

# Studi Numerik Karakteristik Separasi dan Reattachment Aliran Di Belakang Gundukan (*BUMP*) Setengah Lingkaran

Setyo Hariyadi S.P.<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Surabaya  
Jl. Jemur Andayani I/73, Wonocolo, Surabaya 60236  
Email: hudzaifahsetyo@gmail.com

## Abstrak

*Karakteristik aliran viscous melalui suatu kontur selalu menjadi topik yang menarik untuk dikaji. Pada penelitian kali ini, karakteristik yang dikaji adalah aliran turbulen melintasi plat datar dengan bump. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran melintasi bump berbentuk setengah lingkaran distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) dan titik separasi. Selain itu juga dilakukan visualisasi aliran untuk mendapatkan gambaran aliran yang melintasi pelat datar dengan bump.*

*Bentuk bump yang digunakan pada studi numerik ini adalah setengah lingkaran dengan freestream sebesar 9.75 m/s dan 15.5 m/s. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan software simulasi dengan model turbulen  $k - \epsilon$  Realizable. Model benda uji berupa plat datar yang ditambahi dengan bump.*

*Adanya bump pada pelat datar mengakibatkan aliran menjadi terseparasi sehingga menimbulkan penambahan gaya total drag sepanjang pelat datar. Separasi massive pada bump setengah lingkaran terjadi akibat momentum aliran tidak mampu mengatasi adverse pressure gradient dan tegangan geser antara permukaan bump dengan aliran fluida, sehingga untuk harga  $Re$  yang lebih besar akan mengakibatkan letak titik separasi lebih tertunda.*

**Kata Kunci:** *bump*, koefisien tekanan ( $C_p$ ), koefisien pressure drag ( $C_{Dp}$ ), koefisien total drag ( $C_D$ ), profil kecepatan, titik separasi.

## Abstract

*Viscous flow characteristics through a contour has always been an interesting topic to study. In this study, the characteristic studied was turbulent flow across flat plate with bump. The aim of this research is to know the flow characteristic through the semicircular bump of the pressure coefficient distribution ( $C_p$ ) and the separation point. In addition, the flow visualization is done to get a flow picture across the flat plate with a bump.*

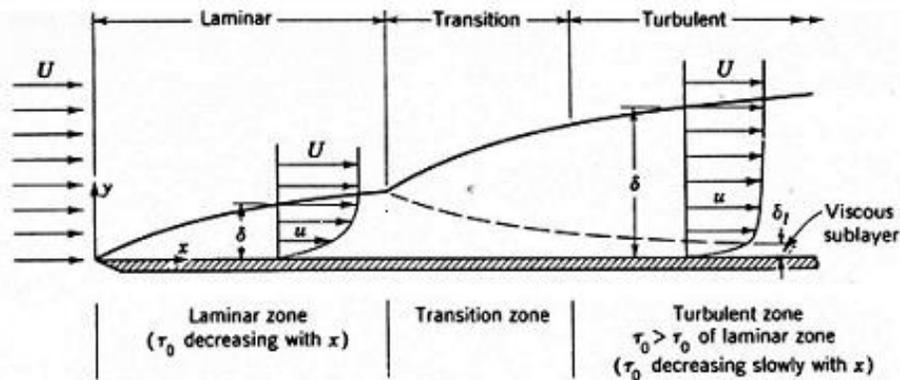
*The bump form used in this numerical study is a semi-circle with a freestream of 9.75 m / s and 15.5 m / s. This research is conducted by numerical simulation using simulation software with turbulent model  $k - \epsilon$  Realizable. Model of test specimen in the form of flat plate added with bump. The existence of a bump on the flat plate causes the flow to be terseparasi resulting in the addition of total drag force along the flat plate. Massive separation of the semicircular bump occurs as the flow momentum is unable to overcome adverse pressure gradient and the shear stress between the bump surface and the fluid flow, so for larger  $Re$  prices will result in the position of the separation point more delayed.*

**Keywords:** *Bump*, pressure coefficient ( $C_p$ ), pressure drag coefficient ( $C_{Dp}$ ), total drag coefficient ( $C_D$ ), speed profile, separation point.

## PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu manusia saat ini terutama dalam bidang mekanika fluida mendorong manusia untuk meneliti aliran fluida yang melintasi suatu benda. Hal ini terjadi karena pada kehidupan sehari-hari manusia tidak terlepas dari aliran fluida, misalnya angin yang melintasi suatu gedung atau bangunan dengan bentuk tertentu. Penelitian-penelitian tentang aliran fluida yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida pada saat melintasi suatu benda.

Pada aliran fluida nyata selalu menunjukkan adanya suatu daerah yang alirannya terhambat, yaitu daerah di dekat permukaan yang kecepatan relatif terhadap permukaan bervariasi antara nol hingga 99% kecepatan *freestream*. Daerah yang terhambat ini disebut 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 (*nonviscous region*).

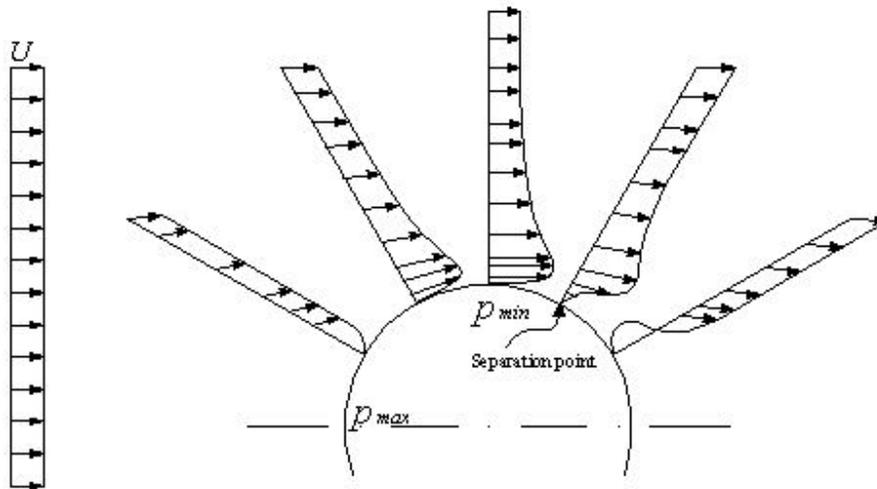


Gambar 1. Lapisan batas laminer dan turbulen sepanjang pelat datar.

Proses pembentukan lapisan batas dapat dilihat pada gambar 1. Ketika aliran melintasi pelat datar, pada bagian depan partikel-partikel fluida yang cukup dekat terhadap pelat dihambat oleh adanya tegangan geser yang besar. Lapisan batas menebal dalam arah yang sama dengan arah aliran. Pada lapisan batas ini terjadi perubahan kecepatan dari nol di permukaan pelat hingga kecepatan mendekati  $U$  pada jarak  $\delta$ .

Lapisan batas dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu lapisan batas laminer dan lapisan batas turbulen yang tergantung pada besarnya harga bilangan *Reynolds*. Di dalam aliran fluida proses peralihan dari aliran laminer ke turbulen disebut sebagai keadaan transisi. Faktor yang mempengaruhi lamanya proses transisi adalah gradien tekanan, kekasaran permukaan, gaya bodi dan gangguan aliran bebas. Begitu lapisan batas mulai menebal, ketidakstabilan pun terjadi dan mengakibatkan percampuran partikel (gerak acak) dan perubahan momentum dalam fluida hingga menyebabkan terbentuknya lapisan batas turbulen. Pada lapisan batas turbulen, profil kecepatan yang terbentuk lebih tebal (bundar) dengan gradien kecepatan di permukaan plat dan tegangan gesernya lebih tinggi daripada kondisi laminar maupun transisi.

Keberadaan *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 (gambar 2). Gambar 2 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 kecepatan tangensial dan sumbu y yang tegak lurus sumbu x. Dimana  $U$  adalah kecepatan fluida ideal diluar *boundary layer*.



