

Simulasi Numerik pada *Backward-Facing Step Flow* dengan Menggunakan *Near Wall Treatment Methods* dan Model *Viscous k-ε*

Rizal Mahmud¹ dan Iis Rohmawati²

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

²University of Hiroshima²

E-mail: rizal@itats.ac.id

ABSTRACT

This study compares the results of numerical simulations with experimental data from Driver and Seegmiller [1]. The near-wall treatment method will be compared using different turbulence models for flows across the backward-facing step. This study uses a 2D solver and steady-state with turbulent flow k-ε. Standard wall functions, non-equilibrium wall functions and enhanced wall treatment with turbulence models k-ε standard, k-ε RNG, and k-ε Reliazable were selected in this study. The results show that the Reliazable k-ε viscous model shows the better trendline for predicting pressure coefficient with a combination of enhanced wall treatment. This prediction indicates that the appropriate combination of turbulence and near-wall treatment models is needed in order to obtain give reliable results.

Keywords: *backward-facing step, k-ε standard models, wall functions*

ABSTRAK

Penelitian ini, membandingkan hasil simulasi numerik dengan data eksperimen dari Driver and Seegmiller [1]. Metode *near-wall treatment* akan dibandingkan dengan menggunakan model turbulensi yang berbeda pada *flow* yang melintasi *backward-facing step*. Penelitian ini menggunakan solver 2D, *steady-state*, dengan *turbulent flow k-ε*. *Standard wall functions, non-equilibrium wall functions* dan *enhanced wall treatment* dengan model turbulensi *k-ε standard, k-ε RNG* dan *k-ε Reliazable* dipilih dalam penelitian ini. Hasilnya menunjukkan bahwa model *viscous k-ε Reliazable* memperlihatkan hasil yang paling baik untuk memprediksi *pressure coefficient* dengan kombinasi *enhanced wall treatment*. Prediksi ini menunjukkan diperlukan kombinasi model turbulensi dan *near-wall treatment* yang tepat agar mendapatkan hasil yang mendekati dengan data eksperimen.

Kata kunci: *backward-facing step, k-ε standard models, wall functions*

PENDAHULUAN

Backward-facing step adalah salah satu geometri terpopuler yang digunakan untuk mengevaluasi model turbulensi pada aliran terseparasi. Banyak penelitian yang membandingkan prediksi model turbulensi dengan data penelitian dari Driver and Seegmiller, seperti yang telah dilakukan oleh Kim dkk [2]. Akurasi prediksi lokasi *reattachment* dari *flow* digunakan sebagai metode untuk mengevaluasi *performance* dari *turbulence models*. Simulasi menggunakan OpenFoam untuk mengidentifikasi *turbulent flow over a backward facing step* telah dilakukan oleh Al-Jelawi [3]. Selain itu, Chen, dkk [4] telah mereview mekanisme secara lengkap terkait heat transfer, dan control mengenai *Backward-facing step flow*.

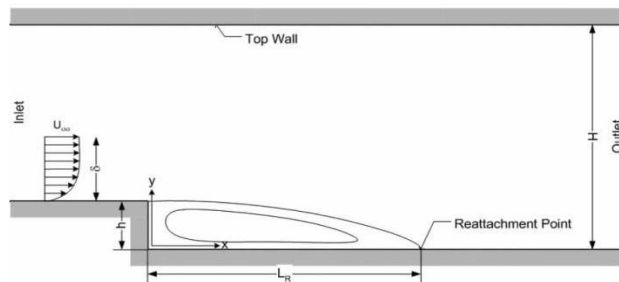
Backward-facing step dengan *wall-bounded turbulent flow* sering diaplikasikan, seperti pada pipa, *channel*, sayap dan body pesawat dan kapal. Tetapi, mengabaikan *magnitude flow Reynnolds Number (Re)* jauh dari *wall*, *wall bounded flow* dipengaruhi oleh beberapa kondisi seperti *no-slip* pada *wall*, *viscous damping* pada *velocity* tangensial, *kinematic blocking* pada *normal fluctuations*, gradien yang besar pada *mean velocity* dekat dengan *wall* dan separasi aliran. Oleh karena itu untuk memprediksi *wall-bounded turbulent flow* dengan sukses, *near-wall treatment method* harus dievaluasi dengan hati-hati.

Pada penelitian ini, penulis fokus pada *performance near-wall treatment methods* yang telah tersedia pada *Computational Fluid Dynamics*. Model *viscous* yang digunakan adalah *k-ε Standard (SKE)*, *k-ε RNG (RNG)* dan *k-ε realizable (RKE)* [5].

