

Visualisasi Aliran Turbulen yang Melintasi *Vertical Forward Facing Step* Melalui Pendekatan CFD

Luthfi Hakim

Program Studi Teknik Mesin

Universitas Islam Majapahit, Mojokerto Jawa Timur,

hakimunim@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini, visualisasi aliran yang melintasi *vertical forward facing step* akan diteliti melalui pendekatan secara simulasi. Simulasi dilakukan untuk melihat pengaruh bilangan *Reynolds* terhadap karakteristik aliran yang melintasi *Vertical Forward Facing Step* secara 2D. Kecepatan udara yang masuk melalui *upstream* ditentukan sebesar 1 ms^{-1} dan 10 ms^{-1} dengan tiga model *viscous* yaitu: (1) *Spalart-allmaras* (2) *k-epsilon standard* (3) *k-omega standard*. Hasil simulasi menunjukkan perbedaan bentuk profil kecepatan antara 3 model turbulensi yang digunakan, terutama terlihat pada posisi $x/H=3$ dan $x/H=3$ dan melalui profil kecepatan. Hasil yang mendekati antara model turbulensi *k-epsilon standard* dengan *k-omega standard* namun berbeda dengan model turbulensi *Spalart-allmaras*.

Kata kunci: CFD, Forward Facing Step, Model Turbulensi

Abstrak

In this study, visualization of the flow across the forward facing step will be investigated through a simulation approach. Simulations were carried out to see the effect of the Reynolds number on the flow characteristics across the Vertical Forward Facing Step in 2D. Air velocity entering through the upstream is determined at 1 ms^{-1} and 10 ms^{-1} with three viscous models, namely: (1) Spalart-allmaras (2) k-epsilon standard (3) k-omega standard. The simulation results show that the shape of the velocity profile differs between the 3 turbulence models used, especially at positions $x/H=3$ and $x/H=3$ and the velocity magnitude contour. The results are close to the standard k-epsilon turbulence model and the standard k-omega but different from the Spalart-allmaras turbulence model.

Keywords: CFD, Forward Facing Step (FFS), Turbulence Model

PENDAHULUAN

Sparasi aliran dan reattachment dapat terjadi disebabkan karena adanya perubahan geometri yang tiba-tiba. Fenomena tersebut banyak terjadi diberbagai aplikasi teknik seperti dan industri, misalnya pada sistem perpipaan. Selama beberapa tahun terakhir, telah banyak penelitian telah dilakukan untuk menginvestigasi tentang

aliran turbulen yang melintasi *backward facing step* dan *forward facing step*. Berbagai fenomena yang terjadi diantaranya adalah fenomena aliran sekunder, *adverse and favorable pressure gradient*, *stremeline* kelengkungan akibat jari-jari, dan aliran sekunder yang terjadi pada berbagai model turbulensi yang digunakan. Meskipun telah banyak penelitian yang

telah dilakukan sebelumnya untuk melihat karakteristik aliran yang melintasi *backward facing step*[1]–[3] dengan bilangan Reynolds yang tinggi maupun bilangan Reynolds yang rendah seperti [4], masih sedikit penelitian yang membandingkan berbagai model turbulensi pada *forward facing step*. Penelitian tentang *forward facing step* telah dilakukan sebelumnya oleh [5] untuk menginvestigasi berbagai model turbulen k-epsilon standard dan *BSL Reynolds stress model* dengan membandingkan hasil *experiment*.

Aliran fluida yang melintasi FFS telah banyak dipelajari, baik secara eksperimen maupun secara numerik. Secara eksperimen seperti yang telah dilakukan oleh[6] dan secara numerik telah dilakukan oleh[7]–[10]. Secara numerik telah dilakukan oleh Zang et al. [7] untuk meprediksi panjang reattachment dengan menggunakan model k-epsilon standard aliran yang melintasi FFS pada bilangan *Reynolds* 50000. Hasil simulasi mampu memprediksi kecepatan rata-rata dan tekanan statis dan panjang reattachment kurang dari 15%. Begitu juga penelitian yang telah dilakukan oleh Gasset at al. [8] menggunakan model turbulen k-epsilon RNG untuk mensimulasikan aliran yang melintasi FFS pada bilangan *Reynolds* 50000.

