

STUDI NUMERIK PERBANDINGAN KARAKTERISTIK ALIRAN *BACKWARD FACING STEP* DENGAN BODI PENGGANGGU (*BUMP*) TIPE *RECTANGULAR* DENGAN BILANGAN *REYNOLDS* TINGGI

¹*Bayu Dwi Cahyo*

¹Politeknik Penerbangan Surabaya

email: bayuamto@gmail.com

Abstract

This research uses a backward facing step geometry with additional rectangular bump on the inlet. The rectangular bump with variation mixed length (l) model developed in this study is very important for predicting fluid flow among boundary layer especially in reattachment length, the prediction obtained by applying standard wall function and non-equilibrium wall function with turbulence model RKE Realizable. Furthermore, the results are compared with previous experimental research data Kim dkk. 2005. This research is investigated using 2D simulation Computational Fluid Dynamics (CFD) with Parameter to be used are: step height (h): 1 cm; variation of mixing length (l): 5; 4; 3; and 2 cm; rectangular side (d): 0.5 cm. All investigations are running with Reynolds Number 38,000, based on the step height and the mean stream. From this study we will obtain the best combination of turbulent models and the near-wall treatment method. It also give prediction show the best reattachment length prediction in position l/h 5 from the comparison of the results of the distance variation of the body model.

Keywords: *Backward facing step, Bump, Rectangular, mixing length, RKE Realizable*

PENDAHULUAN

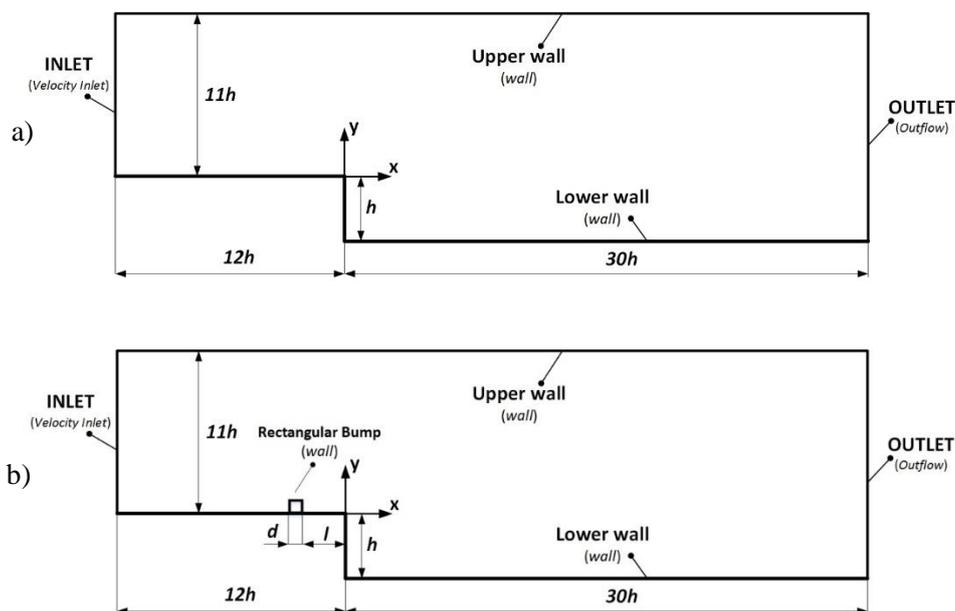
Backward facing step merupakan salah satu bentuk geometri yang paling populer digunakan untuk mengevaluasi model turbulen dalam hal separasi aliran. Banyak peneliti telah membandingkan prediksi dengan model turbulen yang terkenal atau mereka sendiri terhadap data yang. Keakuratan lokasi reattachment yang diprediksi pada aliran sering digunakan sebagai metode untuk mengevaluasi kinerja model turbulensi. *Backward facing step* pada aliran turbulen batas dinding dalam prakteknya banyak ditemui pada aplikasi *engineering* seperti pipa, saluran, sayap atas dan body pesawat dan sekitar kapal. Studi terhadap struktur aliran pada *backward facing step* telah banyak di uji dan di investigasi pada banyak literatur.