METODE

Pada penelitian *backward-facing step* ini, penulis menggunakan *software Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation*. Penelitian ini menggunakan solver 2D, *steady-state*, dengan *turbulent flow k-ε*. Variasinya berupa *near-wall treatment* yang telah ada pada *k-ε* model yaitu *standard wall functions*, *non-equilibrium wall functions* dan *enhanced wall treatment*. *Reynolds Number* yang digunakan sekitar 38.000 ($U \propto 44,2$ m/s) berdasarkan *step height* dan *mean stream velocity*. Metode *near wall treatment* ini cukup kritis untuk memprediksi aliran *wall-bounded*.

Gambar 1 berikut ini menunjukkan geometri *backward facing step* dan konfigurasi alirannya. Pengujian Driver and Seegmiller [1] menggunakan *tunnel* besar dan lebar dengan *step-height ratio* 12 untuk meminimalkan pengaruh daerah separasi 3D dan *small expansion ratio* [$(h_{\text{duct}} + h)/h_{\text{duct}} = 1.125$] untuk meminimalkan *free stream pressure gradient* yang berekspansi secara tiba-tiba. Eksperimen dilakukan pada *tunnel floor* dengan kecepatan rendah dimana komponen *z-velocity* diminimalkan. Sehingga data mereka bisa dibandingkan dengan model komputasi 2D. Driver and Seegmiller [1] menyajikan data eksperimen berupa C_p (*Pressure Coefficient*) dan C_f (*Skin Friction Coefficient*). Ketidakpastian C_p sekitar ± 0.009 (dengan 95% *confidence limits*) dan ketidakpastian pada C_f sekitar $\pm 8\%$ untuk 95% *confidence level* dan 15% pada daerah separasi.



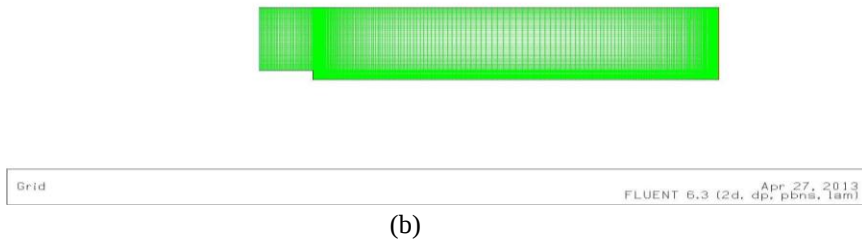
Gambar 1. Geometri *backward facing step* dan konfigurasi alirannya [2]

Pada penelitian ini, *computation domain* dimulai dari inlet yang terletak di *upstream* $4.0h$ ($h = 0.0127$ m) dari step. *Outlet boundary* diletakkan pada *downstream* $30h$ dari step. Ketinggian *upstream* yaitu $8h$. *Reynolds Number* berdasarkan pada *step height* dan *free stream velocity* sekitar 38.000.

Inlet boundary conditions yang digunakan adalah *velocity inlet*. Profil diasumsikan pada *fully developed conditions*. Sedangkan *outlet boundary conditions* yang digunakan adalah *outflow*. *Wall boundary conditions* diasumsikan *no-slip conditions* dan *smooth wall conditions*. *Flow* diasumsikan *incompressible*. *Meshing* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



(a)



Gambar 2. Mesh pada (a). Wall Functions dan (b). Two Layer Model

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grid Independence Analysis

Grid Independence Analysis ini digunakan untuk menentukan model *meshing* yang terbaik yaitu dengan cara menghitung *error* dari tiap-tiap model *meshing*. Pada bahasan ini menggunakan 3 model *meshing* yaitu *mesh A*, *mesh B* dan *mesh C*. Berikut adalah tabel *error pressure coefficient* dan *skin friction* dari masing-masing model *mesh* terhadap eksperimental Driver & Seegmiller [1].

Dari Tabel 1 di atas terlihat bahwa *mesh B* mempunyai *error* yang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan *mesh C*. Sedangkan pada *mesh A*, *error* pada *pressure coefficient* lebih besar dari *mesh B*. Maka dipilihlah *mesh B* sebagai *mesh* terbaik diantara ketiga variasi *meshing* tersebut.

Tabel 2 menunjukkan *grid independency meshing* dengan model *two layer model*. Terlihat bahwa *error* yang diperoleh pada *mesh B* tidak terlalu jauh dengan *mesh C*. Sehingga untuk langkah selanjutnya akan menggunakan *mesh B* untuk *enhanced wall treatment*.

