

## SIMULASI NUMERIK VARIASI *LEADING EDGE* TERHADAP KARAKTERISTIK AERODINAMIKA BODI BUS

**Ahmad Endra Mustafa**

Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya,

Email: [ahmadmustafa@mhs.unesa.ac.id](mailto:ahmadmustafa@mhs.unesa.ac.id)

**Grummy Wailanduw**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya,

Email: [grummywailanduw@unesa.ac.id](mailto:grummywailanduw@unesa.ac.id)

### Abstrak

Memvariasikan geometri *leading edge* bus diprediksi dapat mereduksi *drag force*. *Drag force* yang kecil dari kendaraan, akan membuat hambatan angin yang diterima kendaraan saat berjalan berkurang dan akhirnya dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Hucho dan Sovran (1993), bahwa *drag force* berkontribusi hingga 50% dari total konsumsi bahan bakar kendaraan pada kecepatan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kemiringan sudut *leading edge* terhadap efisiensi pemakaian bahan bakar dengan melihat penurunan nilai *Coefficient drag* ( $C_D$ ). Penelitian ini, menggunakan model kendaraan bus dengan dimensi yang sama seperti ukuran bus sebenarnya. Geometri *leading edge* ini divariasikan dengan sudut kemiringan : 35,4<sup>0</sup>, 26,4<sup>0</sup>, 44,4<sup>0</sup>, 53,4<sup>0</sup> pada ujung *leading edge*. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik 2-D dengan menggunakan *software* CFD (*Computational Fluid Dynamics*) ANSYS FLUENT 16.0. Mesh yang digunakan model *Test/Hybrid Tgrid* atau segitiga, namun pada bagian dekat bodi dan jalan diberi *inflation layer* dengan model mesh *quad* atau persegi empat. *Viscous model* yang digunakan *k-epsilon standart* dengan variasi *Reynolds* 1,3 x 10<sup>6</sup> (19 Km/Jam), 2,2 x 10<sup>6</sup> (32 Km/Jam), 3,08 x 10<sup>6</sup> (45 Km/Jam), 5,47 x 10<sup>6</sup> (80 Km/Jam), dan 6,84 x 10<sup>6</sup> (100 Km/Jam). Data hasil yang dianalisa adalah *Coefficient lift* ( $C_L$ ), *Coefficient drag* ( $C_D$ ), *velocity contour*, *velocity streamline*, dan *pressure contour*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan sudut kemiringan *leading edge* dapat mempengaruhi karakteristik aliran pada kendaraan bus. Semakin besar sudut *leading edge* maka akan menurunkan nilai *Coefficient Pressure* ( $C_p$ ) dan membuat titik separasi yang semakin ke belakang kendaraan, dan mengakibatkan penurunan nilai *Coefficient drag* ( $C_D$ ) sehingga pemakaian bahan bakar lebih efisien. Dengan mempertimbangkan efisiensi pemakaian bahan bakar, maka pemvariasian sudut kemiringan *leading edge* 53.4<sup>0</sup> dipilih sebagai variasi terbaik, karena mampu memiliki nilai *Coefficient drag* ( $C_D$ ) paling kecil yakni (0,423) atau turun (-19,734 %) dari model standar.

**Kata kunci:** *Simulasi Numerik, leading edge, Coefficient drag, Reynolds Number.*

### Abstract

Varying the geometry of the leading edge bus is predicted to reduce drag force. A small drag force from the vehicle will make the wind resistance that the vehicle receives when running decreases and ultimately can reduce fuel consumption. This is confirmed by the statement of Hucho and Sovran (1993), that the drag force contributes up to 50% of the total fuel consumption of vehicles at high speeds. This study aims to determine the effect of the leading edge angle slope variation on fuel use efficiency by looking at a decrease in the drag coefficient value (CD). This study uses a bus vehicle model with the same dimensions as the actual bus size. This leading edge geometry is varied with slope angles: 35.40, 26.40, 44.40, 53.40 at the end of the leading edge. The research method used is a 2-D numerical simulation by using ANSYS FLUENT 16.0 CFD (Computational Fluid Dynamics) software. The mesh used is the Test / Hybrid Hybrid or triangular model, but in the near part of the body and the road is given an inflation layer with a quad or rectangular mesh model. Viscous models used are standard k-epsilon with Reynolds variations of 1.3 x 10<sup>6</sup> (19 Km / Hour), 2.2 x 10<sup>6</sup> (32 Km / Hour), 3.08 x 10<sup>6</sup> (45 Km / Hour), 5.47 x 10<sup>6</sup> (80 Km / Hour), and 6.84 x 10<sup>6</sup> (100 Km / Hour). The data analyzed are the lift coefficient (CL), Coefficient drag (CD), contour velocity, streamlined velocity, and pressure contour. From the simulation results it can be seen that by varying the tilt angle the leading edge can affect the flow characteristics of the bus vehicle. The greater the angle of the leading edge it will reduce the value of the Coefficient Pressure (CP) and make the separation point that is increasingly behind the vehicle, and result in a decrease in the value of the drag coefficient (CD) so that the use of fuel is more efficient. Taking into account the efficiency of fuel consumption, the variation of the leading edge of the 53.40 tilt angle was chosen as the best variation, because it was able to have the smallest Coefficient drag (CD) (0.423) or down (-19.734%) from the standard model

**Keywords:** *Simulasi Numerik, Leading Edge, Coefficient drag, Reynolds Number.*

## PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi yang sangat pesat di bidang Industri khususnya otomotif, hal ini menuntut para *Engineer* untuk berlomba-lomba dalam merancang sebuah kendaraan. Tidak hanya melakukan perkembangan teknologi pada mesin saja untuk mendapatkan efisiensi bahan bakar yang tinggi, akan tetapi pengembangan itu juga dilakukan pada bodi kendaraan, yaitu dengan menciptakan bodi kendaraan yang aerodinamis.

