

STUDI PROFIL *FOREBODY* PADA BUS *ALL NEW LEGACY* (STUDI KASUS KAROSERI LAKSANA)

Daniel Wibisono¹⁾, Teng Sutrisno²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : danieljr123@gmail.com¹⁾, tengsutrisno@petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Bus merupakan transportasi publik yang memberi kontribusi penting pada kemajuan industri otomotif. Hal ini terlihat dari peningkatan populasi pengguna bus sebagai alat transportasi baik antar kota maupun antar propinsi. Namun dengan bentuk bodi bus yang masih datar atau mengotak, memberikan nilai koefisien drag yang besar. Oleh karena, itu penelitian ini membandingkan 3 konsep forebody bus dengan bus model standart untuk dilihat hasil pengurangan nilai koefisien drag-nya.

Metode penelitian yang dilakukan simulasi 2 dimensi, untuk pengambilan model terbaik dan simulasi 3 dimensi untuk validasi uji wind tunnel menggunakan model skala 1:32 dan variabel kecepatan antara 15 m/s hingga 29 m/s dengan reynold number Antara $3,67 \times 10^5$ – $7,10 \times 10^5$. Selanjutnya optimasi model forebody menggunakan simulasi 2 dimensi dengan variable forebody symmetry, forebody up dan forebody down. Setelah proses simulasi dilakukan pengujian untuk validasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model 2 atau model forebody up memberikan hasil koefisien drag terbaik dengan penambahan panjang forebody 1m dengan nilai $C_d = 0.53$.

Kata kunci: Forebody bus, Aerodinamika, Koefisien drag.

1. Pendahuluan

Transportasi publik seperti bus dan truk memberi kontribusi penting pada kemajuan industri otomotif dimanapun, baik di Indonesia sampai diseluruh dunia. Peningkatan populasi pengguna bus dihitung dari tahun 2011-2015 adalah sebesar 24.91%. Dari data ini terlihat banyaknya pengguna bus sebagai sarana transportasi jarak dekat (dalam kota) maupun jarak jauh (antar kota maupun antar propinsi). Terutama dapat dilihat pada minggu terakhir puasa menjelang lebaran adalah titik puncak dimana bus menjadi salah satu alat transportasi mudik yang paling diminati. Realitanya pertumbuhan produksi bus hanya meningkat sekitar 3.08% dari tahun 2011-2015, semua data diatas merupakan hasil dari riset sumadi [1].

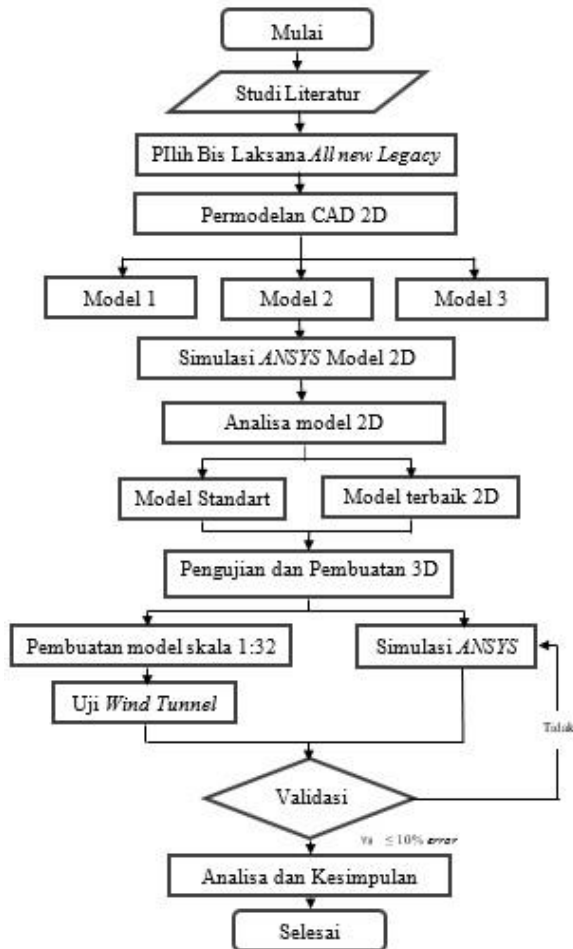
Sementara itu dari hasil data Ekonomi di Amerika[2], dikatakan bahwa angkutan bus memiliki ekonomi bahan bakar yang relatif rendah apalagi transit bus karena rata-rata bus melaju pada kecepatan konstan. Namun pada teorinya kendaraan-kendaraan berat seperti bus dan *truck*, pada umumnya mempunyai bentuk yang bisa dikatakan kurang aerodinamis, cenderung mengotak dan panjang ukurannya. Analisis data menurut Eyad Amen Mohhamed mengatakan bahwa, dalam penelitiannya dia menemukan bahwa pengurangan nilai koefisien drag sebesar 14% dapat berpengaruh terhadap pengurangan 8,4% bahan bakar yang digunakan[3]. Dimana *Drag Forces* atau gaya tahanan aerodinamika adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah kendaraan melalui fluida (cair atau gas). Maka dari itu, aerodinamika dapat sangat berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar kendaraan karena dengan berkurangnya *Drag Forces*, kendaraan dapat lebih efisien

