

STUDI NUMERIK BACKWARD –FACING STEP FLOW DENGAN ADANYA BUMP SETENGAH LINGKARAN DISERTAI VARIASI JARAK BUMP PADA MODEL TURBULEN K-EPSILON

Nur Fatowil Aulia^{1*}, Adi Chandra Wijaya², Baktiyar Mei Hermawan¹, Ahmad Hamim Su'udy¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, 50275

²Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto No.121-131, Wonocolo, Surabaya, 60236

*E-mail: nurfatowil.aulia@polines.ac.id

Abstrak

Studi backward-facing step yang menggunakan turbulente model $k-\epsilon$ (RNG, Realizable) dengan standard wall functions. Sebuah bump ditempatkan di dekat posisi saluran masuk dalam bentuk setengah lingkaran. Studi dimulai dengan melakukan uji grid independency test tanpa menggunakan bump. Metode simulasi yang digunakan dalam studi ini adalah: jarak ketinggian (h): 14; variasi jarak bump (I / h): 2, 4; diameter melingkar (D): 14. Studi ini menggunakan bilangan Reynolds pada 38000 ($v = 40.9$ m/s). Hasil dari studi ini adalah membandingkan variasi model yang memiliki perbedaan jarak posisi bump dan beberapa model K-epsilon. Dengan tambahan bump setengah lingkaran maka reattachment length menjadi lebih pendek yang memiliki selisih sekitar 6 - 11% pada jarak bump $I/h = 2$ dan 34 - 42% untuk jarak bump $I/h = 4$ jika dibandingkan dengan reattachment length tanpa bump.

Kata Kunci: *Backward-facing step; Turbulence models; model $k-\epsilon$.*

PENDAHULUAN

Backward-facing step merupakan salah satu model ukuran geometri sederhana yang baik digunakan untuk mengevaluasi model turbulente pada aliran separasi. Maka dari itu Flow Separation dan Reattachment memiliki peranan yang penting dalam mekanisme aliran fluida. Backward-facing step menjadi model acuan untuk studi Flow Separation dan Reattachment yang mana sangat penting dalam aplikasi teknik seperti mesin fluida, ruang bakar, system penukar panas, reactor nuklir, ruang bakar dll. Sudah banyak penelitian yang dilakukan pada studi kasus ini, dengan metode numerik oleh Kaiktsis dkk., 1991; Barkley dkk., 2002; Schäfer dkk., 2009 dan metode eksperimen yang dilakukan oleh Armaly et al., 1983; Yakhshi-Tafti et al., 2011. Penelitian yang dilakukan oleh Kim dkk., 2005 juga melakukan studi pada backward facing step flow tanpa menggunakan

Studi Numerik Backward –Facing Step Flow..... Nur Fatowil, dkk
bump dengan mengaplikasikan 6 model turbulent yang berbeda dengan disertai 3 jenis
near wall treatment.

Secara umum backward-facing step sering digunakan dalam wall-bounded turbulent flow. Wall bounded flow tidak hanya dipengaruhi oleh Reynolds number (Re) akan tetapi memiliki beberapa halangan yang disebabkan oleh : no-slip pada dinding, viscous damping, tangential velocity, gradient yang besar pada kecepatan rata-rata dekat dinding, serta separasi aliran. Sehingga diperlukannya sebuah penelitian untuk mengevaluasi metode near wall treatment yang akan digunakan untuk memprediksi wall bounded turbulent flow. Metode near wall treatment yang digunakan adalah metode standard wall function yang secara umum digunakan pada literatur computational fluid dynamics (CFD). Model turbulen yang dipilih adalah model K-epsilon yaitu RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$.

Penelitian backward facing step juga dilakukan oleh Haque dkk., 2007 mendapatkan kesimpulan bahwa reattachment length (LR) sebagai parameter yang digunakan untuk menentukan model turbulent dari suatu aliran. Penelitian wall bounded flows pada bidang datar sudah sering dilakukan seperti yang sudah dilakukan oleh Kim et, al. Oleh karena itu akan dilakukannya penelitian baru dengan adanya penambahan bump berbentuk setengah lingkaran. Sehingga tujuan utama dari penelitian ini adalah membandingkan beberapa model turbulen $k-\epsilon$ pada permukaan dinding yang terdapat bump dengan beberapa jarak yang berbeda.