Penelitian dilakukan untuk menginvestigasi karakteristik dari aliran udara yang melintasi FFS berupa profil kecepatan dan visualisasi aliran fluida. visualisasi aliran yang melintasi *vertical forward facing step* akan diteliti melalui pendekatan secara simulasi. Simulasi dilakukan untuk melihat pengaruh bilangan *Reynolds* terhadap karakteristik aliran yang melintasi *Vertical Forward Facing Step* secara 2D. Kecepatan udara yang masuk melalui *upstream* ditentukan sebesar 1 ms^{-1} dan 10 ms^{-1} dengan tiga model *viscous* yaitu: (1) *Spalart-allmaras* (2) *k-epsilon standard* (3) *k-omega standard*.

TINJAUAN PUSTAKA

Aliran udara yang melintasi FFS mengikuti persamaan berikut. Aliran udara kontinu dimodelkan dengan rata-rata persamaan Navier-Stokes terhadap waktu. Bentuk umum persamaannya mengandung konservasi massa, momentum, dan energi.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\phi)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w\phi)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + S_{p\phi} + S_{\phi} \quad (2.6)$$

Dimana:

$\rho = \text{density}$

$\phi = \text{universal variable}$

$u, v, \text{ dan } w =$

velocity component in the x, y and z

$\Gamma_{\phi} =$

universal transport coefficient

$S_{\phi} = \text{internal Source term}$

$S_{p\phi} = \text{external source term}$

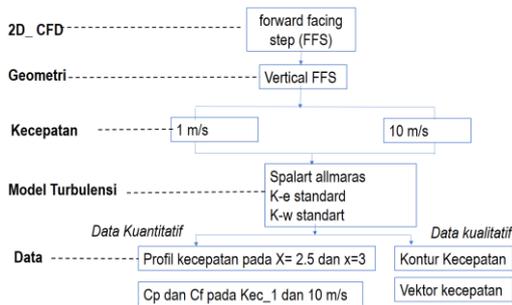
Aliran fluida udara yang melintasi suatu saluran bias disebut sebagai aliran laminar atau turbulen dapat diidentifikasi dari bilangan *Reynoldsnya*. Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tidak berdimensi yang menggambarkan besarnya kecepatan fluida baik udara maupun fluida air. Semakin besar bilangan *Reynolds*, maka semakin besar aliran turbulen yang terbentuk. Bentuk persamaan bilangan *Reynolds* adalah sebagai berikut.

METODOLOGI PENELITIAN

Simulasi Numerik

Metode penelitian yang digunakan adalah metode simulasi numerik dengan bantuan *software* CFD komersial, dengan tahapan pembuatan domain simulasi, Grid independensi dan penentuan *Boundary Condition*, kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi data hasil simulasi melai *post-processing*.

Kerangka penelitian secara simulasi terangkum pada Gambar 1. sebagai berikut.

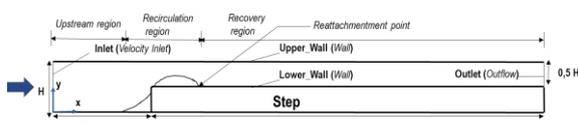


Gambar 1. Kerangka penelitian

Gambar 1. Mengilustrasikan kerangka penelitian yang telah dilakukan. Simulasi dilakukan secara 2D dalam keadaan *steady*.

Domain Simulasi dan Boundary Condition

Domain simulasi dari geometri *Forward Facing Step* terlihat pada gambar 2. Sebagai berikut.



