

Analisis Numerik Aliran Fluida di Sekitar Silinder Sirkular dengan Menggunakan Diskritisasi Order yang Berbeda

Muhammad Hasan Albana

Batam Polytechnics

Mechanical Engineering Study Program

Parkway Street, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

E-mail: hasan@polibatam.ac.id

Abstrak

Aliran fluida di sekitar silinder sirkular merupakan salah satu masalah klasik dalam mekanika fluida. Pipa bawah laut dan tiang-tiang penyangga platform lepas pantai adalah contoh dari aplikasi silinder sirkular dimana cenderung menerima aliran dengan angka Reynolds yang tinggi. Jurnal ini menyajikan simulasi numerik aliran fluida pada sebuah silinder sirkular dengan angka Reynolds yang tinggi yaitu 2×10^6 , dua dimensi (2D), *steady Reynolds Average Navier Stokes* (RANS) menggunakan model turbulensi standar $k - \epsilon$ dan $k - \omega$ SST serta menggunakan diskritisasi order yang berbeda yaitu *first order upwind*, *second order upwind* dan *third order MUSCL*. Hasil simulasi yang diperoleh diperbandingkan dengan data eksperimen dan data simulasi numerik peneliti lain yang telah dipublikasi. Model turbulensi $k - \omega$ SST memperlihatkan hasil yang lebih akurat dalam menganalisa aliran fluida dibandingkan standar $k - \epsilon$. Penggunaan diskritisasi order yang berbeda pada penelitian ini memperlihatkan perbedaaan hasil yang tidak begitu signifikan.

Kata kunci: Aliran Fluida, Silinder Sirkular, *Computational Fluid Dynamics*

Abstract

Fluid flow around a circular cylinder is one of classical problems in fluid mechanics. Subsea pipeline and the pillars of offshore platform is an example from circular cylinder application. Many of these engineering applications are often subject to flow conditions correspondings to very high Reynolds number. The journal presents a numerical simulation of fluid flow around a two dimensional (2D) circular cylinder with high Reynolds number ($Re = 2 \times 10^6$), steady Reynolds Average Navier Stokes (RANS), standar $k - \epsilon$ SST and $k - \omega$ SST turbulence model as well as using different order discretization; first order upwind, second order upwind dan third order MUSCL. The results are compared with published experimental data and numerical results. The $k - \omega$ SST turbulence model are shown to be considerably more accurate than the standar $k - \epsilon$ results. The use of different discretization order on the results of this study showed that the differences are not so significant

Keywords : Fluids Flow, Circular Cylinder, *Computational Fluid Dynamics*

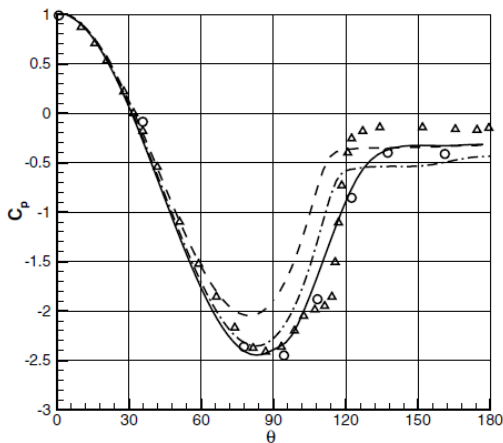
1. Pendahuluan

Analisis aliran yang melalui silinder sirkular merupakan salah satu masalah klasik dalam mekanika fluida yang sampai saat sekarang ini masih banyak dilakukan. Jaringan pipa bawah laut dan tiang penyangga platform lepas pantai adalah contoh aplikasi dari silinder sirkular ini. Silinder sirkular seperti pada pipa bawah laut maupun tiang-tiang penyangga platform lepas pantai tersebut kebanyakan menerima aliran fluida

dengan bilangan Reynolds yang sangat tinggi dengan nilai $O(10^6 - 10^7)$. Bilangan Reynolds (Re) didefinisikan sebagai $U_\infty D / \nu$, dimana U_∞ adalah kecepatan aliran fluida, D adalah diameter silinder dan ν adalah viskositas kinematik. Karakteristik tersebut termasuk rezim aliran (*flow regimes*) *supercritical* ($3,9 \times 10^5 < Re < 1,5 \times 10^6$) hingga *transcritical* ($Re > 4 \times 10^6$) [1]. Kondisi aliran dengan angka Reynolds yang sangat tinggi tersebut apabila dilakukan secara eksperimen maka akan sulit untuk dilakukan, membutuhkan biaya yang cukup

mahal, fasilitas eksperimen yang tepat serta *error* yang disebabkan oleh faktor manusia dan alat harus diminimalisir [1]. Salah satu alternatif yang bisa dilakukan untuk mengantisipasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memperoleh karakteristik hidrodinamika yang penting dalam melakukan desain *engineering*.