Penelitian aerodinamika ini biasanya diimplementasikan pada mobil mobil kecil khususnya yang memiliki model seperti sedan dan MPV. Padahal kendaraan dengan ukuran sedang dan berat juga memerlukan implementasi dari ilmu aerodinamika tersebut, contohnya adalah kendaraan angkutan orang seperti Bus. Hal ini dikarenakan kendaraan tipe Bus memiliki jarak tempuh yang lebih jauh dari pada mobil bertipe sedan atau MPV, tentunya dengan beban yang jauh lebih berat, sehingga perubahan aerodinamika sekecil apapun cukup untuk mempengaruhi efisiensi bahan bakar.

Banyak sekali modifikasi aerodinamika di sebuah mobil misalnya modifikasi *leading edge*, penambahan *side skirt*, *rear spoiler*, *roof spoiler* dan *diffuser* yang kesemuanya itu memiliki fungsi mengontrol gaya-gaya aerodinamis yang terjadi pada mobil tersebut. Penelitian ini memodifikasi *Leading edge* bodi kendaraan bus, karena pada bagian *leading edge* bodi kendaraan merupakan bagian yang pertama kali menerima aliran, sehingga dapat mempengaruhi aliran dibelakangnya. Perubahan geometri *leading edge* bodi kendaraan diperlukan untuk mengurangi gaya *drag* hingga sekecil mungkin.

Pemilihan pengurangan gaya drag dilakukan karena gaya drag berpengaruh terhadap besarnya konsumsi bahan bakar dari sebuah kendaraan. Hucho and Sovran (1993) berpendapat bahwa gaya drag berkontribusi hingga 50% dari total konsumsi bahan bakar kendaraan pada kecepatan tinggi.

Sebelumnya Sutantra (2010) pernah meneliti *leading edge* bodi kendaraan, menyatakan bahwa perbaikan untuk pengurangan gaya *drag* maksimum dapat dicapai oleh desain ujung depan berbentuk “hidung dempet” yang dirancang sesuai dengan aspek aerodinamik murni tanpa memerhatikan penampilan/estetika. Analisis gaya-gaya aerodinamika pada kendaraan dapat digunakan beberapa metode. Menurut Katz (2006:51) penganalisaan data dibedakan menjadi 3 metode yaitu: pengujian *wind tunnel* (terowongan angin), simulasi menggunakan *software* berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) atau

biasa disebut metode perhitungan atau metode numerik, dan yang terakhir pengujian di jalan (*road test*).

Metode simulasi memiliki kelemahan Freitas (1999) menyatakan simulasi CFD memberikan solusi dengan kesalahan atau ketidakpastian dalam hasil. Ketidakakuratan yang terjadi karena simulasi menggunakan pendekatan sistem kontinyu dan terbatas.

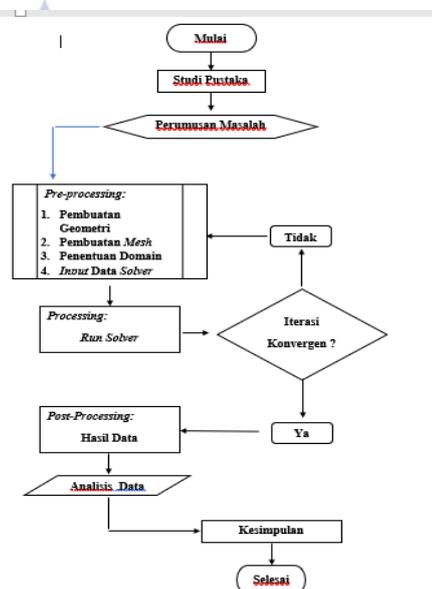
Berdasarkan beberapa penjelasan diatas, maka penelitian ini akan mengkaji lebih dalam tentang variasi *leading edge* yang diterapkan pada kendaraan bus, dimana hal tersebut akan mempengaruhi karakteristik aliran fluida pada sekeliling bodi kendaraan, sehingga akan mempengaruhi besar kecilnya *drag coefficient* (Cd) yang akan di dapat.

Tujuan penelitian *velocity contour*, *velocity streamline*, dan *pressure contour* disekitar model kendaraan bus standar dan menggunakan variasi *leading edge* kendaraan dengan tiga variasi kemiringan menggunakan simulasi *software* ANSYS Fluent 16.0. Selain itu tujuan penelitian ini untuk mengetahui hasil perhitungan koefisien *lift* dan *drag* pada model kendaraan standart dan menggunakan tiga variasi kemiringan sudut *leading edge*. Sehingga dapat membandingkan koefisien gaya *lift* dan *drag* pada variasi kemiringan yang terbaik untuk diaplikasikan guna meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar.

