan *bump* setengah lingkaran tanpa pengganggu secara eksperimen dan simulasi numerik. Gambar 4.5 menunjukkan distribusi koefisien tekanan fungsi dari  $x/d$ , sedangkan Gambar 4.6 menunjukkan distribusi  $C_p$  sebagai fungsi dari  $\theta$ .

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekanan pada *bump* setengah lingkaran tanpa pengganggu mempunyai kecenderungan yang relatif sama dari hasil eksperimen dan numerik, namun sedikit terjadi penyimpangan antara hasil eksperimen dan numerik terutama pada bagian sesaat ketika aliran akan melintasi *bump* dan ketika aliran sesaat setelah melintasi *bump*. Aliran mengalami peningkatan koefisien tekanan yang relatif kecil sampai  $x/d = -2.0$  dan mengalami peningkatan koefisien tekanan yang relatif besar pada rentang  $-2.0 < x/d < -0.5$  atau sesaat aliran akan melintasi *bump*. Adanya peningkatan koefisien tekanan ini mengindikasikan bahwa aliran mengalami perlambatan pada daerah dekat permukaan pelat datar.

Aliran mengalami percepatan akibat *favorable pressure gradient* yang kuat disisi *upstream bump*. Hal ini terlihat dari hasil eksperimen maupun simulasi numerik. Setelah itu aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*), hingga pada suatu saat dimana tekanan aliran fluida relatif konstan. Pada saat itu diduga aliran fluida mengalami separasi. Setelah itu aliran yang terseparasi tadi berangsur-angsur kembali normal karena adanya transfer energi aliran yang berada di daerah yang tidak terseparasi menuju aliran yang berada di daerah yang terseparasi.



Gambar 4.5 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $x/d$  pada pelat datar dengan *bump* tanpa pengganggu dari hasil eksperimen dan simulasi numerik.



Gambar 4.6 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $\theta$  pada *bump* tanpa pengganggu dari hasil eksperimen dan simulasi numerik.



#### 4.2.4 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) pada Pelat Datar dan *Bump* dengan Pengganggu Sudut $50^\circ$ dari Hasil eksperimen dan Numerik.

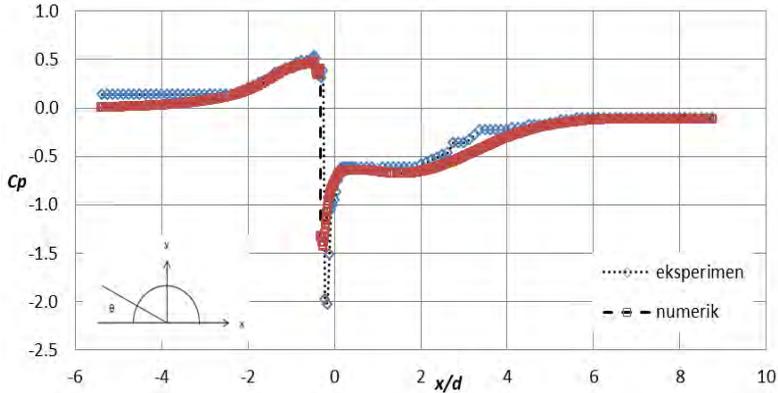
Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada pelat datar dengan *bump* setengah lingkaran dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  secara eksperimen dan simulasi numerik. Gambar 4.7 menunjukkan distribusi koefisien tekanan fungsi dari  $x/d$ , sedangkan Gambar 4.8 menunjukkan distribusi koefisien tekanan fungsi dari  $\theta$ .

Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekanan pada *bump* setengah lingkaran dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  mempunyai kecenderungan yang relatif sama dari hasil eksperimen dan numerik, namun sedikit terjadi penyimpangan antara hasil eksperimen dan numerik untuk nilai koefisien tekanan secara numerik lebih besar dari pada secara eksperimen. Aliran mengalami peningkatan koefisien tekanan yang relatif kecil sampai  $x/d = -2.0$  dan mengalami peningkatan koefisien tekanan yang relatif besar pada rentang  $-2.0 < x/d < -0.5$  atau sesaat aliran akan melintasi *bump*. Adanya peningkatan koefisien tekanan ini mengindikasikan bahwa aliran mengalami perlambatan pada daerah dekat permukaan pelat datar karena *streamtube* yang membesar pada saat aliran mendekati *bump* (seolah-olah aliran melalui luas penampang yang membesar).

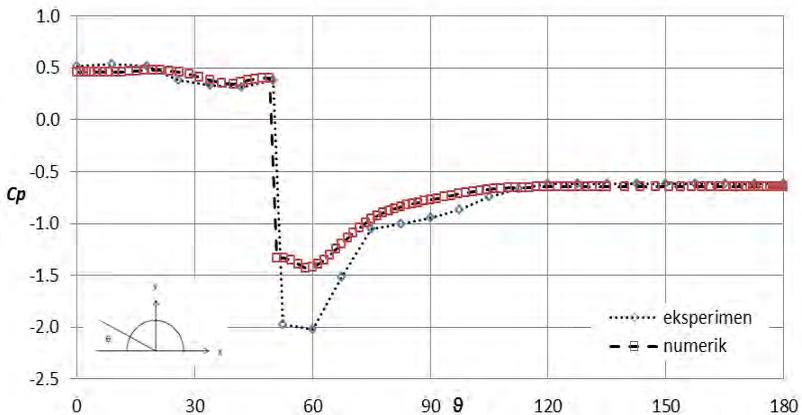
Dari gambar 4.8 terlihat bahwa distribusi koefisien tekanan ketika aliran melintasi *bump* mempunyai kecenderungan yang hampir sama. Ketika melintasi pengganggu aliran mengalami penurunan koefisien tekanan yang drastis, hal ini terjadi pada eksperimen maupun numerik, namun  $C_p$  eksperimen mempunyai nilai yang lebih kecil. Akibat adanya *favorable pressure gradient* pada sisi *upstream bump*, aliran mengalami percepatan. Setelah itu aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*), hingga pada suatu saat dimana tekanan aliran fluida relatif konstan. Pada saat itu diduga aliran fluida mengalami separasi. Setelah itu aliran yang terseparasi tadi berangsur-angsur kembali



normal karena adanya transfer energi aliran yang berada di daerah yang tidak terseparasi menuju aliran yang berada di daerah yang terseparasi.



Gambar 4.7 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $x/d$  pada pelat datar dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  dari hasil eksperimen dan simulasi numerik.