dalam menggunakan bahan bakarnya karena gaya yang menghambat menjadi berkurang.[7]

Di sisi lain pada sebuah bus, kerugian aerodinamik sangat berperan penting pada saat melaju dengan kecepatan tinggi. Koefisien drag dan frontal area sangat mempengaruhi gaya drag. Clancy[8]. Bila desain bodi bus sangat datar maka resistansi lebih besar sehingga perlu adanya alternatif desain baru untuk permasalahan ini. *National Research Council of Canada Centre for Surface Transportaion Technology*[4], menyatakan bahwa 60-70% dari total *drag* bus disebabkan oleh beban tekanan (*pressure load*) pada bagian depan *forebody* bus sehingga menjadikan area utama untuk eksplorasi pengurangan *drag*. Namun perkembangan aero hanya tertuju pada interior dan aksesoris, dimana aksesoris memiliki pengaruh hanya 2% dari *overall drag*[4]. Hal yang telah dilakukan untuk penurunan nilai koefisien drag oleh pendesain otobus adalah dengan pemberian *diffuser*, pembulatan bumper bagian belakang, spion dan penelitian penambahan riblets pada bagian atas body oleh Matthew Sebastian[5]. Namun untuk perubahan pada bentuk *forebody* itu sendiri masih belum ada karena masih banyak terjadi masalah di Indonesia, seperti susahna pengemudi bus untuk melihat pengendara sepeda motor dan seringnya terjadi kecelakaan terutama bagian depan dan bagian belakang bus. Untuk itu dalam pembuatan skripsi ini dilakukan penelitian lebih lanjut tentang konsep desain *forebody* bus yang diharapkan dapat mereduksi koefisien *drag*, sehingga dapat menghasilkan nilai koefisien *drag* yang lebih kecil dari desain yang sudah ada dan dapat diterapkan untuk menjadi solusi terhadap masalah yang ada.

2. Metodologi Penelitian

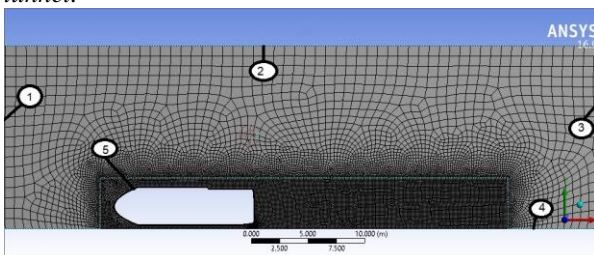
Metode yang akan digunakan untuk melaksanakan perencanaan ini berdasarkan pada *flow chart* seperti yang dipaparkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Proses ini diawali dengan pembuatan kontur 2-dimensi bodi bus Laksana All new Legacy dengan skala 1:1 menggunakan *software* solidworks 2013. Setelah itu proses ini dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS dalam pembuatan *meshing*. Jenis *meshing* yang digunakan adalah *Proximity and Curvature* dengan *Relevance Center Coarse* agar lebih mudah konvergen dalam proses literasi.

Untuk *boundary layer conditions* pada gambar 2, pada nomor 1 berupa *velocity inlet*, untuk nomor 2 berupa *symmetry*, nomor 3 berupa *outflow*, untuk nomor 4 adalah jalan raya atau *wall* dan nomor 5 adalah bodi bus. Kondisi ini disesuaikan dengan pengujian pada *wind tunnel*.



Gambar 2. Boundary Layer Planar untuk simulasi konsep *forebody*.

Setelah melakukan optimasi model konsep *forebody* dilakukan validasi pada model 3D. Untuk itu dilakukan pembuatan model 3D untuk pengujian pada *wind tunnel*.



