

ANALISIS MODEL TURBULEN PADA BACKWARD FACING STEP DENGAN BILANGAN REYNOLDS TINGGI ($Re = 38.000$) DAN KECEPATAN ALIRAN / $U_{\infty} = 44.2$ M/S

Anggun Angkasa BP

Pengajar di Jurusan Mesin Otomotif Politeknik Negeri Tanah Laut
Email : angkasagroup@yahoo.com

Intisari— Backward facing step merupakan salah satu bentuk geometri yang paling populer digunakan untuk mengevaluasi model turbulen dalam hal separasi aliran. Backward facing step pada aliran turbulen batas dinding dalam prakteknya banyak ditemui pada pipa, saluran, sayap atas dan body pesawat dan sekitar kapal. Penelitian ini menggunakan bentuk geometri backward facing step. Model turbulensi yang dikembangkan pada penelitian ini adalah sangat penting digunakan untuk memprediksi aliran yang dibatasi oleh dinding, prediksi diperoleh dengan menerapkan fungsi dinding standar, non-ekuilibrium fungsi dinding dan dua-lapisan model dengan tiga model turbulensi yang berbeda, yaitu K-Epsilon Standar, RSM dan K-Epsilon RNG. Selanjutnya tiga model turbulensi tersebut dibandingkan dengan data penelitian eksperimen yang terdahulu yaitu driver dan Seegmiller. Hasil numeric melebihi hasil eksperimen untuk nilai presentase kurang dari 100% (<100%), sedangkan untuk nilai presentase melebihi 100% (>100%) maka hasil numeric lebih dari hasil eksperimen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model numeric RSM hasilnya lebih mendekati hasil eksperimen daripada model K-epsilon standard dan K-epsilon RNG.

Kata kunci— Backward facing step, K-Epsilon Standar, K-Epsilon RNG dan RSM

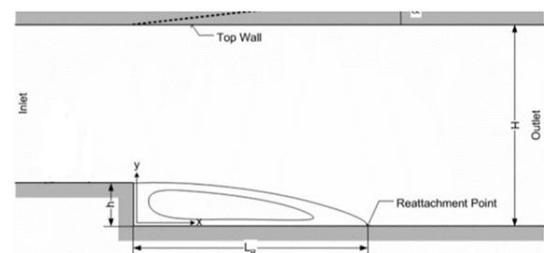
PENDAHULUAN

Penelitian ini membahas mengenai perbandingan model turbulen pada backward facing step dengan bilangan Reynolds tinggi ($Re = 38.000$) dan kecepatan aliran / $U_{\infty} = 44.2$ m/s. Model turbulensi yang dikembangkan pada penelitian ini adalah sangat penting digunakan untuk memprediksi aliran yang dibatasi oleh dinding, prediksi diperoleh dengan menerapkan fungsi dinding standar, non-ekuilibrium fungsi dinding dan dua-lapisan model dengan tiga model turbulensi yang berbeda. Hasil ini dibandingkan dengan data penelitian eksperimen yang terdahulu yaitu driver dan Seegmiller. Non-ekuilibrium fungsi dinding dengan dimodifikasi model k-e memprediksi panjang reattachment terdekat. Namun, model dua-layer memberikan hasil yang lebih mencerminkan pola aliran keseluruhan. Prediksi menunjukkan bahwa kombinasi model turbulensi dekat-dinding memberikan hasil yang dapat diandalkan.

METODE

Backward facing step merupakan salah satu bentuk geometri yang paling populer digunakan untuk mengevaluasi model turbulen dalam hal separasi aliran. Backward facing step pada aliran turbulen batas dinding dalam prakteknya banyak ditemui pada pipa, saluran, sayap atas dan body pesawat dan sekitar kapal. Penelitian ini menggunakan bentuk geometri backward facing step seperti pada gambar berikut:

Dalam penelitian ini perbandingan dilakukan untuk dinding sudut 0° . Panjang inlet dari upstream ke step sebesar $4h$ ($h=0.0127$), outlet boundary ditempatkan $30h$ dari step ke downstream, tinggi outlet (saluran upstream) adalah $8h$. Re dihitung berdasarkan ketinggian dan kecepatan rata-rata aliran kira-kira sebesar 38000 . Aliran diasumsikan incompressible dengan *no-slip condition* dan *smooth wall condition* untuk *steady state*.