Karakteristik unsteady dan perilaku turbulen pada *backward facing step* telah didiskusikan oleh **Le dkk. (1997)**. **Kostas dkk (2002)** meneliti aliran *backward facing step* menggunakan *particle image velocimetry* pengukuran pada $Re = 4660$. Hasil menunjukkan bahwa berkontribusi dengan skala yang besar pada *Reynolds stress downstream* dari reattachment dan berkontribusi kecil pada *Reynolds stress* dekat dengan reattachment. Dalam penelitian ini, kami berfokus pada performa geometri tanpa *bump* menggunakan metode *near-wall treatment*

yang tersedia secara luas pada banyak literatur dan perangkat lunak *komersial computational fluid dynamics (CFD)*. Kami telah memilih dua metode *near-wall treatment* didasarkan pada *wall function* dan divalidasi dengan model turbulensi dan data numerik dari penelitian **Kim dkk (2005)**. Fokus dari paper ini adalah mendapatkan bentuk geometri terbaik dengan tambahan *rectangular bump* melalui perbandingan hasil data dari studi numerik model turbulen K-epsilon.

METODOLOGI

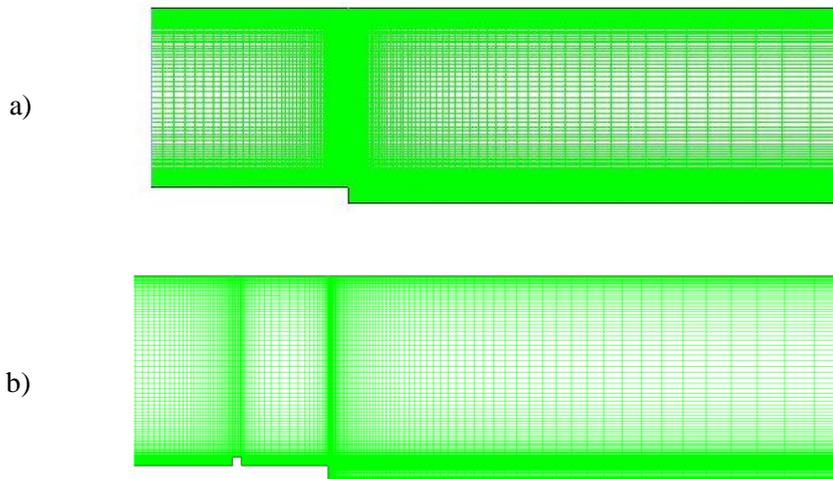
Penelitian yang dilakukan adalah untuk mendapatkan karakteristik aliran saat melintasi *backward facing step* yang dimodifikasi menggunakan tambahan *rectangular bump* pada inlet nya. Modifikasi yang dilakukan adalah panjang *inlet* dari *upstream* ke step sebesar $11h$ ($h=1$), *outlet boundary* ditempatkan $30h$ dari step ke *downstream*, tinggi *outlet* (saluran *upstream*) adalah $8h$. Kemudian, bentuk pengganggu (*bump*) adalah *rectangular* dan tinggi $d/h = 0.5$ dengan mengatur jarak antara *rectangular bump* ke *backward facing step* (l/h), yaitu 5, 4, 3 dan 2 sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1b.



Gambar 1. Bentuk geometri dan kondisi batas *backward facing step* a) tanpa bump b) menggunakan *rectangular bump*.

Interaksi antara aliran fluida dengan *rectangular bump* tersebut dikaji secara seksama dengan melakukan kajian pemodelan numerik dengan perangkat lunak *CFD solver Fluent 6.2*. hal ini dilakukan untuk mendapatkan informasi detail aliran fluida yang melintasi *backward facing step* serta *reattachment* yang terjadi pada *wall* bawahnya. Hasil-hasil berupa data-data kuantitatif dan kualitatif yaitu distribusi koefisien tekanan (C_p) dan *skin friction* (C_f) pada kontur permukaan, profil kecepatan pada maksimum thickness, serta data-data kualitatif berupa visualisasi aliran untuk mendapatkan *reattachment* menggunakan *post-processing* dengan perangkat lunak *CFD solver FLUENT 6.2*. Pemodelan numerik dilakukan dengan menggunakan *geometry set-up* dua dimensi, dengan kondisi batas pada sisi inlet adalah *velocity*