Gambar 2. Pertumbuhan *boundary layer* pada silinder bulat

Aliran *viscous* yang melewati *bump* berbentuk setengah lingkaran akan mengalami penurunan tekanan di sisi *upstream* dan kenaikan tekanan di sisi *downstream*. Saat momentum aliran fluida tidak dapat melawan kenaikan tekanan dan gesekan dengan permukaan maka aliran fluida akan terseparasi. 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.

Kecepatan aliran fluida akan mencapai harga nol atau stagnasi 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*).

Seiring dengan kecepatan aliran fluida, tekanan pada permukaan benda padat juga akan mengalami perubahan yaitu berharga maksimum pada daerah depan dan berharga minimum pada daerah diatas silinder. Seperti yang ditunjukkan gambar 2 *boundary layer* mulai terjadi pada titik stagnasi depan, kemudian seiring dengan pergerakan aliran fluida, *boundary layer* mengalami pertumbuhan dimana ketebalannya akan semakin bertambah.

Pada saat bergerak ke bagian atas dari silinder, aliran fluida akan mengalami penurunan tekanan, atau *pressure gradient* lebih kecil dari nol ( $dp/dx < 0$ ) dan disebut *favourable pressure*

*gradient*. Dengan adanya *favourable pressure gradient* ini aliran fluida yang dekat dengan permukaan bergerak perlahan, dan terjadi kenaikan kecepatan.

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 separasi dan kemudian tekanannya konstan. *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*. Pada suatu titik dimana aliran tidak sanggup lagi mengatasi *adverse pressure gradient* bersama-sama dengan 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 fluida mulai tidak stabil dan terjadi pergolakan aliran. Daerah dimana terjadi pergolakan aliran disebut *wake*.

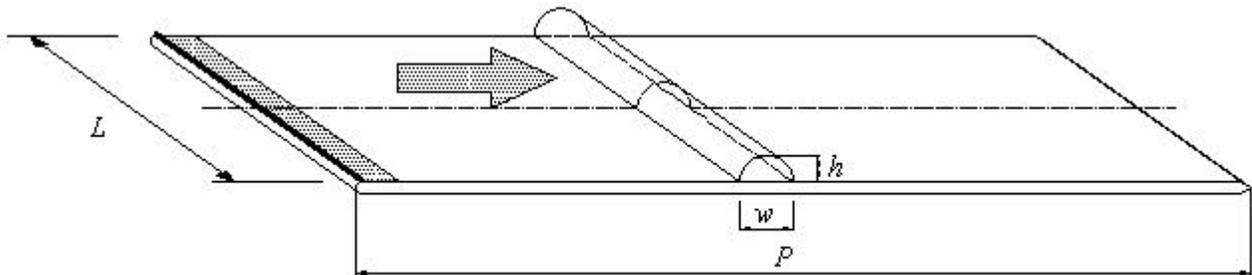
Telah banyak penelitian yang berkaitan dengan pengontrolan *boundary layer*. Penelitian yang dilakukan **Andi Joko (2001)** mengenai pengaruh lokasi permukaan kasar sebagai *inlet disturbance* terhadap karakteristik *boundary layer* dan gejala separasi pada pelat melengkung didapatkan bahwa semakin besar jarak permukaan kasar terhadap pelat melengkung maka tingkat turbulensi aliran yang dibangkitkan lebih besar sehingga aliran mempunyai ketahanan yang lebih terhadap terjadinya separasi. Penelitian yang dilakukan **Fatchan Nurul (2000)** mengenai pengaruh *inlet disturbance* terhadap karakteristik *boundary layer* dan gejala separasi pada pelat melengkung didapatkan bahwa semakin besar kekasaran *inlet disturbance* maka tingkat turbulensi aliran yang dibangkitkan lebih besar sehingga aliran mempunyai ketahanan yang lebih terhadap terjadinya separasi. Dari kedua penelitian tersebut juga didapatkan bahwa semakin besar sudut kelengkungan pelat maka separasi akan terjadi lebih awal.