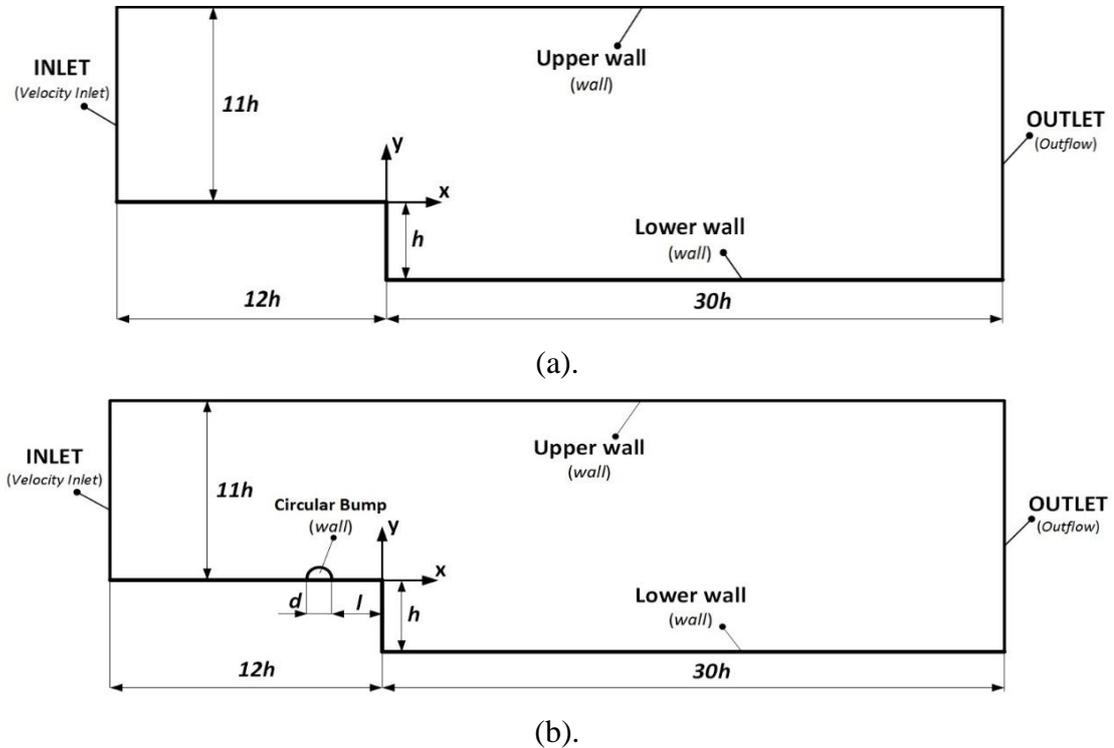
METODE PENELITIAN

Geometri dan Kondisi Batas Model Numerik

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik yaitu menggunakan simulasi *computational fluid dynamics (CFD)*. Analisa metode numerik ini menggunakan model *backward-facing step* tanpa atau menggunakan bump sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan. Model *backward-facing step* memiliki daerah *inlet* dengan lebar sebesar $11h$ (direncanakan dengan $h = 14$ mm) dan daerah *outlet* dengan lebar sebesar $12h$ pada jarak $30h$ dari *downstream*. Fluida yang digunakan adalah udara dengan menggunakan ketentuan *boundary* pada dinding yaitu *no-slip condition*. Pada studi ini menggunakan nilai *Reynolds number (Re)* sebesar 38.000 (40,9 m/s). Nilai *Re* didapatkan berdasarkan data dari penelitian **Kim dkk., 2005**.