Sedangkan manfaat penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan tentang pengaruh pemvariasian sudut kemiringan *Leading edge* dibandingkan dengan model bus standart, sehingga dapat dijadikan rujukan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan aerodinamika pada kendaraan bus.

## METODE

### Flowchart Penelitian



**Gambar 1** Flowchart penelitian

**Jenis Penelitian**

Penelitian yang dilakukan adalah jenis penelitian eksperimen dengan metode simulasi numerik untuk mengetahui karakteristik aliran dengan memvariasikan kemiringan sudut *leading edge* kendaraan bus.

**Variabel Penelitian**

- Variabel Bebas
  - model kendaraan menyerupai bus dengan ukuran standard serta variasi tiga kemiringan sudut *leading edge* 41,4<sup>0</sup>;47,4<sup>0</sup>;50,4<sup>0</sup>
  - Variasi Reynolds number yang digunakan adalah 1,3 x 10<sup>6</sup> (19Km/Jam), 2,2 x 10<sup>6</sup> (32Km/Jam), 3,08 x 10<sup>6</sup> (45 Km/Jam), 5,47 x 10<sup>6</sup> (80Km/Jam) dan 6,68 x 10<sup>6</sup> (100 Km/ Jam).
- Variabel Terikat pada penelitian ini adalah : *Coefficient Lift* (C<sub>L</sub>), *Coefficient Drag* (C<sub>D</sub>), *Velocity contour* model kendaraan bus, *Velocity streamline* model kendaraan bus, dan *Pressure contour* model kendaraan bus.
- Variabel Kontrol
  - Dimensi Kendaraan:
    - Panjang (l) : 11720 mm
    - Lebar (w) : 2450 mm
    - Tinggi (h) : 3600 mm
  - Kecepatan pada dinding = 0
  - Temperatur udara = 15 °C

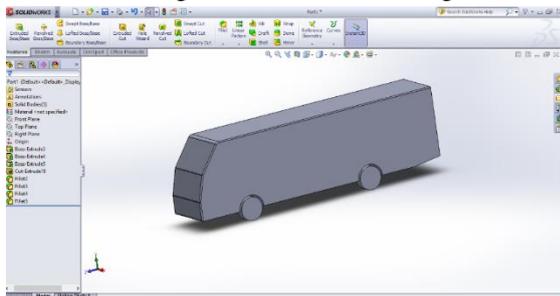
**Teknik Pengumpulan Data**

**Tahap Preprocessing:**

*Pre-processing* adalah langkah pertama dalam membangun dan menganalisa sebuah model dengan menggunakan metode CFD. Dalam tahapan ini meliputi beberapa sub-tahapan, antara lain pembuatan geometri, *meshing*, dan penentuan parameter-parameter yang digunakan.

- Pembuatan Geometri
 

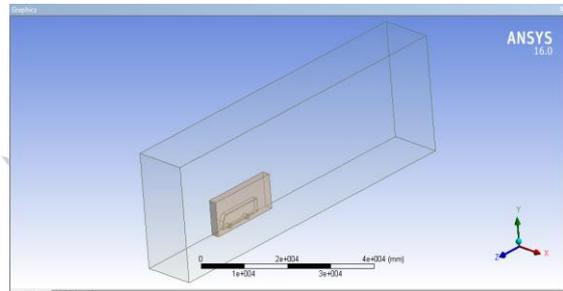
Proses pembuatan geometri dilakukan dengan menggunakan *software* Solidworks untuk membuat model kendaraan truk. Pembuatan geometri dilakukan dengan teknik solid modeling.



**Gambar 2** Pembuatan Geometri

- Pembuatan *Domain*

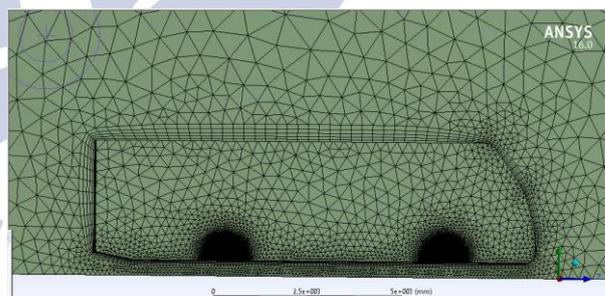
Pada tahap pembuatan *domain* menggunakan *software* ANSYS *Design Modeler*, dengan meng-*import* geometri yang dibuat pada tahap pembuatan geometri. Dibuat sebuah *virtual wind tunnel* dalam domain yang dimaksudkan untuk menggambarkan keadaan fluida disekitar objek penelitian. Dimensinya mengacu pada penelitian Hakam (2015) dengan dimensi seperti gambar 4.



**Gambar 3** Proses Pembuatan Domain

- Pembuatan *Meshing*

Proses pembuatan *meshing* dilakukan dengan menggunakan program ANSYS ICEM CFD. *Mesh* yang digunakan adalah mesh volume berbentuk *tetrahedral* atau segitiga, dimana tipe *mesh* tersebut mudah untuk menyesuaikan pada bentuk geometri yang kompleks, misalnya pada bentuk geometri kendaraan.