inlet uniform dan *sisi outlet* adalah *outflow*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1, sedangkan pada gambar 2 ditunjukkan bentuk meshing dua dimensi (2-D) *quadrilateral-map*. Simulasi akan dilaksanakan dengan pendekatan *2D-steady flow* dengan pemodelan turbulen *RKE* dengan *near wall treatment Reliazable*. Seluruh kajian dilakukan dengan *Re* dihitung berdasarkan ketinggian dan kecepatan rata-rata aliran kira-kira sebesar $3,8 \times 10^4$. Aliran diasumsikan *incompressible* dengan *no-slip condition* dan *smooth wall condition* untuk *steady state*.



Gambar 2. Bentuk *meshing* geometri *backward facing step* a) tanpa *bump* b) menggunakan *rectangular bump*

Skin Friction coefficient (C_f) dapat diperoleh dengan;

$$C_f = \frac{\tau_w}{0.5\rho U^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

τ_w = wall shear stress (N/m^2)

ρ = density of fluid (kg/m^3)

U = velocity (m/s)

Pressure coefficient (C_p) dapat diperoleh dengan;

$$C_p = \frac{p_c - p_\infty}{0.5\rho U^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

p_c = wall static pressure (N/m^2)

p_∞ = free-stream static pressure (N/m^2)

ρ = density of fluid (kg/m^3)

U = velocity (m/s)

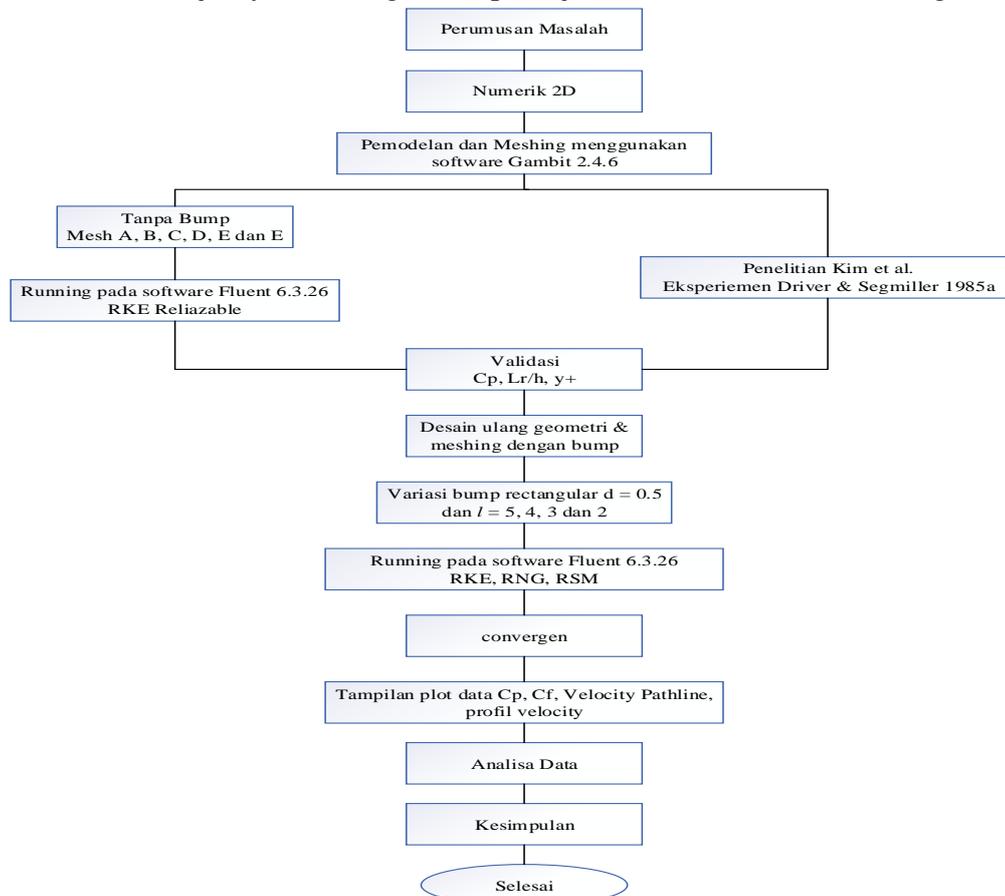
Semua kajian ini dilakukan dengan cara numerik kemudian dikoparasikan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh **Kim dkk. (2005)** Bagan alur penelitian semua telah dipaparkan pada gambar 3.

