

Evaluation of The Uncertainty CFD for Flow Around a Bluff Rectangular

Sutrisno, Herman Sasongko, Wawan Aries Widodo
Institut Teknologi Sepuluh November, Teknik Mesin, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstract

Numerical method is one method for exploring fluid flow by detail and complicated. This method is popular in scientist because the easy of flow phenomena visualization although in difficult and complicated area. Beside the advantages of this method is cheaper cost and faster. The most popular numerical method is CFD, this method using basic fluid equation which resolved by finite volume method. However the using of this method is still unknown directive which influence the simulation output, it is directive produced by indefinite simulation result. This indefinite stated by deviation between numerical result and experimental result, beside in simulation the process often unconvrgent and unequal result between one and another simulation, hence it is needed a directive to manage accuracy level of numerical method. This paper is going to define study of uncertainty numerical result on the characteristic of 2D bluff rectangular flow, steady state, incompressible flow compared by the result of experiment. Numerical simulation procedure mentioned in group based on agreed directive by reviewer (AIAA G-077-1998). Numerical simulation result intense influenced by grid independency and model turbulent viscous, while for the discretization method and momentum calculation relation momentum and pressure just influencing time needed in iteration and convergence. The best viscous model for predicting the flow around bluff plate is SST-k-omega.

Keywords : bluff rectangular, blunt plate, uncertainty, numeric method, cfd, error.

1. Pendahuluan

Mekanika fluida merupakan pengetahuan bidang mekanika yang mengkaji perilaku fluida dalam keadaan diam ataupun bergerak. Ilmu pengetahuan ini mendekati karakter aliran yang terjadi dengan menggunakan pendekatan persamaan matematika. Pendekatan tersebut memiliki suatu keterbatasan terhadap proses penyelesaiannya. Salah satu persamaan yang tidak dapat diselesaikan sampai saat ini adalah persamaan *navier stoke*. Persamaan tersebut merupakan persamaan umum mekanika fluida yang tidak dapat diselesaikan sampai saat ini, sehingga diperlukan metode lain untuk menyelesaikannya, yaitu metode numerik. Metode numerik merupakan metode yang menggunakan penembakan suatu nilai kemudian dilakukan proses perhitungan. Hasil perhitungan tahap pertama dengan yang lain dibandingkan perbedaannya, kemudian perbedaan tersebut dijadikan acuan dalam penembakan selanjutnya, metode ini dalam matematika dikenal dengan metode iterasi. Metode iterasi yang sering digunakan adalah metode iterasi Gauss Siedel, Runge Kutta dan lain-lainnya.

Setiap proses simulasi numerik akan dihasilkan suatu perbedaan dibandingkan dengan eksperimen, perbedaan tersebut yang dikenal dengan ketidakpastian. Ketidakpastian tersebut dilakukan upaya untuk diminimalisasi, metode minimalisasi ketidakpastian numerik pertama kali dikemukakan oleh Richardson pada tahun 1946, yang dikenal dengan metode Richardson extrapolasi, kemudian dikembangkan oleh Roache dengan metode Grid Convergence Index (GBI). Sedangkan komunitas pertama kali yang aktif dalam menganalisis terjadi ketidakpastian hasil numerik dikemukakan oleh

Stanford Olympics pada tahun 1968. Pernyataan pertama kali dikemukakan oleh Roache (1986)[6] pada jurnal ASME, namun gagal sebab belum dapat dibuktikan keakurasi estimasinya, sehingga pernyataan tersebut dikembangkan menjadi pedoman untuk melakukan proses CFD. Kemudian pada akhirnya pada tahun 1998 komite CFD ASME mengeluarkan standart tentang pedoman untuk verifikasi dan validasi CFD (AIAA G-077-1998).

Niemann dan Holsher [1] menyatakan untuk karakteristik aliran eksternal sangat tergantung dari kecepatan dan profil aliran *free stream*, *free-stream turbulence*, *geometry* dan *roughness surface*. Khusus untuk aliran yang dikaji didalam *wind tunnel* dipengaruhi oleh *blockage ratio* (Br) apabila memiliki nilai lebih dari 9%. Pada makalah ini dikhususkan pada bentuk geometri terhadap aliran yang akan terjadi di sekitarnya sehingga digunakan suatu bodi yang berbentuk *bluff rectangular*.