Gambar 1. Bentuk geometri backward facing step dgn dinding sudut 0°

Turbulent kinetic energy diasumsikan bervariasi secara linear dari dekat dinding dengan harga:

$$k_{NW} = \frac{U_{\infty}^2}{\sqrt{C_{\mu}}} \quad \dots (1)$$

Untuk nilai free-stream diperoleh dengan;

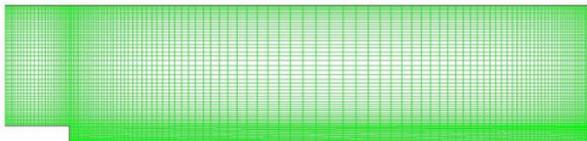
$$k_{\infty} = 0.002U_{\infty}^2 \quad \dots (2)$$

Dan Dissipation rate diperoleh dengan;

$$\epsilon = C_{\mu}^{3/4} \left(\frac{k^{3/2}}{l} \right) \dots (3)$$

Dimana l adalah ky minimum dan 0.085hduct/2 (k=0.42)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan model secara numerik. Sehingga diharapkan dapat diketahui perbandingan model turbulen yang digunakan (yaitu model K-Epsilon Standar, K-Epsilon RNG dan RSM). Adapun data yang menggunakan model numerik menggunakan mesh seperti pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Mesh

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data eksperimental

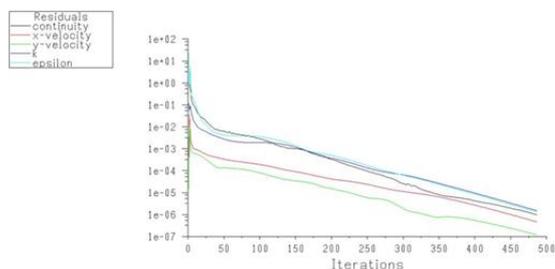
Data eksperimental didapat dari data penelitian yang dilakukan oleh Jae Yong Kim, et all yang kemudian didapat data yang akan disajikan dalam bentuk data grafik komparasi dengan hasil yang diperoleh secara permodelan

B. Data Komputasi

1. Model numeric K-Epsilon Standar

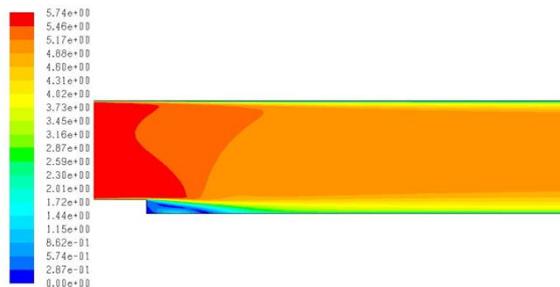
Model ini merupakan model turbulensi semi empiris yang lengkap. Walaupun masih sederhana, memungkinkan untuk dua persamaan yaitu kecepatan turbulen (turbulent velocity) dan skala panjang (length scale) ditentukan secara bebas (independent). Model ini dikembangkan oleh Jones dan Launder. Kestabilan, ekonomis (dari segi komputansi), dan akurasi yang cukup memadai membuat model ini sering digunakan dalam simulasi fluida dan perpindahan panas.