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik aliran melewati *backward facing step* dengan melakukan modifikasi mengatur jarak antara *rectangular bump* ke *backward facing step* (l/h), yaitu 5, 4, 3 dan 2, dikaji secara detail dengan menggunakan metode pemodelan numerik dengan perangkat lunak *CFD solver* 6.2. Hasil-hasil berupa data-data kuantitatif dan kualitatif yaitu distribusi koefisien tekanan (C_p) dan *skin friction* (C_f) pada kontur permukaan, profil kecepatan pada maksimum *thickness*, serta data-data kualitatif berupa visualisasi aliran untuk mendapatkan reattachment menggunakan *post-processing* dengan perangkat lunak *CFD solver FLUENT 6.2*.

Meshing dan *grid independency*

Beberapa pernyataan dari pedoman terhadap ketidak pastian CFD yang telah disepakati AIAA G-077-1998 dikemukakan oleh Freitas. Setelah itu dilanjutkan dengan variasi model *viscous*. Pada proses numerik pengaruh variasi mesh tidak mempengaruhi hasil simulasi, pernyataan tersebut sebagai *grid independency*. Pada gambar 2 dipaparkan variasi meshing yang dikaji dalam proses validasi. Meshing A merupakan mdel dengan jumlah meshing yang terkecil, kemudian selanjutnya Meshing B sampai F jumlah mesh semakin meningkat.



Gambar 3. Bagan alur penelitian

pada proses simulasi numerik dinyatakan dalam bentuk penyimpangan prediksi atau *error* terhadap nilai penelitian sebelumnya. Hasil untuk mesh A, B, dan C didapatkan bahwa pernyataan tentang semakin rapat mesh dihasilkan kesalahan lebih kecil, namun untuk meshing D, E dan F menunjukkan yang berkebalikan bahwa semakin rapat meshing menghasilkan kesalahan prediksi semakin besar.

Tabel 1. Variasi Meshing terhadap *grid independency RKE Realizable Standard wall Function* ($Re=3,8 \times 10^4$).

<i>Id Title</i>	<i>Cells number</i>	y^+	<i>(flux)</i>	<i>Iteration</i>	<i>Cp error%</i> ($x/h = 0.05$)	<i>Lr/h</i>
Mesh A	12375	36.19	-8.88E-16	524	32.82718	5.738
Mesh B	13125	36.19	3.55E-15	833	5.38466	5.7
Mesh E	13825	26.60	1.78E-15	523	7.00634	5,86
Mesh C	16750	17.36	-3.55E-15	841	2.35483	5.744
Mesh D	18050	17.36	8.88E-16	815	28.12898	6.01
Mesh F	20375	12.18	8.88E-16	971	24.2408	6,01

Hal ini dinyatakan bahwa mesh memiliki suatu konfigurasi optimal sesuai dengan bentuk dan model yang dibentuk. Sehingga kajian mesh diharuskan dilakukan pada awal proses simulasi. y^+ yaitu parameter non dimensional perbandingan posisi y dengan fungsi tegangan geser pada dinding permukaan. Untuk nilai yang dianjurkan $y^+ < 43$ **Kim dkk. (2005)**. Hasil menunjukkan nilai y^+ yang memiliki nilai 17 dihasilkan prediksi yang sangat baik.

Panjang Reattachment

Prediksi panjang *reattachment* ditunjukkan oleh tabel 1 menggunakan model turbulen dan metode *near-wall treatment* yang dikomparasikan menggunakan nilai studi numerik dari **Kim dkk. (2005)**. seperti yang dipaparkan pada tabel 1, prediksi panjang *reattachment* menggunakan *standard wall function* masuk kedalam prediksi penelitian yang dilakukan oleh **Kim dkk. (2005)**. Kemudian evaluasi dilanjutkan pada variasi model turbulen yang dipaparkan pada tabel 2. Pada tabel 2 ditunjukkan bahwa nilai y^+ pada *standard wall function* yaitu 4 lebih kecil dibandingkan *Non-equilibrium wall function* sehingga sangat baik digunakan untuk prediksi panjang *reattachment* selanjutnya. Dari semua model turbulen, *RKE Reliazable* dengan *standard wall function* dan tipe Mesh C adalah hasil terbaik untuk memprediksi Panjang *reattachment* berdasarkan nilai yang telah diukur.