Bluff rectangular merupakan salah satu jenis turbulator yang bertujuan sebagai pengganggu aliran yang dapat memicu terjadi percepatan transisi karakteristik aliran dari aliran laminar menjadi aliran turbulnt. Penelitian ini pernah dilakukan oleh Yaghoubi dan Mahmoodi [2], mereka melakukan penelitian tentang efek dari kecepatan aliran free stream terhadap karakteristik aliran yang melewati *bluff rectangular* atau *blunt plate*. Sedangkan Djijali[3] melakukan perbandingan antara hasil numerik dan eksperimen terhadap aliran yang melewati *bluff rectangular*. Metode numerik [4] yang digunakan adalah model viscous dasar persamaan Reynolds Average Navier Stoke (RANS) kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun pada waktu itu pedoman

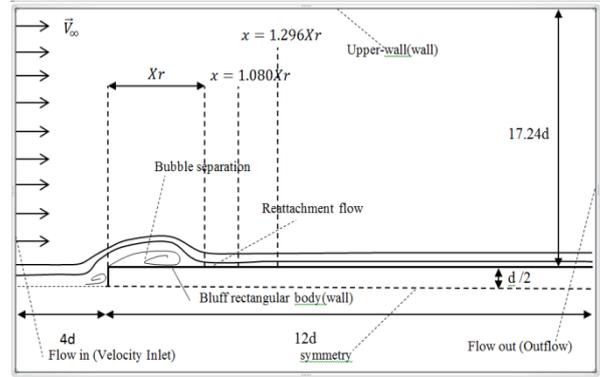


simulasi numerik belum terbentuk, sehingga kajian terhadap numerik hanya berdasarkan kajian hasil eksperimen saja. Kemudian Suksangpanomrung melanjutkan hal yang sama dengan kajian numerik dengan menggunakan model *viscous Large Eddy Simulation* pada kondisi tidak tunak, yang dibandingkan dengan hasil eksperimen Djijali. Sehingga dibutuhkan kajian tentang hasil numerik dengan eksperimen yang pernah dilakukan Djijali dengan pedoman simulasi numerik CFD yang telah disepakati AIAA G-077-1998, yang dipaparkan oleh Freitas[7]. Pedoman untuk simulasi dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu dokumentasi, verifikasi dan validasi.

2. Metode

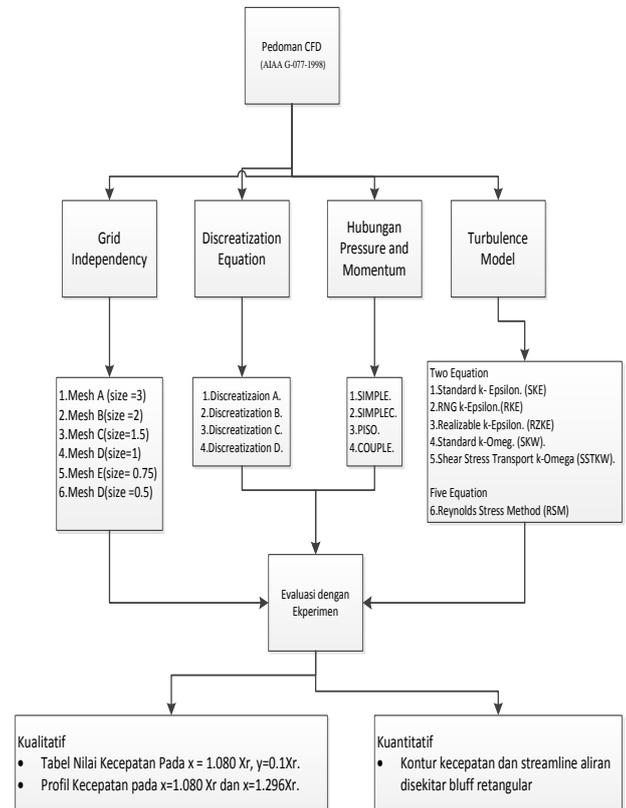
Pengamatan yang akan dilakukan dengan menggunakan beberapa ketebalan *Bluff Rectangular* yang dinyatakan dengan bilangan tak berdimensi. *Blockage rasio* $Br = \frac{d}{L}$, dinyatakan sebagai $Br = 5.8\%$. kemudian aliran yang melintasi menggunakan $Re_d = 5.10^4$. Intensitas turbulensi (Tu) aliran saat masuk dalam test section adalah 0.25% dan length scale turbulent 0.001 meter. Kemudian evaluasi akan difokus pada posisi $x = 1.08Xr$ dan $1.296Xr$. Sebab pada posisi tersebut aliran sudah berada di daerah *reattachment flow*. Evaluasi akan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif, untuk kualitatif akan dipaparkan secara tabulasi kecepatan salah satu titik tertentu, yaitu posisi $y = 0.1Xr$ dan profil kecepatan pada kedua posisi x . Sedangkan untuk evaluasi secara kuantitatif dilakukan dengan cara memaparkan streamline dan profil kecepatan disekitar *bluff rectangular body*, ilustrasinya dipaparkan pada gambar 1.