Gambar 4.8 Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sebagai fungsi dari  $\theta$  pada *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  dari hasil eksperimen dan simulasi numerik.

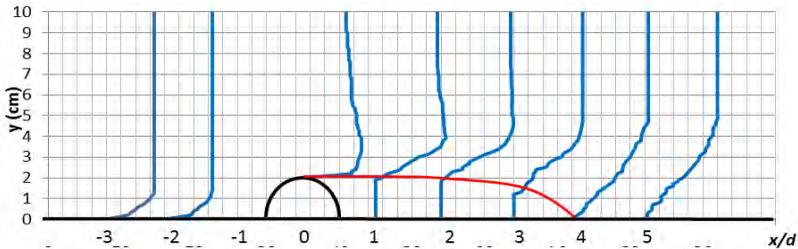


### **4.3 Profil Kecepatan Pada Pelat Datar dan *Bump***

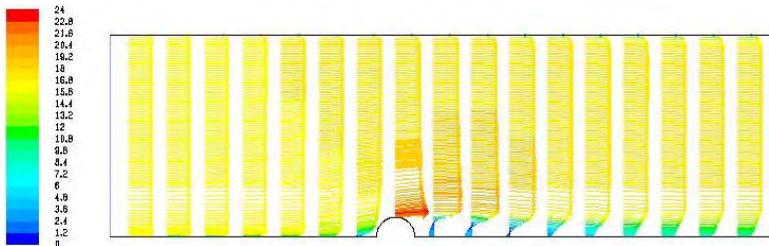
#### **4.3.1 Perbandingan Profil Kecepatan pada Pelat Datar dengan *Bump* Tanpa Pengganggu dari Hasil Eksperimen dan Numerik.**

Dari hasil pengambilan data yang dilakukan baik secara eksperimen maupun secara numerik dapat diketahui besarnya kecepatan yang terjadi untuk setiap posisi pada pelat datar dengan *bump*. Secara eksperimen pada sisi atas *bump* sulit untuk diidentifikasi besarnya kecepatan, hal tersebut dikarenakan kesulitan untuk menempatkan alat ukur. Pada *bump* hanya bisa diambil satu posisi saja untuk mengukur besarnya kecepatan, yaitu tepat pada puncak *bump*. Masing-masing kecepatan untuk tiap jarak  $x$  dan  $y$  dapat digambarkan dalam suatu profil kecepatan aliran. Dari profil kecepatan aliran kita kemudian bisa dievaluasi fenomena-fenomena yang terjadi. Gambar 4.9 menunjukkan profil kecepatan dari hasil eksperimen yang diukur sepanjang pelat datar dengan *bump* berbentuk setengah lingkaran. Profil kecepatan diambil sebanyak 8 *section* dengan rentang  $-3 < x/d < 8$ , jarak antar profil sebesar  $1 x/d$  dan diukur setinggi 10 cm dari permukaan pelat dengan jarak antar titik 1 mm.

Gambar 4.10 menunjukkan profil kecepatan dari simulasi numerik yang diplot sepanjang pelat datar dengan *bump* pada 13 *section* dengan jarak antar *section*  $1d$ . Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan bahwa aliran mengalami percepatan sebelum melewati *bump* pada daerah di luar *boundary layer*. Percepatan ini ditunjukkan oleh harga  $u/U$  yang membesar searah dengan aliran yang mendekati *bump*. Ketika aliran melewati *bump* juga terjadi percepatan aliran, percepatan aliran ini disebabkan oleh pengecilan luas penampang lintang akibat adanya *bump*. Percepatan ini ditunjukkan oleh profil kecepatan di  $x/d = 0.00$  yang mempunyai kecepatan maksimum  $u/U = 1.28$ .



Gambar 4.9 Profil kecepatan pada pelat datar dan *bump* tanpa pengganggu secara eksperimen.



Gambar 4.10 Profil kecepatan (m/s) pada pelat datar dan *bump* tanpa pengganggu secara numerik.

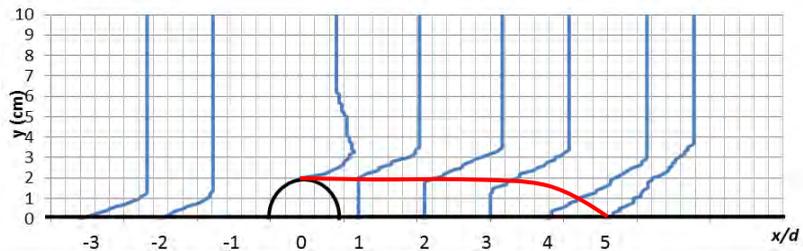
Setelah melewati *bump* aliran mengalami perlambatan hingga kecepatannya akan kembali seperti semula pada  $x/d = -7.00$ . Titik separasi dapat diketahui dari bentuk profil kecepatan yaitu dengan simulasi numerik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10. Titik separasi terjadi pada daerah *downstream bump*, yaitu pada  $\theta = 111^\circ$ . Daerah separasi ini semakin jauh semakin mengecil sampai akhirnya profil kecepatan kembali normal tanpa ada yang terseparasi. Titik dimana aliran yang terseparasi kembali normal disebut sebagai titik *reattachment*. Dari gambar 4.9 dapat diketahui titik *reattachment* dari *bump* tanpa pengganggu terjadi pada titik  $x/d = 4.00$ , sedangkan dari gambar 4.10 titik *reattachment* dari *bump* tanpa pengganggu terjadi pada titik  $x/d = 3.50$ . Metode eksperimen dan numerik menunjukkan adanya perbedaan posisi dari titik *reattachment*,



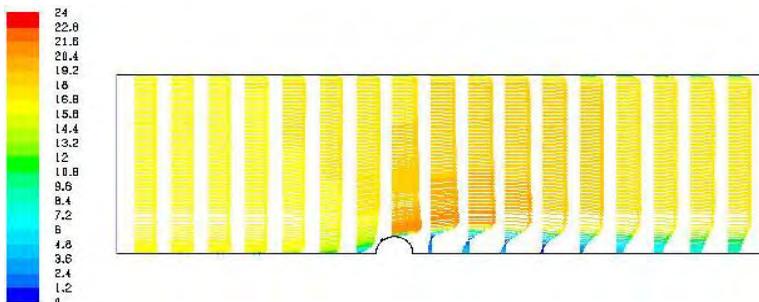
namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. Perbedaan ini disebabkan pembacaan pada *total pressure tube* yang digunakan tidak bisa tepat pada permukaan benda uji.