Gambar 3. Hasil 3D print skala 1:32.

Pada tabel 1, besarnya benda uji skala 1:32 disesuaikan dengan kriteria ketentuan ukuran [10] pada *wind tunnel* dimana gaya drag bus diukur menggunakan *wind tunnel balance*. Untuk sudut serang atau *yawing* disetting tegak lurus dengan arah angin *wind tunnel* dengan bantuan alat ukur *waterpass*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kecepatan bervariasi antara 15m/s hingga 29m/s. Setelah validasi selesai dilakukan perbandingan hasil eksperimen dengan CFD untuk diketahui seberapa besar *error*-nya.

Tabel 1. Perbedaan dimensi skala 1:32

Dimensi <i>All New Legacy</i>	Ukuran Asli	Ukuran 3D Print
Panjang	12000 mm	385 mm
Lebar	2550 mm	79 mm
Tinggi	3500 mm	100 mm

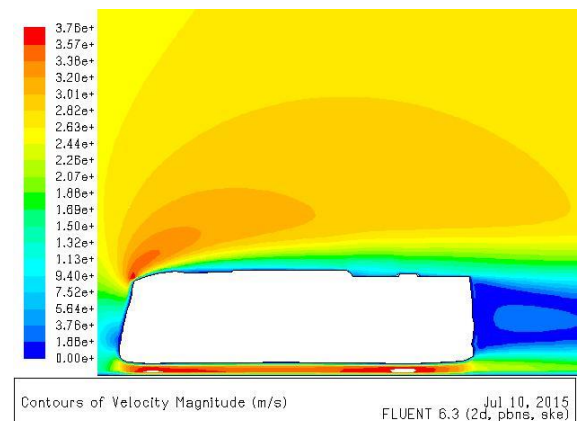
3. Hasil dan Analisa

Hasil simulasi 2-Dimensi bus karoseri laksana All new legacy memiliki gaya drag sebesar 905,93N pada kecepatan 22m/s. Dengan menggunakan persamaan aerodinamika, maka dapat ditentukan koefisien drag dari bus All new Legacy.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 A_f C_d \quad (1)$$

$$905,39 = \frac{1}{2} \cdot 1,1649 \cdot 22,2^2 \cdot 3,113 \cdot C_d$$

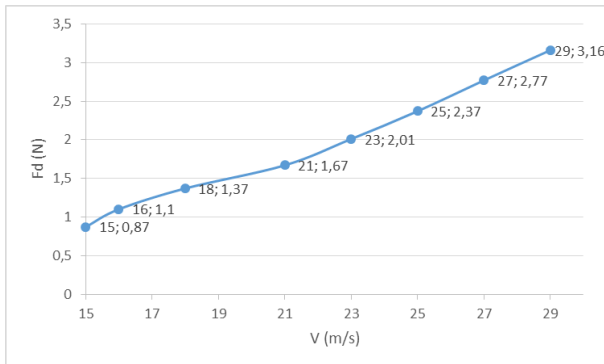
$$C_d = 1,01$$



Gambar 4. Display kontur 2-dimensi All new Legacy Standart skala 1:1

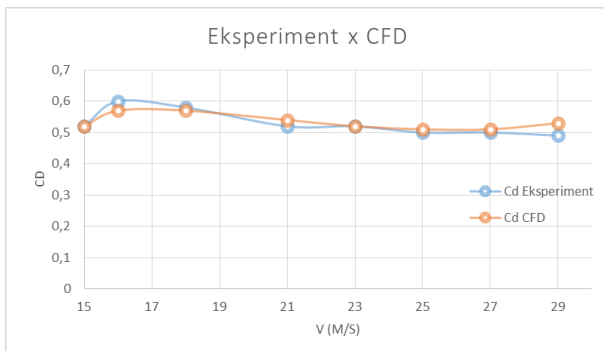
Setelah mendapatkan hasil persamaan (1) yang akan digunakan sebagai nilai pembanding model standart

dengan model konsep forebody, melakukan perhitungan eksperiment. Langkah pengujian *wind tunnel* dapat dilihat pada journal Matthew [5].