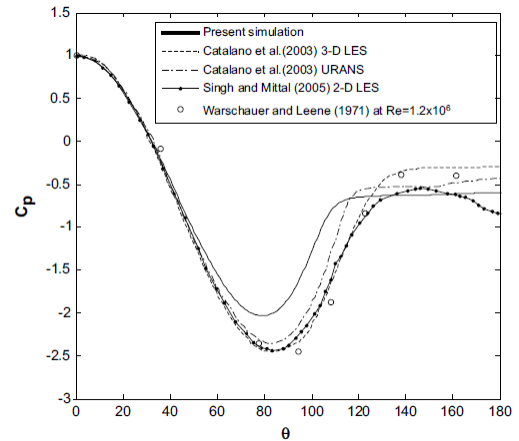
Catalano et al [2] melakukan penelitian mengenai aliran fluida pada silinder sirkular secara CFD dengan menggunakan model matematika *Large Eddy Simulation* (LES). Mereka membandingkan hasil simulasi dari penggunaan model matematika LES dengan *steady* dan *unsteady Reynolds-Average Navier-Stokes* (RANS) serta hasil eksperimen. Hasil penelitian yang mereka lakukan menunjukkan bahwa LES lebih akurat dalam menganalisis aliran fluida pada silinder sirkular dibandingkan RANS. LES secara akurat bisa memprediksi keterlambatan separasi *boundary layer* dan pengurangan *coefficient drag*. Hal ini konsisten dengan penelitian secara eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Distribusi tekanan rata-rata (*mean pressure distribution*) pada permukaan silinder dari penelitian yang dilakukan oleh Catalano et al [2] diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi Tekanan pada Silinder Sirkular. (—) LES pada $Re_D = 1 \times 10^6$; (- -) RANS pada $Re_D = 1 \times 10^6$; (· ·) URANS pada $Re_D = 1 \times 10^6$; (○) Eksperimen yang Dilakukan oleh Warschauer dan Leene (1971) pada $Re_D = 1,2 \times 10^6$; (Δ) Eksperimen oleh Falchsbart (pada Zdravkovich, 1997) pada $Re_D = 6,5 \times 10^5$ [2].

Ong et al [1] juga melakukan penelitian mengenai aliran yang melewati silinder sirkular dengan angka Reynolds 1×10^6 , 2×10^6 dan $3,6 \times 10^6$ secara numerik menggunakan persamaan dua dimensi (2D) Unsteady Reynolds Average Navier Stokes (URANS) dengan model turbulensi $k - \epsilon$. Ong et al [1] juga membandingkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan data eksperimen serta hasil simulasi numerik yang telah dilakukan peneliti lain. Walaupun model turbulensi $k - \epsilon$ diketahui menghasilkan data yang kurang akurat dalam memprediksi aliran dengan turbulensi yang sangat tinggi, simulasi yang dilakukan oleh Ong et al [1]

menunjukkan hasil yang berbeda. Model turbulensi $k - \epsilon$ yang mereka gunakan dalam menganalisis aliran fluida pada silinder sirkular menunjukkan hasil yang cukup memuaskan dalam artian memberikan hasil yang cukup akurat dalam menganalisis aliran pada wilayah *supercritical* dan *upper-transition*. Gambar 2 memperlihatkan *mean pressure distribution* dari penelitian yang dilakukan oleh Ong et al [1].

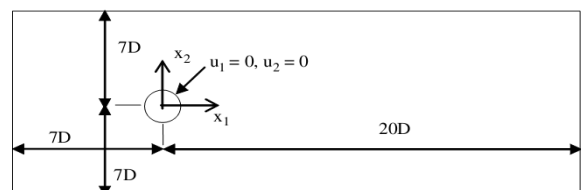


Gambar 2. Mean Pressure Distribution pada Silinder Sirkular dengan $Re_D = 1 \times 10^6$ [1].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan diskritisasi order pada CFD Fluent (*first order upwind*, *second order upwind* dan *third order MUSCL*) menggunakan model turbulensi *Standard k - ε* dan *k - ω SST* yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida pada silinder sirkular dengan bilangan Reynolds yang tinggi. Hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimen yang telah dipublikasikan.