#### 4.3.2 Perbandingan Profil Kecepatan pada Pelat Datar dan *Bump* dengan Pengganggu Sudut $50^\circ$ Hasil Eksperimen dan Numerik.

Gambar 4.11 menunjukkan profil kecepatan dari hasil eksperimen yang diukur sepanjang pelat datar dan *bump* berbentuk setengah lingkaran dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  sebanyak 8 *section* dengan rentang  $-3.0 < x/d < 8.0$ , jarak antar profil sebesar  $1d$  dan diukur setinggi 10 cm dari permukaan pelat dengan jarak antar titik 1 mm. Posisi *bump* berada pada rentang  $-0.5 \leq x/d \leq 0.5$ ,  $d$  menunjukkan lebar *bump* ke arah *downstream*.



Gambar 4.11 Profil kecepatan pada pelat datar dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  secara eksperimen.



Gambar 4.12 Profil kecepatan (m/s) pada pelat datar dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  secara numerik.



Gambar 4.12 menunjukkan bahwa aliran mempunyai profil kecepatan yang *uniform* pada sisi inlet dan semakin jauh dari sisi inlet, profil kecepatan cenderung berbentuk parabola terutama di dekat dinding karena pengaruh tegangan geser. Aliran mengalami percepatan ketika melintasi *bump*. Percepatan ini ditunjukkan oleh harga  $u/U$  yang semakin membesar searah dengan aliran yang melintasi *bump*. Percepatan aliran ini disebabkan oleh pengecilan luas penampang lintang akibat adanya *bump*. Percepatan ini ditunjukkan oleh profil kecepatan di  $x/d = 0.0$  yang mempunyai kecepatan maksimum  $u/U = 1.24$ .

Akibat adanya *adverse pressure gradient* di sisi *downstream bump* tersebut mengakibatkan aliran mengalami separasi. Titik separasi dapat diketahui dari bentuk profil kecepatan yaitu dengan simulasi numerik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12. Dari gambar 4.12 titik separasi untuk *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  terjadi pada  $\theta = 111^\circ$ . Daerah separasi ini semakin jauh semakin mengecil sampai akhirnya profil kecepatan kembali normal tanpa ada yang terseparasi. Titik dimana aliran terseparasi kembali normal disebut titik *reattachment*. Dari gambar 4.11 dapat diketahui titik *reattachment* dari *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  terjadi pada titik  $x/d = 4.0$ , sedangkan dari gambar 4.12 titik *reattachment* dari *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  terjadi pada titik  $x/d = 4.2$ . Dari metode eksperimen dan numerik terjadi perbedaan posisi dari titik *reattachment*, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. Perbedaan ini disebabkan pembacaan pada *total pressure tube* yang digunakan tidak bisa tepat pada permukaan benda uji.

Dari hasil eksperimen dan hasil simulasi numerik yang telah dilakukan maka dapat ditabelkan letak titik separasi yang terjadi pada *bump* tanpa pengganggu maupun pada *bump* dengan pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$ .



Tabel 4.2 Letak titik separasi.

Variasi <i>Bump</i>	Eksperimen	Numerik
Tanpa pengganggu	110°	111°
Sudut 30°	83°	85°
Sudut 40°	86°	87°
Sudut 50°	50°	50°

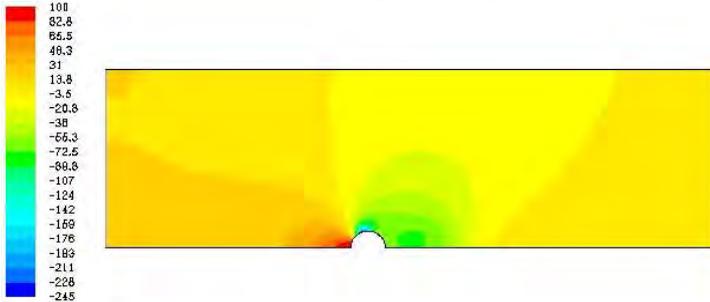
#### 4.4 Visualisasi Numerik

Data yang diekstrak dari hasil simulasi numerik berupa plot kontur, plot vektor, dan plot *pathline*. Pada plot kontur, variabel yang ditampilkan adalah tekanan statis dan kecepatan fluida yang terjadi pada pelat datar dengan *bump*, baik *bump* tanpa pengganggu maupun *bump* dengan pengganggu sudut 50°, sedangkan untuk plot vektor dan *pathlines*, variabel yang ditampilkan adalah besar kecepatan aliran fluida yang terjadi.

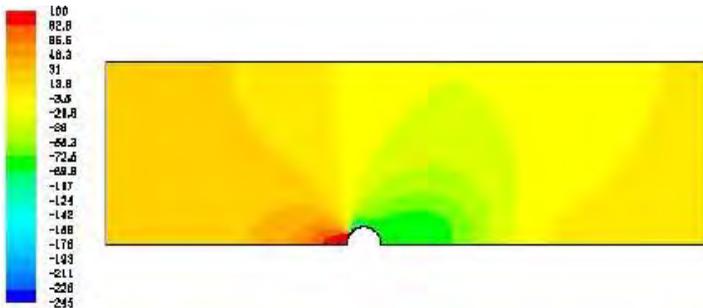
Gambar 4.13 dan 4.14 adalah hasil simulasi numerik berupa plot kontur tekanan statis dari simulasi numerik dengan perbedaan warna yang menunjukkan perbedaan nilai tekanan pada pelat datar dan *bump* dengan satuan Pascal (Pa). Terlihat bahwa tekanan paling besar terjadi pada daerah *leading edge*, baik untuk *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu sudut 50°. Nilai tekanan yang besar ini ditunjukkan dengan warna merah untuk *bump* tanpa pengganggu dan dengan pengganggu sudut 50°, namun area yang mempunyai tekanan tinggi pada *bump* dengan pengganggu 50° daripada *bump* tanpa pengganggu. Hal ini dikarenakan pada daerah ini terjadi tekanan stagnasi, dimana aliran fluida menumbuk *bump* pada arah normal dan kecepatan fluida mengalami perlambatan. Setelah melewati *leading edge*, tekanan mengalami penurunan sampai mencapai tekanan minimum yang ditunjukkan dengan warna biru, dikarenakan fluida mengalami percepatan pada puncak *bump*. Hal ini berlaku untuk *bump* tanpa pengganggu maupun *bump* dengan pengganggu sudut 50°, namun penurunan



tekanan pada *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  lebih kecil dibandingkan dengan *bump* tanpa pengganggu. Setelah melewati puncak *bump* aliran mengalami peningkatan tekanan menuju daerah *aft edge* pada *bump*.