Gambar 2. Domain Simulasi

Gambar 2 menjelaskan tentang doamian simulasi atau geometri dari FFS. Arah aliran sejajar atau searah koordinar x, sedangkan koordinat ya normal terhadap dinding. Seperti yang telah ditunjukkan pada gambar 2 (titik 0,0) terletak pada sisi bawah inlet. Secara umum medan aliran yang melintasi FFS dapat dibagi menjadi tiga regin, yaitu: (1) *upstream region*. (2) *recirculatin region*, (3) *recovery region*.

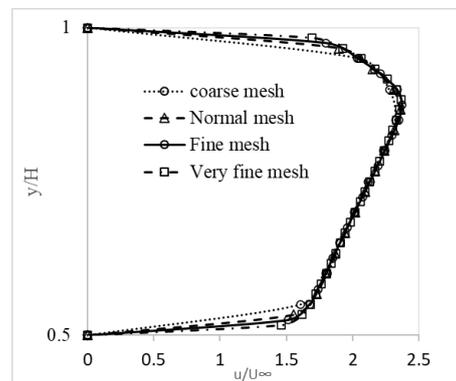
Kondisi Batas

Kondisi batas (*Boundary Condition*) geometri FFS. Pada sisi inlet (*Velocity inlet*) sedangkan pada Outle (*Outflow*). Doamain simulasi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: (1) daerah *upstream* (2) daerah *recirculation* dan (3) daerah

recovery. Dinding bagian atas/*upper wall* (*wall*) dan dinding bagian bawah/*lower wall* (*Wall*). Kecepatan pada inlet ditentukan sebesar 1m/s dan 10 m/s. fluida yang melintasi FFS merupakan fluida udara dengan densitas 1.225 kgm^{-3} dan viscositas fluida sebesar $1.7894\text{e-}05 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Grid Independensi Tes

Grid independensi tes dilakukan untuk untuk memastikan bahwa hasil simulasi numerik yang dihasilkan konsisten dan akurat. Metode ini dilakukan dengan cara menguji konsistensi hasil simulasi dengan menggunakan empat grid yang berbeda, yaitu *coarse meh* hingga *very fine mesh*. Pengujian tersebut di lakukan dengan cara membandingkan nilai profil kecepatan untuk *vertical facing steep* pada $x/H=7$. Seperti yang terlihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



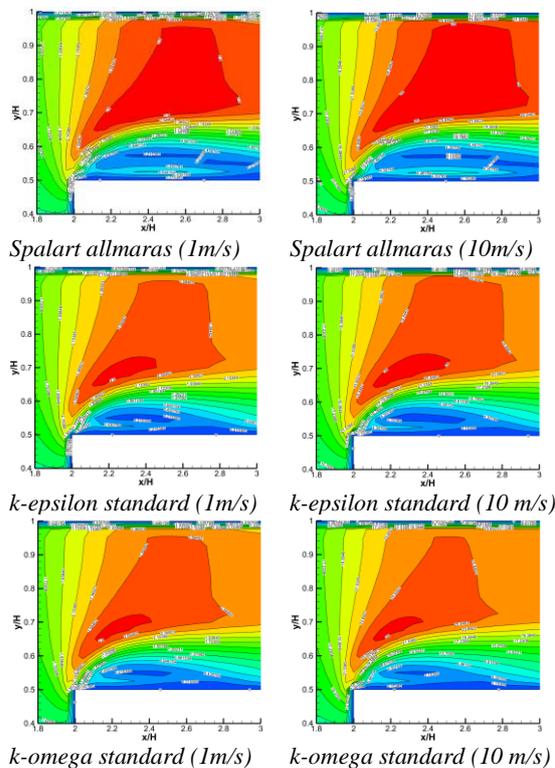
Gambar 3. Perbandingan profil kecepatan pada $x/H=7$ untuk masing-masing jenis mesh

Berdasarkan grid independensi yang telah dilakukan, maka pada penelitian ini jenis mesh fine yang akan dipilih untuk selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam meshing. Jumlah meshing yang digunakan adalah 600 cell. Profil tersebut sengaja diambil pada $x/H=7$ dengan tujuan sudah tidak terpengaruh lagi oleh step yang berada pada titik $x/H=2$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