Metodologi makalah dilakukan berdasarkan beberapa pernyataan dari pedoman terhadap ketidakpastian CFD, proses awal akan dievaluasi terhadap grid independency. Efek dari variasi mesh yang tidak mempengaruhi hasil simulasi sangat kecil. Setelah itu makalah ini akan dilanjutkan dengan memvariasikan model turbulence viscous Kemudian dilanjutkan dengan memvariasikan *discretization* persamaan dan hubungan metode perhitungan antara tekanan dan momentum.. Mekanisme makalah secara detail dipaparkan pada gambar 2.

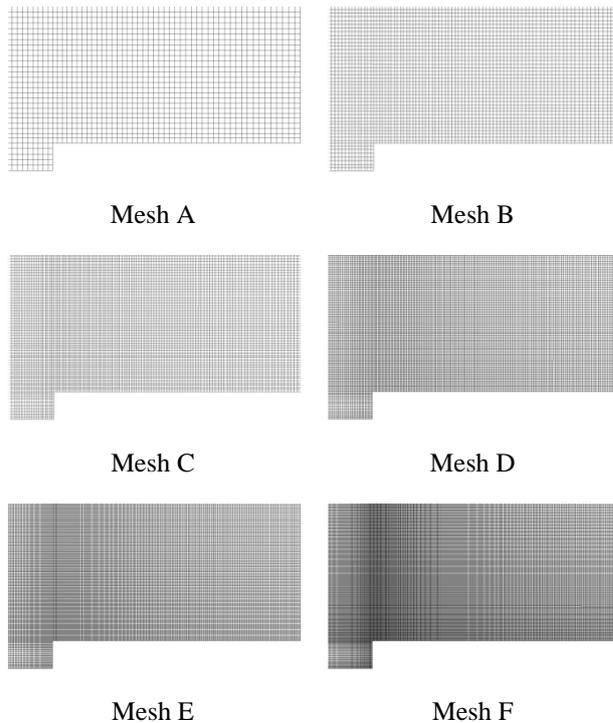


Gambar 1 Skema makalah

Variasi mesh yang dibuat dipaparkan pada gambar 3, mesh A dilakukan dengan jarak yang renggang kemudian disempit secara bertahap ke mesh A, B, C, D, E dan F. Sedangkan untuk konfigurasi rasio mesh garis dibuat sama, hanya saja dilakukan variasi terhadap ukuran jarak mesh.



Gambar 2 Flow Chart Metodologi



Gambar 3 Variasi Mesh.

