

SIMULASI AERODINAMIKA PADA MODEL *SIMPLIFIED BUS* MENGUNAKAN PROGRAM *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

MSK. Tony Suryo Utomo¹⁾

Abstrak

Pada penelitian ini simulasi aerodinamika menggunakan program CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dilakukan pada model kendaraan *simplified bus* berdasarkan eksperimen Duell dan George [1999] yang disimulasikan pula oleh Krajnovic dan Davidson [2001]. Pada simulasi ini, digunakan model turbulen *k-ε* standard dengan berbagai variasi model diskretisasi pada *Pressure*, *Pressure-Velocity coupling*, *Momentum*, *Turbulence Kinetic Energy*, dan *Turbulence Dissipation rate*. Tujuannya adalah untuk mencari metode diskretisasi yang terbaik pada kasus simulasi aerodinamika ini. Dalam hal ini, hasil simulasi dari berbagai variasi metode diskretisasi tersebut dibandingkan dengan hasil eksperimen [Duell & George, 1999] dan hasil simulasi menggunakan model LES [Krajnovic & Davidson, 2001].

Dari hasil simulasi diperoleh data-data karakteristik aerodinamika berupa *drag coefficient* (C_D) dan *lift coefficient* (C_L) yang sesuai dengan data eksperimen maupun hasil simulasi LES. Disamping itu visualisasi pola aliran udara disekeliling model *simplified bus* juga dilakukan untuk divalidasi terhadap hasil simulasi LES. Dari sini didapatkan kode-kode simulasi yang terbaik yaitu model turbulen standard *k-ε* (*standard wall function*) dengan metode diskretisasi *Standard Pressure*, *SIMPLE Pressure-Velocity coupling*, *2nd order Upwind Scheme* untuk *Momentum* dan *Turbulence Kinetic Energy*, serta *1st order Upwind Scheme Turbulence Dissipation Rate*.

1. PENDAHULUAN

Untuk saat ini, *computational fluid dynamics* (CFD) telah menjadi salah satu perangkat yang sangat penting dalam dunia desain dan manufaktur. Diberbagai negara maju dewasa ini, CFD dimanfaatkan dalam hal prediksi awal sebelum dilakukan pengujian eksperimen yang sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh adanya kemudahan dalam melakukan berbagai variasi model yang akan diuji jika dibandingkan dengan metode pengujian konvensional (eksperimen). Disamping itu, jika dibandingkan dengan pengujian konvensional, biaya yang harus dikeluarkan untuk memperoleh data hasil simulasi relatif lebih rendah. Kelebihan lain dari metode CFD ini adalah dalam hal waktu yang diperlukan untuk memperoleh data, tentunya CFD jauh lebih unggul jika dibandingkan dengan pengujian konvensional.

Berbagai metode komputasi untuk memecahkan kasus aliran fluida yang melibatkan turbulensi telah dikembangkan dewasa ini. Berbagai metode tersebut antara lain adalah model *k-ε*, *k-ω*, RSM, dan LES. Pada keempat model tersebut, masing-masing memiliki kelebihan, dimana satu model mungkin akan sangat cocok diterapkan pada satu kasus tertentu, sementara model yang lain belum tentu memberikan hasil yang sama baiknya.

2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan yang ingin dicapai dari simulasi aerodinamika dengan CFD, yaitu:

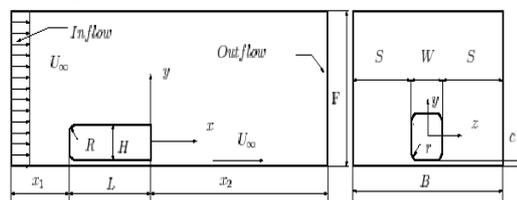
1. Melakukan simulasi aerodinamika pada kasus *simplified bus* menggunakan berbagai model solusi *k-ε*.
2. Membandingkan hasil simulasi *k-ε* dengan hasil simulasi LES oleh Krajnovic & Davidson [2001]

sehingga diperoleh kode-kode simulasi *k-ε* yang terbaik untuk kasus *simplified bus*.

3. SIMULASI ALIRAN UDARA PADA *SIMPLIFIED BUS*

3.1 Deskripsi Masalah

Model benda adalah *simplified bus* (Duell dan George, 1999) yang ditempatkan dalam aliran secara menyilang (*crossflow*) dalam suatu aliran luar (*external flow*) dengan kecepatan aliran bebas tertentu.