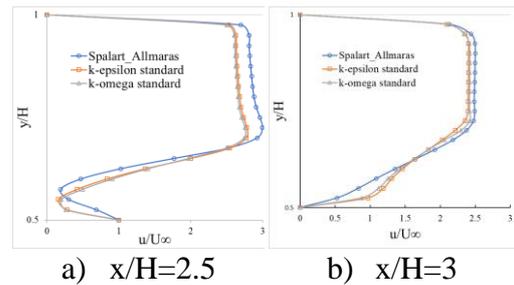
Visualisasi Profil kecepatan FFS

Gambar. 4 menunjukkan plot *velocity magnitude* dari berbagai model turbulensi untuk kecepatan inlet sebesar 1m/s dan 10 m/s. Area kecepatan tinggi ditunjukkan dengan degradasi warna merah sedangkan kecepatan rendah ditunjukkan dengan warna biru. Daerah kecepatan tinggi untuk model *Spalart allmaras* tampak lebih besar dibandingkan dengan dua model lainnya (*k-epsilon standard* dan *k-omega standard*). Begitu pula dengan daerah resirkulasi yang nampak lebih besar untuk model *Spalart allmaras*.



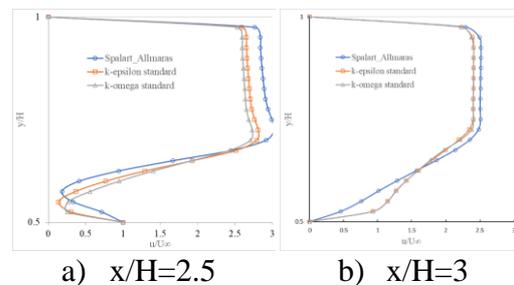
Gambar 4. Kontur *velocity magnitude*

Profil kecepatan diambil pada $x/H=2,5$ dan $x/H=3$ untuk masing-masing kecepatan. Kecepatan udara pada saat memasuki inlet yaitu 1 m/s dan 10 m/s. Berikut merupakan profil kecepatan pada setiap variasi model turbulensi yang digunakan untuk kecepatan 1 m/s. seperti yang terlihat pada gambar 5. Sebagai berikut.



a) $x/H=2.5$ b) $x/H=3$
 Gambar 5. Profil kecepatan untuk kecepatan inlet 10 m/s

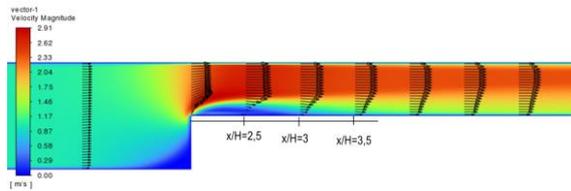
Pada gambar 5a) dan 5b) menunjukkan profil kecepatan yang diambil tepat pada sisi atas step. Terlihat pada gambar tersebut, ada perlambatan aliran dengan ditunjukkan bentuk profil kecepatan yang tidak simetris antara sisi bawa dengan sisi atas dari profil kecepatan. Ada kemiripan pada bentuk profil kecepatan antara model turbulensi *k-epsilon standard* dan *k-omega standard*. Hal tersebut berlaku pula untuk kecepatan inlet 10 m/s. Berikut merupakan profil kecepatan pada setiap variasi model turbulensi yang digunakan untuk kecepatan inlet 10 m/s. Seperti yang terlihat pada gambar



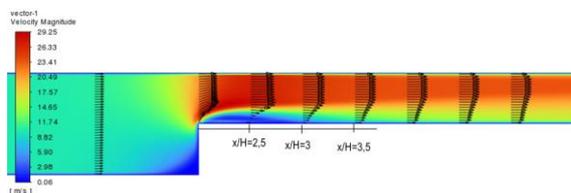
a) $x/H=2.5$ b) $x/H=3$
 Gambar 6. Profil kecepatan untuk kecepatan inlet 10 m/s