**Gambar 4** Pembuatan *Meshing*

- *Solver Setting*

*Solver setting* mencakup beberapa parameter seperti tipe *solver* (2D atau 3D). *Viscous model* yang digunakan adalah *k-epsilon sst*. Pada *boundary condition*, inlet dari *virtual wind tunnel* digambarkan dengan “*velocity inlet*”, sedangkan outlet dari *virtual wind tunnel* digambarkan dengan “*outflow*”.

**Tahap Processing:**

Pada tahapan *processing* ini, semua kondisi-kondisi yang sudah ditetapkan di tahap sebelumnya akan dilakukan perhitungan (iterasi). Pada tahap iterasi, diharapkan tercapai hasil yang *konvergen*, jika pada tahap iterasi ini belum tercapai hasil yang *konvergen* maka *mesh* perlu

adanya perbaikan, atau kembali ketahap *meshing* untuk memperbaiki *mesh*. Namun jika hasil yang didapat adalah *konvergen*, maka dapat melanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap *post-processing*.

**Tahap Post-processing:**

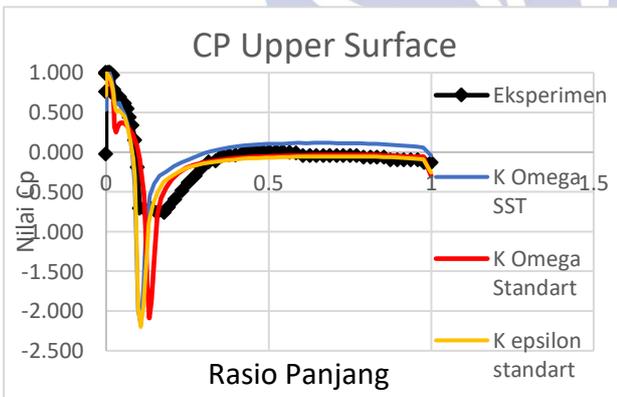
Pada tahap ini hasil dari perhitungan (iterasi) yang telah dilakukan di tahap sebelumnya (*processing*) ditampilkan berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa data distribusi *Coefficient drag* dan *Coefficient lift*. Kemudian data yang bersifat kualitatif ditampilkan secara visualisasi antara lain *Velocity contour*, *Velocity streamlines*, dan *Pressure contour*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

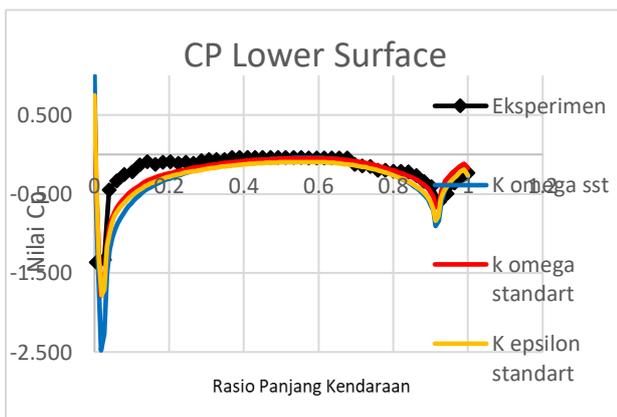
**Validasi Model**

Pada proses validasi ini, akan dibandingkan data antara hasil simulasi CFD menggunakan model *viscous k-omega SST*, *k-omega standard*, dan *k-epsilon realizable*, dengan data hasil eksperimen berupa grafik  $C_p$  atau *Coefficient pressure* dan persentase nilai *error* dari penghitungan  $C_D$  dan *Grid Independence Test*.

• **Grafik Pressure Coefficient  $C_p$**



**Gambar 5** Grafik *Pressure Coefficient ( $C_p$ ) upper surface* pada  $Re\ 3,06 \times 10^6$



*surface* pada  $Re\ 3,06 \times 10^6$

**Presentase Nilai Error  $C_D$**

**Tabel 1** Nilai *Error  $C_D$*  pada  $Re\ 3,08 \times 10^6$

No	Penelitian	kecepatan 44 km	
		CD/CDP	Error (%)
1	Eksperimen	0.587	0
2	K Omega Standart	0.500	-14.852
3	K Omega SST	0.509	-13.337
4	K Epsilon Standart	0.533	-9.236

Berdasarkan grafik *pressure coefficient ( $C_p$ )* dan hasil penghitungan *drag coefficient ( $C_D$ )* menunjukkan tren yang relatif sama antara penelitian eksperimen dan simulasi CFD, baik yang menggunakan model *viscous k-omega standard*, *k-epsilon standart*, dan *k-omega SST*. Sedangkan pada hasil penghitungan  $C_D$ , simulasi menggunakan model *viscous k-epsilon standart* terhadap metode eksperimen jauh lebih kecil daripada simulasi yang menggunakan model *viscous k-omega standard*, dan *k-omega SST*. Maka, dalam penelitian ini *viscous* yang lebih tepat digunakan adalah *k-epsilon standart*.