Tabel 2. Perbandingan Panjang *Reattachment*

<i>id title</i>	<i>Re</i>	<i>Cells</i>	y^+	<i>turb model</i>	<i>near wall treatment</i>	<i>mass flow rate net (flux)</i>	<i>Iteration</i>	<i>Lr/h</i>
Mesh C	$3,8 \times 10^4$	16750	3.89	RKE	standard wall function	-2.22E-16	1036	5.15
Mesh C	$3,8 \times 10^4$	16750	4.00	RKE	Non-equilibrium Wall Functions	2.22E-16	1328	5.67

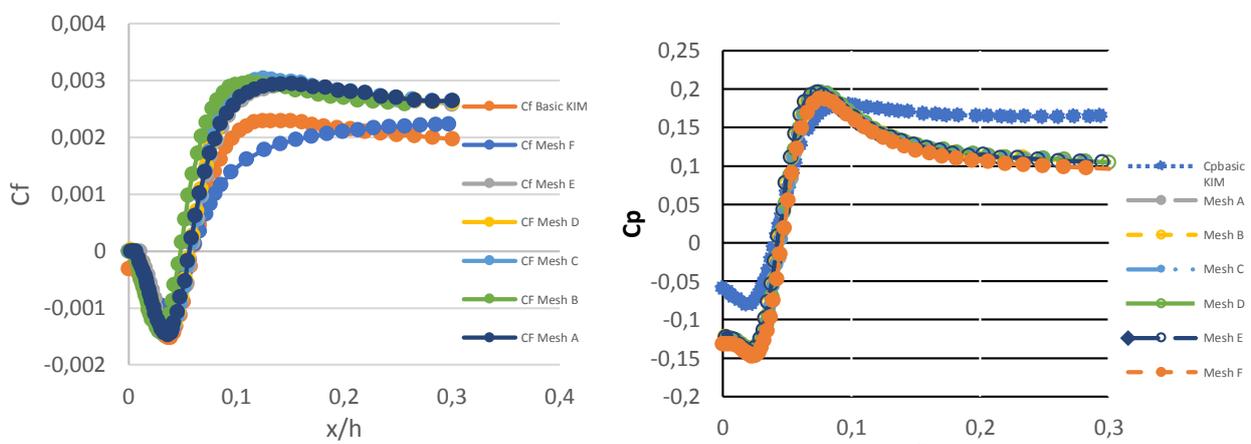
Pada tabel 3 memamparkan panjang *reattachment* modifikasi *geometry* menggunakan *rectangular bump* dengan variasi l/h ; 2; 3; 4; dan 5. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa *rectangular bump* dengan nilai l/h 5 atau dekat dengan inlet menghasilkan proses terjadinya *reattachment* lebih cepat terjadi sehingga panjang *reattachment* yang lebih pendek. Hal ini akan membuat aliran turbulen yang terjadi setelah *backward facing step* lebih pendek membuat aliran laminar bisa terbentuk kembali lebih awal dibandingkan dengan modifikasi lainnya.

Tabel 3. Perbandingan Panjang Reattachment dengan *rectangular bump* rectangular dan variasi l/h