Penelitian tentang pengontrolan *boundary layer* lainnya dilakukan oleh **Ari Susanto (2004)** mengenai karakteristik *turbulent boundary layer* di sekitar alur berbentuk V tunggal yang melintang pada pelat datar. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa akibat adanya alur menyebabkan terjadinya kenaikan total *drag* serta timbul *vortex* quasi stabil dalam alur. Selain itu adanya alur mengakibatkan profil kecepatan turbulen yang terjadi relatif konstan dibandingkan dengan profil kecepatan turbulen yang terjadi pada pelat datar halus. Penelitian yang dilakukan **M. Nuch (2004)** mengenai karakteristik *turbulent boundary layer* setelah *single square groove* pada pelat datar didapatkan bahwa terjadi penurunan  $C_f$  total di daerah setelah alur dibandingkan dengan  $C_f$  total pada pelat datar halus.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, maka muncul pemikiran untuk melakukan penelitian tentang aliran melewati *bump* berbentuk setengah lingkaran tanpa diberi *inlet disturbance* dengan variasi 2 bilangan *Reynolds*. Penelitian ini melanjutkan penelitian dari **Wijanarko (2004)** yang telah melakukan penelitian dengan eksperimen. Diharapkan dengan penggunaan simulasi numerik dapat mewujudkan kontur dan visualisasi yang lebih baik.

## METODE

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran melintasi *bump* berbentuk setengah lingkaran meliputi distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) sepanjang pelat datar dan *bump*, profil kecepatan sebelum, sesudah dan di atas *bump*, titik separasi, perhitungan koefisien *pressure drag* ( $C_{Dp}$ ) pada *bump* berdasarkan tekanan, perhitungan koefisien total *drag* ( $C_D$ ) sepanjang pelat datar berdasarkan perubahan momentum kecepatan sebelum dan sesudah melewati *bump*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendapat gambaran aliran yang melewati *bump* dengan visualisasi menggunakan asap. Variasi bilangan *Reynolds* yang digunakan yaitu terkait dengan kecepatan freestream 9,75 m/s dan 15,5 m/s. Benda kerja yang digunakan adalah pelat datar yang terdapat gundukan (*bump*) berbentuk setengah lingkaran sedangkan detail dari gambar penelitian dapat dilihat pada gambar 3.

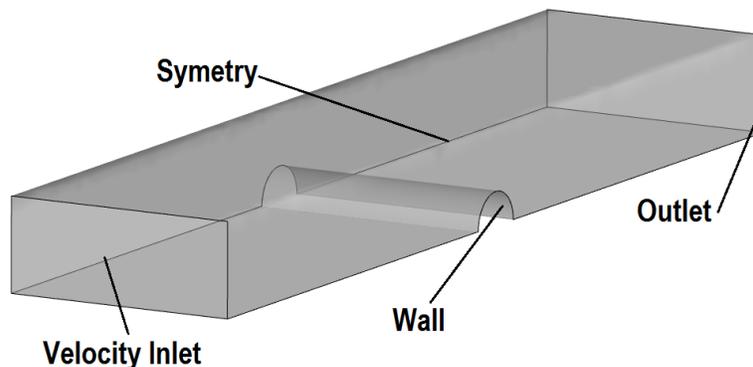


Gambar 3. Model *bump* setengah lingkaran

Dimensi dari *bump* adalah sebagai berikut :

- Lebar *bump* ( $w$ ) : 42 mm
- Tinggi *bump* ( $h$ ) : 21 mm
- Lebar pelat ( $L$ ) : 310 mm
- Panjang pelat ( $P$ ) : 700 mm

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan software simulasi dengan *model turbulen k - ε Realizable*. Kecepatan aliran *freestream* yang akan digunakan sebesar 9,75 m/s dan 15,5 m/s. Model benda uji berupa plat datar yang ditambahi dengan *bump*. Gambar 4. merupakan domain simulasi serta kondisi batas yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 4. Domain simulasi