2. Metode Numerik

Dalam melakukan analisis aliran fluida secara komputasional, faktor penting yang harus mendapat perhatian utama adalah mesh. Mesh sangat menentukan akurat atau tidaknya hasil simulasi yang telah dilakukan. Domain komputasi harus dipilih secara hati-hati dan cermat. Pada penelitian ini meshing dibuat dengan menggunakan program Gambit 2.4. *Computational Boundary* pada bagian *upstream* dan *downstream* adalah 7D dan 20D sedangkan pada bagian sisi *upper* dan *lower* adalah 7D. Domain komputasi dari penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.



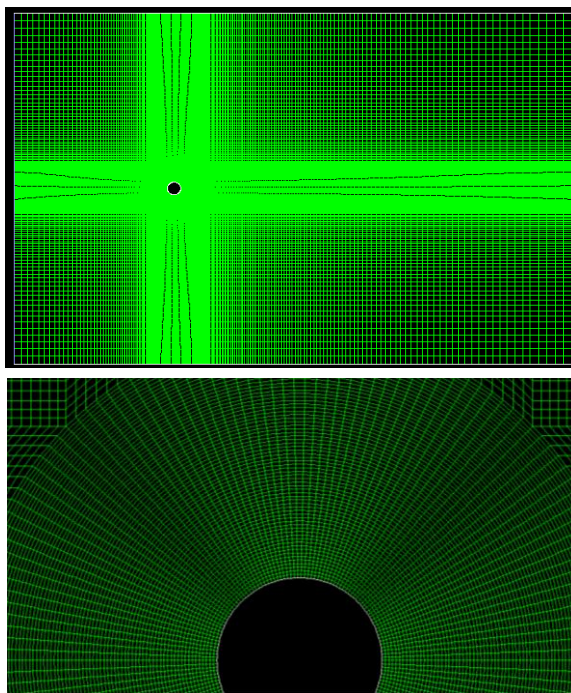
Gambar 3. Domain Komputasi

Untuk memperoleh hasil simulasi yang akurat maka meshing dilakukan dalam beberapa jenis, berdasarkan jumlah *nodes* dan *elements* sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Dari tabel 1 di bawah terlihat bahwa mesh 4 (42043 nodes) menghasilkan perubahan yang tidak signifikan dalam hal perubahan waktu rata-rata koefisien drag, oleh karena itu mesh 4 ini dipertimbangkan telah memberikan resolusi grid yang cukup. Gambar 4 memperlihatkan bentuk meshing yang dilakukan pada silinder sirkular.

Tabel 1. Rincian Elemen dan Mesh yang Digunakan serta Hasil Konvergensi

Mesh	Nodes	Elements	Cd
M1	4248	4012	0.5593
M2	20760	19874	0.4824
M3	32023	31457	0.3932
M4	42043	41600	0.3246

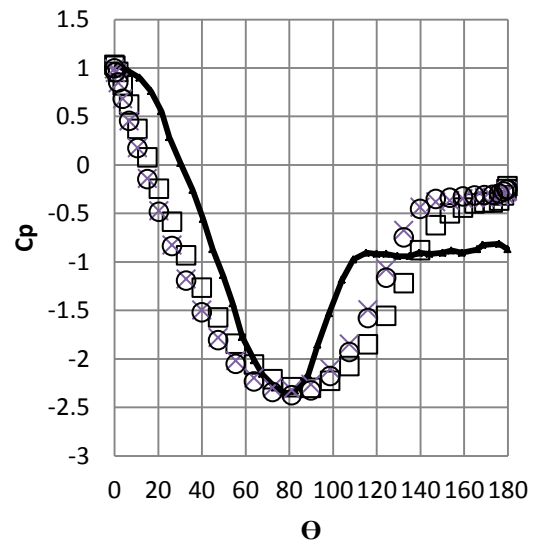
Simulasi dilakukan dengan kecepatan aliran dari bagian *upstream* hingga silinder adalah konstan yaitu pada kecepatan 30 m/s. Diameter silinder adalah 1 m. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program FLUENT versi 6.3, dua dimensi (2D) *steady*, *Reynolds Average Navier Stokes* (RANS). Model turbulensi yang digunakan yaitu *Standard k - ε* dan *k - ω SST* sedangkan diskritisasi order yang digunakan adalah *first order upwind*, *second order upwind* dan *third order MUSCL*.