Dalam penelitian ini setelah digunakan pemodelan secara komputasi dengan model numeric K-Epsilon Standar didapat jumlah iterasi sebanyak 467 kali. Adapun grafiknya ditampilkan sebagai berikut:

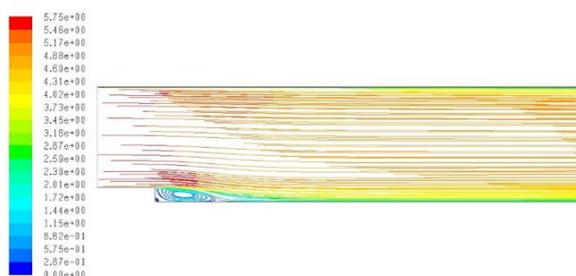


Gambar 3. Grafik Jumlah Iterasi K-Epsilon Standar

Setelah dilakukan iterasi, diperoleh grafik kontur kecepatan (velocity) dan pathline sebagai berikut:



Gambar 4. Kontur Kecepatan (Contour Velocity) K-Epsilon Standar



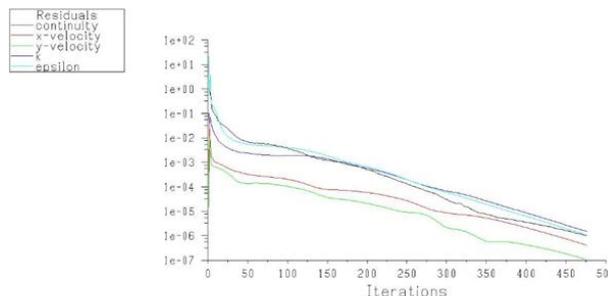
Gambar 5. Gambar Pathline K-Epsilon Standar

2. Model numerik K-Epsilon RNG

Model ini diturunkan dengan menggunakan metode statistik yang teliti (teori renormalisasi kelompok). Model ini merupakan perbaikan dari metode k-epsilon standar, jadi bentuk persamaan yang digunakan sama. Perbaikan yang dimaksud meliputi:

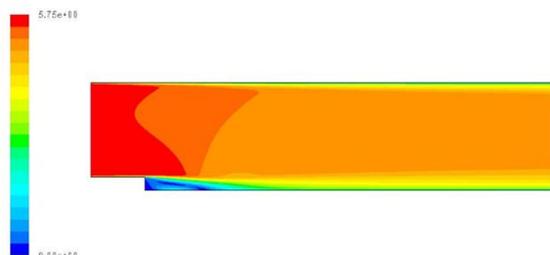
- Model RNG memiliki besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (epsilon), sehingga mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- Efek putaran pada turbulensi juga telah disediakan, sehingga meningkatkan akurasi untuk jenis aliran yang berputar (swirl flow).
- Menyediakan formulasi analitis untuk bilangan Prandtl turbulen, sementara model k-epsilon standar menggunakan nilai bilangan Prandtl yang ditentukan pengguna (koston).
- Model RNG menyediakan formulasi untuk bilangan Reynold rendah, sedang model standard merupakan model untuk Reynold tinggi

Dalam penelitian ini setelah digunakan pemodelan secara komputasi dengan model numeric K-Epsilon RNG didapat jumlah iterasi sebanyak 475 kali. Adapun grafiknya ditampilkan sebagai berikut:

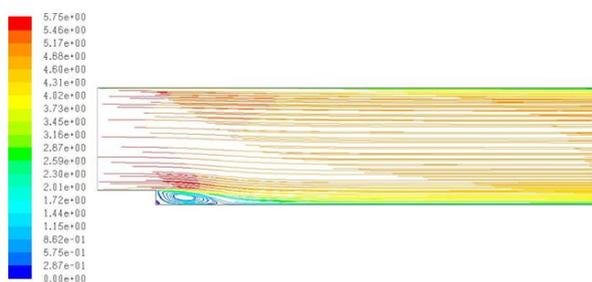


Gambar 6. Grafik Jumlah Iterasi K-Epsilon RNG

Setelah dilakukan iterasi, diperoleh grafik kontur kecepatan (velocity) dan pathline sebagai berikut:



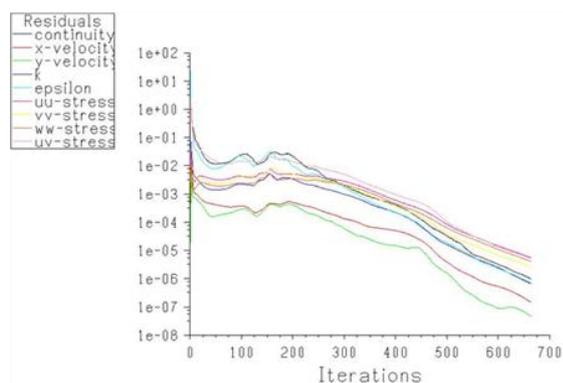
Gambar 7. Kontur Kecepatan (Contour Velocity) K-Epsilon RNG



Gambar 8. Gambar Pathline K-Epsilon RNG

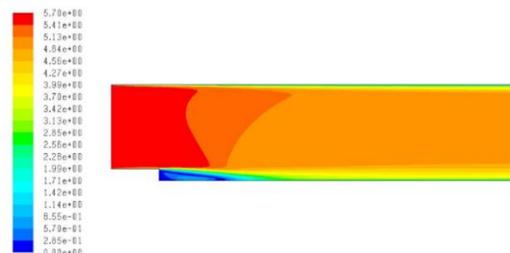
3. Model numerik Reynolds Stress Model (RSM)

Dalam penelitian ini setelah digunakan pemodelan secara komputasi dengan model numeric RSM didapat jumlah iterasi sebanyak 670 kali. Adapun grafiknya ditampilkan sebagai berikut:

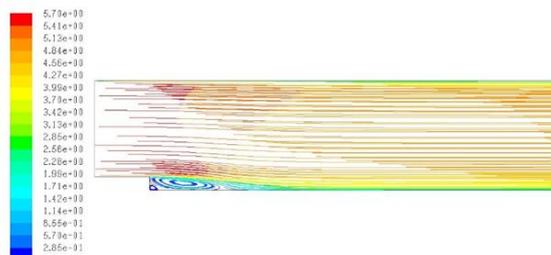


Gambar 9. Grafik Jumlah Iterasi RSM

Setelah dilakukan iterasi, diperoleh grafik kontur kecepatan (velocity) dan pathline sebagai berikut:



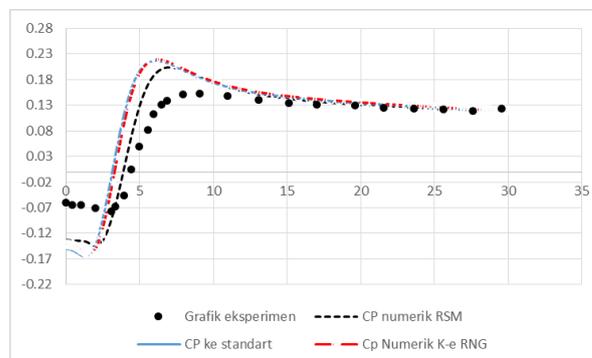
Gambar 10. Kontur Kecepatan (Contour Velocity) RSM



Gambar 11 Gambar Pathline RSM

C. Perbandingan Coefficient Pressure

Gambar 12 Menunjukkan grafik perbandingan Coefficient pressure (Cp) antara hasil eksperimen dengan hasil numeric dengan menggunakan 3 model turbulensi, yaitu k-e standart, k-e RNG dan Reynold Stress Model (RSM).



Gambar 12. Grafik perbandingan Cp antara eksperimen dengan beberapa model turbulensi ($\alpha=0^\circ, Re=38000$)

Dari grafik Cp dapat dilihat model turbulensi RSM lebih mendekati hasil eksperimen. Dengan kata lain, model turbulensi RSM mempunyai hasil terbaik untuk kasus ini. Dari data yang diperoleh pada gambar 3.10, maka dapat dihitung presentase error dari perbandingan nilai Cp yang dihasilkan dari analisa numeric dengan eksperimen, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Presentase error} = \frac{\text{Numerik} - \text{eksperiment}}{\text{Numerik}} \times 100\% \quad \dots (4)$$

Dimana : Data numeric dan data eksperimen diambil data nilai Cp awal, data nilai Cp terendah, data nilai CP tertinggi

dan data nilai Cp akhir. Adapun data Cp diatas dapat dilihat pada tabel 1.