Gambar 4.13 Plot kontur tekanan statis (Pa) pada pelat datar dan *bump* tanpa pengganggu.

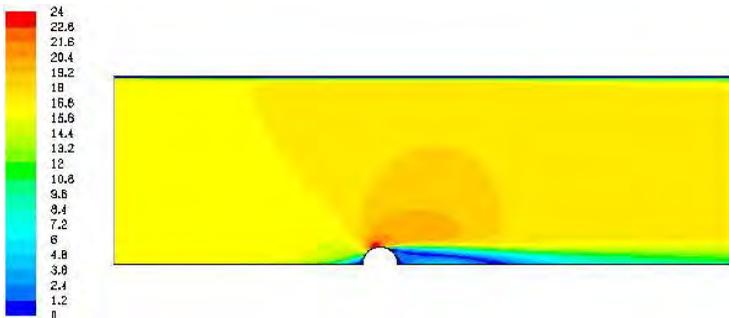


Gambar 4.14 Plot kontur tekanan statis (Pa) pada pelat datar dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ .

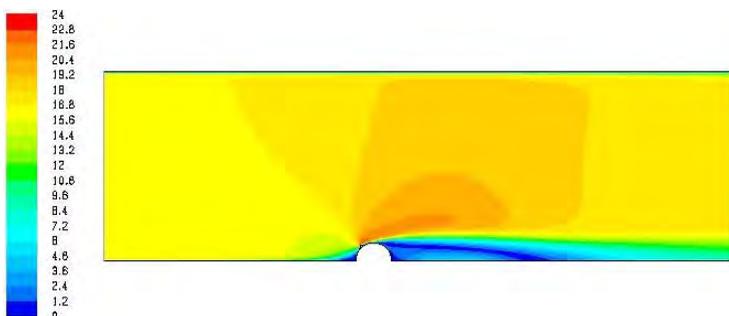
Gambar 4.15 dan 4.16 merupakan visualisasi plot kontur kecepatan aliran fluida pada *bump* tanpa pengganggu dan pada *bump* dengan sudut  $50^\circ$ . Dari Gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat distribusi kecepatan aliran fluida yang mengalir di atas permukaan pelat datar dengan *bump*. Aliran fluida di dekat pelat datar dengan *bump* sangat kecil dibandingkan dengan aliran yang lebih jauh dari pelat datar



dengan *bump*, yaitu ditunjukkan dengan warna biru. Baik pada *bump* tanpa pengganggu maupun *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ . Kecepatan aliran fluida yang kecil ini disebabkan karena adanya pengaruh gesekan pada pelat. Aliran fluida mengalami perlambatan ketika aliran akan melintasi *bump* serta mengalami percepatan dari *leading edge* pada *bump* sampai mencapai kecepatan maksimum, yaitu pada puncak *bump*. Hal ini ditunjukkan dengan warna merah pada puncak *bump*. Bahkan diatas daerah puncak *bump* kecepatannya melebihi kecepatan *freestream*.



Gambar 4.15 Plot kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan *bump* tanpa pengganggu



Gambar 4.16 Plot kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ .

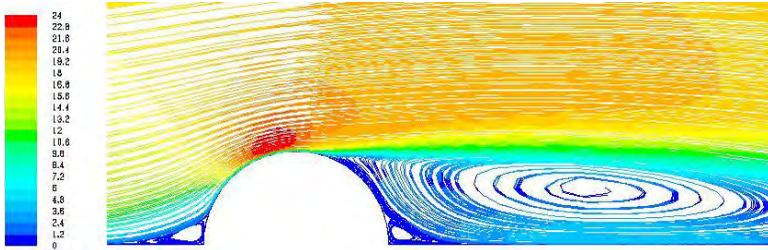


Lain halnya untuk *bump* yang dengan pengganggu, kecepatan fluida mengalami kenaikan sejak aliran tepat melintas diatas pengganggu tersebut sampai ke puncak dari *bump*. Setelah melewati puncak *bump* aliran mengalami penurunan kecepatan akibat *adverse pressure gradient* dan tegangan geser sampai aliran tidak sanggup lagi melawan *adverse pressure gradient* bersama tegangan geser sehingga aliran mengalami separasi. Setelah aliran terseparasi maka terjadi *wake* di belakang *bump* yang ditunjukkan oleh warna biru dan aliran *attach* kembali setelah melintasi daerah *wake*.

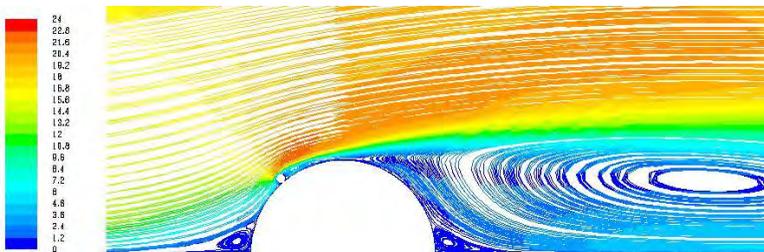
Untuk memberikan penjelasan lebih lanjut tentang fenomena yang terjadi pada *bump*, maka ditampilkan gambar *velocity pathline* dari kecepatan aliran fluida di daerah sekitar *bump*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17 dan gambar 4.18. Gambar 4.17 adalah *pathline* untuk *bump* tanpa pengganggu, sedangkan gambar 4.18 menunjukkan *pathline* untuk *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ .

Dari gambar 4.17 dan gambar 4.18 terlihat dengan jelas bahwa daerah *wake* ditunjukkan oleh warna biru, pada daerah tersebut terjadi *back flow*. Pada *leading edge* dan *aft edge bump* terlihat terjadi *vortex* pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ . Dari gambar 4.18 terlihat setelah aliran melintasi pengganggu, aliran tersebut terjadi separasi *bubble* dan *attach* kembali di dekat puncak *bump* dan terjadi separasi *massive* pada puncak *bump*.

Setelah aliran mengalami separasi, aliran tersebut *attach* kembali ke permukaan dari pelat datar, karena momentum aliran sanggup mengatasi tegangan geser dan *adverse pressure gradient* yang terjadi pada permukaan pelat datar. Akhirnya aliran kembali normal seperti semula, namun kecepatan pada dekat dinding masing relatif kecil dibanding kecepatan *freestream* karena momentum aliran berkurang setelah melintasi *bump*.



Gambar 4.17 *Pathline* kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan *bump* tanpa pengganggu.



Gambar 4.18 *Pathline* kecepatan aliran fluida (m/s) pada pelat datar dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ .

#### 4.5 Koefisien Drag ( $C_D$ )

Harga koefisien *total drag* ( $C_D$ ) dihitung dengan menggunakan perubahan momentum aliran sebelum melewati *bump* dengan momentum aliran setelah melewati *bump*. Perhitungan gaya drag yang ditampilkan adalah pada *bump*, baik *bump* tanpa pengganggu maupun *bump* dengan pengganggu. Gaya *drag* total merupakan penjumlahan dari *pressure drag* dan *skin friction drag*. Untuk mendapatkan gaya *drag* total adalah dengan menghitung defisit momentum pada penampang lintang sebelum *bump* sejauh ( $3d$ ) dan penampang lintang setelah *bump* sejauh ( $5d$ ), dimana  $d$  merupakan lebar *bump* ke arah *downstream*. Gaya *drag* yang terjadi diakibatkan tekanan yang terjadi di sepanjang permukaan *bump* yang diukur dari tekanan statis pada



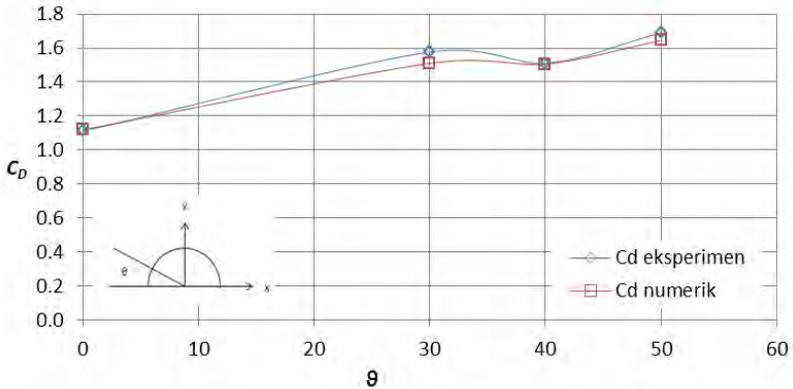
permukaan *bump* yang diintegrasikan secara numerik dan gaya *drag* yang disebabkan tegangan geser yang diperoleh dari pengurangan gaya *drag* total dengan gaya *drag* yang diakibatkan tekanan.

Tabel 4.2. menunjukkan besar masing-masing nilai  $C_D$  dengan komponen-komponen penyusunnya pada *bump* tanpa pengganggu maupun pada *bump* dengan pengganggu. Pada Tabel 4.2 dibandingkan nilai  $C_D$  yang didapat dari data hasil eksperimen dengan nilai  $C_D$  yang didapat dari data hasil simulasi numerik.

Tabel 4.3 Koefisien Drag ( $C_D$ ) pada *bump* dengan pengganggu dan tanpa pengganggu.

Variasi <i>Bump</i>	Eksperimen			Numerik		
	$C_{D,p}$	$C_{D,f}$	$C_D$	$C_{D,p}$	$C_{D,f}$	$C_D$
Tanpa pengganggu	0.619	0.492	1.111	0.900	0.218	1.118
Sudut 30°	0.629	0.948	1.577	1.333	0.176	1.509
Sudut 40°	0.428	1.081	1.509	1.340	0.165	1.505
Sudut 50°	0.493	1.196	1.690	1.497	0.147	1.644

Gambar 4.19 menunjukkan grafik perbandingan koefisien *drag* pada *bump* tanpa pengganggu maupun dengan pengganggu secara eksperimen dan simulasi numerik. Dari grafik terlihat koefisien *drag* fungsi sudut pengganggu baik secara eksperimen maupun secara numerik mempunyai kecenderungan yang hampir sama, namun ada beberapa nilai dari hasil eksperimen lebih besar dari hasil numerik, yaitu pada pengganggu sudut 30° dan 50°. Hal ini terjadi karena tingkat keakuratan dalam pengambilan data secara eksperimen kurang baik, sehingga data yang dihasilkan pun juga kurang akurat.



Gambar 4.19 Perbandingan koefisien *drag* pada *bump* tanpa pengganggu dan dengan pengganggu secara eksperimen dan numerik.

Pada *bump* tanpa pengganggu mempunyai koefisien *drag* yang paling kecil daripada pada *bump* yang diberi pengganggu. Pada saat *bump* diberi pengganggu pada sudut  $30^\circ$  koefisien drag mengalami peningkatan, hal ini terjadi pada eksperimen maupun numerik. Ketika Sudut pengganggu dinaikkan yaitu pada sudut  $40^\circ$  harga koefisien *drag* kembali mengalami penurunan, namun penurunannya tidak terlalu besar. Artinya perubahan momentum aliran pada pengganggu sudut  $30^\circ$  lebih besar daripada pengganggu sudut  $40^\circ$ . Saat sudut pengganggu dinaikkan menjadi  $50^\circ$  koefisien *drag* mengalami kenaikan dan mempunyai harga terbesar dibandingkan yang lainnya, hal ini terjadi pada eksperimen dan numerik.



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan analisa data yang telah dilakukan, baik secara eksperimen maupun secara numerik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada *bump* tanpa pengganggu maupun *bump* dengan pengganggu pada sudut  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $50^\circ$  terdapat beberapa pengaruh terhadap karakteristik aliran, antara lain:
  - a. Adanya pengganggu pada *bump* dapat menyebabkan penurunan  $C_p$  yang derastis di daerah sekitar pengganggu tersebut.
  - b. Letak titik separasi *bump* tanpa pengganggu secara eksperimen pada  $\theta = 110^\circ$  dan secara numerik pada  $\theta = 111^\circ$ , *bump* dengan pengganggu sudut  $30^\circ$  secara eksperimen pada  $\theta = 83^\circ$  dan secara numerik pada  $\theta = 85^\circ$ , *bump* dengan pengganggu sudut  $40^\circ$  secara eksperimen pada  $\theta = 86^\circ$  dan secara numerik pada  $\theta = 87^\circ$ , dan *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  secara eksperimen pada  $\theta = 50^\circ$  dan secara numerik pada  $\theta = 50^\circ$ .
  - c. Terdapat perubahan nilai  $C_D$  antara *bump* tanpa pengganggu dan *bump* dengan pengganggu. Dari data hasil eksperimen didapatkan  $C_D = 1.111$  untuk *bump* tanpa pengganggu,  $C_D = 1.577$  untuk *bump* dengan pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $C_D = 1.509$  untuk *bump* dengan pengganggu sudut  $40^\circ$ , dan pada *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$   $C_D = 1.690$ . Dari data hasil simulasi numerik didapatkan  $C_D = 1.118$  untuk *bump* tanpa pengganggu,  $C_D = 1.509$  untuk *bump* dengan pengganggu sudut  $30^\circ$ ,  $C_D$



- = 1.505 untuk *bump* dengan pengganggu sudut  $40^\circ$ , dan pada *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$   $C_D = 1.644$ .
2. Dari visualisasi numerik yang dilakukan dengan plot *pathline* kecepatan aliran, terlihat dengan jelas titik separasi yang terjadi pada *bump* tanpa pengganggu maupun *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$ . Titik separasi pada *bump* dengan pengganggu sudut  $50^\circ$  terjadi lebih awal daripada pada *bump* tanpa pengganggu.
  3. Dari data yang didapat dari hasil simulasi numerik memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan data yang didapatkan dari hasil eksperimen, namun data simulasi numerik lebih banyak dan lebih *smooth*.