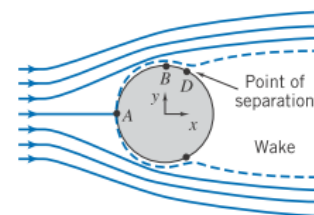
Gambar 4. Komputasi Mesh 4 dengan 42043 Nodes

3. Hasil dan Pembahasan

Ketika fluida melewati silinder sirkular dengan kecepatan tertentu (pada penelitian ini kecepatan aliran adalah 30 m/s), semakin dekat dengan permukaan *body* (silinder sirkular) maka kecepatan aliran fluida akan lebih rendah dibandingkan dengan aliran fluida pada jarak yang jauh dari *body* dan demikian juga sebaliknya. Untuk lebih jelasnya mengenai permasalahan ini bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Silinder Sirkular dengan Model Turbulensi Standar $k - \epsilon$, pada $Re = 2 \times 10^6$: (\square) *First Order Upwind*, (\circ) *Second Order Upwind*, (\times) *Third Order MUSCL*, (\blackrightarrow) Data Eksperimen Achenbach [3].



Gambar 6. Gambaran Kualitatif dari *Incompressible Flow* yang Melalui Sebuah Bola [4].

Titik A pada Gambar 6 di atas merupakan titik stagnasi atau *stagnation point* dimana kecepatan aliran fluida pada titik ini adalah 0. Ketika kecepatan aliran pada suatu titik rendah maka tekanan aliran pada titik tersebut akan tinggi. Demikian juga sebaliknya, ketika tekanan aliran pada suatu titik rendah maka kecepatan aliran pada titik tersebut akan tinggi. Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa pada titik stagnasi inilah yang menerima tekanan paling tinggi.

Apabila dinilai dari *pressure coefficient* (C_p) sebagaimana terlihat pada Gambar 5 maka titik stagnasi ini berada pada nilai $C_p = 1$. Koefisien tekanan

(*pressure coefficient*) adalah bilangan tidak berdimensi yang menjelaskan tekanan relatif pada aliran fluida ketika menyentuh sebuah *body* [5]. Secara matematika koefisien tekanan ditulis sebagai:

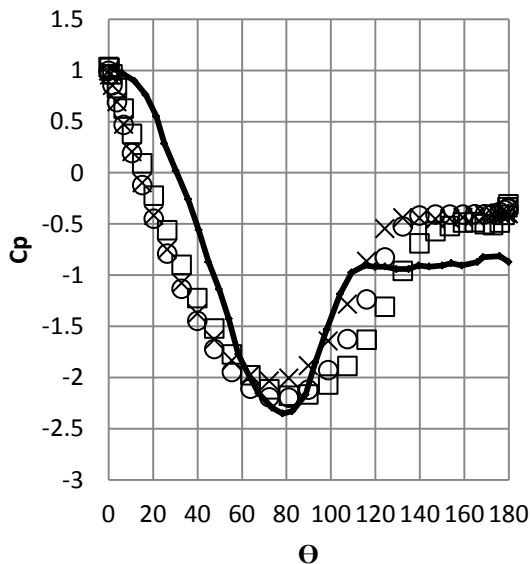
$$C_p = \frac{p - p_\infty}{q_\infty} \quad (1)$$

Apabila diturunkan lebih lanjut maka C_p dapat juga ditulis sebagai:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho_\infty v_\infty^2} \quad (2)$$

Dimana p adalah tekanan normal fluida pada permukaan *body*, p_∞ adalah *free stream pressure*, q_∞ adalah *dynamic pressure*, ρ_∞ adalah *free stream density* dan v_∞ adalah *free stream velocity*.

Pada gambar 5, nilai θ diukur searah jarum jam dari titik stagnasi. Pada gambar tersebut, model turbulensi standar $k - \epsilon$ digunakan untuk memprediksi aliran pada silinder sirkular. Di sini terlihat sedikit ketidaksesuaian antara simulasi numerik yang dilakukan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Achenbach [3], baik ketika menggunakan diskritisasi order *first order upwind*, *second order upwind* maupun *third order MUSCL*.