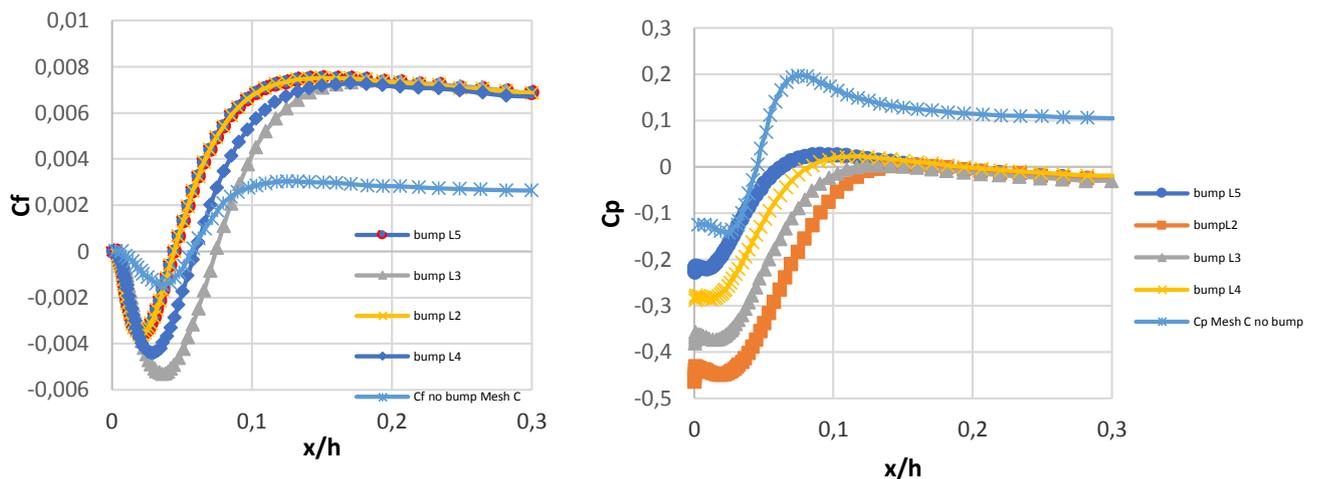
<i>id title</i>	l/h	Re	turb model	<i>near wall treatment</i>	<i>flux</i>	<i>Iteration</i>	Lr/h
L/h 2	2	$3,8 \times 10^4$	RKE	standard	-5.34E-09	3101	9.38
L/h 3	3	$3,8 \times 10^4$	RKE	standard	-2.22E-16	3014	7.653
L/h 4	4	$3,8 \times 10^4$	RKE	standard	0	2896	6.255
L/h 5	5	$3,8 \times 10^4$	RKE	standard	-5.34E-09	2515	4.06

Distribusi koefisien tekanan dan *skin friction*

Pada bagian ini menampilkan distribusi koefisien tekanan (C_p) yang merupakan harga *mean value* atau *time-averaged value* dari pemodelan numerik dengan pemodelan turbulen 2D-*steady flow* K-epsilon, untuk *rectangular bump* dengan $d = 0.5$ yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Karakteristik aliran yang menunjukkan adanya interaksi antara fluida dengan benda padat salah satunya ditunjukkan dengan menampilkan distribusi koefisien tekanan antara tekanan freestream dengan tekanan sepanjang kontur benda padat dengan tekanan dinamis dari *freestream*. Gambar 4 menunjukkan perbandingan prediksi *skin friction*, C_f dan prediksi koefisien tekanan statis, C_p , pada dinding bawah tanpa *bump* dengan data yang diukur oleh **Kim dkk. (2005)** untuk. pada grafik 3 menunjukkan *standard wall function* nilai C_f yang diprediksi pada $x/h \geq 0.051$ sekitar 32%. Sedangkan untuk koefisien 75%. Gambar 5 menunjukkan perbandingan prediksi *skin friction*, C_f dan prediksi koefisien tekanan statis, C_p , pada dinding bawah antara tanpa *bump*, penelitian yang dilakukan **Kim dkk. (2005)** dan prediksi dengan penambahan *rectangular bump*.



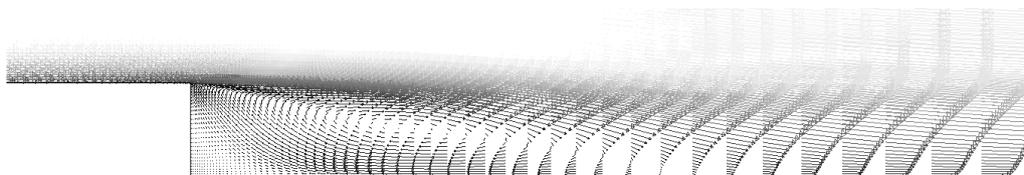
Gambar 4. Perbandingan C_f dan C_p tanpa *rectangular bump* pada variasi meshing dengan model turbulen RKE Realizable dan *standard wall treatment function* ($Re = 3,8 \times 10^4$)