3. Hasil dan Pembahasan

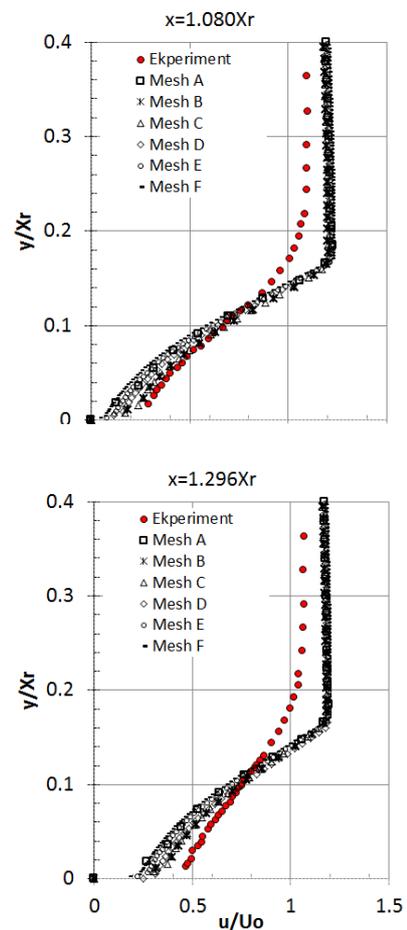
Anggapan tentang mesh yang semakin rapat akan menghasilkan simulasi yang lebih baik tidak selalu benar, hal ini telah terbukti pada hasil makalah ini terhadap kajian mesh, yang dipaparkan pada tabel 1. Ketidak pastian dalam proses simulasi numerik dinyatakan dalam bentuk penyimpangan prediksi atau error terhadap nilai eksperimen. Hasil untuk mesh A, B dan C didapatkan bahwa pernyataan tentang semakin rapat mesh akan dihasilkan kesalahan yang lebih kecil, namun untuk mesh D, E dan F menunjukkan yang berkebalikan bahwa semakin rapat akan menghasilkan kesalahan prediksi semakin besar. Hal ini disimpulkan bahwa mesh akan memiliki suatu konfigurasi optimal sesuai dengan bentuk dan model yang akan dibentuk. Sehingga kajian mesh wajib dilakukan diawal proses simulasi sebab tidak ada kepastian tentang ukuran dan bentuk yang optimal, semuanya tergantung dari kecepatan aliran, fluida, kekasaran permukaan dan geometri benda. Kajian ini biasanya disebut sebagai kajian grid independency dimana pengaruh dari bentuk mesh tidak terlalu besar mempengaruhi hasil nilai simulasi.

Tabel 1 Evaluasi Grid Independent.

| Model | Cells | Nodes | y+(Max) | y*(Max) | $U_{x=0.05R, y=0.1xR}$ | Error | Iterasi |
|-----------|---------|---------|---------|---------|------------------------|-------|---------|
| Mesh A | 13,640 | 13,890 | 124.52 | 161.35 | 0.626 | 7.5% | 436 |
| Mesh B | 30,720 | 31,095 | 82.75 | 95.68 | 0.687 | 1.5% | 690 |
| Mesh C | 54,880 | 55,380 | 61.26 | 63.61 | 0.680 | 0.4% | 1030 |
| Mesh D | 123,240 | 123,989 | 39.80 | 42.08 | 0.638 | 5.7% | 2013 |
| Mesh E | 192,450 | 193,386 | 30.98 | 33.17 | 0.607 | 10.3% | 3193 |
| Mesh F | 341,800 | 343,047 | 22.04 | 24.04 | 0.577 | 14.7% | 5502 |
| Ekperimen | | | | | 0.677 | 0.0% | |

Evaluasi pada suatu posisi tertentu tidak dapat memperlihatkan kesalahan secara konseptual, sehingga dipaparkan profil kecepatan di titik pengamatan, dipaparkan pada gambar 4. Semua model grid independent dibawah $y < 0,1xR$ dihasilkan *under prediction* sedangkan $y > 0,1xR$ diatasnya dihasilkan nilai yang *over prediction* dibandingkan dengan nilai eksperimen. Profil kecepatan yang terjadi pada posisi pengamatan memiliki kecenderungan yang sama seperti yang dipaparkan pada tabel evaluasi.

Parameter yang lain didalam simulasi numerik dinyatakan dengan y^+ dan y^* yaitu parameter non dimensional perbandingan posisi y dengan fungsi tegangan geser permukaan. Untuk nilai yang dianjurkan diantara 30-300, sehingga sangat tergantung jarak mesh pertama terhadap dinding. Hasil menunjukkan nilai y^+ dan y^* yang memiliki antara nilai 60 dihasilkan prediksi yang sangat baik.



Gambar 4 Profil Kecepataan Dengan Variasi Mesh.

Evaluasi dilanjutkan pada variasi permodelan turbulence yang di paparkan tabel 2, untuk perbedaan prediksi aliran dengan berbagai model viscous. Semua model viscous selain RKE dan

SSTKW didapatkan kesalahan prediksi 10%-15% dibandingkan dengan eksperimen, sehingga sangat tidak dianjurkan digunakan untuk memprediksi aliran pada kondisi didekat dinding dan memprediksi separasi aliran. Sedangkan untuk model terbaik adalah model viscous SSTKW dengan kesalahan prediksi disuatu posisi sebesar 0.37%.

Tabel 2 Variasi Model Turbulence Viscous.