## 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan ada beberapa saran, agar penelitian selanjutnya yang sejenis dapat menghasilkan data yang lebih baik, antara lain:

1. Pengambilan data sebaiknya menggunakan peralatan yang lebih canggih, agar memperoleh data yang lebih akurat. Misalnya *pitot tube* diganti dengan *hot wire* dan manometer diganti dengan *pressure transducer*.
2. Pengambilan data yang dilakukan sebaiknya pada kondisi temperatur dan tekanan lingkungan yang sama untuk *bump* tanpa pengganggu maupun pada *bump* dengan pengganggu. Hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh dari variasi tersebut tidak terpengaruh dengan kondisi lingkungan yang ada.



---

**DAFTAR PUSTAKA**

**Akbar, Guntur Muda Ali.** 2011. *Studi Eksperimen dan Numerik Tentang Aliran Boundary Layer yang Melintasi “Bump” dengan Radius Kelengkungan yang besar.* Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.

**Fox, Robert W and Alan, T.McDonald.** 1998. *Introduction to Fluid Mechanics 5<sup>th</sup> edition.* John Willey and Son, Inc.

**Hadi, Herry Sufyan.** 2011. *Studi Eksperimen dan Numerik Tentang Aliran Boundary Layer yang Melintasi “Bump” dengan Radius Kelengkungan yang Kecil.* Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.

**Helmizar.** 2008. *Studi Eksperimental Tentang Efek Blokage Ratio Terhadap Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder.* Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.

**John M. Cimbala.** 2008. *Fluent – Laminar Flow Over a Cylinder.* Penn State University.

**Joongnyon, Kim. and Hyung, Jin Sung.** 2006. *Wall Pressure Fluctuations in a Turbulent Boundary Layer over a Bump.* Korea Advanced Institute of Science and Technologi, Republic of Korea.

**Nicholas J. Mulvany, et al.** 2004. *Steady-State Evaluation of ‘Two-Equation’ RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) Turbulence Models for High-Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations.* DSTO Platform Sciences Laboratory 506 Lorimer St.Fishermans Bend, Victoria 3207 Australia.

**Nuch, MF.** 2005. *Studi Eksperimental Tentang Karakteristik Turbulent Boundary Layer Setelah Single Square Groove pada Plat Datar.* Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.



---

**Sudariato, Vendik.** 2006. *Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder Sirkular yang Diganggu oleh Silinder Teriris Tipe – I.* Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.

**Wijanarko, Wahyu.** 2005. *Separasi dan Reattachment Aliran di Belakang Gundukan (Bump) Setengah Lingkaran, Segitiga, dan Persegi Panjang.* Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.



---

**BIODATA PENULIS**



Radiaprima Kartika Wijaya lahir di Banyuwangi pada 6 Agustus 1992, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan Aguslan dan Trisnowati. Penulis menjalani pendidikan dari TK Darma Wanita 5, SDN 3 Sumbersari, SMPN 1 Genteng sampai SMAN 2 Genteng.

Setelah lulus SMA penulis melanjutkan studinya ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yaitu pada Jurusan Teknik Mesin. Selama menempuh pendidikan dibangku kuliah, penulis tidak hanya aktif dalam bidang akademik saja, namun juga aktif dalam bidang keorganisasian di dalam kampus Teknik Mesin.

Pada semester 6 penulis memutuskan untuk mengambil bidang studi Konversi Energi dan mengambil Tugas Akhir yang berkaitan dengan Mekanika Fluida. Penulis membutuhkan waktu 1 semester untuk menyelesaikan Tugas Akhir dan akhirnya berhasil dinyatakan lulus dalam sidang ujian Tugas Akhir pada semester 7. Hal ini tidak lepas dari doa dari kedua orang tua dan dukungan dari teman-teman semua. Motto hidupnya “Gagal atau Berhasil Tidaklah Penting, yang Terpenting Adalah Berani Mencoba”



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

## LAMPIRAN

### Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan digunakan untuk mengolah data yang diambil baik secara eksperimen maupun secara numerik. Perbedaannya adalah untuk pengolahan data yang didapat melalui metode eksperimen dimulai dari ketinggian *red oil* pada manometer, sedangkan untuk pengolahan data yang didapat melalui metode numerik dimulai dari kecepatan aliran fluida. Hal ini dikarenakan pada eksperimen ini menggunakan manometer sebagai alat ukur sehingga data yang diperoleh adalah dalam bentuk ketinggian *red oil* dalam pipa manometer, sedangkan simulasi numerik data yang diambil langsung berupa besar kecepatan aliran di atas permukaan pelat datar dan *bump*.

Pada penelitian ini digunakan kecepatan *freestream* = 16.5 m/s. Pada eksperimen data yang didapatkan adalah tekanan stagnasi dimulai dari ketinggian  $y = 2$  mm sampai ketinggian  $y = 10$  mm, sedangkan pada simulasi numerik data yang didapatkan dimulai dari ketinggian  $y = 0$  mm sampai ketinggian  $y = 210$  mm. Hal ini dilakukan karena sampai ketinggian tersebut kecepatan aliran sudah sampai pada kecepatan *freestream*, untuk semua titik pengujian. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan profil kecepatan aliran di atas permukaan pelat datar untuk setiap titik pengujian, pada data hasil eksperimen.