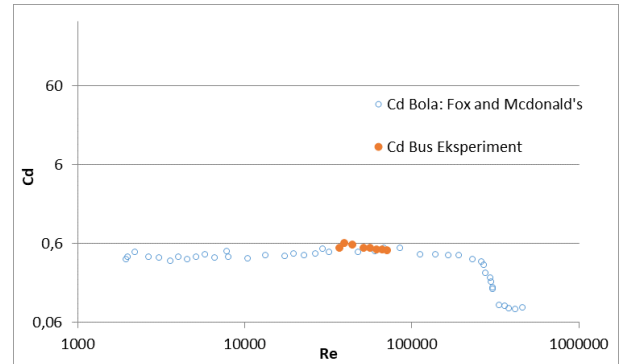
Gambar 5. Grafik Hubungan Gaya Drag – Kecepatan

Pada gambar 5. Gaya drag bertambah seiring bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan 22,2 m/s gaya drag yang dihasilkan ada 2,01N. Untuk menghitung koefisien drag dari model uji dapat menggunakan persamaan (1) pada variasi kecepatan dan frontal area 0,00879887m².



Gambar 6. Hubungan Koefisien drag bus Eksperiment dengan CFD

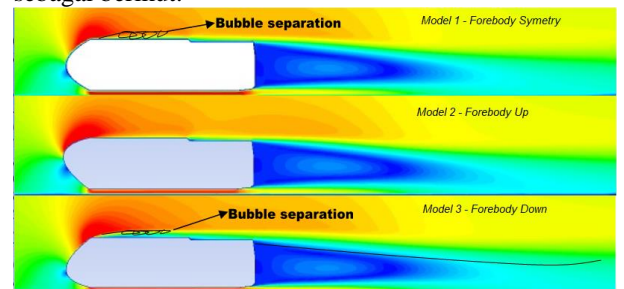
Pada gambar 6, dapat dilihat kenaikan C_d Bus pada awal kecepatan 15-17 m/s. Kenaikan ini terjadi akibat koefisien hambat terhadap kecepatan di awal karena bentuk model konsep *forebody* akibat dari aliran laminar yang sangat viskos. Namun setelah kecepatan naik aliran laminar berubah menjadi aliran transisi, dimana viskositas menurun diakibatkan oleh suhu yang meningkat. Sehingga bisa dikatakan bahwa koefisien *drag* tidak dipengaruhi oleh kecepatan. Perbedaan bentuk model bodi yang akan membuat perbedaan koefisien *drag*, dalam kasus ini bentuk *forebody* yang memiliki peran penting dalam kenaikan nilai koefisien *drag*. [9]



Gambar 7. Grafik perbandingan data C_d bola dengan C_d bus [6]

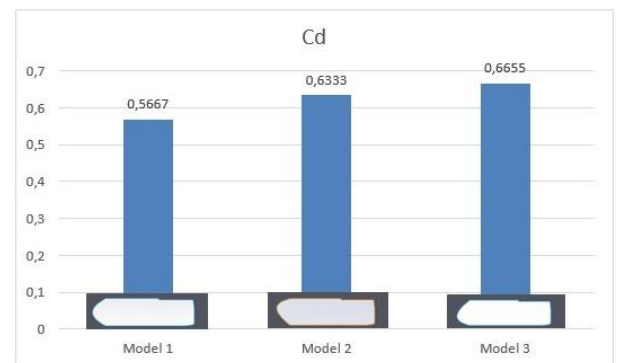
Pada gambar 7, kenaikan nilai C_d pada kecepatan 15-17 m/s dianggap benar jika dibandingkan dengan data nilai C_d bola yang dilakukan oleh Fox and Mcdonald's [6] jika ditinjau dari nilai bilangan Reynold.

Hasil dari analisa 3 model konsep *forebody* 2D sebagai berikut:



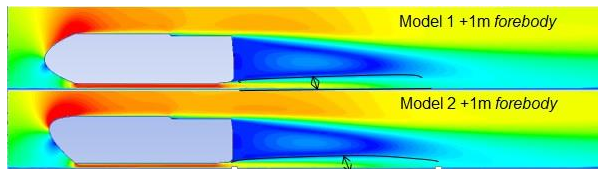
Gambar 8. Model 1, 2, 3 tanpa penambahan panjang *forebody*

Jika dilihat dari gambar 8, maka model 2 memiliki aliran yang mengalami akselerasi paling tinggi dan memiliki aliran separasi yang hampir tidak ada dibandingkan dengan model lainnya, bahkan cenderung alirannya mengalami *re-attach flow*. Dengan sedikitnya separasi maka sedikit pula ditemukan *bubble separation*. Sedangkan pada Model 3 dapat dilihat *bubble separation* yang sangat besar, sehingga akselerasi yang dihasilkan lebih rendah disbanding dengan model 1 dan model 2. Pengaruh dari rendahnya akselerasi dapat dilihat pada grafik C_d dibawah pada gambar 9.