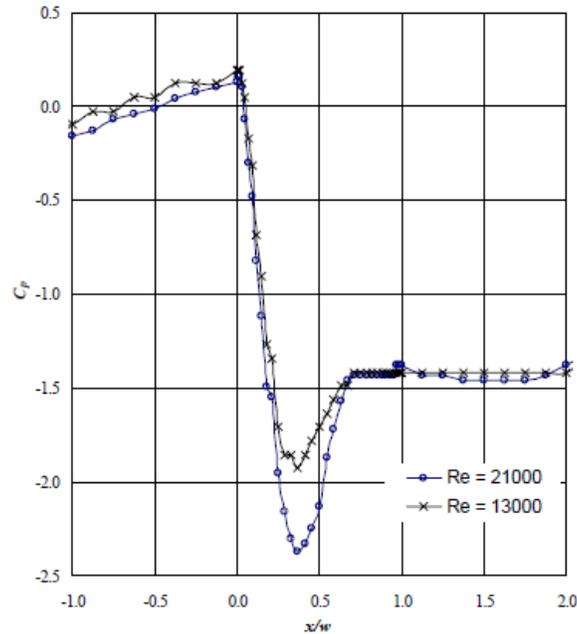
Jenis dan *properties* dari material dimasukkan sesuai dengan kondisi dari lingkungan, yaitu pada temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Permodelan ini menggunakan udara sebagai fluida kerja dengan ( $\rho$ ) = 1,17 kg/m<sup>3</sup>, viskositas ( $\mu$ ) = 1,86 x 10<sup>-5</sup> N.s/m<sup>2</sup>. Intensitas turbulen pada pemodelan numerik ini 0,8% (Mulvany, 2004) dan *length scale* di sisi *inlet* 0,024 m. Permodelan turbulensi yang digunakan adalah *viscous turbulent k-epsilon ralizable*. Solusi menggunakan *second order* untuk *pressure, momentum turbulent kinetic energy*, dan *turbulent dissipation rate*. Kriteria konvergensi ditetapkan sebesar 10<sup>-5</sup>, artinya proses iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai harga lebih kecil dari 10<sup>-5</sup>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) Pada Pelat Datar Dengan *Bump* Berbentuk Setengah Lingkaran

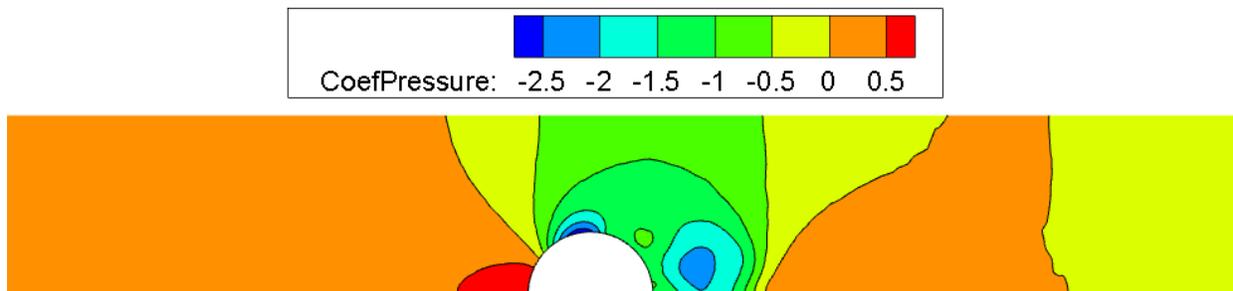
Distribusi tekanan statis sepanjang pelat datar dan *bump* setengah lingkaran dalam bentuk koefisien tekanan ( $C_p$ ) ditunjukkan pada gambar 5. Posisi dari *bump* terletak pada rentang  $0.0 \leq x/w \leq 1.0$ , disini  $w$  menunjukkan lebar *bump* ke arah *downstream*. Dari gambar 5 terlihat bahwa pada daerah sebelum *bump*, aliran mengalami penurunan tekanan yang kecil meskipun melalui *test section* yang berpenampang konstan. Penurunan tekanan ini disebabkan karena adanya tegangan geser yang terjadi antara permukaan pelat datar dengan fluida. Kemudian aliran mengalami *adverse pressure gradient* pada saat mendekati *bump*. Adanya *adverse pressure gradient* 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 5 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  $x/w = 0.37$  baik untuk  $Re = 21000$  maupun  $Re = 13000$ . Setelah itu aliran mengalami perlambatan akibat *adverse pressure gradient* yang kuat sampai akhirnya aliran terseparasi di titik  $x/w = 0.75$  baik untuk kedua harga  $Re$  ini.