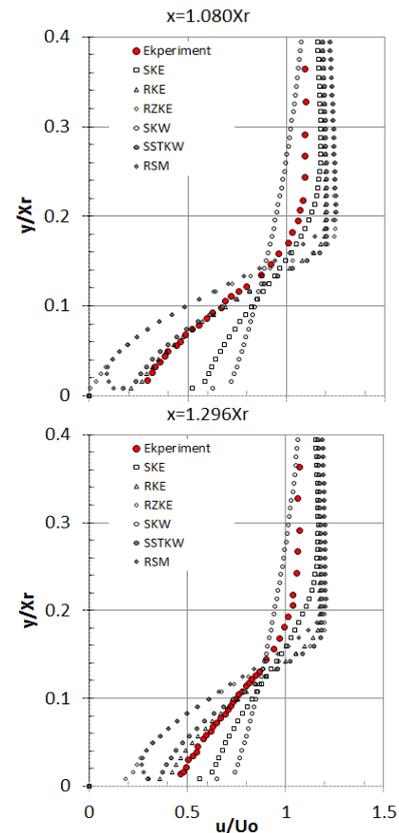
| Model | Viscous | $U_{x=1.08Xr, y=0.1Xr}$ | Error | Iterasi |
|-----------|------------------------|-------------------------|--------|----------|
| SKE | Standard K-Epsilon | 0.638 | 5.76% | 2013 |
| RKE | RNG K-Epsilon | 0.607 | 10.34% | 3193 |
| RZKE | Realizable K-Epsilon | 0.577 | 14.77% | 5502 |
| SKW | Standard K-Omega | 0.572 | 15.51% | Non Conv |
| SSTKW | SST-K-Omega | 0.680 | 0.37% | 1030 |
| RMS | Reynolds Method Stress | 0.687 | 1.48% | 690 |
| Ekperimen | | 0.677 | 0.00% | |

Perbedaan kualitas secara keseluruhan dikaji dengan mengamati profil kecepatan yang terjadi di beberapa posisi, yang dipaparkan pada gambar 5. Hasil sangat terlihat bahwa dengan perbedaan model turbulence viscous yang digunakan dihasilkan profil kecepatan yang sangat berbeda, terutama model viscous SKW. Pada model SKW profil kecepatan yang terjadi sangat berbeda dibandingkan dengan model viscous yang lainnya, dimana *disturbance thickness*nya sangat besar. Sedangkan untuk model RSM terjadi perbedaan yang signifikan pada profil kecepatan, yaitu terjadi *deacceleration* tepat diatas dinding. Evaluasi pada model viscous yang mendekati karakter aliran yang terjadi pada eksperimen didapatkan pada model RKE dan SSTKW.

Proses discretization persamaan tekanan, momentum dan model viscous diharuskan menggunakan lebih dari second order didalam pedoman simulasi numerik, hal ini perlu dibuktikan secara kualitatif yang dipaparkan pada tabel 3. Untuk nilai pada posisi tertentu didapatkan bahwa first order dan dihasilkan kesalahan prediksi yang kecil paling kecil, kemudian second order dibandingkan dengan orde yang lebih tinggi, namun nilai kesalahan penyimpangannya tidak terlalu besar. Sedangkan untuk model *discretization* yang lebih tinggi seperti model *discretization* D dan C menunjukkan kesalahan yang lebih besar. Kemudian untuk *discretization* D menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan *discretization* C, walaupun tidak konvergen. Proses iterasi selalu diharapkan waktu proses iterasi lebih cepat dan selalu konvergen, sehingga disimpulkan bahwa discretization untuk proses CFD dianjurkan hanya digunakan cukup *second order*.

Tabel 3 Evaluasi *Discretization*

| Model | Pressure | Momentum | k | ω | $U_{x=1.08Xr, y=0.1Xr}$ | Error | Iterasi |
|-----------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------|----------|
| Discret A | Standard | First Order Upwind | First Order Upwind | First Order Upwind | 0.67711 | 0.02% | 921 |
| Discret B | Second Order | Sec. Order Upwind | Sec. Order Upwind | Sec. Order Upwind | 0.67952 | 0.37% | 1030 |
| Discret C | PRESTO | QUICK | QUICK | QUICK | 0.65609 | 3.09% | 1136 |
| Discret D | PRESTO | Third Or. MUSCL | Third Or. MUSCL | Third Or. MUSCL | 0.68990 | 1.91% | non conv |
| Ekperimen | | | | | 0.677 | 0.0% | |



Gambar 5 Profil Kecepatan Dengan Variasi Model Viscous.