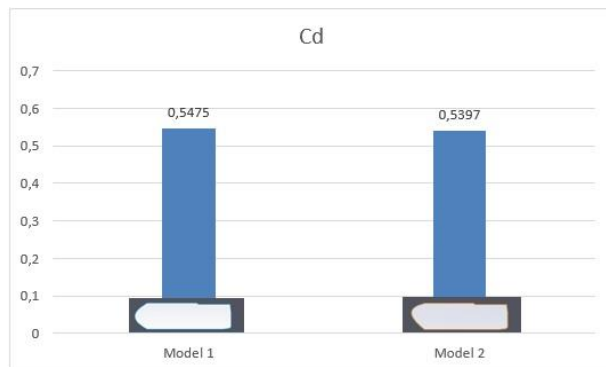
Gambar 9. Grafik perbandingan C_d Model 1,2,3

Dari gambar 9 model 3 dapat terlihat perbandingan hasil nilai dari koefisien drag dimana model 1 memiliki nilai $C_d=0.5667$; model 2 dengan nilai $C_d=0.6333$; dan model 3 dengan nilai $C_d=0.6655$. Dari ketiga model tersebut, model 3 memiliki hasil nilai C_d yang paling rendah dibanding model 1 dan model 2, sehingga model 3 tidak dipakai lagi. Maka analisa selanjutnya dengan penambahan panjang *forebody* dilakukan pada model 1 dan model 2 saja.



Gambar 10. Perbandingan model 1 dan 2 dengan penambahan panjang *forebody* 1m.

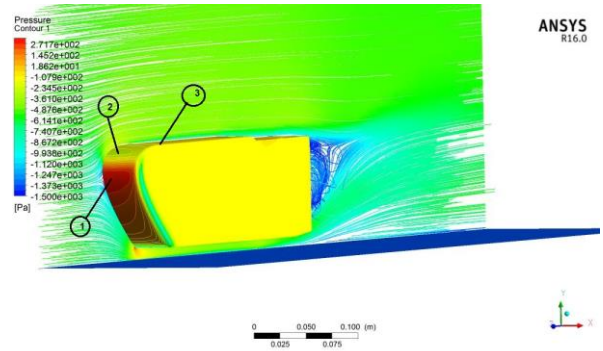
Jika dilihat dari gambar 10, maka akan terlihat bahwa aliran yang melewati bagian bawah bodi bus pada model 2 memiliki kecepatan yang lebih besar dibandingkan dengan model 1. Hal ini terjadi karena aliran susah untuk naik pada bentuk *forebody* model 2, sehingga aliran lebih banyak yang mengalir melewati bagian bawah bodi.



Gambar 11. Grafik perbandingan C_d Model 1,2 dengan penambahan panjang *forebody* 1m.

Dari data hasil simulasi 2D ANSYS seperti pada hasil gambar 11, model 2 dengan penambahan panjang 1m memiliki hasil C_d yang lebih kecil dari model 1 dengan nilai $C_d=0,5397$. Sedangkan pada model 1 memiliki nilai $C_d=0,5475$. Kecepatan 80 km/jam yang digunakan pada seluruh percobaan simulasi 2D didasarkan pada realitas dimana bus pada umumnya melaju pada kecepatan minimum 80 km/jam pada antar kota. Dari data hasil simulasi ANSYS fluent dengan kecepatan 80 km/jam maka didapatkan C_d terkecil ada pada konsep model *forebody* no.2 sehingga dijadikan model uji coba untuk *Wind Tunnel*.

Hasil dari simulasi 3-Dimensi konsep *forebody* model 2 skala 1:32 sebagai berikut:



Gambar 12. Display Countours Pressure konsep *Forebody* model 2

Pada gambar 12, diketahui bahwa area yang berwarna merah adalah tekanan stagnasi (1) pada bagian depan bus dimana kecepatan aliran 0, sehingga tekanan maksimum pada titik tersebut. Selanjutnya pada area *attach* (2) tekanan melemah. Mulai mendekati area (3) tekanan menurun dan kecepatan mulai naik. Pada model *forebody* model 2 ini tidak terjadi separation jika dilihat pada stream line. [11].