Dari persamaan 4 diatas, maka dapat dihitung presentase Nilai Cp yaitu:

- a. Presentase nilai Cp pada model K-epsilon Standar dapat dilihat pada tabel 2.

Dari tabel 2, dapat dilihat bahwa presentase error pada titik x/h=0 adalah sebesar 60,065%, titik x/h=1,26 (pada posisi pressure terendah) adalah sebesar 53,072%, %, titik x/h=6,1 (pada posisi pressure tertinggi) adalah sebesar 22,32%, dan pada titik x/h=30 adalah sebesar 3,94%.

Tabel 1. Data nilai Cp

x/h	Cp eksperiment	CP Standar	CP RNG	CP RSM
0 ⁰	-0.0599585	-0.150139	-0.14174	-0.11027
Pada posisi low Pressure	-0.0775934	-0.165345	-0.1607	-0.1225
Pada posisi high Pressure	0.152697	0.124833	0.219764	0.206763
30 ⁰	0.122614	0.117959	0.1196	0.120885

Tabel 2. Presentase nilai Cp Eksperiment dengan Cp K-e Standar

x/h	Presentase (%)
0	60,0646734
1,26	53,0718195
6,1	22,3210209
30	3,9462864

- b. Presentase nilai Cp pada model K-epsilon RNG dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Presentase nilai Cp Eksperiment dengan Cp K-e RNG

x/h	Presentase (%)
0	57,6991456
1,69	51,7147693
6,47	30,5177372
30	2,5200669

Dari table 3 diatas, dapat dilihat bahwa presentase error pada titik x/h=0 adalah sebesar 57,699%, titik x/h=1,69 (pada posisi pressure terendah) adalah sebesar 51,714%, %, titik x/h=6,47 (pada posisi

pressure tertinggi) adalah sebesar 30,51%, dan pada titik x/h=30 adalah sebesar 2,52%.

- c. Presentase nilai Cp pada model RSM dapat dilihat pada table 4. berikut:

Tabel 4. Presentase nilai Cp Eksperiment dengan Cp RSM

x/h	Presentase (%)
0	45,6247506
1,85	36,6579319
7,71	26,148779
30	1,430285

Dari table 3.3 diatas, dapat dilihat bahwa presentase error pada titik x/h=0 adalah sebesar 45,624%, titik x/h=1,85 (pada posisi pressure terendah) adalah sebesar 36,65%, %, titik x/h=7,71 (pada posisi pressure tertinggi) adalah sebesar 26,148%, dan pada titik x/h=30 adalah sebesar 1,43%.

KESIMPULAN

Dari data yang didapat besarnya nilai presentase pada setiap permodelan, maka dapat disimpulkan bahwa hasil numeric melebihi hasil eksperimen untuk nilai presentase kurang dari 100% (<100%), sedangkan untuk nilai presentase melebihi 100% (>100%) maka hasil numeric lebih dari hasil eksperimen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model numeric RSM hasilnya lebih mendekati hasil eksperimen daripada model K-epsilon standard an K-epsilon RNG.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terimakasih kepada Istri dan anak tercinta, kedua orang tua, keluarga, dan kepada Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K, M.Eng.Sc.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Jovic S, Driver D. . (1994)*Reynold Number Effect on The Skin Friction in Separated Flow Behind a Backward Facingstep-Flow*
 [2] Kim. Jae Yong, et all. (2007) *Comparison Of Near-Wall Treatment Methods For High Reynolds Number Backward-Facing Step Flow*. Computational Fluid Dynamics. hal 493-500.