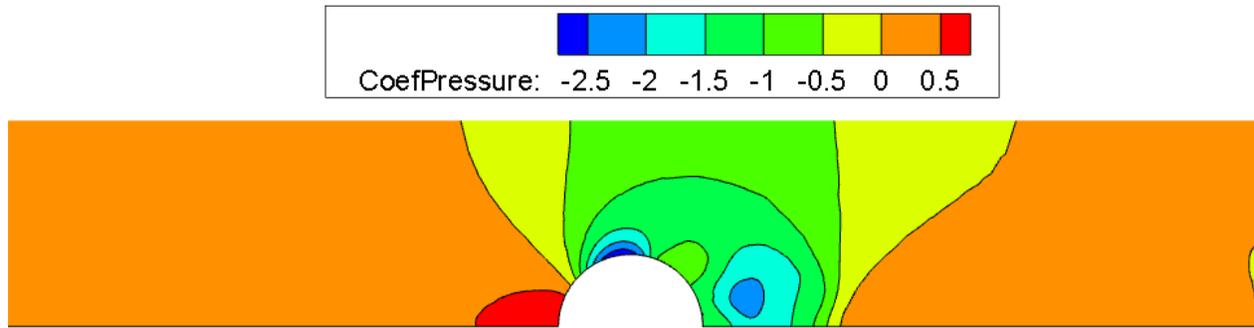


Gambar 5. Koefisien tekanan *bump* setengah lingkaran pada 2 bilangan  $Re$  yang berbeda

Setelah mengalami separasi aliran kembali mengalami percepatan yang kecil sampai titik  $x/w = 1.75$  untuk  $Re = 21000$  sedangkan untuk  $Re = 13000$  percepatan ini tidak terdeteksi (gambar 5). Percepatan ini dikarenakan aliran mengalami pengecilan luas penampang akibat efek dari daerah separasi yang membesar. Aliran mulai mengalami perlambatan kembali pada titik  $x/w = 1.75$  untuk  $Re = 21000$  dan  $x/w = 2$  untuk  $Re = 13000$ . 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. Hasil ini didukung visualisasi koefisien tekanan aliran pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 5. Visualisasi kontur koefisien tekanan aliran pada  $Re = 13000$



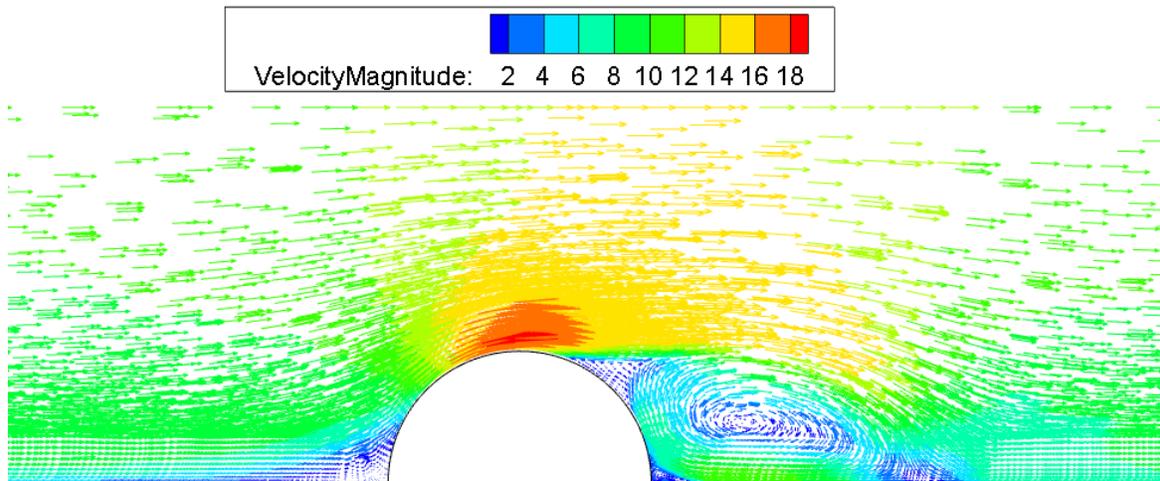
Gambar 6. Visualisasi kontur koefisien tekanan aliran pada  $Re = 21000$