Tabel 2. Perbandingan simulasi 2D model 2 dengan Bus All new Legacy Standart

Variasi	C_d	% Penurunan drag
Standar / Normal	1.01	0%
Model 2	0.63	37.63%
Model 2 (+0.5m)	0.57	43.57%
Model 2 (+1.0m)	0.53	47.53%

Hasil pengujian dan analisa pada tabel 2, model 2 merupakan model yang memiliki nilai koefisien drag terbaik dan dihitung penurunan drag terhadap model standart. Konsep *forebody* model 2 dengan penambahan panjang 1m mereduksi drag terbaik dengan besar penurunan 47,53% jika dibandingkan dengan model original atau standart dari bus karoseri laksana All new Legacy.

Pada gambar 13 adalah model gambar dari penerapan konsep *forebody* yang diterapkan pada model bus laksana standart. Penerapan ini dapat diaplikasikan dengan melakukan penambahan panjang atas *roof* bagian *shoulder*. [9].



Gambar 13. Model penerapan *forebody* pada bus asli

4. Kesimpulan

Model terbaik dari ke 3 konsep model desain forebody bus dengan menggunakan bus *All new legacy* sebagai bus standart adalah model nomer 2. Model nomer 2 memiliki koefisien drag yang lebih kecil dari 2 model lainnya sesuai dengan gambar konsep yang didesain menggunakan program *solidworks 2013*. Adapun penambahan variasi penambahan panjang pada desain forebody sebesar 0.5m dan 1.0m, model nomer 2 tetap memiliki nilai koefisien drag terbaik yaitu 0.53 setelah dibandingkan dengan model nomer 1.

Pada validasi model 2, ditemukan sedikit perbedaan hasil koefisien drag antara simulasi 3 dimensi dengan eksperimen. Penyebabnya adalah pada simulasi mengalami penyederhanaan bentuk karena bertujuan untuk mempermudah dalam proses *Meshing* agar tidak terjadi banyak *fail mesh/Meshing error*. Adapun penyebab lain adalah *human error* pada saat pengambilan data di Wind Tunnel atau keterbatasan keakuratan alat ukur uji.

Untuk hasil dari validasi dan perbandingan nilai koefisien *drag* dari bus standart dan model uji dengan skala 1:32, konsep desain model *forebody* nomer 2 tanpa penambahan panjang dapat menurunkan nilai koefisien *drag* sebesar 37.63% dengan nilai $C_d = 0.63$. Sedangkan model uji yang digunakan adalah model 2 dengan penambahan panjang *forebody* 0.5m menghasilkan penurunan nilai koefisien *drag* sebesar 43.57% dengan $C_d = 0.57$ dan penambahan 1.0m memiliki penurunan nilai koefisien *drag* sebesar 47.53 % dengan nilai $C_d = 0.53$.

DAFTAR PUSTAKA:

1. Sumadi, B. K. (2015). *Statistik Perhubungan*. Jakarta: Kementrian Perhubungan.
2. Administration, F. H. (2016). *Average Fuel Economy of Major Vehicle Category*.
3. Mohhamed, E. A., Radwi, M. N., & Gawad, A. F. (2014). *Computational Investigation of Aerodynamic characteristic and drag reduction of bus model*. American Journal of Aerospace Engineering, Special Issue: Hands-on Learning.
4. Jeff Patten, P. E., Brian McAuliffe, P., William Mayda, P. E., & Bernard Tanguay, P. (2012). *Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses*. Canada: National Research Council of Canada Centre for Surface Transportation Technology.
5. Sebastian, M., Suprianto, F. D., & Sutrisno, T. (2016). *Experimental Study On The Influence Of Riblets On Bus Body Towards Drag Coefficient*. Surabaya: Petra Christian University.
6. Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics*. Wiley.
7. Hucho, W.-H. (1987). *Aerodynamics of road vehicles*. Elsevier.
8. Clancy, L.J. (1975). *Aerodynamics*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
9. Barger, R. I. (1979). *A Theoretical Investigation of Forebody Shapes Designed for Natural 'Laminar Boundary-Layer Flow*. Virginia: Nasa.
10. Mokhtar, W., & Hasan, M. (2016). A CFD study of Wind Tunnel Wall Interference. *American Society for Engineering Education*.
11. Raveendran, A., Rakesh, D., & Sridhara, S. N. (2009). *Exterior Styling of an Intercity Transport Bus for Improved Aerodynamic Performance*.