Gb 3.1 Geometri benda [Krajnovic Davidson]

Model benda dan daerah komputasi diperlihatkan pada gambar 3.1. Seluruh kuantitas geometri didasarkan pada tinggi benda H, dimana $H = 0.125$ m. Untuk menghemat waktu komputasi, domain tersebut dibagi oleh suatu bidang simetri menjadi dua bagian tanpa mempengaruhi hasil perhitungan komputasinya. Selanjutnya perhitungan komputasi dilakukan pada setengah bagian tersebut.

Geometri benda :

H	=		=	0.125 m
X ₁	=	8H	=	1 m
X ₂	=	21H	=	2.625 m
B	=	5.92H	=	0.74 m
L	=	3.68H	=	0.46 m
S	=	2.46H	=	0.3075 m
R	=	0.152H	=	0.019 m
r	=	0.1016H	=	0.0127 m
F	=	4H	=	0.5 m
c	=	0.08H	=	0.01 m
W	=	H	=	0.125m

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

3.2 Sifat Fluida (Fluid Property)

Bilangan Reynolds, Re dihitung berdasarkan tinggi benda, H dan karena kecepatan aliran sepanjang lintasannya berubah-ubah maka perlu dipilih kecepatan acuan, U_{∞} . Dalam simulasi ini, bilangan Reynolds ditetapkan berdasarkan data eksperimen ($Re = 0.21 \times 10^6$) sehingga dapat diketahui besarnya kecepatan aliran masuk yang diperlukan untuk mendapatkan model daerah aliran yang diinginkan.

$$Re = \frac{r U_{\infty} H}{\mu}$$

$$U_{\infty} = \frac{Re \mu}{r H} = \frac{(0.21 \times 10^6)(1.7894 \times 10^{-5})}{1.225 \times 0.125}$$

$$U_{\infty} = 24.54 \text{ m/s}$$

Adapun sifat fluida yang digunakan :

- Jenis fluida adalah udara
- Kerapatan fluida, $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas absolut fluida, $\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$

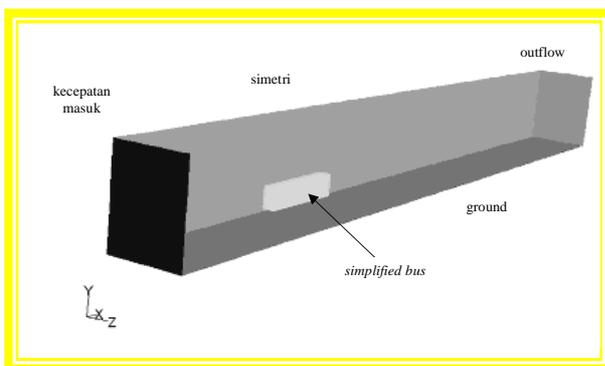
Sifat fluida, μ dan ρ dievaluasi pada suhu 20°C pada tekanan atmosfer. FLUENT memilih harga-harga ini sebagai *default* untuk material udara.

3.3 Kondisi Batas

Model benda ditempatkan dalam aliran secara menyilang (*crossflow*) dalam suatu aliran luar (*external flow*) dengan kecepatan aliran bebas tertentu.

Dinding diasumsikan berada dalam keadaan tidak slip (*no slip wall condition*). Kondisi kecepatan masuk (*velocity inlet*) diterapkan pada batas masuk. Samping atas dan samping bawah sebagai kondisi simetri (*symmetry*). Adapun sisi keluarannya (*outflow*) pada sisi belakang kendaraan.

Permukaan dasar (*ground*) diperlakukan sebagai dinding bergerak (*moving wall*) dengan kecepatan $U_c = U_{\infty}$.

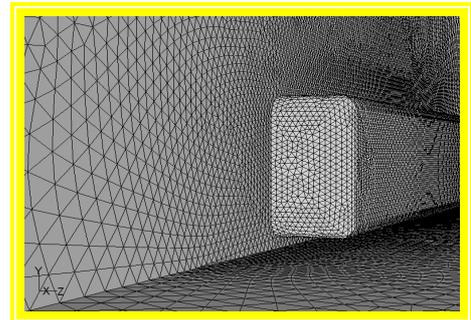


Gb 3.2 Kondisi batas untuk domain komputasi *Simplified Bus*.