#### a. Perhitungan koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada *bump* tanpa pengganggu

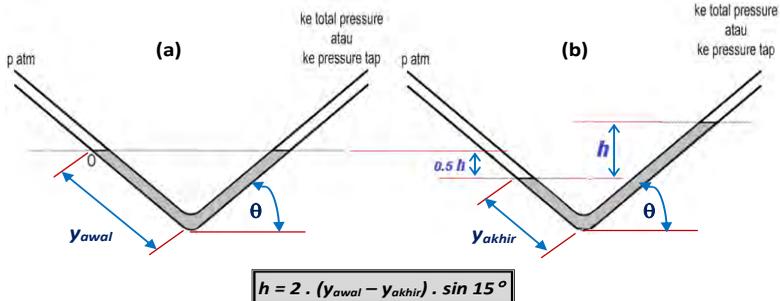
Penelitian dilakukan pada temperatur ruangan  $28^\circ\text{C}$ , sehingga didapatkan properti yang lain dari literatur adalah sebagai berikut:

- ◆ Massa jenis udara ( $\rho_{\text{udara}} = 1,18 \text{ kg/m}^3$ )
- ◆ Massa jenis air ( $\rho_{\text{air}} = 999 \text{ kg/m}^3$ )
- ◆ Viskositas kinematis udara ( $\nu = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ )

Data hasil eksperimen:



- ◆ Cairan pengisi manometer adalah *red oil* dengan  $SG_{red\ oil} = 0,817$
- ◆ Manometer yang digunakan adalah *inclined manometer* dengan  $\theta = 15^\circ$



Gambar L.1. Ilustrasi pembacaan manometer untuk mengukur tekanan.

(a) sebelum benda uji dialiri aliran fluida; (b) setelah benda uji dialiri aliran fluida.

- ◆ Kondisi *freestream*:  
 Tinggi *red oil* untuk tekanan statis *freestream* awal ( $y_{awal}$ ) = 0.253 m *red oil*  
 Tinggi *red oil* untuk tekanan statis *freestream* akhir ( $y_{akhir}$ ) = 0.209 m *red oil*  
 Perbedaan ketinggian cairan untuk tekanan statis *freestream* ( $h$ )

$$\begin{aligned}
 h &= 2 \cdot (y_{akhir} - y_{awal}) \cdot \sin 15^\circ \\
 &= 2 \cdot (0.209 - 0.253) \text{ m} \cdot \sin 15^\circ \\
 &= -0.0227 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tekanan statis *freestream* ( $p_\infty$ )

$$\begin{aligned}
 p_\infty &= \rho_{red\ oil} \cdot g \cdot h \\
 &= SG_{red\ oil} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot h \\
 &= 0,817 \cdot 999 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (-0.0227) \text{ m} \\
 &= -182.565 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$



- ◆ Data hasil percobaan untuk pengukuran  $C_p$  pada  $x/d$   
= -5.375 adalah sebagai berikut:  
Tinggi *red oil* untuk tekanan di dalam alur awal ( $y_{awal}$ )  
= 0.253 m *red oil*.  
Tinggi *red oil* untuk tekanan di dalam alur akhir ( $y_{akhir}$ )  
= 0.2145 m *red oil*.

Perbedaan ketinggian cairan untuk tekanan statis lokal ( $h$ )

$$\begin{aligned}h &= 2 \cdot (y_{akhir} - y_{awal}) \cdot \sin 15^\circ \\ &= 2 \cdot (0.2145 - 0.253) \cdot \sin 15^\circ \\ &= -0,0199 \text{ m}\end{aligned}$$

Tekanan statis lokal ( $p$ )

$$\begin{aligned}p &= \rho_{red\ oil} \cdot g \cdot h \\ &= SG_{red\ oil} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot h \\ &= 0,817 \cdot 999 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (-0,0199) \text{ m} \\ &= -159.74 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Koefisien tekanan ( $C_p$ )

$$\begin{aligned}C_p &= \frac{p - p_\infty}{0,5 \cdot \rho_{udara} U^2} \\ &= \frac{(-159.74) - (-182.565)}{0,5 \cdot 1,225 \cdot 16.5^2} \\ &= 0.1447\end{aligned}$$

### **b. Perhitungan profil kecepatan pada bump tanpa pengganggu**

Data yang digunakan adalah data profil kecepatan pada jarak  $x/d = -3$  dan posisi  $y = 3$  mm.

Tekanan stagnasi ( $P_0$ )

Tinggi *red oil* untuk tekanan di dalam alur awal ( $y_{awal}$ ) = 0.253 m *red oil*.

Tinggi *red oil* untuk tekanan di dalam alur akhir ( $y_{akhir}$ ) = 0.234 m *red oil*.



Perbedaan ketinggian cairan untuk tekanan statis lokal ( $h$ )

$$\begin{aligned} h &= 2 \cdot (y_{akhir} - y_{awal}) \cdot \sin 15^\circ \\ &= 2 \cdot (0.234 - 0.253) \cdot \sin 15^\circ \\ &= -0.0983 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan stagnasi ( $P_0$ )

$$\begin{aligned} P_0 &= \rho_{red\ oil} \cdot g \cdot h \\ &= SG_{red\ oil} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot h \\ &= 0.817 \cdot 999 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (-0.0983) \text{ m} \\ &= -78.83 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Tekanan dinamis ( $P_d$ )

$$\begin{aligned} P_d &= P_0 - p \\ &= -78.83 \text{ Pa} - (-182.565 \text{ Pa}) \\ &= 103.73 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Kecepatan ( $u$ )

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}} \\ u &= \sqrt{\frac{2 \times 103.73}{1.18}} = 13.26 \text{ m/s} \end{aligned}$$

### c. Perhitungan *Coefficient of Drag* ( $C_D$ )

***Coefficient of Pressure Drag* ( $C_{Dp}$ ) pada bump tanpa pengganggu secara eksperimen**

Gaya *pressure drag* ( $F_{Dp}$ ) merupakan resultan dari gaya-gaya *drag* ( $F_D$ ) yang terjadi pada bump.

$$F_{Dp} = F_{DU} - F_{DD}$$

Dimana  $F_{DU}$  = gaya *drag* pada sisi *upstream bump*

$F_{DD}$  = gaya *drag* pada sisi *downstream bump*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung gaya *drag* ( $F_D$ ) sebagai berikut :



$$F_D = \int_a^b p_{sc} \cdot \cos \theta \, dA$$

Dimana:  $p_{sc}$  = tekanan statis kontur  
 $\theta$  = sudut yang dibentuk antara garis normal permukaan *bump* dengan arah horisontal.