Studi diawali dengan membuat geometri dan merencanakan kondisi batas pada model 2D tanpa dan ada *bump* (gambar 1). *Bump* (setengah lingkaran) akan diposisikan pada jarak (I/h) 2 dan 4 dengan variasi 2 model *turbulent k-ε (RNG, Realizabel)*, metode *near*

Studi Numerik Backward –Facing Step Flow..... Nur Fatowil, dkk
wall treatment yang digunakan adalah *standard wall fuction*, *intensitas turbulent* sebesar 5% dan *length scale* sebesar 1×10^{-4} m. Sehingga didapatkan data hasil yang berupa perbandingan posisi reattachment length (gambar 4), nilai C_p dan *reattachment length* dari masing-masing model tersebut.



Gambar 1. Geometri dan kondisi batas model backward-facing step (a).Tanpa bump (b). Dengan bump

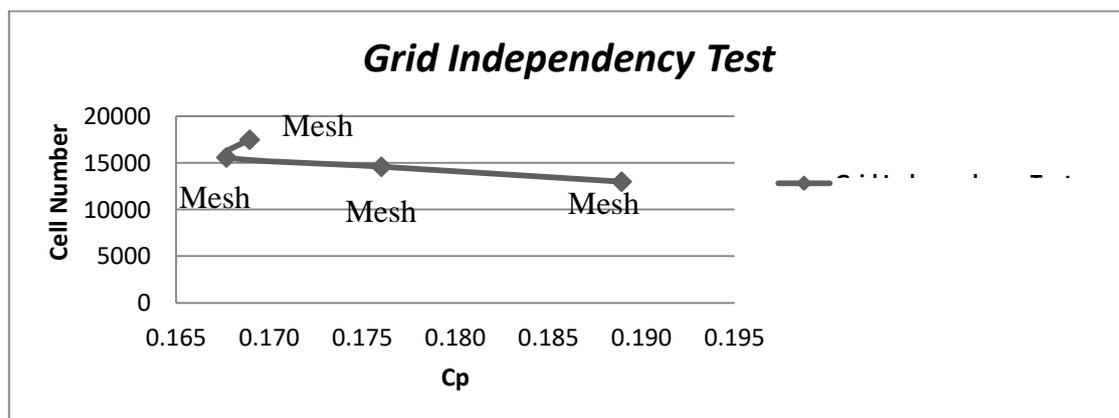
Grid Independency Test

Studi diawali dengan dilakukannya *grid independency test* pada model 2D tanpa adanya *bump* yang akan dibandingkan dengan hasil dari penelitian **Kim dkk., 2005**. Data dari peneliti sebelumnya berupa nilai C_p dan *reattachment length* yang akan digunakan sebagai pembanding untuk menentukan nilai error. Dari perbandingan ini akan dipilih jenis *mesh* yang terbaik pada tabel *grid independency test* (tabel 1) untuk penelitian model 2D dengan penambahan *Bump*.

Tabel 1 *Grid Independency Test* dengan *Standard Wall Function*

Nilai Error berdasarkan <i>Realizable k-3</i> dengan <i>Standard wall Function Model KIM dkk.,</i>					
No.	Data	Y+	LR/H	Nilai Cp pada X/h = 7	Prosentase Error dengan Nilai Kim %
1	Realizable k-3 model Kim et, al.	< 43	5,7 - 5,9	0,157	-
2	Mesh A	40,65	5,6 - 5,8	0,189	(20,51)
3	Mesh B	40,7	5,9 - 6,1	0,176	(12,28)
4	Mesh C	36,68	6,1 - 6,3	0,168	(6,97)
5	Mesh D	36,68	5,8 - 6,1	0,169	(7,77)

Dari *grid independency test* untuk *Standard Wall Function* didapatkan nilai *error* yang paling rendah sebesar 6,97 % pada mesh C. Pemilihan Mesh terbaik didasarkan pada prosentase nilai *error* dan L_R/h yang disesuaikan dengan kisaran nilai yang didapatkan dari penelitian **Kim dkk., 2005**. Maka dipilih mesh C yang memiliki nilai *error* dan L_R/h berada pada kisaran penelitian **Kim dkk., 2005**.