3.4 Penggenerasian Mesh

Domain komputasi untuk kasus yang dibahas termasuk geometri yang relatif sederhana, grid untuk daerah muka (*face*) *simplified bus* memakai cell jenis *Triangular (tri pave)* dengan bidang simetri yang menempel pada model diperlakukan secara khusus dan untuk volumenya menggunakan cell jenis *T-grid*.

Kelebihan dari penggenerasian mesh menggunakan grid tidak terstruktur dibandingkan dengan grid terstruktur adalah lebih mudah melakukan penggenerasian grid dengan jumlah sangat besar dibandingkan dengan grid terstruktur. Hal tersebut menyebabkan penghematan waktu komputasi dan sumber daya manusianya.



Gb 3.3 Grid model, grid jenis *tri-pave* di sisi dinding dan jenis *T-grid* pada volumenya

Dari berbagai model penggenerasian mesh didapatkan model penggenerasian mesh yang disajikan pada tabel 3.1. dan Grid ini merupakan *original mesh*¹ yang akan digunakan pada simulasi berikutnya.

Tabel 3.1. Model Penggenerasian Mesh

Daerah Mesh	Ukuran grid berdasarkan tinggi model (H)
<i>Face Model</i>	<i>Tri Pave</i> 0.04H
<i>Volume</i>	<i>T-grid</i> 0.4H
<i>Gap edge</i>	<i>interval size</i> 0.06H
<i>Upstream edge</i>	<i>Grading : First Length</i> <i>Spacing : interval count</i> 25
<i>Downstream edge</i>	<i>Grading : First Length</i> <i>Spacing : interval count</i> 60

3.5 Simulasi Fluent

Simulasi ini didasarkan pada *original mesh*. Ukuran grid dengan Jumlah sel (*cell*) = 141886, Jumlah sisi = 299828, Jumlah nodal = 32029

Berbagai alternatif metode solusi dilakukan pada bilangan Reynolds 0.21×10^6 yang didasarkan pada tinggi *simplified bus*. Dari berbagai simulasi yang dilakukan diperoleh metode solusi terbaik pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Model Solusi yang Digunakan dalam Simulasi dan Komputasi

¹ Topologi grid yang dibuat di GAMBIT

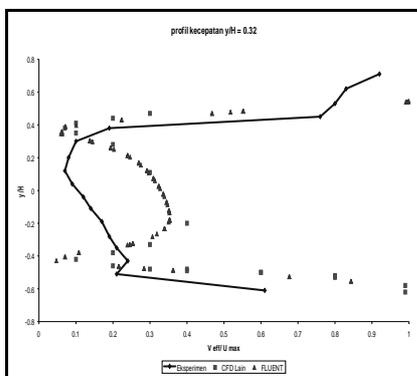
Calculational Method	Steady
Viscous Model	$k - \varepsilon$ Standard
Near Wall Treatment	Standard Wall Function
Discretization :	
Pressure	Standard
Pressure-Velocity coupling	SIMPLE
Momentum	2 nd Upwind Scheme
Turbulence Kinetic Energy	2 nd Upwind Scheme
Turbulence Dissipation Rate	1 st Upwind Scheme

3.6 Hasil Simulasi

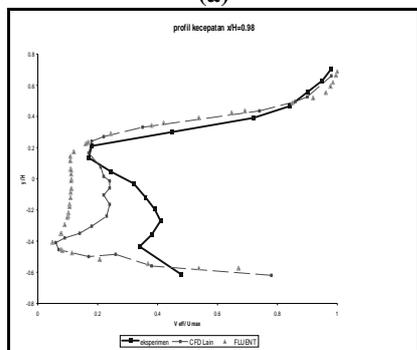
Setelah melalui berbagai langkah pengerjaan dengan data-data yang sudah dipilih, maka hasil simulasi dibandingkan dengan Data literatur dari hasil eksperimen Duell dan George, 1999 dan simulasi CFD yang dilakukan oleh Krajnovic dan Davidson, 2001. Data-data yang dibandingkan untuk kasus simulasi aliran udara pada *Simplified Bus* adalah :