Gambar 6. Distribusi Tekanan pada Silinder Sirkular dengan Model Turbulensi $k - \omega$ SST, pada $Re = 2 \times 10^6$: (□) *First Order Upwind*, (○) *Second Order Upwind*, (X) *Third Order MUSCL*, (—) Data Eksperimen Achenbach [3].

Gambar 6 memperlihatkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular menggunakan model turbulensi $k - \omega$ SST. Dengan melihat gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa model turbulensi $k - \omega$

SST secara umum lebih mendekati hasil eksperimen yang dilakukan oleh Achenbach [3] dibandingkan dengan model turbulensi standar $k - \epsilon$ walaupun ketidaksesuaian masih terjadi. Hal ini sesuai dengan kesimpulan yang diambil oleh Ong et al [1] bahwa model turbulensi $k - \epsilon$ secara umum kurang memberikan prediksi yang memuaskan untuk *Unsteady Reynolds Average Navier Stokes (URANS)* dengan angka Reynolds tinggi.

Apabila membandingkan diskritisasi order *first order upwind*, *second order upwind* dan *third order MUSCL* pada Gambar 5 dan 6 di atas maka perbedaan antara ketiga diskritisasi order tersebut dalam mensimulasikan aliran fluida yang melalui silinder sirkular pada penelitian ini, tidak begitu signifikan.

RANS yang dilakukan pada penelitian ini secara kualitatif menangkap tren hasil eksperimen yang dilakukan oleh Achenbach [3] dan hasil simulasi URANS pada $Re = 3,6 \times 10^6$ yang dilakukan oleh Ong et al [1], tetapi perbedaan dengan data eksperimen cukup besar. Perbedaan hasil dengan penelitian Ong et al [1] mungkin disebabkan karena perbedaan implementasi pada *wall function*. Penelitian ini dilakukan dengan persamaan *steady Reynolds Average Navier Stokes (RANS)* sedangkan penelitian Ong et al [1] dilakukan secara *unsteady Reynolds Average Navier Stokes (URANS)*. RANS yang digunakan pada penelitian ini, baik standar $k - \epsilon$ maupun $k - \omega$ SST menunjukkan prediksi yang cukup moderat terhadap koefisien tekanan negatif di setengah bagian belakang silinder. Hal ini telah diketahui dengan baik bahwa aliran di wilayah titik separasi memiliki gradien tekanan yang kuat, dan sangat sulit untuk dimodelkan secara akurat.

4. Kesimpulan

Aliran yang melintasi 2D silinder sirkular telah disimulasikan secara numerik untuk angka Reynolds yang sangat tinggi, menggunakan *steady Reynolds Average Navier Stokes (RANS)* dengan model turbulensi standar $k - \epsilon$ dan $k - \omega$ SST, dilakukan dengan diskritisasi order yang berbeda-beda yaitu *first order upwind*, *second order upwind* dan *third order MUSCL*. Pada penelitian ini, hasil simulasi menggunakan diskritisasi order *first order upwind*, *second order upwind* dan *third order MUSCL* menunjukkan perbedaan yang tidak begitu signifikan. Pada penelitian ini, model turbulensi $k - \omega$ SST cenderung memberikan hasil yang lebih mendekati data eksperimen dibandingkan model turbulensi standar $k - \epsilon$.

5. Daftar Pustaka

- [1] Ong, Muk Chen., Utnes, Tobjorn., Holmedal, Lars Erik., Myrhaug, Dag & Pettersen, Bjornar, (2009), "Numerical Simulation of Flow Around a Smooth Circular Cylinder at Very High Reynolds Numbers", *Marine Structures*, Vol. 22, hal. 142–153.

- [2] Catalano, Pietro., Wang, Meng., Iaccarino, Gianluca & Moin Parviz, (2003), "Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 24, hal. 463–469.
- [3] Achenbach, E., (1968), "Distribution of local pressure and skin friction around a circular cylinder in cross- flow up to $Re = 5 \times 10^6$ ", *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 34, hal. 625–39.
- [4] Pritchard, Philip J, Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, New Jersey, 2011.
- [5] Anderson, John D., Fundamentals of Aerodynamics, McGraw Hill, New York, 2001.