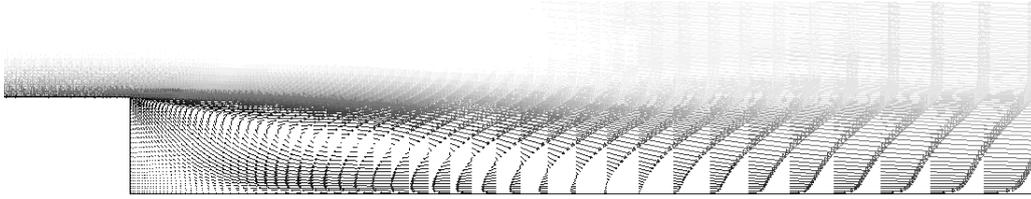
Gambar 5. Perbandingan Perbandingan C_f dan C_p dengan variasi $bump\ l/h$: 2, 3, 4 dan 5 dengan model turbulen *RKE Realizable* dan *standard wall treatment function* ($Re = 3,8 \times 10^4$).

Reattachment length dan velocity vector

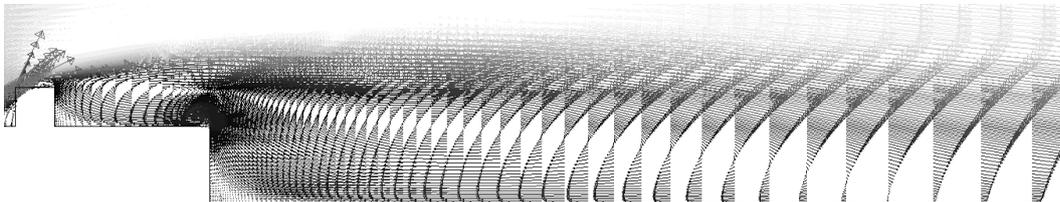
Pada bagian ini ditampilkan hubungan antara *vector velocity* dan *reattachment length* pada daerah *backward facing step* setelah melewati *rectangular bump*. Pada Gambar 6. Menunjukkan perbandingan *velocity vector* di pojok *geometry* dengan penambahan *rectangular bump* dengan variasi jarak (l/h). seperti yang ditunjukkan pada gambar, *recirculation* mampu ditangkap dengan pendekatan *RKE Reliazable* dan *standard wall function*. Pada gambar 6a menunjukkan bahwa tanpa variasi *bump* pada kecepatan $Re = 3,8 \times 10^4$ reattachment terjadi di titik $x/h = 5.744$. Sedangkan, pada gambar b menunjukkan tanpa variasi *bump* pada kecepatan $U_\infty = 5.0461\ m/s$ titik *reattachment* terjadi di titik $x/h = 5.15$. pada gambar 6 c, d, e dan f menunjukkan hasil dari variasi nilai l/h yaitu jarak antara *rectangular bump* dengan *backward facing step* berturut-turut *rectangular bump* l/h : 2, 3, 4 dan 5 dan menghasilkan *vector velocity* dan titik *reattachment* $x/h = 9.38; 7.653; 6.255; dan 4.06$. Dengan hasil seperti ini menunjukkan *rectangular bump* dengan nilai l/h 5 mempunyai nilai *reattachment* terpendek. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai l/h atau semakin dekat jarak *rectangular bump* dengan *inlet* menghasilkan proses terjadinya *reattachment* lebih awal dan pendek. Hal ini sangat menguntungkan karena aliran turbulen lebih pendek dan mengijinkan aliran laminar terjadi kembali.