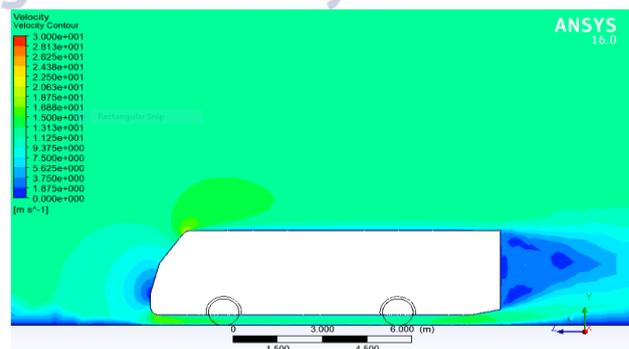
**Tabel 2** Hasil *Grid Independence Test*

No	Grid	Jumlah Nodes	CD	Error
1	1	341355	0.467	-20.475
2	2	267795	0.473	-19.385
3	3	248885	0.533	-9.236
4	4	248619	0.495	-15.707

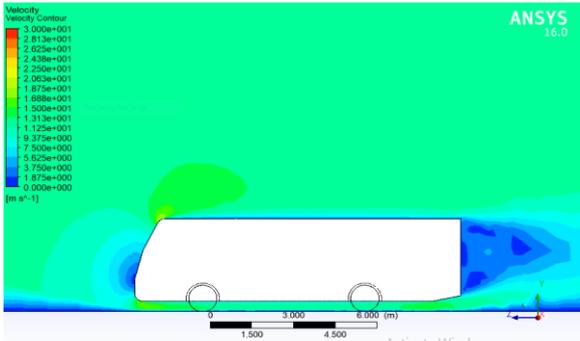
Berdasarkan hasil *grid independence test*, didapatkan hasil terbaik pada variasi grid ke-3 ini didapat berdasarkan tingkat kesalahan/*error* yang dihasilkan, durasi waktu yang dibutuhkan, dan memori yang dipakai dalam proses pengambilan data.

**Hasil Penelitian**

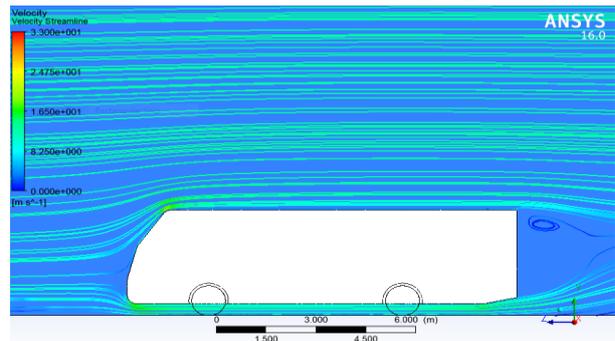
***Velocity Contour* Pada  $Re\ 3,08 \times 10^6$ .**



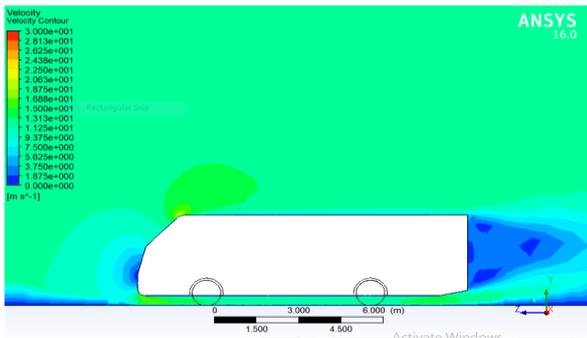
**Gambar 7** *Velocity Contour* Pada Model Bus Standart dengan Kemiringan *Leading Edge*  $35.4^\circ$



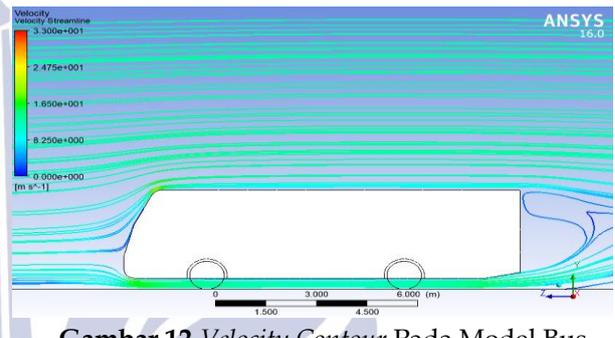
**Gambar 8** *Velocity Contour* Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge* 26.4<sup>o</sup>



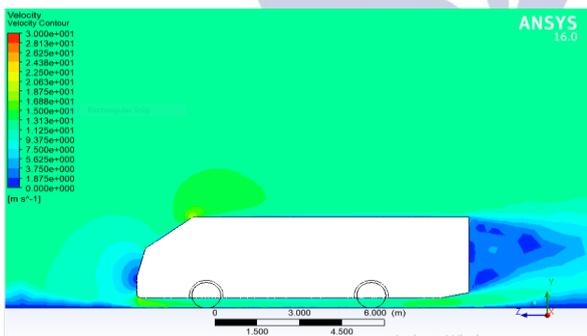
**Gambar 11** *Velocity Contour* Pada Model Bus Standart Dengan Kemiringan *Leading Edge* 35.4<sup>o</sup>



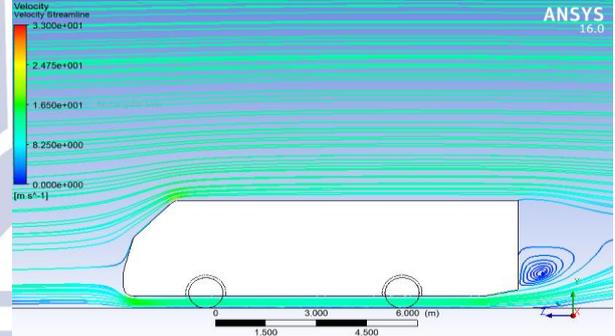
**Gambar 9** *Velocity Contour* Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge* 44.4<sup>o</sup>