### Profil Kecepatan Pada Pelat Datar Dengan *Bump* Berbentuk Setengah Lingkaran

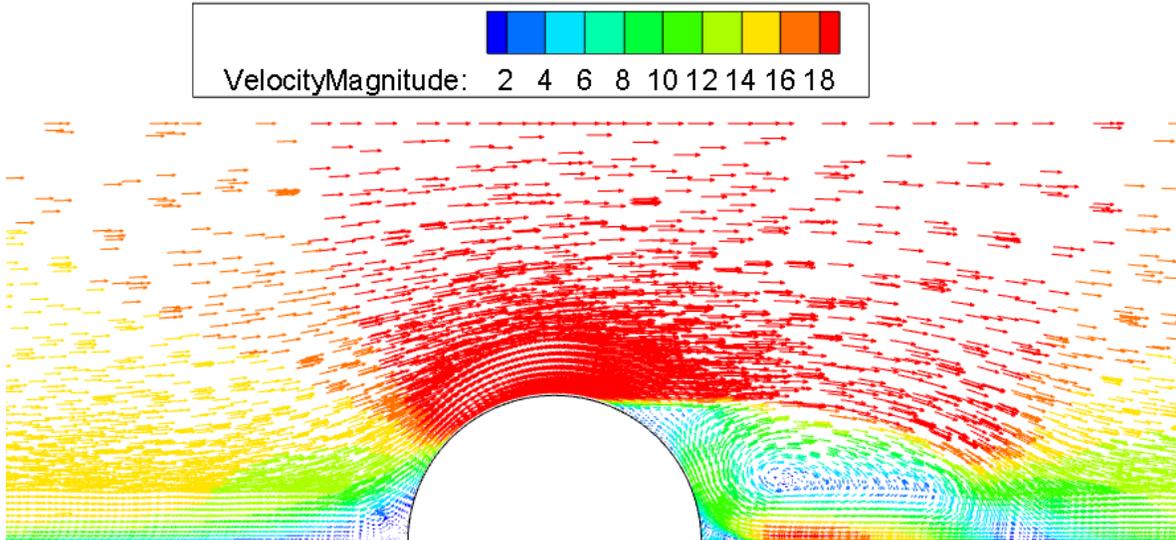
Profil kecepatan yang diukur sepanjang pelat datar dan *bump* setengah lingkaran dengan jarak antar profil sebesar  $0.5 x/w$  ditunjukkan pada gambar 8 untuk  $Re = 21000$  dan gambar 9 untuk  $Re = 13000$ . Posisi *bump* berada pada rentang  $0.0 \leq x/w \leq 1.0$ . Disini  $w$  menunjukkan lebar *bump* ke arah downstream. Skala gambar untuk  $\Delta x/w = 0.5$  sesuai dengan  $u/U = 1.0$ . Pada gambar terdapat garis yang mewakili daerah separasi. Gambar 8 dan gambar 9 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  $x/w = 0.5$  untuk  $Re = 21000$  yang mempunyai kecepatan  $u/U = 1.78$ . Setelah melewati *bump* aliran akan mengalami perlambatan hingga kecepatannya kembali seperti semula.

Akibat adanya *adverse pressure gradient* di sisi *downstream bump* tersebut mengakibatkan aliran mengalami separasi. Daerah separasi dibelakang *bump* ditunjukkan oleh profil kecepatan yang mempunyai harga  $u/U = 0$ .