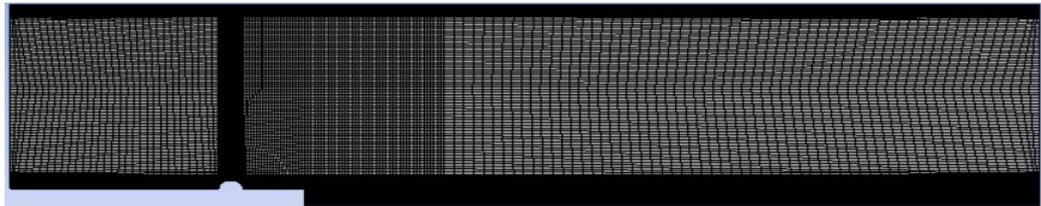


Gambar 2. *Grid Independency Test* dari Mesh yang berbeda *Grid Mesh Model Simulasi dengan Bump*.

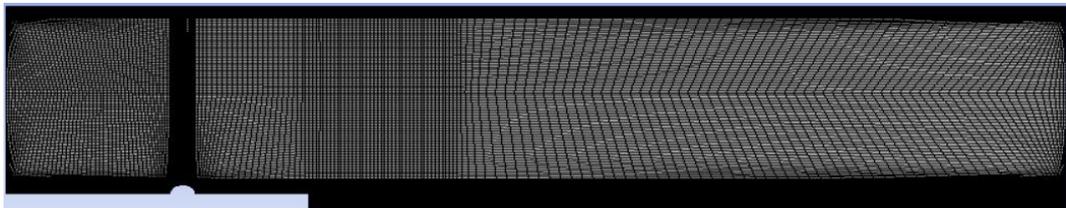
Berdasarkan hasil *grid independency test* maka dilakukan *grid mesh* untuk model numerik sesuai dengan kriteria mesh tipe C, sehingga didapatkan hasil yang ditampilkan pada tabel 2. Pada tabel ini menunjukkan nilai y^+ pada setiap variasi model simulasi dengan kisaran cell number yang disesuaikan dengan hasil *grid independency Test*. Dari gambar 3 ditampilkan visualisasi *grid mesh* untuk $I/h = 2$ dan 4, akan tetapi pada gambar 3a dan 3b terjadi distorsi pada visualisasi *grid mesh* sehingga garis yang muncul terlihat terputah-putah. *Grid mesh* pada bagian *bump* (setengah lingkaran) semakin diperhalus, hal ini dapat dilihat pada gambar 3c. hal yang sama juga dilakukan pada bagian downstream agar nilai yang didapatkan pada daerah tersebut lebih akurat.

Tabel 2. nilai y^+ pada tiap model.

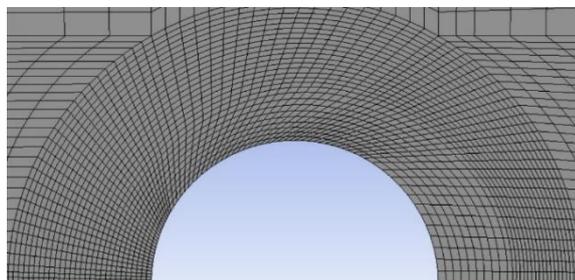
No.	Data	Near Wall Treatment	Jarak Bump	Y+
1	Realizable	Standard	2h	37,95
2	RNG	Standard	2h	38,01
3	Realizable	Standard	4h	38,80
4	RNG	Standard	4h	38,27



(a).



(b).



(c).

Gambar 3. Grid mesh pada model dengan bump (a), (b) dengan jarak I/h (2, 4) dan Perbesaran Mesh model pada bump (c). (tampilan gambar terdistorsi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapat pada penelitian berupa perbandingan grafik C_p , tabel pengaruh bump pada posisi *reattachment length*, serta perbandingan model turbulen terhadap nilai C_p pada masing-masing model turbulen.

Pengaruh Bump Pada Posisi *Reattachment Length* (L_R)

Posisi *reattachment length* memiliki pengaruh yang penting untuk menentukan model turbulen. Cara pengambilan data untuk posisi *reattachment length* dapat dilihat pada gambar 4. Berdasarkan petunjuk cara pengambilan data untuk *reattachment length* maka

Studi Numerik Backward –Facing Step Flow..... Nur Fatowil, dkk
 didapatkan data yang dapat dilihat pada tabel 3 (dengan bump) dan 4 (tanpa bump) di
 bawah ini.