**Gambar 12** *Velocity Contour* Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge* 26.4<sup>o</sup>.



**Gambar 10** *Velocity Contour* Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge* 53.4<sup>o</sup>

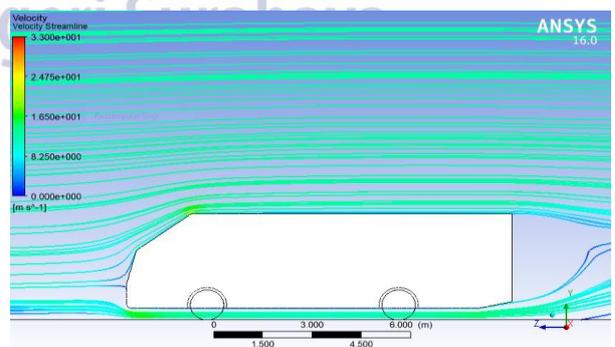


**Gambar 13** *Velocity Contour* Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge* 44.4<sup>o</sup>.

Terlihat dengan pemvariasian kemiringan sudut *leading edge* mempengaruhi kecepatan aliran yang melewati kontur bodi bus. Hal ini terlihat pada gambar *velocity contour* diatas dimana hasil terbaik ditunjukkan pada gambar *Velocity Contour* pada model bus dengan variasi kemiringan sudut *leading edge* 53.4<sup>o</sup>.

#### **Velocity Streamline Pada $Re\ 3,08 \times 10^6$ .**

hasil *velocity streamlines* pada model kendaraan bus standart dan dengan tiga variasi kemiringan sudut *leading edge*.

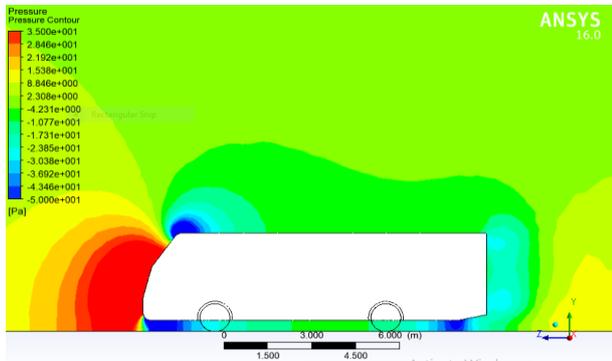


**Gambar 14** *Velocity Contour* Pada Model Bus Standart Kemiringan Variasi *Leading Edge* 53.4<sup>o</sup>.

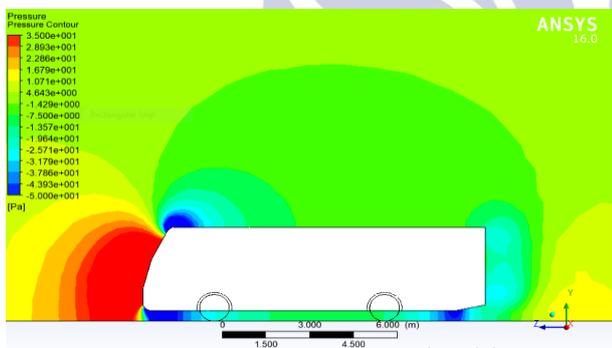
terlihat pada gambar kendaraan bus dapat disimpulkan bahwa variasi *leading edge* dengan sudut kemiringan  $53.4^\circ$  merupakan variasi yang paling optimal karena memiliki daerah wake paling kecil yang dapat mereduksi nilai  $C_D$  dari kendaraan bus.

**Pressure Contour Pada  $Re\ 3,08 \times 10^6$**

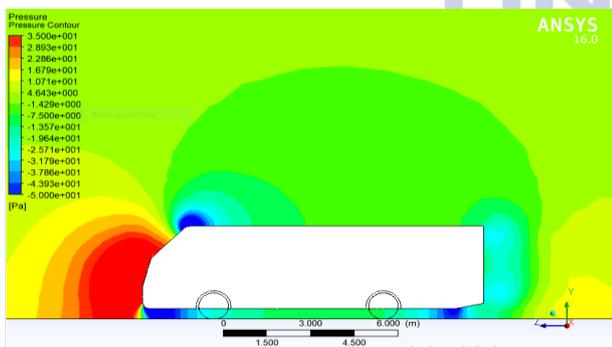
hasil *pressure contour* pada model kendaraan bus standart dan dengan tiga variasi kemiringan sudut *leading edge*.



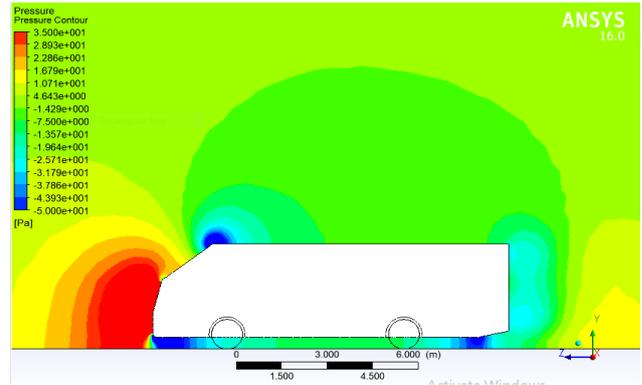
**Gambar 15** Pressure Contour Pada Model Bus Standart Dengan Kemiringan *Leading Edge*  $35.4^\circ$ .