Hubungan perhitungan antara nilai tekanan dan momentum dengan beberapa metode dinyatakan pada tabel 4. Hasil pada tabel tersebut menunjukkan metode SIMPLEC lebih baik dibandingkan dengan metode yang lain namun waktu iterasi yang dibutuhkan lebih lama. Khusus kasus *bluff rectangular* yang terjadi perbedaan kecepatan yang tinggi, maka kecepatan digunakan sebagai tebakan awal dalam proses iterasi lebih baik menggunakan penebakan nilai awal simulasi berdasarkan kecepatan. Hal ini serupa metode SIMPLEC yang melakukan tebakan awal dengan kecepatan kemudian dikoreksi dengan tekanan, sehingga metode ini paling baik digunakan untuk variasi kecepatan yang tinggi. Sebab karakteristik aliran yang terjadi di *bluff rectangular* terjadi *bubble separation* dengan memiliki nilai variasi kecepatan yang sangat besar pada daerah tersebut.

Tabel 4. Evaluasi Hubungan Tekanan dan Momentum.

| Model | Pressure-Velocity | $U_{x1.0847,y0.147}$ | Error | Iterasi |
|------------|-------------------|----------------------|-------|----------|
| SIMPLE | SIMPLE | 0.680 | 0.37% | 1030 |
| SIMPLEC | SIMPLEC | 0.676 | 0.14% | 1212 |
| PISO | PISO | 0.682 | 0.74% | 1084 |
| COUPLE | COUPLE | 0.680 | 0.37% | non conv |
| Ekperiment | | 0.677 | 0.00% | |

Variasi discretization dan hubungan tekanan dan momentum profil kecepatan tidak ditampilkan sebab tidak terlihat perbedaan antara satu dengan yang lainnya.

Kajian secara kualitatif telah dilakukan ditunjukkan bahwa efek paling besar terhadap kesalahan prediksi ditimbulkan akibat pemilihan model turbulence viscous, sehingga diperlukan eksplorasi secara kuantitatif agar dapat mengkaji karakteristik aliran didekat *bluff rectangular*, yang berupa kontur kecepatan dan streamline aliran dipaparkan pada gambar 6.

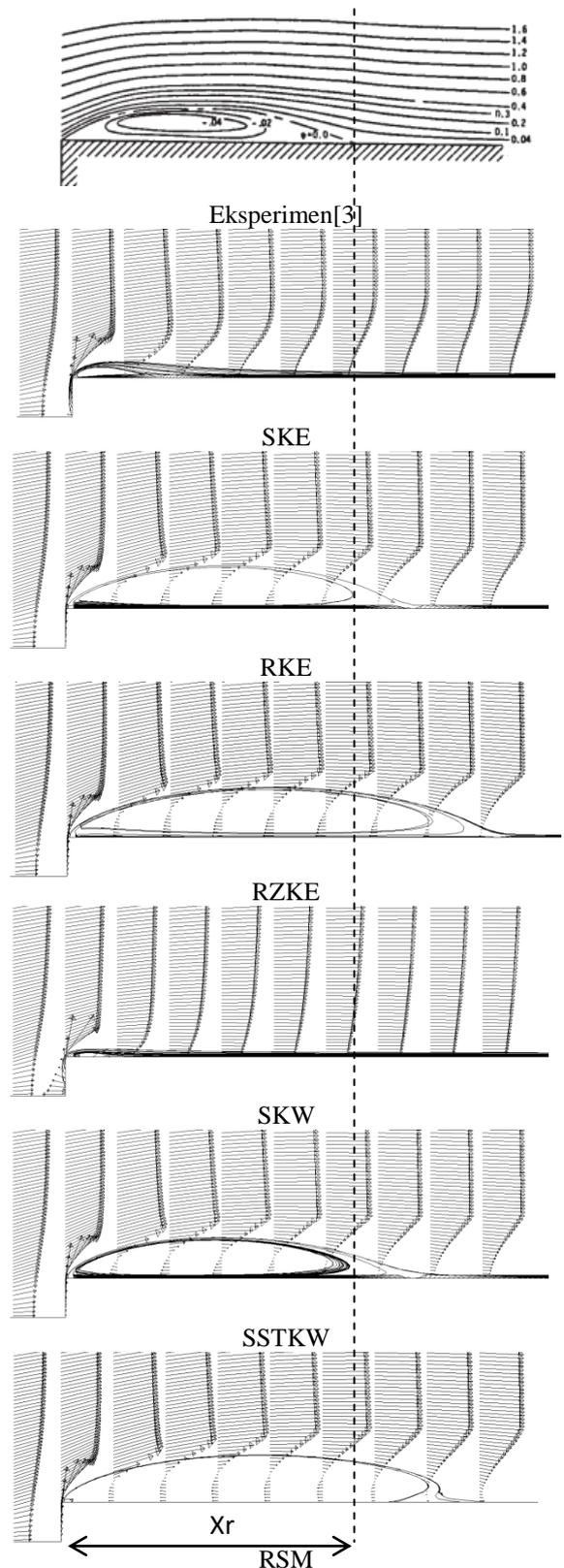
Hasil untuk model viscous SKE dan SKW ditunjukkan *bubble* separasi aliran yang sangat *under prediction* jika dibandingkan dengan eksperimen. Sehingga dalam pengkajian ini dinyatakan bahwa kedua model tersebut tidak cocok digunakan memprediksi aliran didekat dinding dan *bubble* separasi aliran.