Tabel 1. Grid Independence Analysis untuk Wall Functions

Eksperimental	Number of Cell	Pressure Coefficient		Skin Friction	
		0,135541		1,89738	
		Numerik	Error	Numerik	Error
Mesh A	6.200	0,147029	0,084757	1.31815	0.30528
Mesh B	9.200	0,145391	0,072672	1.31442	0.30724
Mesh C	13.160	0,156183	0,152293	1.39354	0.26555

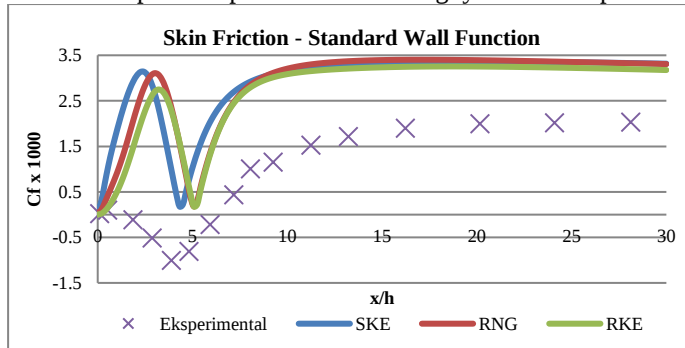
Tabel 2. Grid Independence Analysis untuk Enhanced Wall Treatment

Eksperimental	Number of Cell	Pressure Coefficient		Skin Friction	
		0,134		1,8745	
		Numerik	Error	Numerik	Error
Mesh A	15.400	0,423023	2,156888	2,28137	0,217055
Mesh B	16.000	0,749627	0,821244	2,57149	0,271045
Mesh C	19.900	0,606294	0,778985	2,9434	0,363151

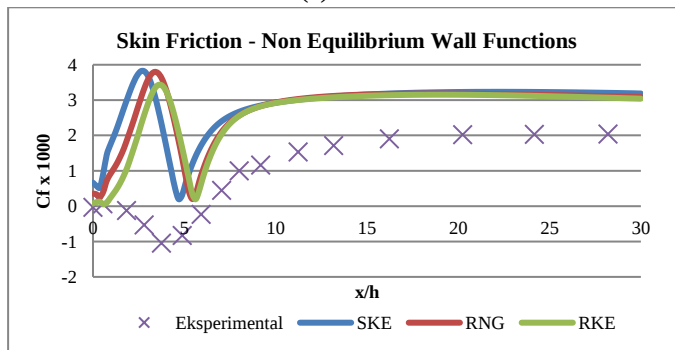
Skin friction dan pressure coefficient

Gambar 3 dan 4 menunjukkan perbandingan *skin-friction* (C_f) dan *static pressure coefficient* (C_p). Gambar 3 tersebut membandingkan data prediksi *skin friction*, C_f , pada *bottom wall* dengan data yang diperoleh dari eksperimen. Terlihat bahwa data yang diperoleh dari simulasi *over predicted* dari data dari eksperimen. Gambar 3 (a) menunjukkan *skin friction* pada *standard wall functions*,

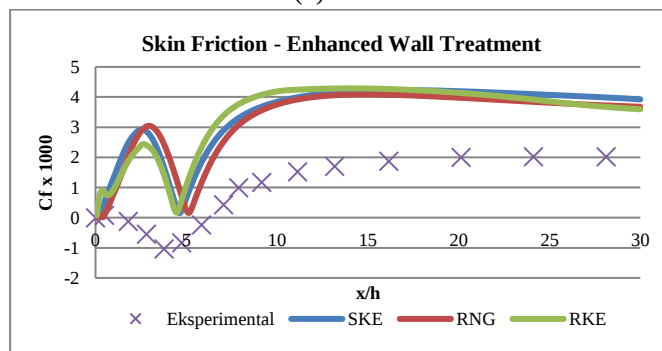
Gambar 3 (b) adalah *skin friction* pada *non-equilibrium wall functions*. Gambar 3 (c) adalah *skin friction* pada *enhanced wall treatment*. Ketiga grafik di atas adalah grafik pada *lower wall 2* (wall bagian bawah yang terletak setelah *step height*). Dari grafik tersebut ada perbedaan pola grafik antara eksperimen Driver & Seegmiller [1] dengan hasil simulasi. Perbedaan pola ini bisa disebabkan karena keterbatasan alat ukur pada eksperimen atau kurangnya ketelitian pada saat *meshing*.