**Gambar 16** Pressure Contour Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge*  $26.4^\circ$



**Gambar 17** Pressure Contour Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge*  $44.4^\circ$

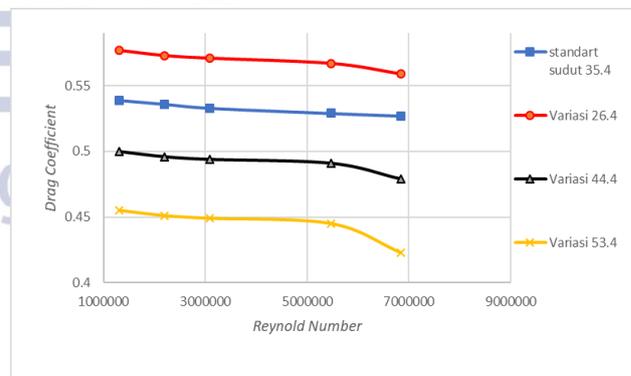


**Gambar 18** Pressure Contour Pada Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge*  $53.4^\circ$

Dapat kita amati bahwa setiap model bus standart maupun yang mempunyai variasi sudut kemiringan mempunyai *pressure contour* yang tidak terlalu berbeda. Tapi dapat kita lihat pada gambar 18 pada bagian depan kendaraan mempunyai daerah stagnasi berwarna merah paling kecil disbanding model bus standart atau variasi lainnya. Dengan demikian variasi sudut kemiringan *leading edge*  $53.4^\circ$  lebih aerodinamis dan dapat mengalirkan udara di atas kendaraan bus dengan baik sehingga dengan adanya hal tersebut nilai dari  $C_d$  (*drag coefficient*) dapat diminimalisir pada kendaraan bus tersebut dimana hal ini berpengaruh pada efisiensi bahan bakar.

**Data Coefficient Lift ( $C_L$ ) dan Coefficient Drag ( $C_D$ )**

Berikut ini adalah data  $C_L$  dan  $C_D$  yang diwujudkan dalam bentuk grafik untuk melihat perubahan yang terjadi pada model kendaraan bus dengan variasi kemiringan sudut *leading edge* berdasarkan variasi *Reynolds Number*.

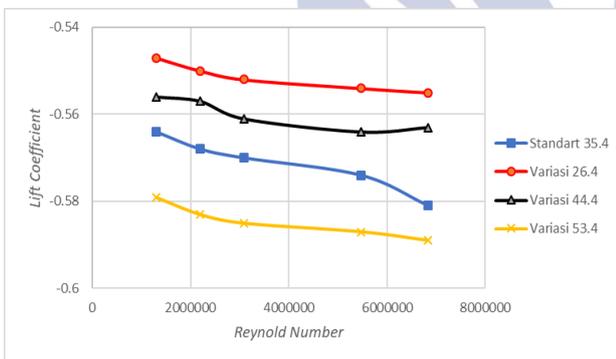


**Gambar 19** Grafik data *Coefficient Drag* ( $C_D$ ) pada model kendaraan bus.

*Coefficient Drag* ( $C_D$ ) merupakan gaya hambat yang terjadi akibat tabrakan aliran udara yang melintasi suatu benda dan terjadi tekanan-tekanan pada benda yang dilaluinya sesuai dengan kontur benda tersebut. Semakin besar nilai  $C_D$  yang

dihasilkan menandakan besarnya hambatan yang diterima suatu benda/ kendaraan saat melaju. Semakin kecil nilai  $C_D$  maka hambatan yang diterima truk saat berjalan juga semakin kecil, yang berimbas pada efisiensi penggunaan bahan bakar.

Dari data diatas, dengan memvariasikan sudut kemiringan *leading edge* dapat menurunkan nilai  $C_D$ . Semakin besar variasi pada kemiringan sudut *leading edge*, maka semakin kecil pula nilai  $C_D$  yang dihasilkan. Bahkan pada kecepatan tinggi yaitu  $re$   $6,84 \times 10^6$  dengan kemiringan sudut *leading edge*  $53.4^0$  nilai  $C_D$  bisa mengalami penurunan, hal ini dikarenakan semakin lancip bentuk *leading edge* dapat mengaerodinamiskan aliran di bagian atas bus yang dapat memperkecil nilai  $C_D$ , sebaliknya jika *leading edge* memiliki sudut kemiringan semakin kecil maka akan membuat aliran di bagian atas semakin meninggalkan kontur bodi yang dapat meningkatkan nilai  $C_D$  dan berimbas pada konsumsi bahan bakar yang kurang efisien.