Model RZKE dan RSM yang biasanya *powerfull* untuk memprediksi aliran swirl, Pada kasus ini hasil simulasi menunjukkan hasil yang *over prediction* dibandingkan dengan eksperimen, kemungkinan kedua model tersebut lebih cocok digunakan pada model 3D. Model viscous yang sangat baik untuk memprediksi *bubble* separasi aliran 2D di dekat dinding adalah model viscous RKE dan SSTKW.

4. Kesimpulan

Hasil dari simulasi numerik yang dibandingkan dengan hasil eksperimen akan selalu menghasilkan salah prediksi. Namun kesalahan prediksi dapat dieliminasi dengan menggunakan pedoman penggunaan CFD yang telah disepakati oleh ASME. Hal ini telah dibuktikan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hasil pembuktian ini dinyatakan bahwa:

- Grid independen merupakan parameter acuan awal untuk proses simulasi, sebab setiap model akan menghasilkan konfigurasi mesh yang beragam.
- Model viscous yang digunakan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap karakteristik aliran.



Gambar 6. Karakteristik Aliran Fluida Di Sekitar *Bluff Rectangular*.

- Discretization dan hubungan antara tekanan dan momentum merupakan faktor yang mempengaruhi proses konvergensi, sedangkan dampak terhadap karakteristik aliran sangat kecil.
- Pembuktian tentang minimal menggunakan second order discretization persamaan masih belum dibuktikan, sehingga diperlukan pengkajian terhadap model yang lebih kompleks, yaitu model 3D.

Daftar Pustaka

- [1] Niemann.H.J, Holscher.N, "A review of recent experiment on the flow past circular cylinder", *Journal of wind engineering and industrial aerodynamic*, 33(1990)197-209.
- [2] Yaghoubi. M, Mahmoodi. S, "Experiment study of turbulent separated and reattached flow over a finite blunt plate", *Experimental Thermal and Fluid Science* 29(2004) 105-112.
- [3] Djilali, N., Gartshore, I.S., 1991a. Turbulent flow around a bluff rectangular plate. Part I: Experimental investigation. *ASME J.Fluids Eng.* 113, 51-59.
- [4] Djilali, N., Gartshore, I.S., 1991b. Turbulent flow around a bluff rectangular plate. Part II: Numerical Predictions. *ASME J. Fluids Eng.* 113, 60-67.
- [5] Suksangpanomrung. A, Djilali. N, Moinat. P, Large-eddy simulation of separated flow over a bluff rectangular plate, *Internasional journal of heat transfer fluid flow* 21(2000) 655-663.€
- [6] Roache, P. J., Ghia, K. N., and WHITE, F., (1986), "Editorial Policy Statement on the Control of Numerical Accuracy", *J. Fluids Engineering*, 108, 2.
- [7] Freitas, C. J, "The issue of numerical uncertainty", *Second Internasional Conference on CFD in the Minerals and Proses Industries CSIRO, Melbourne, Australia.* 6-8 Desember 1999.