1. Profil kecepatan

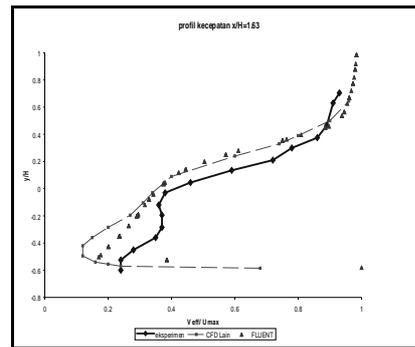
Kecepatan aliran pada *Simplified Bus* adalah berubah-ubah sepanjang aliran. Profil kecepatan dipilih sebagai parameter pembanding keakuratan hasil simulasi karena profil kecepatan ini penting untuk mengetahui arah dan besarnya kecepatan. Untuk membandingkan hasil simulasi dengan data eksperimen dipilih tiga tempat yang berbeda yang letaknya sama dengan data hasil eksperimen yang terdapat pada literatur.



(a)



(b)



(c)

Gb 3.4 Profil kecepatan pada (a) $x/H=0.32$ (b) $x/H = 0.98$ (c) $x/H = 1.63$.

Grafik profil kecepatan pada $x/H = 0.32$ dan $x/H = 0.98$ tidak sesuai dengan hasil eksperimen akan tetapi memiliki kesesuaian dengan hasil simulasi CFD yang dilakukan Krajnovic Davidson [ref 7, hal 650]. Hal tersebut disebabkan karena teknik *hot-wire anemometry* yang digunakan pada eksperimen memberikan hasil yang tidak akurat pada daerah yang terjadi *wake* dimana aliran sangat turbulen [Bearman et al, 1989]. Sedangkan profil kecepatan pada $x/H = 1.63$ memiliki kesesuaian dengan hasil eksperimen maupun hasil simulasi karena berada di belakang daerah *wake*.

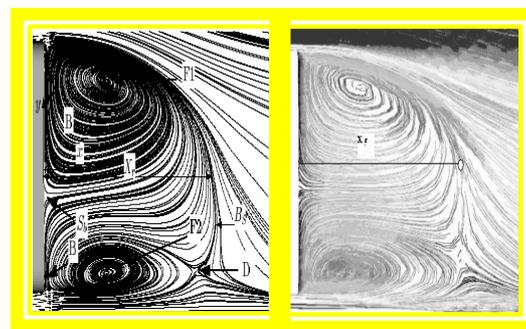
2. Gaya permukaan

Gaya yang bekerja pada permukaan benda adalah akibat dari tekanan permukaan. Nilai koefisien tahanan dan koefisien angkat didapat dari hasil eksperimen sebesar $C_D=0.33$ dan $C_L=-0.06$, sedangkan dari hasil analisa numerik yang dilakukan Krajnovic Davidson (ref 8, hal 650) sebesar $C_D=0.33$ dan $C_L=-0.07$.

Tabel 3.3. Koefisien Tahanan (C_D) dan Koefisien Angkat (C_L) Hasil Simulasi, Eksperimen dan CFD Lain

	Fluent	Eksp.	CFD Lain	Error terhadap eksperimen
C_D	0.33	0.33	0.33	0 %
C_L	-0.06	-0.06	-0.07	0 %

3. Struktur aliran udara

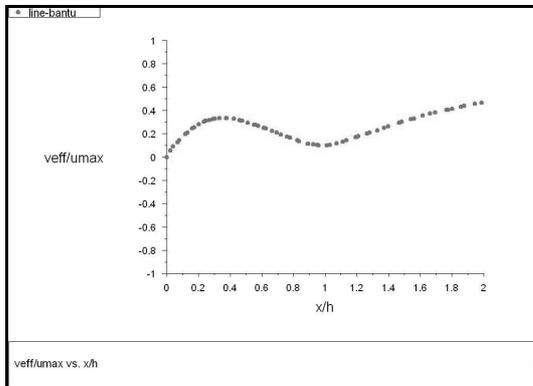


(a)

(b)

Gb 3.5 Visualisasi aliran di belakang *simplified bus* a). CFD Lain b). FLUENT

Jarak resirkulasi (*recirculation length*) merupakan jarak antara titik tengah pada muka belakang *simplified bus* dengan titik dimana perbandingan kecepatan resultan terhadap kecepatan bebas mencapai nilai paling minimum sepanjang sumbu-*x* [ref 7, hal 650].