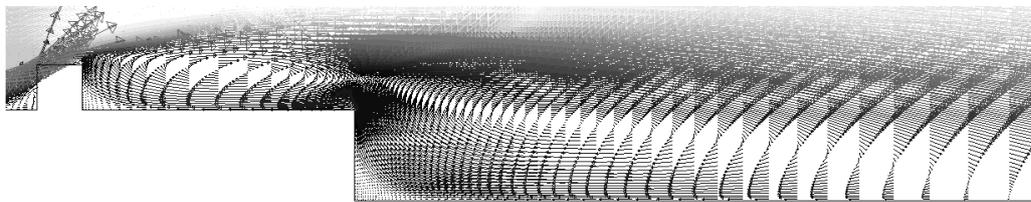
a) Tanpa *bump* $Re = 3,8 \times 10^4$



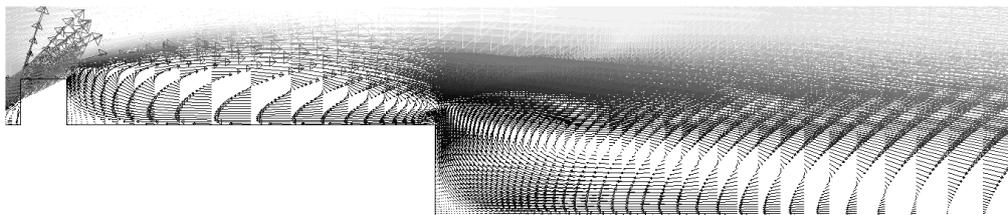
b) Tanpa *bump* $Re = 3,8 \times 10^4$



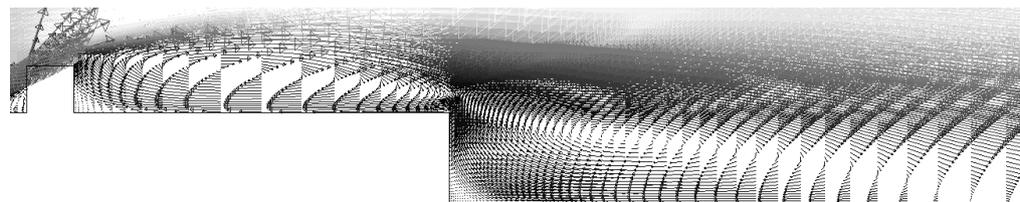
c) *rectangular bump l 2* $Re = 3,8 \times 10^4$



d) *rectangular bump l 3* $Re = 3,8 \times 10^4$



e) *rectangular bump l 4* $Re = 3,8 \times 10^4$



f) *rectangular bump l 5* $Re = 3,8 \times 10^4$

Gambar 6. Perbandingan *vector velocity* pada variasi tanpa *bump* dan dengan *bump l/h* : 2, 3, 4 dan 5 dengan model turbulen *RKE Reliazable* dan standard wall treatment function ($Re= 3,8 \times 10^4$).

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang disampaikan pada hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil-hasil kuantitatif grafik C_p , L_r/h dan y^+ memperlihatkan adanya kesesuaian fisis antara simulasi numerik antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian yang dilakukan oleh **Kim dkk. (2005)**. yang menunjukkan terjadinya interaksi aliran fluida dengan *model backward facing step* yang dilakukan dengan memodifikasi penambahan *bump* di daerah dinding bawah dan hasil dari *grid independency* dan evaluasi model turbulen menunjukkan bahwa model geometri *rectangular bump* dengan l/h 5 adalah pemodelan terbaik untuk penelitian ini.
2. Modifikasi geometri penambahan *rectangular bump* pada variasi l/h yaitu jarak antara *bump* dengan *backward facing step* menunjukkan *rectangular bump* dengan nilai l/h 5 mempunyai nilai *reattachment* terpendek. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai l/h atau semakin dekat jarak *rectangular bump* dengan inlet menghasikan proses terjadinya *reattachment* lebih awal dan pendek. Selain itu, ini juga sangat menguntungkan karena aliran turbulen lebih pendek dan mengijinkan aliran laminar terjadi kembali.

SARAN

1. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah dengan memodifikasi ukuran *bump* sehingga mengetahui prediksi variasi panjang *reattachment* yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Jae -Yong Kim , Afshin J. Ghajar , Clement Tang & Gary L. Foutch (2005) “Comparison of near-wall treatment methods for high Reynolds number backward-facing step flow, International Journal of Computational Fluid Dynamics”, 19:7, 493-500.
- J. Kostas, J. Soria, Chong M.S. “Particle image velocimetry measurements of a backward-facing step flow” Exp. Fluids, 33 (2002), pp. 838-853
- Le dkk, 1997 H. Le, P. Moin, J. Kim Direct numerical simulation of turbulent flow over a backward-facing step J. Fluid Mech, 330 (1997), pp. 349-374