Secara kualitatif, gambar berikut menunjukkan *velocity magnitude* untuk masing – masing kecepatan inlet 1 m/s dan 10 m/s pada berbagai model turbulensi. Representasi besarnya kecepatan ditunjukkan oleh degradasi warna, warna biru mengindikasikan kecepatan rendah sedangkan warna merah mengindikasikan kecepatan tinggi. Gambar 7a) dan 7b) membandingkan *velocity magnitude* dari dua model turbulensi *k-epsilon standard*

dan *k-omega standard*. Verkor kecepatan yang ditunjukkan pada gambar tersebut memperlihatkan nilai kecepatan yang relatif mendekati 0 (pada step) hingga pada posisi $x/H=3,5$.



Gambar 7a) profil kecepatan pada variasi kecepatan inlet 1 m/s untuk model *k-epsilon standard*



Gambar 7b) profil kecepatan pada variasi kecepatan inlet 10 m/s *k-epsilon standard*.

KESIMPULAN

Aliran turbulen yang melintasi FFS diinvestigasi karakteristiknya dengan menggunakan tiga model turbulensi yang berbeda, yaitu: (1) *Spalart-allmaras* (2) *k-epsilon standard* (3) *k-omega standard*. Melalui profil kecepatan terlihat ada kemiripan bentuk profil kecepatan antara dua model turbulensi *k-epsilon standard* dan *k-omega standard*.

REFERENSI

[1] J. Y. Kim, A. J. Ghajar, C. Tang, and G. L. Foutch, “Comparison of near-wall treatment methods for high Reynolds number backward-facing step flow,” *Int. J. Comput. Fluid Dyn.*, vol. 19, no. 7, pp. 493–500, 2005, doi: 10.1080/10618560500502519.

[2] D. M. Driver and H. L.

Seegmiller, “Features of a reattaching turbulent shear layer in divergent channel flow,” *AIAA J.*, vol. 23, no. 2, pp. 163–171, 1985, doi: 10.2514/3.8890.

[3] H. Ronellenfitch and E. Katifori, “Phenotypes of Fluctuating Flow: Development of Distribution Networks in Biology and Trade-offs between Efficiency, Cost, and Resilience,” vol. 1707, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.28668.64646.

[4] M. Skovgaard and P. V Nielsen, “Numerical Investigation of Transitional Flow Over a Backward Facing Step Using a Low Reynolds Number,” *12th AIVC-Conference Air Mov. Control within Build.*, 1991.

[5] P. Araujo, A. L. Tenório Rezende, and F. Alcântara Soares, “Numerical Simulation of Turbulent Flow Over a Forward-Facing Step,” no. May, 2018, doi: 10.26678/abcm.cobem2017.cob17-0385.

[6] E. E. Essel, A. Nematollahi, E. W. Thacher, and M. F. Tachie, “Effects of upstream roughness and Reynolds number on separated and reattached turbulent flow,” *J. Turbul.*, vol. 16, no. 9, pp. 872–899, 2015, doi: 10.1080/14685248.2015.1033060.

[7] C. X. Zhang, “Numerical predictions of turbulent recirculating flows with a $\kappa\text{-}\epsilon$ model,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 51, no. 2, pp. 177–201, 1994, doi: 10.1016/0167-6105(94)90003-5.

[8] N. Gasset, G. J. Poitras, Y. Gagnon, and C. Brothers, “Study of atmospheric boundary layer flows over a coastal cliff,” *Wind Eng.*, vol. 29, no. 1, pp. 3–24, 2005, doi: 10.1260/0309524054353719.

- [9] Y. Addad, D. Laurence, C. Talotte, and M. C. Jacob, "Large eddy simulation of a forward-backward facing step for acoustic source identification," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 24, no. 4, pp. 562–571, 2003, doi: 10.1016/S0142-727X(03)00050-X.
- [10] H. Hattori and Y. Nagano, "Investigation of turbulent boundary layer over forward-facing step via direct numerical simulation," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 31, no. 3, pp. 284–294, 2010, doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2010.02.027.