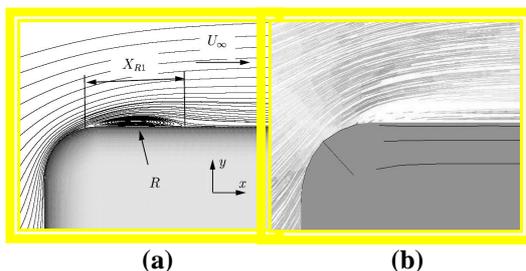
Gb 3.6 Grafik distribusi kecepatan sepanjang sumbu-*x*

Perbandingan jarak resirkulasi (*recirculation length*, X_r) pada garis $y=0$ pada aliran di belakang *simplified bus* adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4. Jarak Resirkulasi Pada Aliran di Belakang *Simplified Bus*

Recirculation length	Eksp.	FLUENT	Error terhadap eksperimen
X_r	0.1375 m	0.13 m	5 %

Lapisan batas yang tumbuh sepanjang *simplified bus* akhirnya memisah pada ujung belakang *simplified bus* dan membentuk dua vortex yang berputar saling berlawanan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5a, vortex atas (F1) pada bidang simetri lebih besar dibandingkan vortex bawah (F2). Hal tersebut juga ditunjukkan pada hasil simulasi FLUENT pada gambar 3.5b.



Gb 3.7 Visualisasi aliran bagian depan atas *simplified bus*
a) CFD Lain b) FLUENT

Gambar 3.7 menunjukkan pola aliran pada bagian depan atas *simplified bus*. Pada Gambar 3.7a menunjukkan terjadinya vortex sedangkan gambar 3.7a tidak menunjukkan hal tersebut. Garis aliran pada gambar 3.7b tidak tergambar pada saat terjadi pemisahan aliran, hal tersebut dapat disebabkan karena stuktur grid yang kurang rapat dibandingkan simulasi yang dilakukan Krajinovic Davidson, dimana simulasi

tersebut menggunakan 40 CPU model SGI R10000 dengan jumlah 4.5×10^6 grid.

Dari hasil simulasi aliran udara pada *simplified bus* dapat disimpulkan bahwa model penggenerasian mesh dan model solusi yang digunakan untuk simulasi memiliki hasil yang sesuai dengan data-data eksperimen.

4. KESIMPULAN

1. Hasil simulasi menunjukkan adanya kesesuaian yang cukup baik antara model solusi $k-\epsilon$ dengan Eksperimen dengan derajat kesesuaian 100% atau eror 0%.
2. Simulasi $k-\epsilon$ dalam penelitian ini menggunakan jumlah sel yang cukup kecil yaitu pada kisaran 141.000 sel jika dibandingkan dengan *LES* sebesar 4.500.000 sel. Dengan jumlah sel yang sekecil itu, $k-\epsilon$ ternyata telah mampu memberikan hasil yang sangat baik.
3. Metode solusi komputasi yang dianggap paling baik pada penelitian ini adalah model turbulen *standard k-e (standard wall function)* dengan metode diskretisasi *Standard Pressure, SIMPLE Pressure-Velocity coupling, 2nd order Upwind Scheme* untuk *Momentum* dan *Turbulence Kinetic Energy*, serta *1st order Upwind Scheme Turbulence Dissipation Rate*.

REFERENSI

1. Anderson, John David. *Computational Fluid Dynamics: basics with applications*. McGraw-Hill Book Companies, Inc. Singapore, 1995.
2. Fox, Robert W and Alan T. Mc Donald, *Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition, SI Version*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1994.
3. Fluent Inc., *Fluent 5.3 Manual Documentation*, Fluent Inc., USA, 1999.
4. Fluent Inc., *GAMBIT Documentation*, Fluent Inc., USA, 1999.
5. Hughes, William F. dan John A. Brighton, *Fluid Dynamics Schaum's Outlines*, 3th ed., McGraw-Hill Book Companies, Inc, USA, 1979.
6. Krajinovic, S., Davidson, L. *Development of Large-Eddy Simulation for vehicle Aerodynamics*. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2002.
7. Krajinovic, S., Davidson, L. *Large-Eddy Simulation of Vehicle Aerodynamics*. In Proceedings of the 5th International Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Mallorca, Spain, 2002.
8. Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1995.