**Gambar 20** Grafik data *Lift Coefficient* ( $C_L$ ) pada model kendaraan bus.

*Coefficient Lift* ( $C_L$ ) merupakan gaya angkat yang terjadi pada sebuah kendaraan karena perbedaan distribusi tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah kendaraan. Semakin kecil  $C_L$  maka stabilitas mobil akan mudah dicapai. Dari data diatas, dengan memvariasikan kemiringan sudut *leading edge* model kendaraan bus akan menurunkan nilai  $C_D$  yang berdampak pada meningkatnya nilai  $C_L$ . Besar kecilnya nilai  $C_D$  dan  $C_L$  bergantung dengan variasi kecepatan dan kemiringan sudut *leading edge*. Dengan mempertimbangkan efisiensi gaya aerodinamika pada model kendaraan bus dan tujuan utama dari penelitian adalah untuk bisa menurunkan nilai  $C_D$  supaya hambatan kendaraan bus semakin kecil, maka variasi sudut kemiringan *leading edge*  $53.4^0$  dipilih sebagai variasi terbaik dengan nilai  $C_D$  (0,423) atau mengalami penurunan sebesar -19,734 % dan dengan penurunan nilai  $C_L$  sebesar -0,589 atau

mengalami penurunan sebesar 1.337 % dibandingkan dengan model kendaraan standar.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari analisa hasil simulasi CFD mengenai pengaruh variasi sudut kemiringan *leading edge* terhadap gaya aerodinamis pada model kendaraan bus, diperoleh beberapa kesimpulan berikut:

- Berdasarkan *velocity streamline*, dengan memvariasikan sudut kemiringan *leading edge* akan dapat mengarahkan aliran di atas kendaraan secara aerodinamis. Berdasarkan *velocity contour*, dan *pressure contour* variasi *leading edge* akan dapat meningkatkan distribusi momentum kecepatan udara pada bagian atas bus, sehingga dapat menurunkan nilai *Coefficient Drag* ( $C_D$ ) dari kendaraan bus.
- Pemvariasian sudut kemiringan *leading edge* cenderung menurunkan nilai *Coefficient Drag* ( $C_D$ ). Penurunan *Coefficient Drag* ( $C_D$ ) terbaik dari beberapa variasi sudut kemiringan *leading edge* dan variasi kecepatan adalah pada variasi sudut kemiringan  $53.4^0$  dengan  $Re$   $6,84 \times 10^6$  yakni 0,423 atau turun -19,734 % dari model standar.
- Pemvariasian sudut kemiringan *leading edge* cenderung menurunkan nilai *Coefficient Lift* ( $C_L$ ). Penurunan *Coefficient Lift* ( $C_L$ ) terbaik dari beberapa variasi sudut kemiringan *leading edge* dan variasi kecepatan adalah pada variasi sudut kemiringan  $53.4^0$  dengan  $Re$   $6,84 \times 10^6$  yakni -0,589 atau mengalami penurunan sebesar 1.337 % dibandingkan dengan model kendaraan standar.
- Dengan mempertimbangkan penurunan *Coefficient Drag* ( $C_D$ ) dari beberapa variasi baik sudut kemiringan maupun kecepatan, variasi sudut kemiringan  $53.4^0$  dipilih sebagai variasi terbaik, karena memiliki penurunan nilai *Coefficient Drag* ( $C_D$ ) paling besar.

### Saran

Dari simulasi yang telah dilakukan, adapun beberapa saran yang akan disampaikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan informasi yang lebih jelas mengenai pengaruh *leading edge* terhadap aerodinamis pada kendaraan bus, maka perlu diteliti lebih lanjut mengenai interval sudut kemiringan *leading edge* yang lebih besar dan banyak sehingga diperoleh informasi yang lebih rinci tentang

perubahan fenomena karakteristik aerodinamis dari pemvariasian *leading edge*.

- Sebaiknya bagi peneliti selanjutnya perlu mempertimbangkan penggunaan pc komputer dengan kemampuan tinggi karena hal tersebut juga sangat mempengaruhi lama pengambilan data sehingga pengambilan data dapat lebih efisien.
- Dalam melakukan penelitian karakteristik aliran pada suatu kendaraan, yang khususnya menggunakan metode simulasi numerik perlu diperhatikan beberapa parameter seperti : pembuatan geometri, pembuatan *meshing* penentuan, *boundary condition*, penentuan *viscous model*, dan lain lain yang harus di penuhi untuk mendapatkan data yang valid.
- Dalam menentukan geometri bus, sebaiknya menggunakan sudut kemiringan *leading edge*  $53,4^{\circ}$  dan saat berjalan sebaiknya menggunakan kecepatan 100 km/jam agar dapat menurunkan *gaya drag*, yang dapat mengakibatkan penghematan bahan bakar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Freitas, J.C. 1999. *The Issue of Numerical Uncertainty*. 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industry. Melbourne.
- Hakam, Ilham abdulloh. 2015. Simulasi Numerik Pengaruh Penggunaan Rear Spoiler Model Single Airfoil Dengan Variasi Camber Terhadap Gaya Aerodinamika Pada Mobil Honda Civic Generasi Kedelapan. *Skripsi*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin FT UNESA.
- Hucho, Wolf-Heinrich. 1990. *Aerodinamics of Road Vehicles*, Schwalbach: Germany.
- Katz, Joseph. 2006. *Aerodynamics of Race Car*. San Diego:Department of Aerospace Engineering, San Diego State University.
- Sutantra, I Nyoman. 2010. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*. Edisi Kedua. Surabaya: Guna Widya Press.