Integral yang digunakan untuk mendapatkan gaya *drag* ( $F_D$ ) adalah integral numerik metode Simpson 1/3. Persamaan umumnya adalah sebagai berikut :

$$\int_a^b y(x) \, dx = \frac{b-a}{3n} \left\{ y_0 + 2.(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2}) + 4.(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + y_n \right\} \quad (E.14)$$

Dimana  $n$  = jumlah elemen yang akan diintegral ( $n$  harus genap)

- ◆ Gaya *pressure drag* ( $F_{Dp}$ ) pada *bump* tanpa pengganggu  
 Data yang digunakan adalah data *coefficient of pressure drag* ( $C_{Dp}$ ) *bump* tanpa pengganggu:

Tabel L.1. Integrasi *bump* setengah tanpa pengganggu sisi *upstream*

n	$\theta$	Psc	cos $\theta$	y=Psc.cos $\theta$ .h	4y	2y
0	0	-105.805	1	-2.116095366		
1	7.5	-103.73	0.991445	-2.056854781	-8.22742	
2	15	-107.879	0.965926	-2.084069423		-4.16814
3	22.5	-128.625	0.92388	-2.376687574	-9.50675	
4	30	-151.446	0.866025	-2.623122375		-5.24624
5	37.5	-209.535	0.793353	-3.324704785	-13.2988	
6	45	-253.102	0.707107	-3.579397191		-7.15879
7	52.5	-319.489	0.608761	-3.889850487	-15.5594	
8	60	-352.683	0.5	-3.52682561		-7.05365
9	67.5	-377.578	0.382683	-2.889855375	-11.5594	



10	75	-375.503	0.258819	-1.943747579		-3.8875
11	82.5	-358.906	0.130526	-0.936933639	-3.74773	
12	90	-354.757	0	0		0

Tabel L.2. Integrasi *bump* setengah tanpa pengganggu sisi *downstream*

n	$\theta$	Psc	$\cos \theta$	$y = Psc \cdot \cos \theta \cdot h$	4y	2y
0	90	354.757	0	0		
1	82.5	-338.16	0.130526192	0.882775625	-3.5311	
2	75	321.564	0.258819045	-1.66453522		-
3	67.5	-311.19	0.382683432	2.381748935	-9.527	3.32907
4	60	304.967	0.5	3.049666851		-
5	52.5	302.892	0.608761429	3.687780331	14.7511	6.09933
6	45	298.743	0.707106781	4.224862258		-
7	37.5	298.743	0.79335334	4.740173159	18.9607	8.44972
8	30	298.743	0.866025404	5.174378383		-
9	22.5	296.668	0.923879533	5.481714888	21.9269	10.3488
10	15	294.594	0.965925826	5.691112656		-
11	7.5	294.594	0.991444861	5.841467579	23.3659	11.3822
12	0	292.519	1	5.850381307		-



Dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\frac{F_{DU}}{L} = \frac{b-a}{3.n} \left\{ y_0 + 2.(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2}) + 4.(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + y_n \right\}$$

Dimana	$a$	= sudut awal <i>bump</i>
		= 0
	$b$	= sudut puncak <i>bump</i>
		= $\frac{\pi}{2}$
	$n$	= 12
	$y_0$	= -2.12
	$2.(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2})$	= -27.51
	$4.(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1})$	= -61.89
	$y_n$	= 0

Sehingga

$$\begin{aligned} \frac{F_{DU}}{L} &= \frac{\frac{\pi}{2} - 0}{3 \times 12} \{(-2.12) + (-27.51) + (-61.89) + 0\} \\ &= -3.99 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Dan dengan cara yang sama didapatkan gaya *drag downstream* ( $F_{DD}$ ) sebesar :

$$\begin{aligned} \frac{F_{DD}}{L} &= \frac{\frac{\pi}{2} - 0}{3 \times 12} \{(-5.85) + (-39.61) + (-92.06) + 0\} \\ &= -5.99 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Dari persamaan E.12 didapatkan gaya *pressure drag* ( $F_{Dp}$ ) sebesar :

$$\frac{F_{Dp}}{L} = \frac{F_{DU}}{L} - \frac{F_{DD}}{L} = -3.99 - (-5.99) = 2 \text{ N/m}$$



$$C_{Dp} = \frac{F_{Dp} / L}{\frac{1}{2} \rho U^2 h}$$

$$C_{Dp} = \frac{2}{\frac{1}{2} \times 1.18 \times 16.5^2 \times 0.02} = 0.6198$$

**Coefficient of Total Drag ( $C_D$ ) pada bump tanpa pengganggu secara eksperimen**

◆ **Gaya Total Drag ( $F_D$ )**

Untuk menghitung gaya total drag ( $F_D$ ) menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\frac{FD}{L} = (p_1 - p_2)t + \rho U_1^2 (t - \delta_1) - \rho U_2^2 (t - \delta_2) + \frac{n_1}{n_1 + 2} \rho U_1^2 \delta_1 - \frac{n_2}{n_2 + 2} \rho U_2^2 \delta_2$$

Dimana:

$$P_1 = -159.774 \text{ Pa}$$

$$P_2 = -195.013 \text{ Pa}$$

$$U_1 = 16.5 \text{ m/s}$$

$$U_2 = 17.98 \text{ m/s}$$

$$\delta_1 = 0.012 \text{ m}$$

$$\delta_2 = 0.047 \text{ m}$$

$$n_1 = 6.89$$

$$n_2 = 3.31$$

$$t = 0.1 \text{ m}$$

$$\rho = 1.18 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga didapatkan:

$$(p_1 - p_2)t = (-159.774 - (-195.013)) \times 0.1 = 3.527$$

$$\rho U_1^2 (t - \delta_1) = ((1.18) \times (16.5^2) \times (0.1 - 0.012)) = 28.480$$

$$\rho U_2^2 (t - \delta_2) = ((1.18) \times (17.98) \times (0.1 - 0.047)) = 20.232$$



$$\frac{n_1}{n_1 + 2} \rho U_1^2 \delta_1 = ((6.89/(6.89 + 2))(1.18)(16.5^2) \times 0.012) = 3.010$$

$$\frac{n_2}{n_2 + 2} \rho U_2^2 \delta_2 = ((3.31/(3.31 + 2))(1.18)(17.98^2) \times 0.047) = 11.188$$

$$F_D/L = 3.527 + 28.480 - 20.232 + 3.010 - 11.188 = 3.597 \text{ N/m}$$

$$C_D = \frac{F_D/L}{0.5 \rho U^2 x d}$$

$$C_D = \frac{3.597}{0.5 \times 1.18 \times 16.5 \times 16.5 \times 0.02} = 1.111$$



*halaman ini sengaja dikosongkan*