(a)



(b)



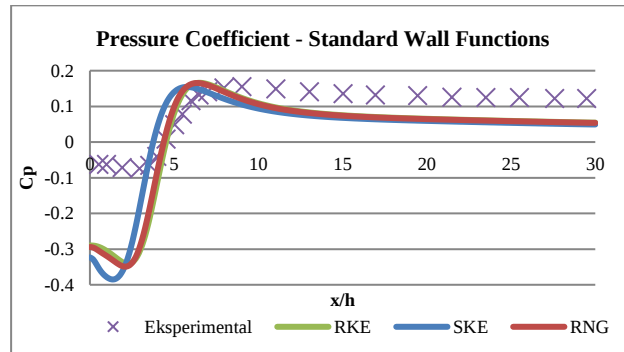
(c)

Gambar 3. *Skin Friction* pada (a). *Standard Wall Functions*, (b). dan *Non-Equilibrium Wall Functions*, dan (c). *Enhanced Wall Treatment*

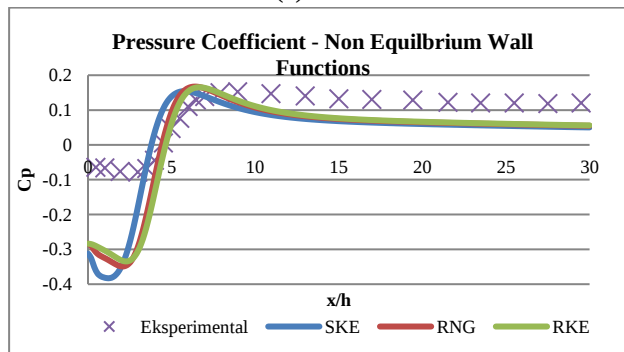
Pada Gambar 4 di bawah ini merupakan perbandingan antara nilai *pressure coefficient* hasil simulasi dengan data experiment dari Driver & Seegmiller [1]. Dari data tersebut terlihat bahwa hasil simulasi memiliki tren yang hampir mendekati dengan data eksperimen.

Gambar 4 (a), *pressure coefficient* untuk *standard wall functions*, 4 (b) merupakan grafik *pressure coefficient* untuk *non-equilibrium wall functions* dan Gambar 4 (c) merupakan grafik *pressure coefficient* pada *enhanced wall treatment*. Dari ketiga grafik tersebut terlihat bahwa, pada *enhanced wall treatment* lebih mendekati data eksperimental pada model *viscous k-ε reliable*. Hal ini disebabkan karena sifat aliran pada model *k-ε realizable* lebih akurat untuk memprediksikan laju penyebaran fluida.

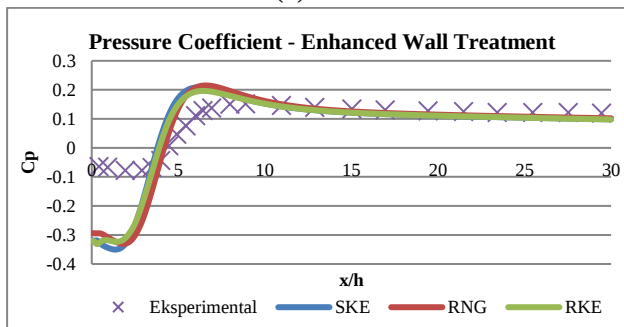
Dari ketiga *wall functions* ini jelas terlihat bahwa kombinasi penggunaan model *viscous* dengan *wall functions* yang tepat akan mempengaruhi keakuratan hasil yang diperoleh.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. *Pressure Coefficient* pada (a). *Standard Wall Functions*, (b). *Non-Equilibrium Wall Functions*, dan (c). *Non-Equilibrium Wall Functions*.

KESIMPULAN

Penelitian ini digunakan untuk validasi *study range* pada *near-wall treatment methods* dan model turbulensi untuk *backward-facing step flow*. Model turbulensi yang digunakan yaitu *k-ε standard*, *k-ε RNG*, *k-ε reliable* dengan variasi *standard wall functions*, *non-equilibrium wall functions* dan *enhanced wall treatment*. Hasil simulasi ini dipengaruhi oleh kombinasi *near wall treatment methods* dan model turbulensi yang digunakan. Pada penelitian ini, model *viscous k-ε reliable* menunjukkan hasil yang paling baik untuk memprediksi *pressure coefficient* dengan kombinasi *enhanced wall treatment*. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk memperoleh prediksi yang akurat untuk semua aliran pada *backward-facing step*, harus menggunakan kombinasi *near-wall treatment methods* dan model turbulensi yang tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Dr. Wawan Aries Widodo, ST. MT. yang telah memberikan banyak masukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Driver and Seegmiller. 1985. “Features of Reattaching Turbulent Shear Layer in Divergent Channel Flow”. NASA Ames Research Center, Callifornia. 1985.
- [2] J Y Kim et al., “c”. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 19:7, 493-500, 2005.
- [3] Al-Jelawy at al, “A Computational Investigation of a Turbulent Flow over a Backward Facing Step with OpenFOAM.” 2016 9th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), 301-307, (2016).
- [4] L Chen et al, “A review of Backward-Facing Step (BFS) flow mechanisms, heat transfer and control”, *Thermal Science and Engineering Progress*, Vol. 6, Pages 194-216, 2018.
- [5] FLUENT, Inc., “FLUENT 6.1 User’s Guide”, (Lebanon: NH). 2003.