Tabel 3. Tabel model tanpa bump dengan posisi *reattachment length*.

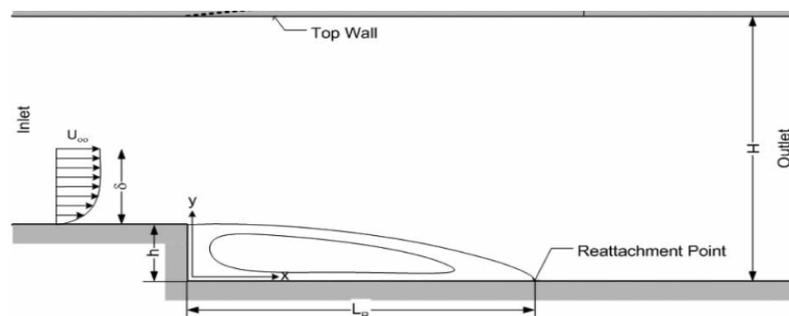
Model (tanpa bump)	Near Wall Treatment	LR/h	Median
RNG	Standard	5,7 - 5,9	5,8
Realizable	Standard	5,7 - 5,9	5,8

Tabel 4. Variasi jarak bump dengan variasi model turbulen K-epsilon

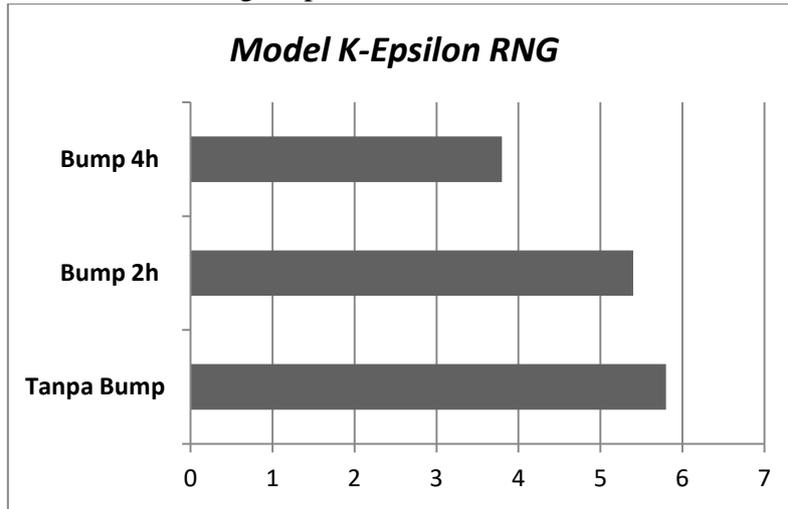
No.	Data	Near Wall Treatment	Jarak Bump	Y+	LR/h	Median LR/h	Persentase selisih LR/h (%) terhadap tanpa bump
1	RNG	Standard	2h	38,01	5,3 - 5,5	5,4	6,90
2	RNG	Standard	4h	38,27	3,7 - 3,9	3,8	34,48
3	Realizable	Standard	2h	37,95	5,0 - 5,3	5,25	9,48
4	Realizable	Standard	4h	38,8	3,4 - 3,6	3,5	39,66

Berdasarkan data pada tabel 3 dan 4 maka diambil beberapa kesimpulan yaitu:

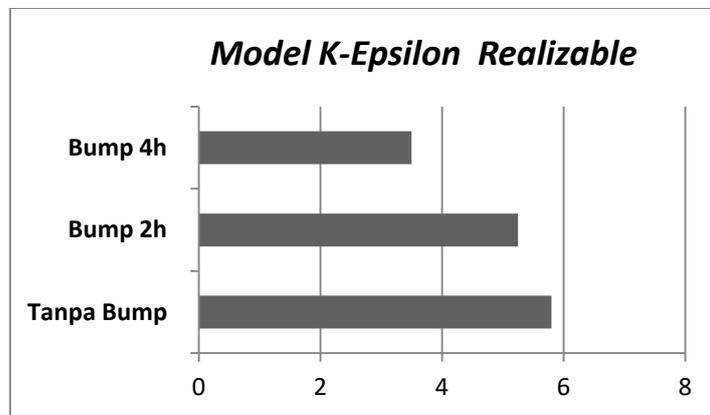
- Adanya bump maka nilai *reattachment length* akan semakin pendek, hal ini dapat dilihat dari nilai L_R/h untuk tabel 4 (adanya *bump*) lebih rendah dari seluruh data pada tabel 3 (tanpa *bump*).
- Semakin besar jarak *bump* (I) maka posisi *reattachment length* akan semakin pendek hal ini dapat dilihat pada tabel 4, yaitu untuk posisi *reattachment length* pada nilai $I/h = 4$ akan lebih pendek dari pada $I/h = 2$. (detail dapat dilihat pada gambar 5).
- Model Turbulen *K-epsilon Realizable* memiliki nilai *reattachment length* yang lebih pendek jika dibandingkan dengan hasil *K-epsilon RNG* pada semua model.



Gambar 4. Contoh penempatan reattachment point.



(a)



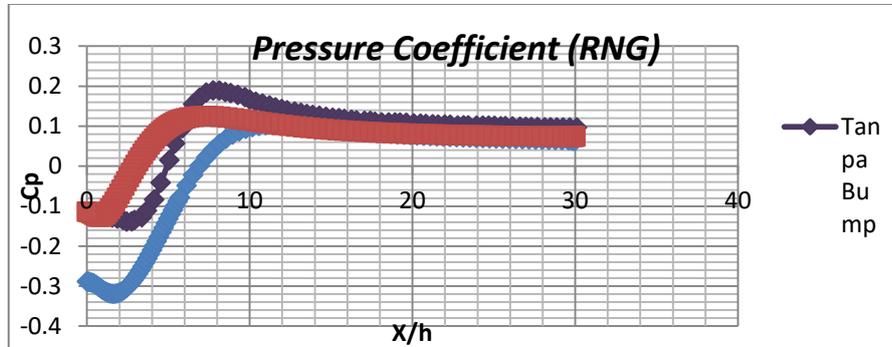
(b)

Gambar 5. Perbandingan posisi reattachment length pada model simulasi (a) RNG K-epsilon (b) Realizable K-epsilon.

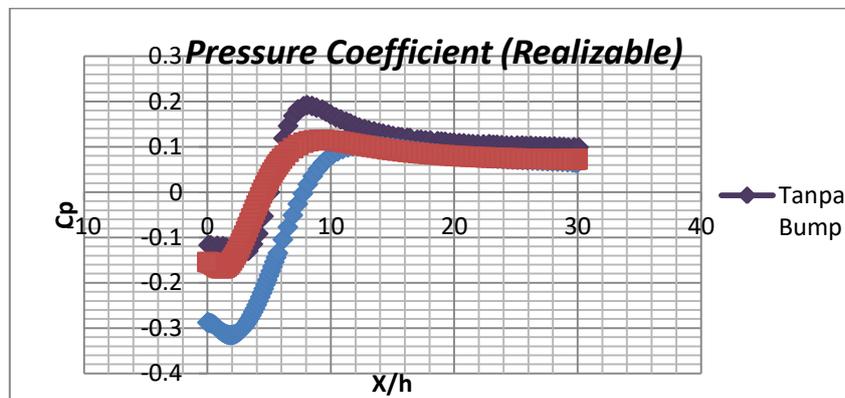
Pengaruh Adanya Bump Terhadap Grafik C_p

Besarnya nilai C_p itu bergantung pada posisi *reattachment length*, dimana posisi *reattachment length* juga terpengaruhi karena adanya bump (setengah lingkaran). Sehingga berdasarkan hasil yang didapat pada poin bab 3.2, maka penambahan bump (setengah lingkaran) dapat menyebabkan berkurangnya nilai C_p . Hasil pengukuran C_p untuk *standard wall function* dapat dilihat pada gambar 6. Pada gambar 6 tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pada posisi $X/h < 15$ untuk model turbulent RNG maupun RKE dengan $I = 2h$ memiliki hasil C_p rata-rata yang paling rendah apabila dibandingkan dengan model bump $I = 4h$ dan tanpa bump. Sedangkan pada posisi $X/h < 15$ untuk ke-2 model turbulent dengan model tanpa bump didapatkan hasil C_p rata-rata yang paling besar apabila dibandingkan dengan model yang menggunakan bump.

Walaupun begitu pada gambar 6 untuk $X/h > 15$ pada model turbulente RNG maupun RKE memiliki hasil C_p rata-rata yang hampir sama untuk model dengan bump ($I = 2h$ dan $I = 4h$), sedangkan dapat dilihat bahwa nilai C_p untuk model tanpa bump memiliki nilai yang lebih tinggi daripada model dengan bump pada posisi tersebut.



a. Grafik C_p K-Epsilon RNG



b. Grafik C_p K-Epsilon Realizable.

Gambar 6. Hasil Grafik C_p (a). K-Epsilon RNG (b). K-Epsilon Realizable

Berdasarkan analisa hasil pada gambar 6 dan 7 maka didapatkan kesimpulan yang sama mengenai nilai pada grafik C_p , dalam hal ini ternyata metode *wall treatment non equilibrium* dengan *standard wall function* memiliki hasil yang serupa mengenai distribusi besaran C_p baik dalam model turbulente RNG maupun *realizable k-epsilon*.

SIMPULAN

- Hasil kuantitatif pada grafik C_p , l/h dan y^+ menunjukkan adanya kesesuaian fisis terhadap studi yang dilakukan oleh kim dkk. Penambahan bump pada model *Backward-facing step* menunjukkan terjadinya interaksi aliran fluida dan pada hasil penelitian ini didapatkan bahwa model turbulente *k-epsilon realizable* mempunyai posisi *reattachment length* yang lebih pendek.

Studi Numerik Backward –Facing Step Flow..... Nur Fatowil, dkk

- *Reattachment length* memiliki pengaruh yang penting untuk menentukan aliran turbulen, juga dapat mempengaruhi besarnya *drag* yang akan muncul. Hal ini dikarenakan semakin jauhnya posisi *reattachment length* maka *vortex* yang terbentuk akan semakin besar dan menyebabkan semakin besarnya *drag*.
- Dengan adanya tambahan bump setengah lingkaran maka posisi *reattachment length* akan semakin pendek apabila dibandingkan dengan hasil posisi *reattachment length* tanpa bump. Hal ini dapat dimodifikasikan lebih lanjut dengan pemberian *mixing length (I)* pada *bump* yang dapat menyebabkan posisi *reattachment length* menjadi semakin pendek.
- Besarnya nilai C_p itu bergantung pada posisi *reattachment length*. Pada hasil simulasi didapatkan nilai C_p tanpa bump lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai C_p dengan bump dalam hal ini setengah lingkaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Armaly, B.F., Durst, F., Pereira, J.C.F., Schonung, B., 1983. Experimental and theoretical investigation of backwardfacing step flow. *J. Fluid Mech.* 127, 473–496.
- [2] Kaiktsis, L., Karniadakis, G.E., Orszag, S.A., 1991. Onset of three-dimensionality, equilibria, and early transition in flow over a backward-facing step. *J. Fluid Mech.* 231, 501–528.
- [3] Barkley, D., Gabriela, M., Gomes, M., Henderson, R.D., 2002. Threedimensional instability in flow over a backward-facing step. *J. Fluid Mech.* 473, 167–190.
- [4] Schäfer, F., Breuer, M., Durst, F., 2009. The dynamics of the transitional flow over a backward-facing step. *J. Fluid Mech.* 623, 85–119.
- [5] Yakhshi-Tafti, E., Cho, H.J., Kumar, R., 2011. Backward-facing step flow in microchannels using microparticle image velocimetry. *J. Thermophys. Heat Transf.* 25, 96–103.
- [6] Haque A.U., Ahamad F., Yamada S., Chaudhry S.R, (2007), “Assessment of Turbulence Models for Turbulent Flow Over Backward Facing Step”. Proceedings of the World Congress on Engineering 2007 Vol II WCE, London, U.K.
- [7] Kim, J. Y., Ghajar, A. J., Tang, C., & Foutch, G. L. (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.