Misalnya pada profil kecepatan di  $x/w = 1.5$  untuk  $Re = 21000$ , daerah separasi terjadi di  $y = 0$  sampai  $y = 15.5$  mm. Daerah separasi ini semakin lama semakin mengecil sampai akhirnya profil kecepatan kembali normal tanpa ada yang terseparasi. Titik dimana aliran terseparasi kembali normal disebut titik *reattachment*. Dari gambar 8 diketahui bahwa titik *reattachment* terjadi di  $x/w = 3.5$  untuk  $Re = 21000$ , sedangkan dari gambar 9 diketahui bahwa titik *reattachment* terjadi di  $x/w = 5.5$  untuk  $Re = 13000$ . Perbedaan titik *reattachment* ini terjadi karena pada  $Re$  tinggi mempunyai momentum yang lebih besar daripada  $Re$  rendah sehingga pada  $Re$  tinggi terjadi transfer energi dari daerah diatas daerah separasi menuju daerah separasi yang lebih besar daripada  $Re$  rendah. Akibat transfer energi ini maka daerah separasi semakin lama semakin mengecil. Karena transfer energi pada  $Re$  tinggi lebih besar daripada  $Re$  rendah maka daerah separasi untuk  $Re$  tinggi lebih cepat mengecil sehingga titik *reattachment* terjadi lebih dulu.



Gambar 8. Visualisasi vektor kecepatan aliran pada  $Re = 13000$



Gambar 9. Visualisasi vektor kecepatan aliran pada  $Re = 21000$

## PENUTUP

### Simpulan

Dari analisa hasil pengujian aliran melintasi pelat datar dengan *bump* berbentuk setengah lingkaran dengan kecepatan *freestream* 9.75 m/s dan 15.5 m/s dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Separasi *massive* pada *bump* setengah lingkaran terjadi akibat momentum aliran tidak mampu mengatasi *adverse pressure gradient* dan tegangan geser antara permukaan *bump* dengan aliran fluida, sehingga untuk harga *Re* yang lebih besar akan mengakibatkan letak titik separasi lebih tertunda.

2. Daerah *wake* yang lebih besar mengakibatkan gaya total *drag* yang bekerja juga semakin besar. Semakin besar kecepatan aliran maka letak titik *reattachment* aliran terseparasi terjadi semakin awal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Andi Joko, 2001, “**Studi Eksperimental Pengaruh Lokasi Permukaan Kasar Sebagai Inlet Disturbance Terhadap Karakteristik Boundary Layer Dan Gejala Separasi Pada Pelat Lengkung**”, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS.
- [2]. Ari Susanto, 2004, “**Experimental Study of Turbulent Boundary Layer Characteristic Around a Single Transverse “V” Groove on the Flat Plate**”, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS.
- [3]. Bard Venas and Lars R. Sætran, 1999, *Space-Time Correlations in Separated Flow Behind a Surface Mounted Obstacle*, Department of Mechanics, Thermo and Fluid Dynamics Norwegian University of Science and Technology N-7034 Trondheim, Norway.
- [4]. Fatchan Nurul, 2000, “**Studi Eksperimental Pengaruh Inlet Disturbance Terhadap Karakteristik Boundary Layer Dan Gejala Separasi Pada Pelat Lengkung**”, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS.
- [5]. Fox, Robert W. and McDonald, Alan T, 1994, *Introduction to Fluid Mechanics, 4<sup>th</sup> edition*, John Wiley and Son, Inc.
- [6]. M. Nuch, 2004, “**Studi Eksperimental Karakteristik Turbulent Boundary Layer setelah Single Square Groove pada palat datar**”, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS.
- [7]. Mulvany, Nicholas J., Li Chen, Jiyuan Y. Tu and Brendon Anderson (2004), *Steady State Evaluation of Two Equation RANS Turbulence Models for High Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations*, Final Report, Defence Science and Technology Organisation, Departement of Defence, Australian Government
- [8]. Wijanarko, Wahyu, 2005, “**Separasi Dan Reattachment Aliran Di Belakang Gundukan (Bump) Setengah Lingkaran, Segitiga Dan Persegi Panjang**”, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS.